

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALÜMİNYUM ALAŞIMLARDA YOLLUK VE CEP OPTİMİZASYONUNUN
PARÇA KALİTESİNE ETKİSİ**

FARUK ATAHAN YÜKSEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Tahir ALTINBALIK

EDİRNE-2022

FARUK ATAĞAN YÜKSEL'un hazırladığı “**ALÜMİNYUM ALAŞIMLARDA YOLLUK VE CEP OPTİMİZASYONUNUN PARÇA KALİTESİNE ETKİSİ**” başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalında bir **Yüksek lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri :	İmza
Prof. Dr. Tahir ALTINBALIK
Prof. Dr. Mümin ŞAHİN
Doç. Dr. Ümit HÜNER

Tez Savunma Tarihi:/...../.....

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

	İmza
Prof. Dr. Tahir ALTINBALIK Tez Danışmanı

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

.....
Prof. Dr. Hüseyin Rıza Ferhat KARABULUT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Tarih:.... / /

Faruk Atahan Yüksel

İmza

Yüksek Lisans Tezi

Alüminyum Alaşımında Yolluk ve Cep Optimizasyonunun Parça Kalitesine Etkisi

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Yüksek basınçlı alüminyum enjeksiyon yönteminde döküm kalıbının uzun ömürlü ve uygun standartlarda üretim yapılması beklenmektedir. Bu beklentiyi karşılamak için kalıp üretiminin başında parça tasarımı iyi belirlenmeli ve kalıplama aşamasına kadar ki prosesler dikkatlice hesaplanıp karar verilmelidir. Tez çalışmasında otomotiv endüstrisinde hammaddesi EN AC 46000 serisi alüminyum alaşımı ile üretilen motor bağlantı parçası araştırılıp tasarım çalışmaları yapılmıştır. Parçanın teknik resim spesifikasyonlarına göre porozite ve istenen basma testlerine göre hesaplamaları yapılmış bu hesaplar dahilinde simülasyon değerleri için gerçek makine parametreleri denenip simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Makine parametreleri olarak dökümün üretim aşaması toplam 3 fazdan oluşur. Bu fazlar 1.faz, 2.faz ve 3.fazdır. 1.Fazda enjeksiyon piston hareketi ile kalıbın içine sıvı metal iletilir. Sıvı metal kalıbın iç halini almadan 2.faz devreye girer ve yüksek hızda sıvı metal kalıbın iç halini alır. Sıvı metal enjeksiyonu bittikten sonra 3.faz devreye girip basınçla piston sıkıştırır ve enjeksiyon prosesi bu şekilde biter. Simülasyon değerlerine göre yolluk tasarımı ve parametreler denenip kalıp üretimi yapılmıştır. Yapılan döküm denemeleri sonrasında ölçüm ve porozite çalışmaları yapılmış olup parça talimatlara göre uygun üretilmiştir.

Yıl : 2022

Sayfa Sayısı : 89

Anahtar Kelimeler : Yüksek basınçlı alüminyum döküm, Porozite, Yüzey Kalitesi, Switch Pozisyonu, X-Ray Tomografi

Master Degree Thesis

The Effect of Runner and Pocket Optimization on the Parts Quality in Aluminum Alloys

Trakya University Institute of Natural and Applied Sciences

Mechanical Engineering Department

ABSTRACT

In the high pressure aluminum injection method, it is expected that the casting mold will be produced with a long life and appropriate standards. In order to meet this expectation, the part design should be determined well at the beginning of the mold production and the processes up to the molding stage should be carefully calculated and decided. In the thesis study, the engine connection part produced with the raw material EN AC 46000 series aluminum alloy in the automotive industry was researched and design studies were carried out. Calculations were made according to the porosity and desired compression tests according to the technical drawing specifications of the part, and within these calculations, real machine parameters were tested for simulation values and simulation studies were carried out. As the machine parameters, the production phase of the casting consists of a total of 3 phases. These phases are 1st phase, 2nd phase and 3rd phase. In the 1st phase, the liquid metal is transmitted into the mold with the injection piston movement. The 2nd phase is activated before the liquid metal takes the inner state of the mold, and the liquid metal takes the inner state of the mold at high speed. After the liquid metal injection is finished, the 3rd phase is activated and the piston is compressed with pressure and the injection process ends in this way. According to the simulation values, the runner design and parameters were tested and the mold was produced. After the casting trials, measurement and porosity studies were carried out and the part was produced in accordance with the instructions.

Year : 2022

Number of Pages : 89

Keywords : High pressure aluminum casting, Porosity, Surface quality, Switch Position, X-Ray Tomography

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez aşamasının başladığı günden itibaren yanımda bulunan ve bu süreçte hiçbir konuda yardım etmekten çekinmeyen, engin bilgilerini bana samimiyet ve saygı doğrultusunda etik bir şekilde aktaran, beni titizlikle yönlendiren saygı değer danışman hocam Sn. Prof. Dr. Öğr. Üyesi Tahir ALTINBALIK'a teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel uygulamalarımda her türlü imkanından faydalandığım ve halen bünyesi içerisinde çalışmaktan gurur duyduğum Aslar Pres Döküm Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi yönetici ve çalışanlarına ve bu süreçte tüm imkanlarıyla bana destek veren yöneticim Mustafa YILMAZER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak, yalnız bu çalışmamda değil, hayatımın her alanında daima desteğini gördüğüm ve benim için hiçbir fedakarlığı yapmaktan bir an olsun geri durmayan aileme sonsuz minnet ve şükranlarımla...

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1. Döküm.....	2
1.2. Döküm Yöntemleri.....	3
1.3. Otomotiv Endüstrisinde Döküm Teknolojisi	3
1.4. Otomotiv Endüstrisinde Basınçlı Döküm Kullanımı	5
1.5. Otomotiv Endüstrisinde Alüminyum Alaşımlarının Yeri ve Önemi	7
BÖLÜM 2 BASINÇLI DÖKÜM YÖNTEMİ	9
2.1. Yüksek Basınçlı Döküm	10
2.2. Alçak Basınçlı Döküm	13
2.3. Basınçlı Döküm Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları.....	16
2.3.1. Basınçlı Döküm Yönteminin Avantajları	16
2.3.2 Basınçlı Döküm Yönteminin Dezavantajları	16
BÖLÜM 3 BASINÇLI DÖKÜMDE KALIP TASARIMI VE POROZİTE	
PROBLEMİ	17
3.1. Malzeme	17
3.2. Ürün Tasarımı	18
3.3. Kalıp ve Yolluk Tasarımı.....	22
3.3.1. Döküm Kalite Gereklilikleri	24
3.3.1.1. Yüzey Kalitesi.....	24
3.3.1.2. Porozite	25
3.3.2. Akış Düzeni.....	29

3.4. Akış Hesaplamaları	35
3.4.1. Göz Dolum Süresi	35
3.4.2. Yolluk Kesit Alanı Hesabı	38
3.4.3. Yolluk Tipleri.....	39
3.5. Hava Cebi Ve Cilvent Sistemi	42
BÖLÜM 4 LİTERATÜR TARAMA.....	46
BÖLÜM 5 ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	49
5.1. Yolluk Dizaynı	49
5.2. Hava Cebi Dizaynı	50
5.3. Yolluk Sayısının Tespiti.....	50
5.3.1. Kalıba Malzeme Girişi	51
5.3.2. Pimde Yapışma	51
5.3.3. Hava Cebinin Parçadan Önce Dolması	52
5.3.4. Malzeme Akışı	53
5.3.5. Porozite İncelemesi	54
BÖLÜM 6 SONUÇLAR	58
6.1. Switch Noktası	58
6.2. 2. Faz Sonuçları.....	60
6.3. X-Ray Sonuçları.....	63
6.4. Radyoskopi Sonuçları	64
6.5. Keserek Porozite İncelemesi	66
6.6. Basma Testi Sonuçları.....	70
BÖLÜM 7 GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	73
7.1. Genel Sonuçlar	73
7.2. Öneriler	74
KAYNAKÇA	75

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

°C	: Santigrad Derece
bar	: Bar
m/s	: Metre/saniye
mm	: Milimetre
ms	: Milisaniye
sn	: Saniye

Kısaltmalar

ASTM	: American Society for Testing and Materials
CMM	: Coordinate Measurement Machine
CT	: Bilgisayarlı tomografi
Mg	: Magnezyum

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Basınçlı dökümün diğer döküm yöntemleri ile karşılaştırılması	6
Çizelge 3.1. AlSi9Cu3(Fe) alaşımının kimyasal bileşimi.....	17
Çizelge 3.2. Parça dolun kabul kriterleri	24
Çizelge 3.3. ASTM E 505 porozite kategorileri	28
Çizelge 3.4. Metal ve alaşımların K sabit değeri	36
Çizelge 3.5. Metal ve alaşımların sıcaklık ve katılma oranı tablosu	36
Çizelge 3.6. Metal ve alaşımların önerilen katılma oranı.....	37
Çizelge 5.1. ASTM E 505 duvar kalınlığına göre porozite şartları	55
Çizelge 6.1. ASTM 505 kalınlığa göre porozite kabulü	65
Çizelge 6.2. Radyoskopi cihaz parametreleri	66
Çizelge 6.3. Radyoskopi test sonucu	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Alüminyum güç aktarma bileşenleri basınçlı döküm pazar analizi.....	5
Şekil 1.2. Otomobillerde kullanılan mevcut alüminyumu ve 2025 yılına kadar alüminyum bazlı olması beklenenler	7
Şekil 1.3. Ülkelerin CO2 emisyon hedefleri	8
Şekil 2.1. Doehler'in patentli yüksek basınçlı döküm makinesi	10
Şekil 2.2. Soğuk kamaralı döküm makinesi kesiti	11
Şekil 2.3. Soğuk kamaralı döküm makinesi proses çevrimi	11
Şekil 2.4. Yüksek basınçlı döküm kalıbı	12
Şekil 2.5. Şematik piston hız-zaman ve basınç-zaman eğrileri	13
Şekil 2.6. Alçak basınçlı döküm makinenin şematik gösterimi.....	14
Şekil 2.7. Alçak basınçlı döküm prosesinin işlem sırası.....	14
Şekil 3.1. Referans parça kalıp ayırım hattı düzenlemesi	19
Şekil 3.2. Referans parça kalıp ayırım hattı düzenlemesi	19
Şekil 3.3. Referans parça kalıplama çalışması.....	20
Şekil 3.4. Referans parça itici çalışması	21
Şekil 3.5. Radüs tasarımının parça kalitesine etkisi.....	21
Şekil 3.6. Radüs tasarımının parça kalitesine etkisi.....	22
Şekil 3.7. Gaz porozitesi	26
Şekil 3.8. Çekme boşluğu (1) ve gaz boşluğu (2) kıyaslaması	27
Şekil 3.9. ASTM E 505 porozite seviyeleri	29
Şekil 3.10. (Nadca-gating manual)	30
Şekil 3.11. Fan tipi ve Teğetsel Tip Yolluk Şematik Gösterimi.....	30
Şekil 3.12. Fan tipi yolluk ve teğetsel tip yolluk akış düzeni	31
Şekil 3.13. Akış şemaları	32
Şekil 3.14. Yüzey kalitesi için iyi akış görseli.....	32
Şekil 3.15. Radüs tasarımının parça kalitesine etkisi.....	33
Şekil 3.16. Radüs tasarımının parça kalitesine etkisi.....	34
Şekil 3.17. Radüs tasarımının parça kalitesine etkisi.....	34

Şekil 3.18. Soğuk birleşme örneği	37
Şekil 3.19. Eksik dolum örneği.....	37
Şekil 3.20. Yolluk dizayn örneği	38
Şekil 3.21. Yolluk dizayn örneği	39
Şekil 3.22. Fan tipi yolluk perspektifi.....	40
Şekil 3.23. Kavisli fan tipi yolluk perspektifi	40
Şekil 3.24. Teğetsel tip akış yönü	41
Şekil 3.25. Teğetsel tip akış yönü	42
Şekil 3.26. Hava cebi hesaplaması.....	43
Şekil 3.27. Hava cebi örneği.....	43
Şekil 3.28. Kalıp parça yerleşimi	44
Şekil 3.29. Çilvent	45
Şekil 3.30. Çilvent	45
Şekil 5.1. Simülasyon çalışması yapılan 2 farklı yolluk tipi.....	50
Şekil 5.2. 2 Farklı yolluktaki kalıba malzeme girişi	51
Şekil 5.3. 2 Farklı yolluktaki akışın pime etkisi	52
Şekil 5.4. 2 Farklı yolluktaki akışın hava cebi dolumu	53
Şekil 5.5. 2 Farklı yolluktaki malzeme akışı	54
Şekil 5.6. ASTM E 505 Duvar kalınlığı 9,5 mm den küçük bölgelerdeki porozite seviyeleri	55
Şekil 5.7. ASTM E 505 duvar kalınlığı 9,5 mm den büyük bölgelerdeki porozite seviyeleri	55
Şekil 5.8. Seçilen farklı yolluk tiplerindeki dolum sonrası oluşan muhtemel porozite boyutları	56
Şekil 5.9. Seçilen yolluk tipi	56
Şekil 5.10. 750 tonluk yüksek basınçlı enjeksiyon makinesi	57
Şekil 6.1. Seçilen yolluk tipi	58
Şekil 6.2. Vuruş noktası 50 mm dolunun 1.fazdan (a) 2.faza geçtiği nokta (b)	59
Şekil 6.3. Vuruş noktası 60 mm dolunun 1.fazdan (a) 2.faza geçtiği nokta (b)	59
Şekil 6.4. Vuruş noktası 70 mm dolunun 1.fazdan (a) 2.faza geçtiği nokta (b)	60
Şekil 6.5. Metal akışı esnasında simülasyon incelemeleri.....	60
Şekil 6.6. Metal akışı esnasında simülasyon incelemeleri.....	61

Şekil 6.7. Metal akışı esnasında seçilen hızın simülasyon incelemeleri.....	62
Şekil 6.8. Parça için üretilen kalıbın hareketli(a) ve sabit(b) tarafı	62
Şekil 6.9. Üretilen ürünün sol (a) ve üst (b) perspektifi.....	63
Şekil 6.10. X-Ray radyoskopi görüntüleri	64
Şekil 6.11. Yxlon computed tomography	64
Şekil 6.12. Röntgen görselleri.....	65
Şekil 6.13. Ürün kesilecek bölge tanımları	67
Şekil 6.14. Kesitlerin görünümü	68
Şekil 6.15. A-A, B-B, C-C, D-D Kesitlerinin inceleme görselleri	69
Şekil 6.16. Basma testi referans bölgeleri A1-A2-A3-A4-A5.....	70
Şekil 6.17. Referans bölgelerin basma testi sonuçları	71

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yüksek basınçlı alüminyum enjeksiyon günümüzde en çok kullanılan üretim yöntemlerinden biridir. Seri imalat şartlarına uygun olması, kısa çevrim süresince parça üretimi gerçekleştirmesi ve karmaşık şekilli parçaların mukavemetli ve hafif ağırlıkta olması alüminyum enjeksiyonu günümüzde popüler ve tercih kılınmıştır. Doehler 1915’de yüksek basınçlı döküm yöntemini alüminyum alaşımlarıyla basınçlı döküm uygulayarak ürün üretmiş ve günümüze kadar kullanımı yaygınlaşan bir endüstri haline gelmiştir. Yüksek basınçlı alüminyum enjeksiyon yönteminde üretimin en önemli malzemesi enjeksiyon kalıbıdır. Enjeksiyon kalıbı boyutuna ve parçaya bağlı olmak üzere farklı tonajlı enjeksiyon makinesine göre dizayn edilip üretimi yapılır. Enjeksiyon kalıbında üretilecek parçanın ihtiyacına göre tasarımı yapılır ve birden çok aynı parça bir kalıptan imal edilir. Kalıpların kapasiteleri değişkenlik gösterebilir ve bir kalıbın üretim ömrü 100.000 baskı iken başka bir kalıbın ömrü 150.000 sayılarına kadar çıkmaktadır. Burada kalıptan üretim yapılırken makine parametreleri ve mühendislik bilgisine bağlı olarak düzenli ve uygun üretim yapılırsa üretim esnasında çok fazla problem görmezsiniz fakat kalıp üretimi esnasında üretim personeli bilgisi yeterli değil ve makine bakımları zamanında yapılmamışsa parçayı üretmek için parametrelerdeki değerler yükselirse örneğin faz ve hız; bu durumda kalıp ömründen önce üretim yapamayacak duruma gelir ve kalıpta maça kırılmaları, itici kırılmaları gibi birçok durum karşımıza çıkabilir.

Alüminyum enjeksiyon yönteminde genelde üretim, kalıbın enjeksiyonu ile meydana gelir ve enjeksiyon süreleri parçanın boyutuna, et kalınlığına, ağırlığına göre değişkenlik gösterebilir. Optimum süreler literatürlerde yazar ve bu kaynaklar bize ürünün fizibilite aşamasındayken süresini yaklaşık olarak verebilir. Bu bilgide maliyet çalışması yaparken ürünün değerinin belirlenmesinde rol oynar. Bu tezin genel amacı yüksek basınçlı alüminyum enjeksiyon yönteminde üretim yaparken kalıp tasarımı ve yolluk tasarımının hangi parametrelere bakıldığı, simülasyon çalışmalarının nasıl

yorumlandığı ve ürün üretiminde dikkat edilecek diğer faktörlerin neler olduğunu hakkında bilgi vermektir.

1.1. Döküm

Arkeolojik bulgular, döküm yöntemiyle parça üretiminin M.Ö. 4000 yıl öncesine kadar gittiğini göstermektedir. Bu bağlamda insanların ilk dikkatini çeken metal altın olmuştur. Daha sonra bakır metali keşfedildi. Çekiçle şekillendirilen bakırın yüksek sıcaklıklarda eridiğini gören insanlar bu malzemeyi dökerek kullanmaya başladılar. Bakır alaşımı olan bronz da tesadüfen bulundu. Mukavemeti saf bakırdan üstün olan bronz alaşımı, tarih öncesi bir çağa "bronz çağı" olarak adını vermiştir. Önceleri tek parça açık kalıplara balta ve diğer yassı parçaların üretimi için kullanılan döküm tekniği, yuvarlak kesitteki parçaların üretilmesi için iki veya daha çok parçalı kalıpların kullanılmasıyla geliştirilmiştir. M.Ö. 2000 yıllarında iç boşlukların elde edilmesi için pişirilmiş kilden maçalara kullanılmaya başlanmıştır. Bunun yanında kalıplamada mum modellerin kullanıldığı ve ısıtılarak eritilen mumun kalıbı terk etmesiyle kalıp boşluğunun oluşturulduğu hassas döküm yönteminin de aynı asırlarda geliştirildiği görülmektedir. Özellikle M.Ö. 1500 yıllarından sonra dökümcülük Çin başta olmak üzere Orta ve Uzak Doğuda gelişmiş ve buralardan Akdeniz havzasına yayılmıştır. Avrupalı dökümcülerin ise 13. y.y.'a kadar en önemli uğraşları kiliseler için çan dökmektir. Bu nedenle Avrupa'da döküm uygulamaları başlangıçta kiliselerin himayesinde ve kontrolünde gerçekleşmiştir. Nitekim tarihte ilk top bir rahip tarafından bronz malzemedeki 1313 yılında dökülmüştür. Döküm teknolojisi hakkındaki ilk yazılı eser ise Popalık dökümhanesinin başında bulunan Biringuccio tarafından yazılmıştır. Rönesans'tan sonra canlanan ticaret, Avrupa'da bağımsız bir döküm sanayinin gelişmesini sağlamıştır. Ülkemizde döküm yönteminin bilinen ilk önemli uygulamaları Kosova savaşında ve İstanbul'un fethinde kullanılan topların üretimidir. Fatih tarafından Tophane'de kurulan dökümhane, diğer padişahlar zamanında da geliştirilmiştir. Cumhuriyet döneminde büyük döküm fabrikalarının ilki 1937 yılında Sivas'ta Devlet Demir Yolları bünyesinde kurulmuştur. 1950'lerden ve özellikle 1960'lardan sonra otomotiv ve inşaat sektöründeki gelişmelere paralel olarak ülkemizdeki döküm sanayi de hızlı bir gelişme göstermiştir. Değişik ülkelerdeki bilim adamları, mühendis, teknisyen ve ustaların katkılarıyla kalıp malzemeleri, kalıplama yöntemleri, eritme ocakları, döküm malzemeleri gibi alanlarda

sürekli geliştirilen döküm teknolojisi, günümüzde yaygın olarak kullanılan bir üretim yöntemi haline gelmiştir. Bu yöntemle biçimlendirilen metallerin en önemlileri; dökme demirler, çelikler, bakır ve alüminyum alaşımlarıdır. Günümüzün dökümhaneleri, modernizasyon ve otomasyon yöntemlerinin yaygın olarak uygulandığı modern üretim tesisleridir (Vinarçik, 2002).

1.2. Döküm Yöntemleri

Döküm yöntemi ürünün üretileceği kalıba sevk edilme şekli, sıcaklığı ve türlerine göre sınıflandırılır.

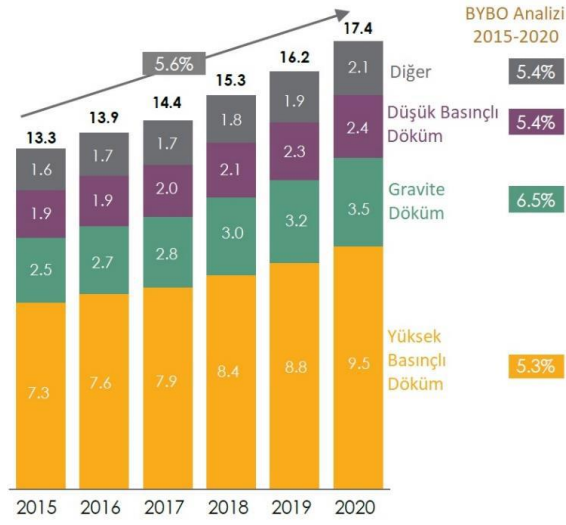
Döküm yöntemleri şu şekilde gruplandırılır;

- Kum Kalıba Döküm
- Kokil (Kalıcı veya Metal) Kalıba Döküm
- Basınçlı Döküm
- Hassas Döküm
- Santrifüj Döküm
- Alçı Kalıba Döküm
- Seramik Kalıba Döküm
- Dolu Kalıba Döküm
- Diğer Kalıplama Usulleri

1.3. Otomotiv Endüstrisinde Döküm Teknolojisi

Otomotiv endüstrisi, giderek katılaştıran yakıt ekonomisi standartlarına uymak için sürekli baskı altında olan, dayanıklılıktan ödün vermeden ağırlığı azaltmak için etkili alternatifler arayan bu trendin ön saflarında yer alıyor. Petrol endüstrisinin giderek daha katı hale gelmesiyle birlikte, otomobil üreticileri sürekli olarak yakıt ekonomisini artırmanın yeni yollarını bulmak zorunda kaldılar. Gaz kilometre performansını artırmak için daha hafif araçlar üretmek birincil strateji olmuştur ve çelik parçaların yerine alüminyum parçaların kullanılması araç ağırlığını azaltmak için en popüler yöntem olmuştur. Zamanla alüminyum, otomotiv kaplarına, gövdelerine, kaputlarına ve motorlarına aşamalı olarak dahil edildi. Günümüzde alüminyum, aracın çok daha önemli bir yüzdesini oluşturuyor. Ducker Worldwide'a göre, alüminyum artık otomobillerde

motor ve tekerlek üretiminde kullanılan önde gelen malzemedir. Audi, yaklaşık 20 yıldır A8 modeli için tamamen alüminyum bir yapı üretiyor ve sektördeki diğer şirketler de aynı şeyi yapmaya başlıyor. Şu anda Ford, Kuzey Amerika'nın en çok satan aracı olan F-150 kamyoneti için tamamen alüminyum bir yapı geliştiriyor (CFS, 2017). Otomobil endüstrisinde alüminyumun yoğun olarak sektörde yer bulmasını ilk olarak Audi'nin 1994 A8 modeliyle başladı. Model 3 o zamandan beri standart tüketici otomobil üreticileri, araçlarında kullanılan alüminyumu güçlendiriyor ve öncelikle alüminyum esaslı araç gövdelerine geçiş yapmaya başlıyor. Ford, 2015 yılında alüminyum gövdeli bir F-150 piyasaya sürmeyi hedefleyerek otomobil gövdesi için alüminyum kullanımında öncülerden biri haline geldi. Gövdeyi çelikten alüminyuma değiştirmenin otomobilin ağırlığını yaklaşık 700 pound veya Mevcut araç ağırlığının yüzde 15'i, bu da yakıt ekonomisini yüzde 25'e kadar artıracaktır. Araçtaki azaltılmış ağırlık aynı zamanda çekme, hızlanma ve durma yeteneklerini de geliştirerek, onu çelik tabanlı muadilinden çok daha verimli bir araç haline getiriyor. F-150, Kuzey Amerika'da en çok satan otomobilin yanı sıra Amerikan kamyonet satışlarında tartışmasız lider olduğundan, diğer büyük otomobil imalatçılarının da aynı şeyi izlemesi ve araçlarının gövdesine daha fazla miktarda alüminyum parça eklemesi muhtemeldir. Araç gövdesinde çelikten alüminyuma Ford'dan daha fazla bir geçiş, alüminyum talebinin önümüzdeki yıllarda yüzde 40'a kadar artmasına yardımcı olabilir. Alüminyum, günümüz araçlarında çeliği değiştirirken araştırmalara göre yılda yaklaşık 44 milyon ton CO2 emisyonu tasarrufu sağlayacaktır ve araçlarda kullanılan alüminyumun yaklaşık yüzde 90'ı ürün ömrü sonunda geri dönüştürülebilir. ABD'de otomotiv endüstrisinin büyümeye devam etmesi ve alüminyumun bu cazip pazarda giderek daha önemli bir rol oynaması kaçınılmaz hale gelmiştir. Bir Alcoa çalışmasının sonuçları, araç ağırlığındaki her yüzde on azalmanın yakıt ekonomisinin yüzde beş ile yedi arasında artabileceğini göstermiştir. Ayrıca, otomobil müşterilerinin yüzde 83'ü yakıt açısından verimli bir araç için daha fazla harcama yapmaktan kaçınmamaktadırlar. Bu sonuç da otomotiv üreticilerinin hafif ağırlık için yapılan çalışmalara daha fazla odaklanmaya motive ediyor.



Şekil 1.1. Alüminyum güç aktarma bileşenleri basınçlı döküm pazar analizi (Filho ve Wili, 2016)

1.4. Otomotiv Endüstrisinde Basınçlı Döküm Kullanımı

Alüminyumun yüksek hızlarda ve diğer metallere göre düşük maliyetler ile kompleks parçaların üretimini, alüminyumun son 25 yılda çok önemli bir role sahip olmasındaki en önemli faktörlerden biridir. Makinele tonaj boyutlarındaki iyileştirme çalışmaları, döküm bilgisi ve döküm hatalarını iyileştirme çalışmaları, kalıp malzemeleri ve geliştirilmiş alaşımlar, günümüzde alüminyum dökümlerin kullanılmasının artışıdaki önemli parametrelerdir.

Çizelge 1.1. Basınçlı dökümün diğer döküm yöntemleri ile karşılaştırılması
(Chinasavvy, 2021)

	Gravite Kalıp Döküm	Alçak Basınçlı Döküm	Yüksek Basınçlı Döküm	Kum Kalıba Döküm
Ağırlık	0,01 kg - 50 kg	1 kg - 70 kg	0,01 kg - 30kg	0,1 kg - 500 kg
Kalıp Maliyeti	Orta	Orta	Yüksek	Düşük
Değişiklik Maliyeti	Orta	Orta	Yüksek	Düşük
Dizayn Esnekliği	Yüksek	Görece yüksek	Görece yüksek	Çok yüksek
Minimum Kesit Kalınlığı	3 mm - 4 mm	3 mm - 4 mm	0,8 mm – 1,5 mm	4 mm - 6 mm
Ölçüsel Hassasiyet	Yüksek	Yüksek	Çok yüksek	Orta
Yüzey Kalınlığı	≥ 3,2 Ra	≥ 3,2 Ra	≥ 1,6 Ra	≥ 6,3 Ra

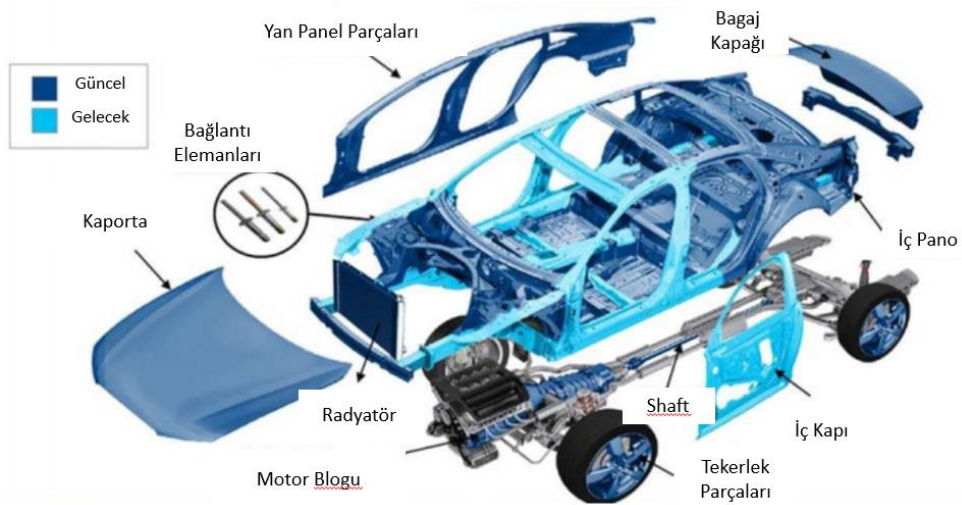
Döküm, otomotiv endüstrisi ve diğer tüm üretim tekniklerinden farklı uygulamalar için daha geniş bir şekil ve bileşen yelpazesi sunan verimli, ekonomik bir süreçtir. Parçalar uzun hizmet ömrüne sahiptir ve çevreleyen parçanın görsel çekiciliğini tamamlayacak şekilde tasarlanabilir. Otomotiv parça tasarımcıları, alüminyum basınçlı döküm parçaları belirterek bir dizi avantaj ve fayda elde edebilir.

- Yüksek Hızlı Üretim- Pres döküm, diğer birçok seri üretim prosesinden daha yakın toleranslarda karmaşık şekillere sahip otomotiv parçaları üretebilir. Çok az işleme gerekmede veya hiç işleme gerekmemektedir ve kalıplar tamir edilmeden önce binlerce aynı otomotiv basınçlı döküm üretilebilir.
- Boyutsal Doğruluk Ve Kararlılık- Döküm, yakın toleransları korurken dayanıklı ve boyutsal olarak kararlı otomotiv parçaları üretir. Ayrıca ısıya dayanıklıdırlar.
- Mukavemet Ve Ağırlık- Pres döküm otomotiv parçalarının ince duvarlı dökümleri, diğer döküm yöntemleriyle mümkün olanlardan daha güçlü ve daha hafiftir. Ayrıca, pres dökümler birbirine kaynaklanmış veya birleştirilmiş ayrı parçalardan oluşmadığından, otomotiv bileşenlerinin pres dökümden sonraki gücü birleştirme işleminden ziyade alaşımın gücüdür.

- Çoklu Bitirme Teknikleri- Pres döküm otomotiv parçaları, pürüzsüz veya dokulu yüzeylerle üretilebilir ve bunlar, minimum yüzey hazırlığı ile kolayca kaplanır veya bitirilir (Karaçalı, 2009).

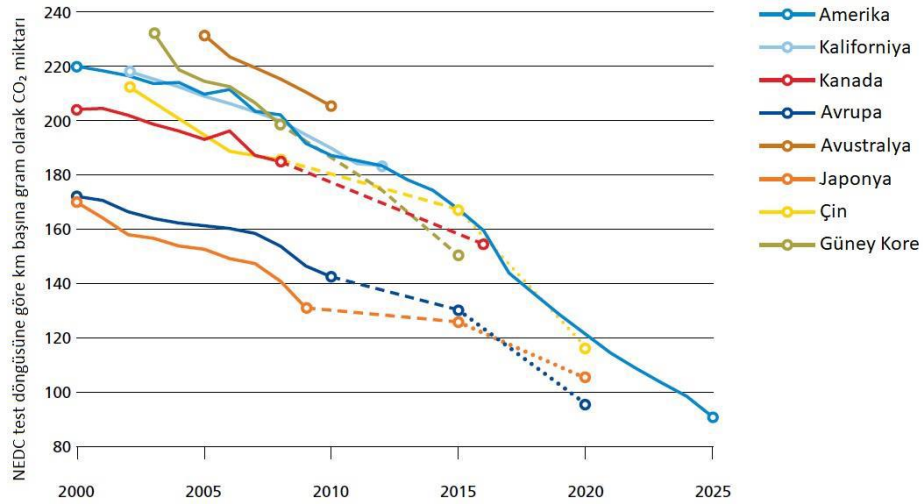
1.5. Otomotiv Endüstrisinde Alüminyum Alaşımlarının Yeri ve Önemi

Alüminyum alaşımlarının tipik özellikleri düşük özgül ağırlığa ek olarak, iyi korozyon direnci, geri dönüşüm kolaylığı, yüksek elektrik iletkenlik, iyi termal iletkenlik ve bu avantajlarla manyetik olmayan özellikler, alüminyumun çeşitli uygulamalarda kullanılmasını arttırmaktadır. Kuzey Amerika ve Avrupa'da alüminyum alaşımı levhalar 2000'den 2002'ye kadar hızla benimsendi ve şimdi seri üretilen modellere uygulanıyor. Ek olarak, ağırlık düşürmek ile başa çıkmak ve güçlendirilmiş çarpışma güvenliği düzenlemeleri, yüksek mukavemetli çelik levhalar ve alüminyum alaşımlı levhaların en uygun yerleşimini bulmak için çalışılıyor (Rooy ve Kaufman, 2004). Japonya'da 1985 yılında alüminyum alaşımlı davlumbazlar Mazda RX-7®'ye ilk kez uygulandı ve 1990'ların ilk yarısında alüminyum kullanımı dış paneller ağırlıklı olarak spor otomobillerde ve lüks arabalarda ilerledi. Son yıllarda seri üretilen araçların sayısı ve uygulanabilir parça sayısındaki artışla beraber alüminyum alaşımlar iyice benimsenildi. Örneğin bagaj kapakları, arka kapılar ve tavanlar. Çin'de, övünen dünyanın en büyük otomotiv üretim hacmi, güçlendirilmiş yakıtın arka planına karşı ağırlığın azaltılmasına doğru bir verimlilik düzenlemesine ihtiyaç olduğunu belirtiyor.



Şekil 1.2. Otomobillerde kullanılan mevcut alüminyum ve 2025 yılına kadar alüminyum bazlı olması beklenenler (CFS, 2017)

Otomotiv endüstrisi şu anda performansı artarken yakıt ekonomisini aynı anda azalışını hızlandırıyor bu durum da ürünlerin maliyetini azaltacaktır. Bu endüstri yenilik, magnezyum ve alüminyum alaşımları üzerine ilerlerken daha hafif ve daha verimli araçlarda yeni bir çağın başarılmasında kilit malzemeler haline geldi. Petrol türevi yakıtların endüstri devrimin başlamasından itibaren kullanımı nedeniyle düzenli olarak azalması bu enerji kaynağının daha verimli ve tasarruflu şekilde kullanılması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Otomotiv endüstrisinin bu yakıt türüne %100 şekilde muhtaç olması otomotiv sektörünün karbondioksit emisyonu ile küresel ısınmaya olan katkısı da göz önüne alındığında hükümetlerin ve dünya çapındaki bazı organizasyonların getirdiği ulusal ve uluslararası düzenlemeler otomotiv sektöründe ilk ve en önemli olarak araçların ağırlıklarının hafifletilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. 2010-2020 yılları arasında Avrupa'daki araçlardan kaynaklanan ortalama CO₂ emisyonları 142 g/km'den 95 g/km'ye (yılda %3,9) düşmektedir. Şekil 1.3. çeşitli ülkeler için CO₂ emisyonu hedeflerini göstermektedir.



Şekil 1.3. Ülkelerin CO₂ emisyon hedefleri (EAA, 2012)

BÖLÜM 2

BASINÇLI DÖKÜM YÖNTEMİ

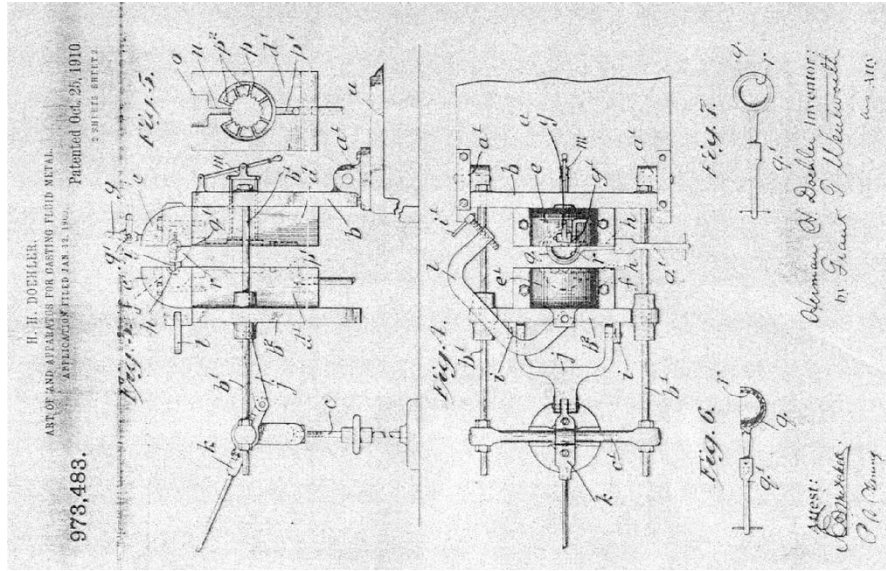
Basınçlı döküm sıvı metalin belirli bir hız ve basınçta döküm kalıbının içine enjekte edilerek kalıbın içerisindeki figürün şeklini almasıyla oluşan ve yüksek basınç altında katılaşmasıyla son bulan üretim şeklidir. Basınçlı döküm geometrik şekilli parçaların yüksek hassasiyet toleransları dahilinde üretilebilir olması ve aynı zamanda hızlı çevrim süreleriyle seri imalat şartlarına uygun olması günümüzde giderek yaygınlaşan üretim şeklidir. Bir parçayı üretmek için basınçlı döküm prosesinin seçimini birçok faktör etkiler. En önemli proses şunlardır;

- Döküm işlemiyle ilgili hususlar: akışkanlık, direnç gereksinimleri sıcak yırtılma, büzülme eğilimlerinin en aza indirilmesi
- Döküm tasarımıyla ilgili hususlar: açılar, duvar kalınlığı, iç geçişler
- Mekanik özellik gereksinimleri: mukavemet ve süneklik, sertlik, yorulma mukavemeti, tokluk, darbe mukavemeti, spesifikasyon sınırlar
- Fiziksel özellik gereksinimleri: elektriksel ve termal iletkenlik, özgül ağırlık, genişleme özellikleri
- Proses gereksinimleri: işlenebilirlik, sert lehimlenebilirlik, kaynaklanabilirlik, empenye ve kimyasal bitirme
- Servis gereksinimleri: basınç sızdırmazlığı, korozyon direnci, aşınma direnci, yüksek sıcaklık dayanımı, boyutsal ve termal kararlılık
- Ekonomi: hacim, üretkenlik, süreç verimi, malzeme maliyetleri, takım maliyetleri, işleme maliyeti, kaynak ve ısı işlem (Rooy ve Kaufman, 2004).

Birçok alüminyum alaşımlı döküm, herhangi bir method ile üretilebilir. En önemli kriterler boyutlar, tasarım özellikleri, malzeme özelliği gereksinimleri ve üretilecek parçanın belirlen proses limitlerinin aralığında üretiminin yapılabilmesidir.

2.1. Yüksek Basıncılı Döküm

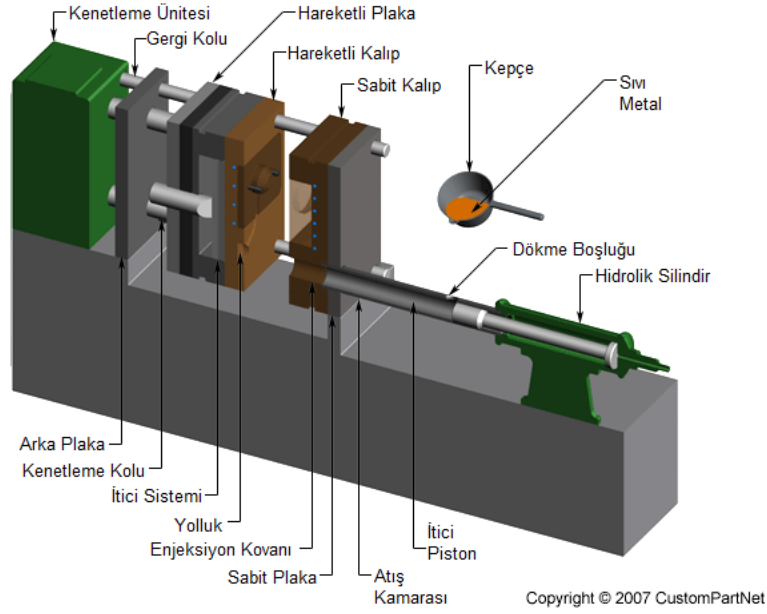
Döküm işlemleri, metal eşyaların imalatı için en eski yöntemler arasındadır. Çoğu erken döküm prosesinde (çoğu günümüzde hala kullanılmaktadır), katılaştıktan sonra ürünü çıkarmak için kullanılan kalıp ya da formun açılması gerekmektedir. İhtiyaç bileşenleri üretmek için kullanılabilen kalıcı kalıp sonsuz miktarlar, bariz alternatifti. Orta Çağ'da zanaatkarlar kalaylı eşya imalatında demir kalıpların kullanımını mükemmelleştirdiler. Ayrıca ilk bilgi Johannes Gutenberg tarafından bir icat geliştirdiğinde meydana geldi. Johannes Gutenberg taşınabilir tip üretim yöntemiyle (kalıpların taşınması) yüksek adetli üretim yapması devrim niteliğinde olmuştur. Yüzyıllar boyunca kalıp metal süreçleri gelişerek devam etti. 19. yüzyılın sonlarındaki süreçlerde metalin metal kalıplara enjekte edildiği baskı türü üretmek için basınç altında geliştirildi. Bu gelişmeler Ottmar Mergenthaler tarafından linotip makinesinin yaratılmasında doruğa ulaştı. H. H. Doehler, yüksek hacimlerde metal bileşenlerin üretiminde kalıp dökümü geliştirmekle tanınır. Şekil 2.1 de gösterilen, ilk üretimi için 973.483 patenti ile dosyalanan döküm makinesi diyagramlarıdır.



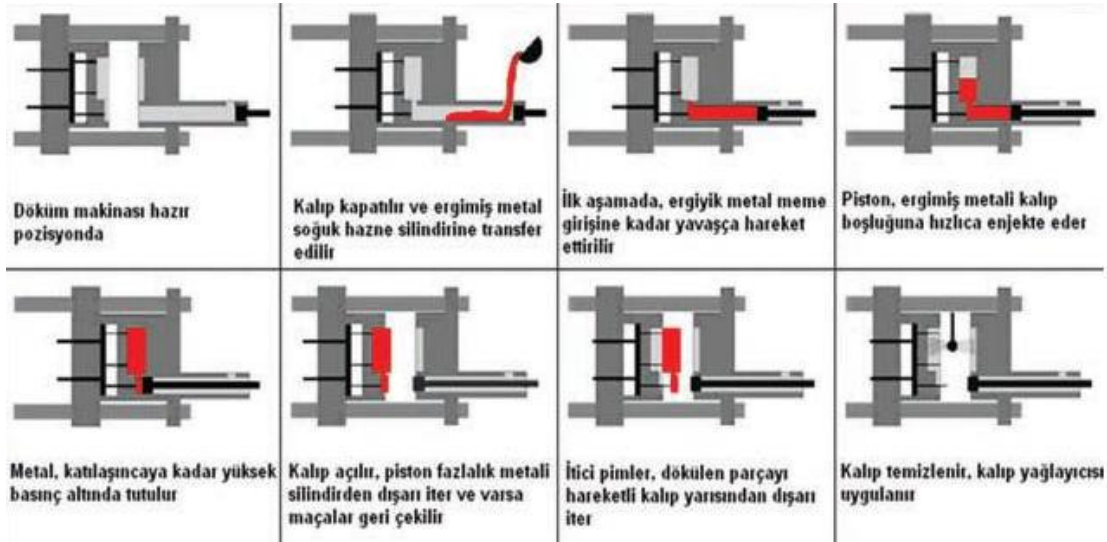
Şekil 2.1. Doehler'in patentli yüksek basınçlı döküm makinesi (Vinarcik, 2002)

Başlangıçta dökümde sadece çinko alaşımları kullanıldı. Diğer metallere yönelik talepler, yeni kalıp malzemelerinin ve proses çeşitlerinin geliştirilmesine yol açtı. 1915 yılına kadar alüminyum alaşımlar büyük miktarlarda döküm ediliyordu. Kalıp dökümün

geliştirilmesinde son yüzyılda çok ilerleme kaydedilmiştir (CFS, 2017; European Aluminium Association, 2002). Yüksek basınçlı dökümde 25 kg 'ya kadar olan parçalar seri üretim koşullarına uygun olarak hızlı bir şekilde üretim yapabilir.



Şekil 2.2. Soğuk kamaralı döküm makinesi kesiti (Die Casting, t.y.; Şirin, 2010)

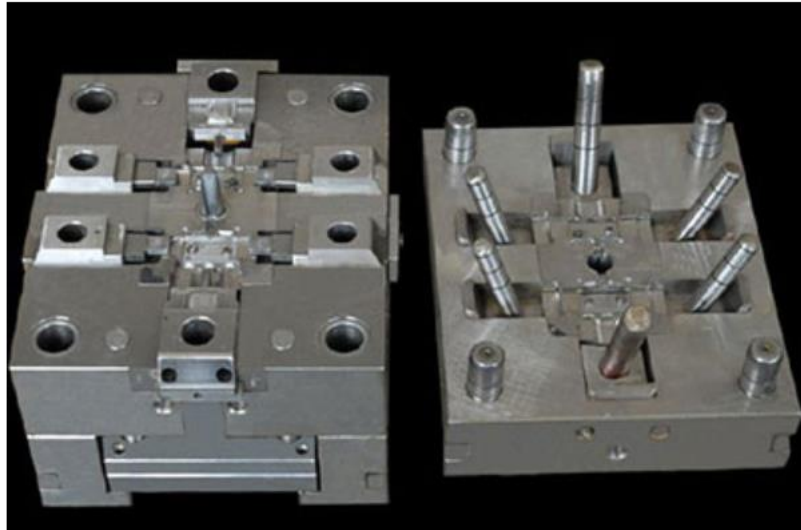


Şekil 2.3. Soğuk kamaralı döküm makinesi proses çevrimi (Vanlı, 2007)

Şekil 2.3 de yüksek basınçlı alüminyum enjeksiyon prosesinin aşamalı olarak görsellerle anlatımı yapılmıştır. Ergimiş metal hazneye dökülür. Ergimiş metal

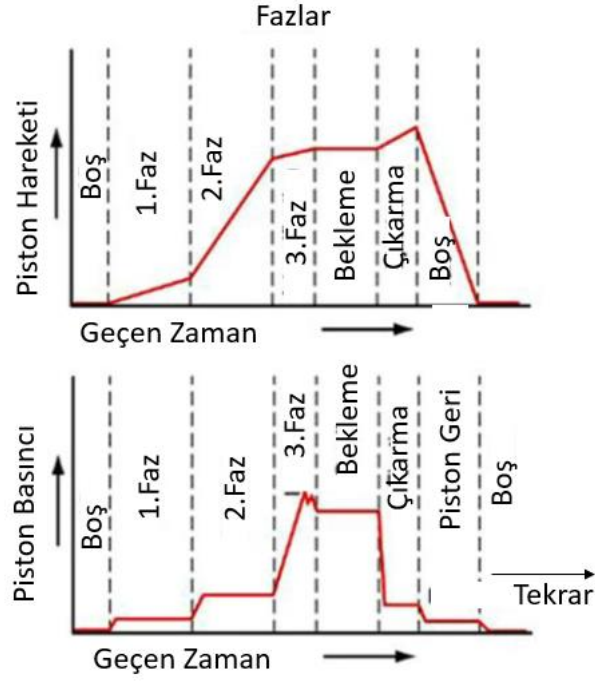
döküldükten sonra piston sayesinde makinenin içine doğru yavaşca iletilir bu aşama 1.faz olarak adlandırılır. Bu aşamadan sonra yavaş giden sıvı metal hızlandırılarak kalıbın içindeki figürün şeklini alır bu hızlanma aşaması 2.faz olarak adlandırılır. 2.fazdan sonra çekirdeğin şeklini alan ergimiş metal yüksek basınçlarda tutulur ve kalıp açılır. Kalıp açıldıktan sonra parçanın sıcaklığı 200-250°C e kadar düşmüş ve katılaşmış olur. Kalıbın sabit ve hareketli tarafı vardır. Hareketli tarafta kalıp iticileri bulunur ve iticiler parçayı dışarı doğru iter. Bu aşamada robot veya manuel yöntemle parça kalıptan alınır. Kalıptan alındıktan sonra yağlama ve sulama prosesleri yapılır çünkü kalıbın çok sıcak olması istenmez eğer sulama veya yağlama operasyonu yapılmazsa bir sonraki dökümde parça kalıbın içine yapışabilir. Bu durumda kalite olarak görsel hatalar meydana gelecektir. Bu nedenle kalıp temizlenir yani yağlama prosesi gerçekleşip kalıp kapanır. Seri üretim bu şekilde devam eder. Parçanın boyutuna ve ağırlığına göre çevrim süreleri farklılık gösterebilir. Ortalama olarak çevrim süreleri 20-100 saniye aralığında devam eder.

Yüksek basınçlı döküm yöntemi yukarıda bahsedildiği gibi kalıp sayesinde yapılır.



Şekil 2.4. Yüksek basınçlı döküm kalıbı (Karaçalı, Smarttech, 2019)

Şekil 2.4 de yüksek basınçlı kalıp görseli vardır. Görselin sağ tarafındaki kısım hareketli kısımdır. Sol taraftaki kısım sabit kısımdır. Parça enjeksiyon bittikten sonra kalıbın bir tarafında kalır ve itici sayesinde kalıp parçadan ayrılır. İticilerin olduğu kalıp hareketli kalıptır.



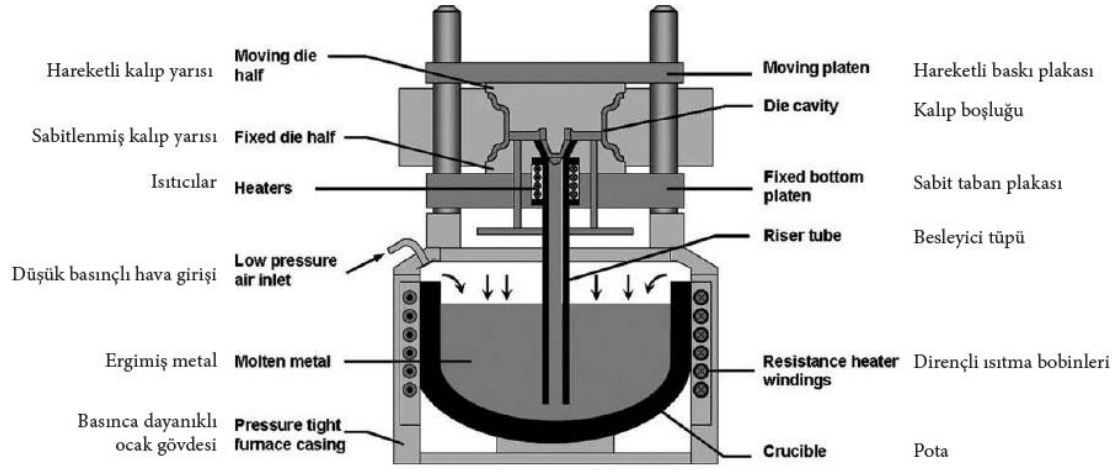
Şekil 2.5. Şematik piston hız-zaman ve basınç-zaman eğrileri (European Aluminium Association, 2002)

- Modern bir HPDC makinesindeki basınç döngüsü, tüm aşamalarda yakından kontrol edilir.
- Doldurma süreleri tipik olarak 10-25 milisaniye civarındadır.
- Kalıp doldurulduktan sonra, katılaşma tamamlanana kadar bir akümülatör kullanılarak döküm üzerinde 70 MPa'yı aşabilecek basınçlar korunur (üçüncü aşama, sağda)
- Yüksek düzeyde otomatik çalışma potansiyeli ile yüksek basınçlı döküm işlemi, son derece yüksek üretkenlik seviyelerine sahiptir.
- Aşağıda gösterildiği gibi her aşamada ihtiyaç duyulan piston hızına bağlı olarak çoklu hidrolik devreler kullanılır (European Aluminium Association, 2002).

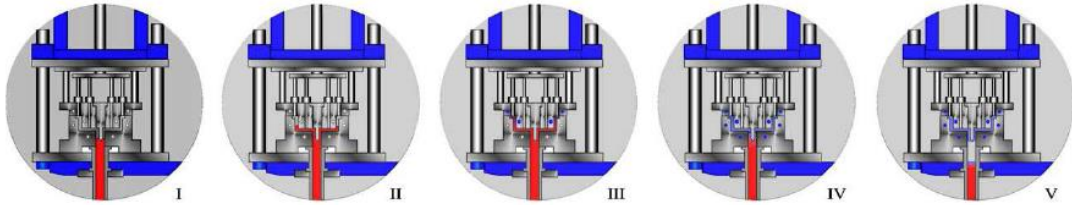
2.2. Alçak Basınçlı Döküm

Alçak basınçlı döküm yöntemi çoğunlukla binek otomobillerdeki alüminyum jantlar için iyi bilinen bir döküm işlemidir. Bu döküm yöntemi ayrıca ötektik üstü alüminyum alaşımlarında büyük V motor bloklarının üretiminde kullanılmış olup motor

çevrimleri için hava soğutmalı silindir kapaklarının dökümünde de kullanılır. Kalıbın enjeksiyon işlemi, döküm fırınındaki basınç ayarlanarak kontrol edilir. Sıvı metal, fırının eriyik yüzeyinin altında olan yükseltici borudan akar ve kalıbı aşağıdan yukarıya sıvı metal ile düzgün bir şekilde doldurur. Bu sayede kalıbın içinde hava olmaz ve yüksek basınçlı enjeksiyon yöntemindeki gibi porozite durumu çok sık yaşanmaz. Enjeksiyon işleminden sonra katılaşma, kalıbın karşı ucundan tüp yönünde başlar. Döküm fırınının basıncının arttırılması, iyi besleme garanti edilir. Katılaşma sırasında dökümün büyük eriyik hacmine yükseltici boru ile bağlanması nedeniyle yavaş bir şekilde olur ve yüksek basınçlı enjeksiyon yöntemine göre çevrim süreleri uzundur (Bonollo ve Timelli, 2014).



Şekil 2.6. Alçak basınçlı döküm makinesinin şematik gösterimi (Butler, Timelli, Battaglia ve Bonollo, 2019)



Şekil 2.7. Alçak basınçlı döküm prosesinin işlem sırası (Balkon ve Yavuz, 2019)

Alçak basınçlı döküm prosesinin sırayla işlem sırası Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

Alçak basınçlı bir kalıp döküm makinesinin taslağı, Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Sıvı metal, izolasyonlu bekleme potası ya da basıncın düşmesini engelleyen izolasyonlu bir ocakta bulunur. Besleyici tüp adı verilen refrakter astarlı bir tüp, alt ucu erimiş metale

daldırılmış ve üst kısmı fırın kapağı ile kapatılmış olarak fırının içinden dikey olarak geçer. Kalıp makineye, ocağın üzerinde olacak şekilde montajı yapılır. İşlemin sırası Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Fırın kuru hava profiline sahip metalde, metal boru benzeri profiller metal borulara benzer küçük türbülanslar (II) olarak ortaya çıkarken, kalıba neden olan hava deliklerden ve kalıptan çıkar. Son işlem, kalıptan (III'ler) gelen referans tüpün ağzına (IV) geri döndüğü için bir soğutma olacaktır. Dökümün katılaşması, metal, gevşetilerek fırına döndürülerek hava (V) oluşturulması; kalıplama, döküm ve döküm tekrarlanır. Bazen metal akışını sağlamak için boşluk boşluğuna uygulanır (Bonollo ve Timelli, 2014). Metal üzerindeki atmosferik basınç daha sonra erimiş metali kalıbın dibine doğru zorlar ve parçayı doldurur. Genellikle 0,3-1 MPa arasında olan karşı basınç, kalıp dökümü ve katılaşma sırasında sıvıya etki ederek nihai döküm kalitesini iyileştirir ve gözenek oluşumunu engeller. Çoklu boşluklar ve çoklu besleme boruları kullanılabilir. Kalıp boşluğunu doldurmak için basınç kullanmak, kalıba kalıcı kalıp dökümüne göre daha hızlı doldurmayı sağlar. Erimiş metal çelik kalıptan geçerken kalıp içindeki sıcaklığını kaybeder ve metal ne kadar sıcak olursa doldurulabilecek kesit kalınlığı o kadar ince olur. Bazı ürünler için çok karmaşık bilgisayar kontrollü, düşük basınçlı makineler kullanılmaktadır (Buchner ve Glosner, 2015). Düşük basınçlı döküm, genellikle kritik gereksinimleri olan parçalar için kullanılan gelişmiş bir işlemdir. Bu, kritik havacılık dökümleri veya karmaşık iç geçitler nedeniyle genişleyen göbekler gerektiren silindir kafaları, alt yağ karterleri ve manifoldlar gibi birçok otomotiv motor bileşeni için geçerlidir. Düşük basınçlı dökümde genişleyen maçaların kullanılması, bu prosesin yüksek basınçlı proseste üretilmeyen parçaların dökümünü yapmasına olanak tanır. Bu parçaların çoğu, boyutları, karmaşıklıkları, hacimleri ve ürün gereksinimleri nedeniyle düşük basınçlı döküm işlemiyle üretilir. Yerçekimi ve düşük basınçlı yarı kalıcı döküm, dünya çapında bu karmaşık otomotiv bileşenlerini üretmek için kullanılan başlıca yöntemlerdir. Düşük basınçlı döküm için kalıplar da sertleştirilmiş çelikten yapılır, ancak basınçlı erimiş metalin döküm sistemi içinde tutulmasına izin vermek için daha karmaşık tasarım ve mühendislik gerektirir. Kalıplar, erimiş metalden korunmak ve ısı giderme oranını kontrol etmek için seramik kaplanmalıdır. Ayrıntılı metal besleme sistemleri ve erimiş metal banyosuna bağlantıların yanı sıra bir vakum veya geri basınç kullanarak kalıpta contalar gereklidir. Bu özellikler, kalıcı kalıplara göre kalıpların maliyetini ve teslim süresini artırmaktadır. Bununla birlikte, kalıplar hala yüksek basınçlı dökümde

kullanılanlardan daha ucuzdur. Düşük basınçlı proses döküm makineleri de çok karmaşık hale gelebilir ve karmaşık basınç veya vakum kontrol sistemleri için daha yüksek sermaye yatırımı gerektirebilir. Bu yüksek maliyetler, üretilebilecek daha yüksek karmaşık döküm değerlerinin yanı sıra daha yüksek üretim hızları ve geliştirilmiş döküm kapasitesi ile dengelenir ve yüksek basınçlı döküm için kullanılan makinelere göre çok daha düşük maliyetlidir (Campbell, 2004).

2.3. Basınçlı Döküm Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

2.3.1. Basınçlı Döküm Yönteminin Avantajları

Basınçlı döküm; Hassas toleranslar, düşük talaşlı imalat ve malzeme maliyetleri, seri üretim şartlarına uygun olması ve kısa çevrim sürelerinde parça üretilebilmesi gibi nedenlerle ticari kullanım oranları yüksek bir tekniktir. Avantajları kısaca özetlenmiştir;

- Detaylı geometrik şekillere sahip ürünler üretilebilir.
- Yüksek tolerans ve yüksek hassasiyete sahip parçalar dökülebilir.
- Çevrim süresi kısadır.
- Yüzey kalitesi için ek işleme gerek kalmadan üretim yapılabilir.
- Mekanik özellikler açısından hafif ağırlıklarda dayanıklı parçalar üretilebilmektedir.

2.3.2 Basınçlı Döküm Yönteminin Dezavantajları

Basınçlı dökümün dezavantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Günümüz teknolojisindeki ilerlemeye rağmen üretilecek parçanın boyutu talebe bağlı olmayıp genellikle orta hacimli parçalar üretilebilmektedir.
- Üretilecek parçanın kalıbının ve yolluk sisteminin tasarımı zordur. Belirli bilgi ve deneyim gerektirir
- Üretilecek kalıbın maliyeti ve enjeksiyon makinesi maliyetleri yüksektir.
- Tüm alaşımlar kullanılamaz. Alüminyum alaşımlarının sınırlamaları vardır

BÖLÜM 3

BASINÇLI DÖKÜMDE KALIP TASARIMI VE POROZİTE PROBLEMİ

Bu çalışmada bir otomotiv amortisör takoz parçasının 4 farklı kombinasyonda çeşitli yolluk ve hava cebi tipleri SOLIDWORKS programıyla çizimi yapılmış yüksek basınçlı alüminyum enjeksiyon yöntemiyle ISCATS döküm simülasyonu ile simüle edilmiş ve simülasyon sonuçları sonucunda optimum yolluk tasarımı belirlenip 1 gözlü bir enjeksiyon kalıp üretimi yapılarak yüksek basınçlı döküm hattında uygulanmıştır.

3.1. Malzeme

Bu çalışmada döküm malzemesi EN-AB 46000(AlSi9Cu3(Fe)) alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Çizelge 1.1'de bu çalışmada kullanılan AlSi9Cu3(Fe) malzemesinin kimyasal bileşimi verilmiştir.

Çizelge 3.1. AlSi9Cu3(Fe) alaşımının kimyasal bileşimi

ALAŞIM		ELEMENTLER										
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti
EN AB 46000	MİN	8,0	0,6	2,0		0,2						
	MAX	11,0	1,1	4,0	0,6	0,6	0,2	0,6	1,2	0,4	0,2	0,2

Alüminyum EN AB 46000 alaşımı çok iyi döküm kabiliyetine sahiptir. Yüksek basınçlı döküm için uygundur ve döküm sonrası işleme prosesinde işlenebilirliğe sahiptir. İnce duvarlı ve karmaşık dökümlerin yanı sıra hacimli parçaların dökümünde yüksek basınçta porozite açısından daha iyi bir döküm özelliğine ve 3.fazdaki uygulanan basınca dayanımı yüksektir. Yaşla sertleştirilmemiştir.

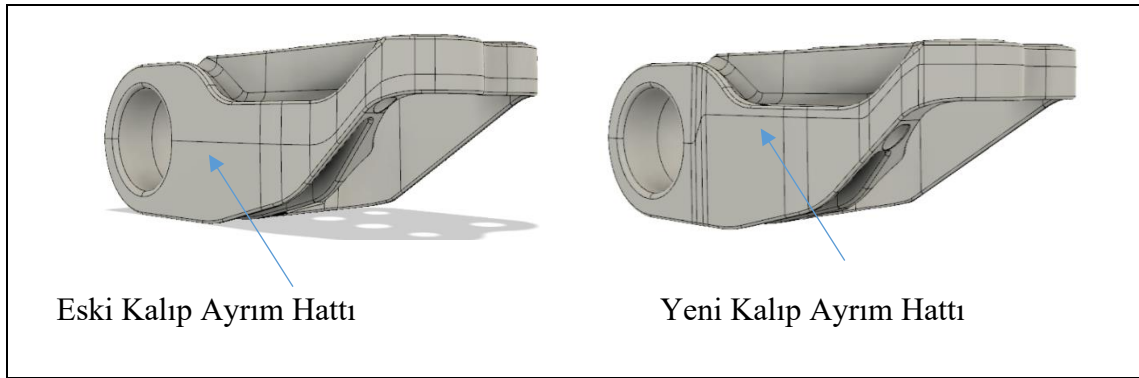
3.2. Ürün Tasarımı

Ürün maliyeti, üretilebilirlik ve kalite ürün tasarımıyla yakından ilişkilidir. Ürün tasarımı yaparken dikkat edilecek önemli noktalar vardır. Kalifiye bir üretici ürün tasarımıyla beraber hurda oranını azaltabilir ve ideale yakın verimliliği sağlamak için tasarım sürecini optimize eder. Parçanın kalitesi ve maliyeti ürün tasarımını değiştirmeden asla daha fazla iyileştirilemez. Ürün maliyetinde büyük düşüşler ancak bilinçli tasarım çalışmalarıyla elde edilebilir. Tüm üretim yöntemlerinin sınırlamaları vardır, yüksek basınçlı döküm dahil. Yetenekli tasarımcılar ve ürün mühendisleri seçilmiş ürün proseslerinin avantajı sağlamak için dizayn yaparken ayarlamalar ve dizaynı geliştirirler. Yüksek basınçlı alüminyum enjeksiyonda aynı veya benzer ürün üretilmeyecekse ürün tasarımı aşamasında belirli kriterler vardır ve bu kriterler döküm kalitesini geliştirir. Bu kriter iyi belirlenmiştir ve aşağıdaki tasarım hususlarını içerir:

1. Tutarlı bir duvar kalınlığının korunması;
2. Yüzeyden yüzeye kademeli geçişler kullanarak
3. Büyük metal kütlelerin ortadan kaldırılması
4. Metal akışına yardımcı olmak için köşeler, dolgu ve yarıçaplar kullanmak.
5. Metal akışını kolaylaştırmak için nervürlerin kullanılması.
6. Yeterli bir draft açısının korunması.

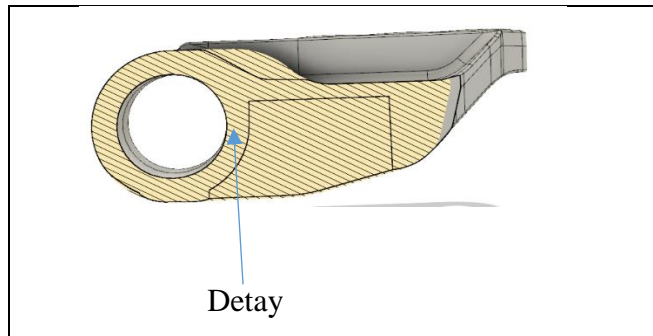
Bu altı genel yönergeyi izleyerek, üretimin çoğunluğu tasarımdan kaynaklanan problemler önlenir (NADCA, 2016). Akış ilk maddede belirtildiği gibi uniform bir yapıya sahip olmazsa enjeksiyon esnasında alüminyum enerji kaybedebilir, porozite veya soğuk birleşme, donma gibi problemler ortaya çıkarabilir. Yüzeyden yüzeye geçişler arasında geçişler eğimli ve açıları düşük olmalı ki alüminyum enjeksiyon esnasında laminer bir akış sağlayıp türbülans yaşamamalı. Büyük metal kütleleri veya büyük boşluklarda alüminyumun hızında azalma yapabilir. Akış belirli bir hız ve ivmeye sahipken büyük duvarlara çarparak enerjisini kaybedebilir bu faktörde porozite nedenidir. Metal akışı ince cidarlı yerlerde veya bağlantı yerlerinde laminerliğini koruması için köşeler keskin olmasından çok radüs kullanılması tercih edilir. Genel olarak yukarıda belirtilen kurallar enjeksiyon sırasında akışı laminer tutmak içindir, türbülans yaşamaması ve enerji kaybetmemesi için kullanılan yöntemlerdir. Bir ürünü kalıplama yaparken dikkat edilecek en önemli nokta parçanın kalıplanma esnasında ne tarafının

kalıbın hareketli tarafında ne tarafının kalıbın sabit tarafında olacağını belirlemektir. Belirledikten sonra parçanın geometrisine bağlı olarak figürü fazla olan veya geometrik olarak karmaşık olan taraf kalıbın hareketli kısmında kalması istenir ve enjeksiyon sonrası kalıbın hareketli tarafındaki iticiler sayesinde parçanın üretimi beklenir. Bu aşama başarıyla yapıldıktan sonra ürünün kalıp ayrım hattı belirlenir. Kalıp ayrım hattı parçanın kalıbın açık haldeyken bir tarafında bir figür diğer tarafında ise tamamlayıcı figürünün birleştiği yeridir. Kalıp ayrım hattı belirlenirken parçanın pim, yuvarlak veya detay olduğu kısımlarına denk getirilmesinden kaçınılır bunun en önemli nedeni ise kalıba enjeksiyon yapıldığında enjeksiyonun gideceği yolda akışın düzenini bozacak bir figür olmamasıdır eğer akış enjeksiyon aşamalarını tamamlamadan enerji kaybederse porozite veya soğuk birleşme meydana gelir bu faktörlerde ürün kalitesini etkiler bu da düzgün bir ürün tasarımı yapılmadığını gösterir. Tezin konusu olan üründe kalıp ayrım hattında yaptığımız değişiklik şu şekildedir;



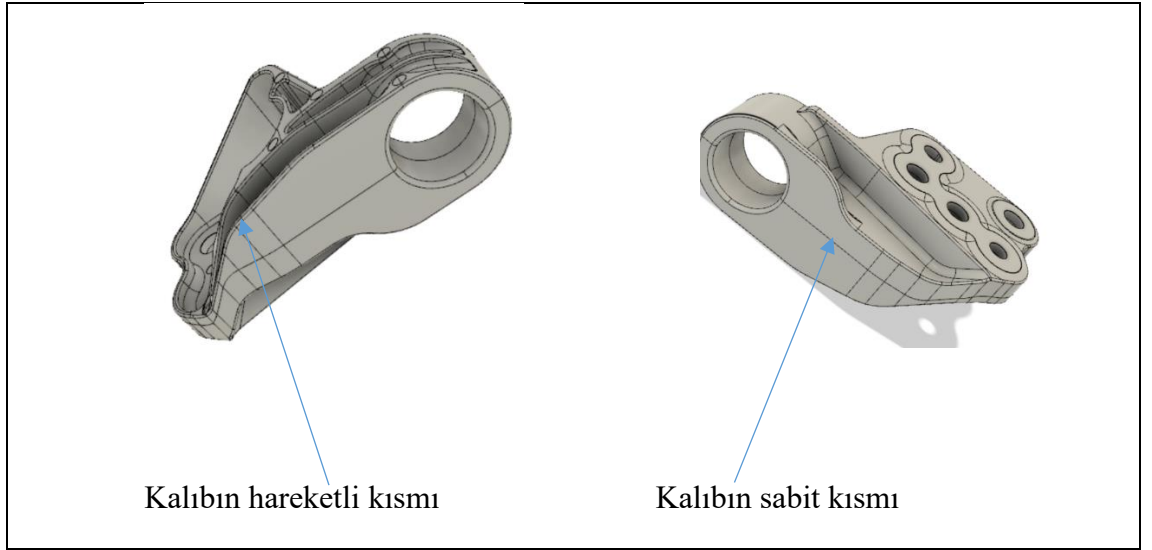
Şekil 3.1. Referans parça kalıp ayrım hattı düzenlemesi

Kalıp ayrım hattını değiştirme nedeni nedir?



Şekil 3.2. Referans parça kalıp ayrım hattı düzenlemesi

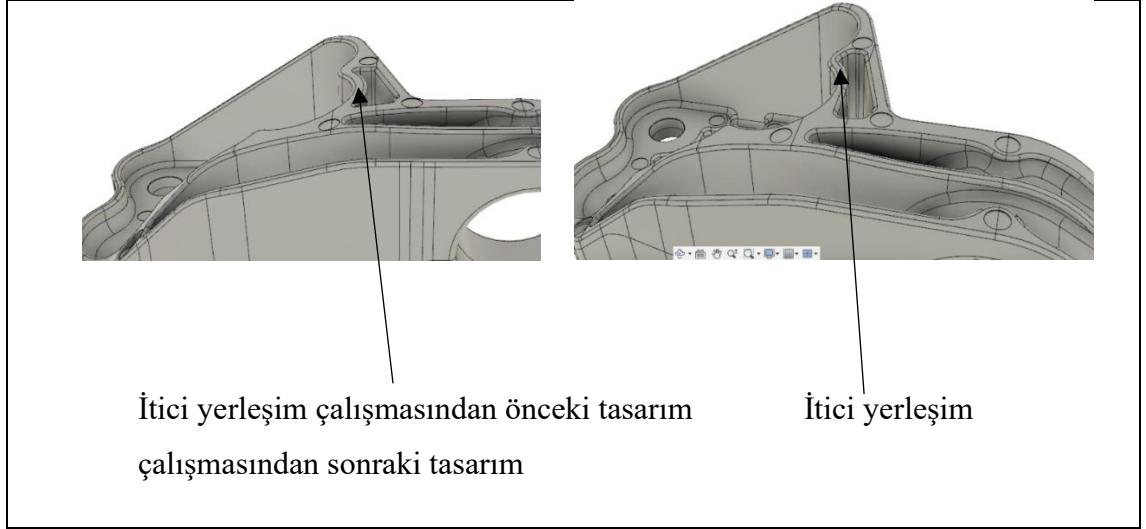
Ok ile gösterilen yerde bir detay var ve kalıp ayırım bu detaya denk gelirse akışın düzeni bozulur enerji kaybeder bunların olmaması için kalıp ayırım hattı değiştirilerek bu problem ortadan kalkmış olur. Uygun bir kalıplama için ise hareketli tarafta kalacak yerin figürü fazla olmalı, sabit tarafta kalacak yerin figürü az olmalıdır ve hareketli tarafta kalacak yer minimum şekilde itici eklenerek kalıptan çıkarılmalıdır.



Şekil 3.3. Referans parça kalıplama çalışması

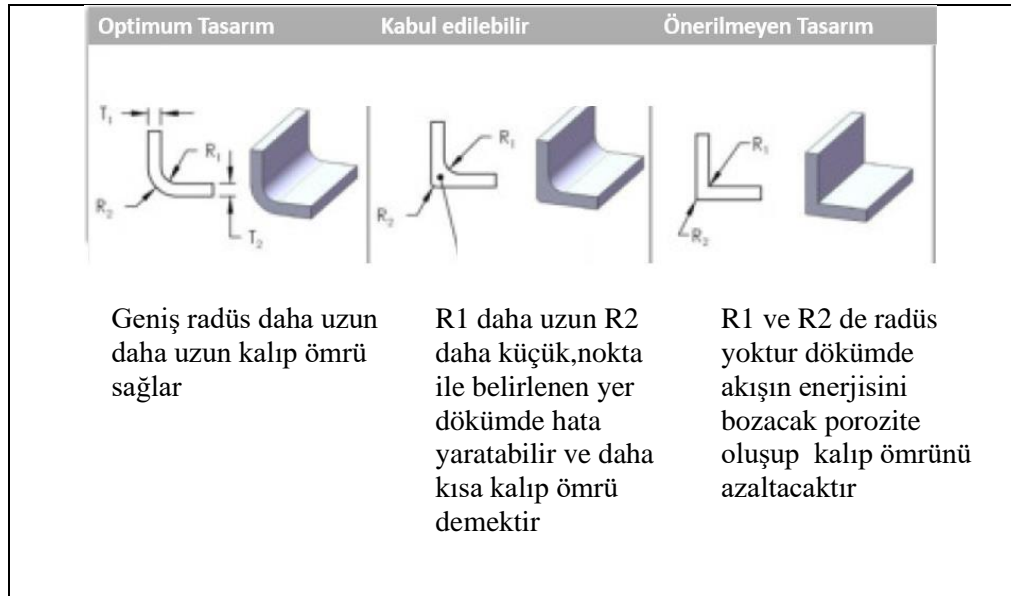
Ürünün kalıp ayırım hattı aşamaları tamamlandıktan sonra düşünülmesi gereken bir diğer konu ise itici yerleridir. İticiler kalıbın hareketli kısmında yer alır ve parçayı enjeksiyon bittikten sonra hareketli kısımdan iterek parçanın uygun bir şekilde kalıptan çıkmasına yardımcı olur. İticiler parçanın dizayn edilecek yerin alanına bağlı olarak değişir. İticinin dizayn edileceği yer düz olmalıdır ve parçanın dışına veya iç tarafına çok yakın olmamalıdır.

İticilerin yerleri parçanın kenarlarına veya köşelerine yakın olursa seri üretim esnasında bulunduğu yeri inceltir ve kalıpta kopmalar, hasarlar meydana getirir.

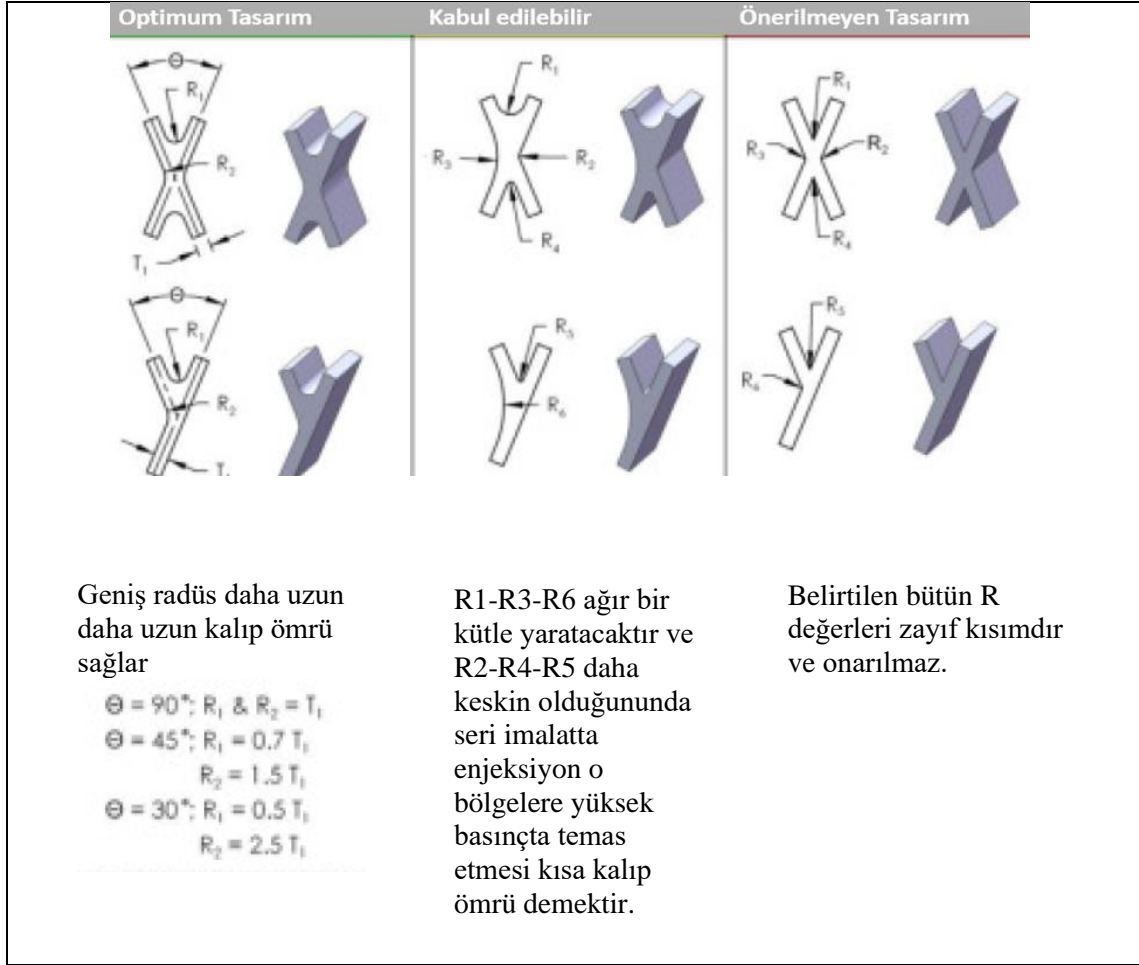


Şekil 3.4. Referans parça itici çalışması

İtici ilk resimde parçanın dış duvarına çok yakın iken yapılan hesaplamalar sonrasında iticinin yeri parçanın soluna doğru yerleştirilmiş ve seri üretim esnasındaki problem önlenmiştir.



Şekil 3.5. Radüs tasarımının parça kalitesine etkisi (NADCA, 2006)



Şekil 3.6. Radüs tasarımının parça kalitesine etkisi (NADCA, 2006)

3.3. Kalıp ve Yolluk Tasarımı

Verimli bir yüksek basınçlı alüminyum enjeksiyon yapmak için en önemli noktalar kalıp ve yolluk tasarımıdır. Düzgün yapılan bir kalıp tasarımı kalıbın uzun ömürlü çalışmasına, makine verimine ve hurda oranının azalmasından büyük öneme sahiptir. Bitmiş yolluk tasarımı eksiksiz bilgi ve düzgün hesaplamalar sayesinde oluşur. Bu hesaplamaları tasarımcılar ve kalıp üretim ustaları kullanarak kalıbı tasarlar ve üretir. Kalıp ve yolluk hesaplamaları kalıbın üretiminde ve tasarımında büyük bir çaba ve zaman harcatmasına rağmen seri üretimde döküm kolaylığı sağlar ve hurda oranının azalmasında çok büyük rol oynar. Örneğin yolluk tasarımı piston boyu ve belirlenmiş vuruş hızı bilinmeden uygun şekilde tamamlanamaz veya istenen dolum zamanı bilinmeden uygun bir şekilde tasarım yapılamaz ve makine kapasitesi ve parça için gerekli kalite kriterleri bilinmeden dolum zamanı belirlenemez. Yukarıda da bahsedildiği gibi bu süreç bir

bütündür hepsi ayrı ayrı incelenmeli,gereklikler nedir belirlenip hesaplamalarla tasarım yapılıp üretim süreci başlatılmalıdır. Proseslerden birinde hata yapılırsa diğerini etkiler ve bu değişim parçanın kalitesine,kalıp ömrüne,makine kapasitesini etkileyip bakım masraflarına kadar etkiler. Yolluk tasarımı yapılırken parçanın kalıba nasıl yerleşimi yapılacağı, yolluğun parçanın hangi bölgesinden giriş yapacağı, hava cebinin veya cilventin nereye ekleneceği,boyutlarının ne kadar olacağı ve geometrileri teker teker hesaplanır.Yolluk tasarımı yapılırken hesaplanması yapılmayan diğer faktörlerde döküm kalitesi için önemlidir (NADCA, 2016). Örneğin kalıp ve yolluk tasarımı başarıyla yapılmış, simülasyon çalışmaları incelenmiş yapılan hesaplamalarla paralel fakat enjeksiyon sonrasında kalıp yağlayıcıları nedeniyle akış soğuk veya sıcak olursa başka bir örnek verecek olursak yine hesaplamalar doğru fakat çevrim zamanı çok uzun veya çok kısa bu faktörde bize verimli ürün vermez kalite hataları(porozite,soğuk birleşme,donma,ölçü hatası) karşımıza çıkarır. Başarılı bir yolluk tasarımı için izlenecek adımlar şunlardır;

1. Döküm kalitesi gereksinimlerini iyi belirlenmeli ve müşteri ihtiyaçlarını iyi kavrayıp tasarıma başlanılmalıdır
2. Amaçlanan akış düzenini iyi belirlenmeli parçaya akışın girdiği yolluk ve hava ceplerinin lokasyonları doğru hesaplanıp simülasyon çalışmaları dikkatlice incelenmelidir. Ürün uniform bir boyuta sahip değilse ve büyük bir ürün ise segmentlere ayırıp yolluk açılarıyla akış belirlenmelidir.
3. Segment hacimleri iyi hesaplanmalı,her segmente gidecek olan akış hızı ve göz doldurma süresi iyi saptanmalıdır.
4. Ürünün üretileceği makine kapasitesi ve parametreleri iyi tanımlanmalıdır. Piston boyutu,makine basıncı,ürüne giriş hızının makine tarafından karşılanıp karşılanmayacağı hesaplanmalıdır. Amaçlanan makine istenilen hızı ve basıncı iyi sağlıyor mu bu soruların cevapları fizibilite aşamasında düşünülmelidir.
5. Her döküm segmenti için akış hızını, giriş hızını, görünen giriş çıkışı,yolluk giriş alanı ve kalınlığını belirleyin. Proses limitlerine göre simülasyon sonuçları ve akış yönü kontrol edilmeli.
6. İstenirse, bir PQ2 geçit analizi yapın.

7. Yolluk sistemini parçaya girecek olan yolluktan başlayıp topuğa göre tasarlanmalıdır. Tasarım parçadan başlar topukta biter.
8. Hava cebi ve çilvent tasarımı yapılmalıdır.

3.3.1. Döküm Kalite Gereklilikleri

3.3.1.1. Yüzey Kalitesi

Döküm kalıbı ve ürün tasarımı yapılırken müşteri ve ürün gereksinimleri iyi incelenip düşünülmelidir. Parçanın fonksiyonel olarak özellikleri nelerdir, nerede çalışacaktır ve hangi şartlarda hangi mukavemet faktörleri öne çıkacaktır bu koşullar dikkatlice düşünülüp ona göre karar verilmelidir. Parçanın yüzey kalitesi ne kadar önemli, soğuk birleşmeye izin veriliyor mu, porozite gereksinimleri neresidir veya porozite şartnamesine göre parçanın bir kriteri var mıdır bu tarz sorulara iyi cevap vermek için iyi bir kalıp tasarım fizibilitesi yapılmalıdır. Fizibilite çalışması yaptıktan sonra DFMEA(dizayn fmea) çalışması yapmak olabilecek hataları önlemek, muhtemel kalite hatalarının nasıl çözülebileceği ve fonksiyonel bir özellik varsa(ölçü,görsel kontrol) bu proseslerin önemini anlamada yardımcı olur. Kalıp tasarımı yapılırken müşteriye sorulacak sorular doğru seçilmeli ve cevaplar iyi anlaşılmalı olması gerekir yoksa kalıp yapıldıktan sonra herhangi bir değişim ekstra maliyet ve zaman demektir.

Kalıp tasarımı yaparken 2 dikkat edilmesi gereken çok önemli noktalar vardır bunlar yüzey kalitesi ve porozitedir. Yüzey kalitesi kalıp tasarımında genellikle endişe yaratır ve kalıp dizaynında kapsamlı bir çalışma gerektirir.Yüzey kalitesine etki eden 4 faktör vardır bunlar akış modeli, göz doldurma zamanı, giriş hızı ve hava cebi boyutudur (NADCA, 2016).

Çizelge 3.2. Parça dolum kabul kriterleri (NADCA, 2006)

Yüzey Kalitesi Gereksinimleri	Dolum Zamanı Hesaplamasında Kullanılan Kriterler	Akış Dizaynında Genel Kriterler
Ortalama	Dolum zamanı değeri ortadan yükseğe doğru	Minör dalgalanma problem değildir
İyi	Dolum zamanı orta	Minimum dalgalanma ve akış çizgisi
Çok iyi	Olabilecek en kısa dolum zamanı	En az alanda bile herhangi bir akış çizgisi veya dalgalanma olmayacak

Göz doldurma süresi ve makine kapasitesinin neye ihtiyaç duyduğunu belirledikten sonra yüzey kalitesi kararı verilir. Ancak bu noktada seçim, “iyinin ne kadar iyi olduğu” veya gereken yüzey kalitesi nedir ona göre karar verilir.

3.3.1.2. Porozite

Basınçlı döküm yöntemiyle üretilen parçalarda porozite, diğer bir adıyla döküm boşluğu, en sık görünen döküm hatalarından biri olmasının yanı sıra üretilen parçanın sağlaması beklenen dayanım, süneklik veya sızdırmazlık gibi birtakım mekanik özellikleri de gösterememesine neden olur. Üretilen basınçlı döküm parçasının içerisinde meydana gelen porozite iki temel başlıkta ele alınır:

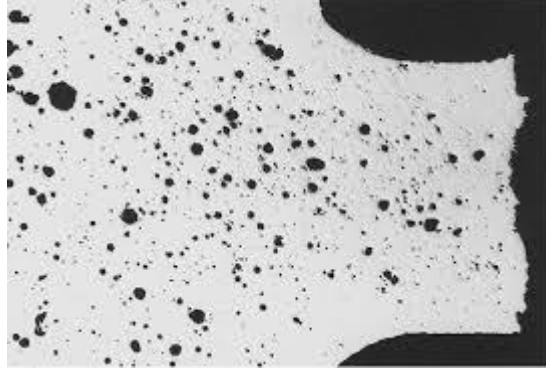
- Gaz Porozitesi
- Çekinti Porozitesi

Gaz porozitesi, başlangıçta kalıp boşluğunda yer alan havanın döküm esnasında tahliye edilememesinden kaynaklanır. Kalıp boşluğundaki havanın tahliye edilmesi için kalıp tasarımı sırasında hava cepleri, vakum veya chillvent gibi hava tahliyesine yardımcı ek ekipmanlar kullanılır.

Havanın kalıptan atılması yani tahliye etme kalitesine bağlı olarak meydana gelen porozite, basınçlı dökümde meydana gelen tek porozite tipi değildir. Bunun yanında, üretilen parçanın katılaşması esnasında kendini çekmesi sebebiyle de çekinti boşluğu adı verilen bir porozite tipi meydana gelmektedir.

Gaz poroziteleri döküm parçalarının içerisinde küresel bir forma yakın bir şekilde, az sayıda fakat büyük boyutlarda veya çok sayıda daha küçük taneler halinde görülebilirler. Döküm parçası içerisinde gaz porozitesi görülmesinin sebeplerinden biri kalıp boşluğundaki havanın uygun şekilde tahliye edilememesi olduğu gibi, bir diğer önemli gaz porozitesi sebebi de ergimiş metal içerisinde var olan gazların çökmesidir.

Gaz boşluklarını çekinti boşluklarından ayıran en temel özellik gaz porozitelerinin düzgün ve daha yuvarlak bir görünüme sahipken, çekinti boşluklarının ise nispeten daha düzensiz ve uzun-ince bir görünüme sahip olmalarıdır.



Şekil 3.7. Gaz porozitesi (Pro Die Casting, 2021)

Basınçlı dökümde gaz poroziteleri dört temel etken nedeniyle meydana gelir:

- Sıkışmış Hava
- Sıkışmış Buhar
- Buharlaştıran Yağlayıcılardan Gelen Gaz
- Hidrojen Gazı

Hapsolan hava, hapsolan buhar, yağlama sonrası kalıntı gazlar ve sıvı metalin içerdiği hidrojen gazı, basınçlı dökümde gaz porozitesinin dört temel sebebi olarak gösterilir.

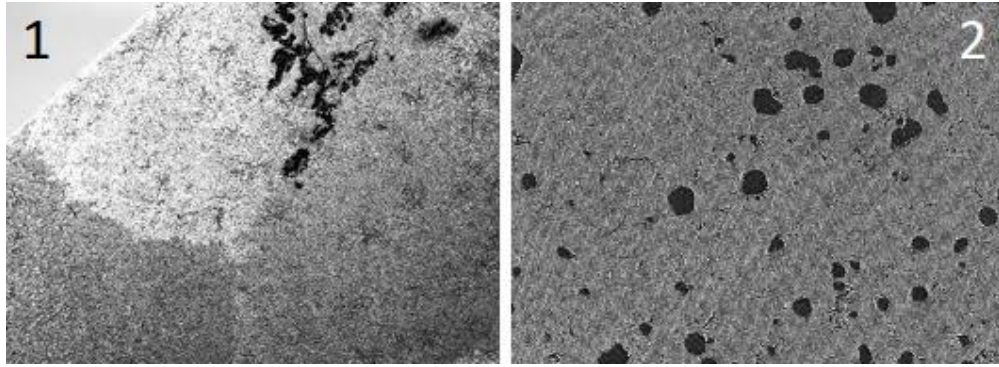
Basınçlı dökümün diğer bir önemli porozite türü olan çekme boşlukları temelde katılma farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Sıcaklığın düşmesiyle birlikte sıvı metalin hacmi de azalmaktadır. Katılma esnasında azalan hacmin besleme yardımıyla takviye edilmesi gerekmektedir. Beslemenin uygun şekilde sağlanamaması sebebiyle döküm parçası içerisinde meydana gelen boşluklara çekinti boşlukları denir.

Bir basınçlı döküm prosesi esnasında meydana gelen çekinti boşlukları, küresel görümlü gaz boşluklarından ayrı düşünülemez. Aksine çoğu zaman çekinti ve gaz poroziteleri birlikte meydana gelir. Bu sebeple gaz boşluklarının azaltılması, çekinti boşluklarının oluşumunu da olumlu yönde etkileyecektir.

Çekinti boşluklarının oluşumunu engelleyen ve tüm döküm prosesleri için geçerli 7 temel kural belirlenmiştir. Bunlar:

- 1. Kural:** Beslemenin yani enjeksiyonun doğru olmasıdır. Beslemenin az veya çok oluşu nihai döküm parçasında çeşitli döküm hatalarına sebebiyet vermektedir.

- 2. Kural:** Yolluğun döküm parçasından daha önce katılaşmamasıdır. Döküm parçasıyla aynı anda veya daha sonra katılaşması gerekir.
- 3. Kural:** Hacimsel küçülmeyi karşılayabilmek için besleyici ve yolluğun yeterli metal içermesidir.
- 4. Kural:** Yolluk ve döküm parçası arasında bir sıcak nokta oluşmamasıdır.
- 5. Kural:** Yolluk girişlerinin dolumu zorlaştıracak bir yapıda olmamasıdır.
- 6. Kural:** Dolunun gerçekleşebilmesi için gerekli basınç farkının sağlanmasıdır.
- 7. Kural:** Porozite oluşumunu engellemek için tüm noktalarda yeterli basınç olması gerekir. Bu aynı zamanda taneler arası mesafenin azalmasını sağlayarak iyi mekanik özellikleri de beraberinde getirir.



Şekil 3.8. Çekme boşluğu (1) ve gaz boşluğu (2) kıyaslaması

Çekinti boşlukları gaz porozitelerine benzerlik gösterir. Fakat çekinti porozitelerini gaz boşluklarından ayırmanın en kolay yolu bunların görsel farklılıklarıdır. Gaz boşlukları yuvarlak ve daha düzgün bir görünüme sahipken çekinti boşlukları dentrit bir yapıda kendisini gösterir.

Porozite Standartları

Döküm parçasında meydana gelen çekinti ve gaz poroziteleri nihai ürün kalitesini olumsuz yönde etkiledikleri ve dayanım, sızdırmazlık gibi döküm parçasının kullanım yerine göre çok önemli bazı gereksinimleri yerine getirmesini imkânsız kıldığı için döküm parçası içerisinde var olabilecek porozite miktarı birtakım standartlar ile sınırlandırılmıştır.

ASTM E 505 Standardı

ASTM E 505 standardı basınçlı döküm üzerine özelleştirilmiş bir standarttır ve nispeten daha özel bir kapsamda değerlendirilir. Bu standart daha detaylı bir içerik sunarak basınçlı dökümde uluslararası bir kontrol yöntemi olarak kabul görmektedir. ASTM E 155 standardına benzer bir şekilde bu standartta da sertifikalı bir çalışan tarafından gerçekleştirilen görsel bir kontrol neticesinde döküm parçasının uygunluğuna karar verilir.

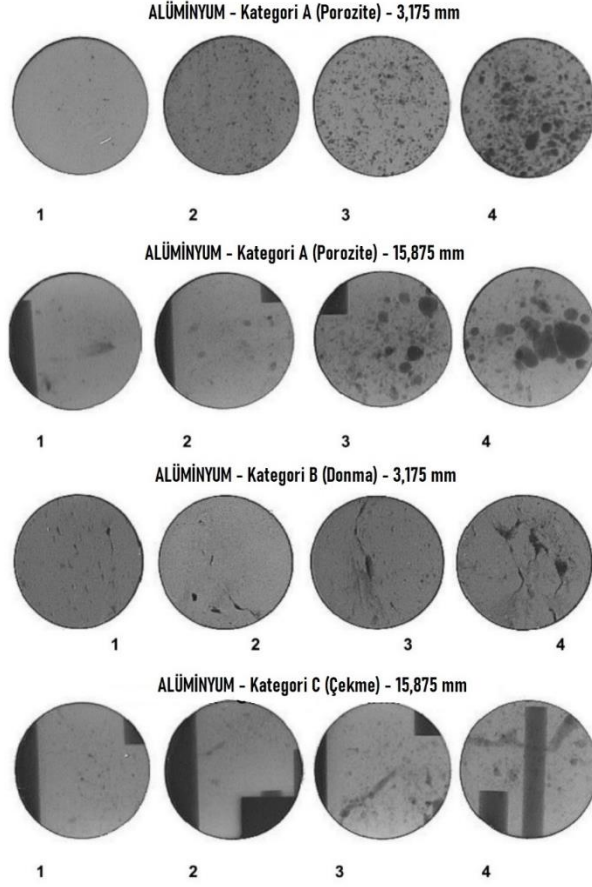
ASTM E 505 standardı porozite seviyelerini belirlerken kontrol edilecek olan parça kalınlığını da dikkate almaktadır ve belirli bir kalınlık aralığında geçerlidir. Bu standartta her bir porozite kategorisi 4 seviyede incelenir. En düşük seviye olan Seviye 1'den başlayarak izin verilen porozite miktarı Seviye 4'e gidildikçe artar.

Çizelge 3.3. ASTM E 505 porozite kategorileri

Süreksizlik	Döküm Kalınlığı (mm)	Uygulanabilir Döküm Kalınlığı
Alüminyum Basınçlı Döküm		
Kategori A (Porozite)	3,2	3,2 milimetreye kadar
Kategori A (Porozite)	15,9	3,2 ile 25,4 milimetre arasında
Kategori B (Soğuk Birleşme)	3,2	3,2 milimetreye kadar
Kategori C (Çekinti)	15,9	3,2 ile 25,4 milimetre arasında
Kategori D (Yabancı Madde)	5,08	25,4 milimetreye kadar
Magnezyum Basınçlı Döküm		
Kategori A (Porozite)	3,2	3,2 milimetreye kadar
Kategori A (Porozite)	15,9	3,2 ile 25,4 milimetre arasında
Kategori B (Soğuk Birleşme)	3,2	3,2 milimetreye kadar
Kategori C (Çekinti)	15,9	3,2 ile 25,4 milimetre arasında
Kategori D (Yabancı Madde)	5,08	25,4 milimetreye kadar

ASTM E 505 standardı kapsamında porozite kontrolü yapılırken porozite büyüklüklerinin yanı sıra, yoğunlukları da incelenir. Örnek verecek olursak içinde yoğun bir şekilde gaz porozitesi bulunduran bir döküm parçasında bu porozitelerin küçük boyutlarda olmaları tek başına yeterli değildir. Aynı zamanda birbirleri arasında belirli bir mesafe de olması beklenmektedir. Yoğun bir şekilde tek bir bölgede toplanmış gaz boşluklarındansa, dağılmış, seyrek boşluklar istenir.

ASTM E 505
BASINÇLI DÖKÜM İÇİN REFERANS RADYOGRAFLAR



Şekil 3.9. ASTM E 505 porozite seviyeleri (Çetin, 2021)

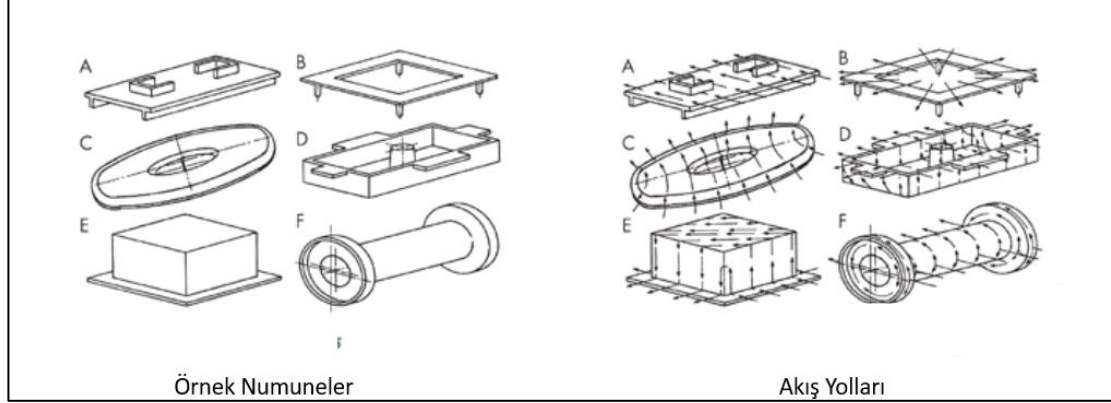
3.3.2. Akış Düzeni

Yolluk tasarımında akış düzeni detaylı incelenmelidir. Ürünün fonksiyonel bölgeleri fizibilite aşamasında iyi hesaplanıp o bölgelere yakın yerlere yolluk girişleri lokasyonlanmalıdır ve akış laminer olup enerji kaybetmemelidir. Akış düzeni sağlandığında ürün giriş yolluk ve çıkışları akış düzeni vasıtasıyla uygun yerlere lokasyonlanabilir. Havanın kaçması için en uygun yer neresi ise o bölgeye hava cebi ve çilvent düşünülmelidir.

Akış düzenini görselleştirmek için;

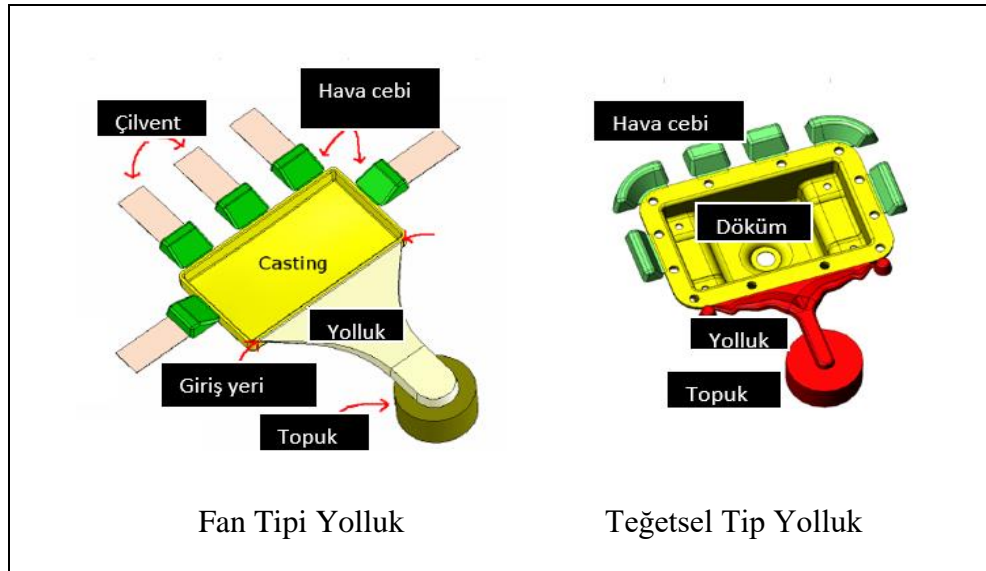
1. Kalıp ayırım hattını alaşımın gidişini rahatlatmak ve ısıyı yayması için mümkün olduğu kadar kullanılması gerekir.

2. Olabildiği kadar kısa topuktan parçanın içine kadar kısa mesafe tasarlanmalıdır.
3. Akışın gideceği yolda enerji kaybedecek girinti, çıkıntı ve köşelerden uzak durulmalıdır.

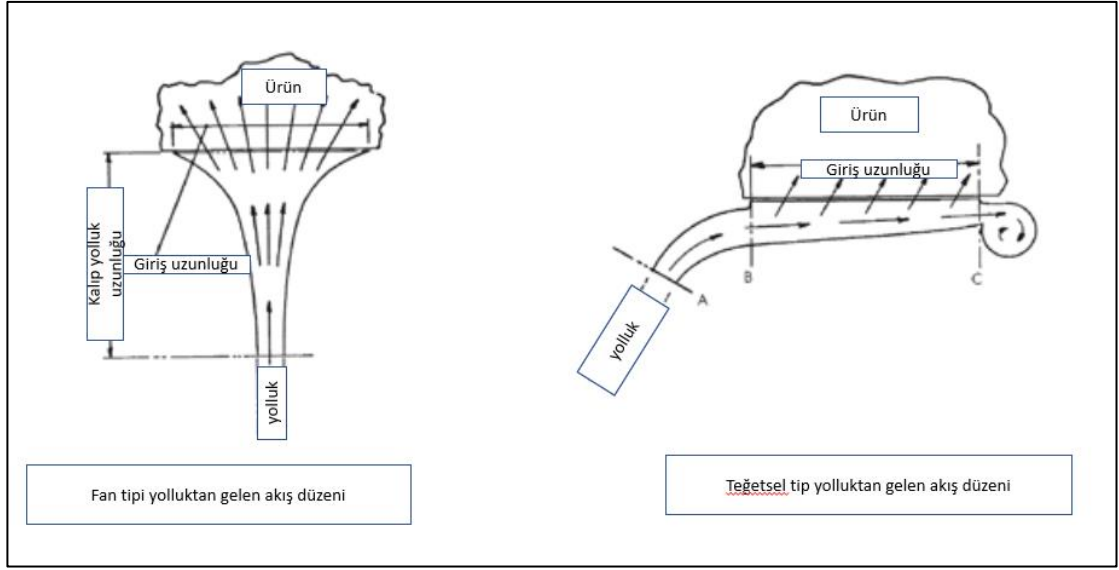


Şekil 3.10. Akış Yönleri (NADCA, 2006)

Şekil 3.5 de parçanın akışının hangi yönde olması gerektiği ve beslemenin nasıl olacağı görselleştirilmiştir. Burada kullanılan yolluk tipleri fan tipi yolluk ve teğetsel tip yolluktur.



Şekil 3.11. Fan tipi ve Teğetsel Tip Yolluk Şematik Gösterimi

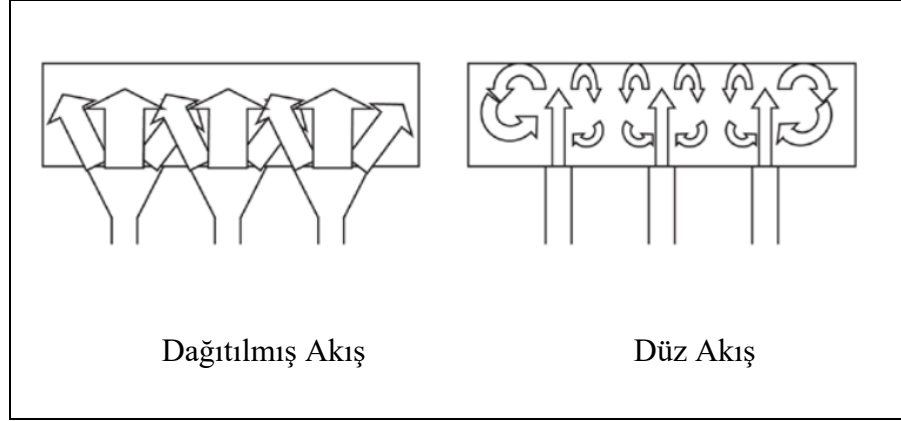


Şekil 3.12. Fan tipi yolluk ve teğetsel tip yolluk akış düzeni (NADCA, 2006)

Şekil 3.12 de fan tipi yolluktan gelen akış düzeni ve teğetsel tip yolluktan gelen akış düzeni görselleştirilmiştir ve bu iki tip yolluk çeşidi en çok kullanılan yolluk tipleridir.

Ön görülen akış modeli belirleme öncelikle kalite konusudur. Akış düzeni en iyi yüzey kalitesi ve porozite gerekliliklerine göre sağlanmalıdır. Bu nedenle eğer bir alan iyi bir yüzey kalitesi veya porozite gerekliliğine sahipse yolluk tipi ve akış düzeni bu parametrelere göre hesaplanmalıdır. Yapılan hesaplanmalar ürün ve yolluk tasarımı yapılan simülasyon görüntüleri referans alınarak incelenmelidir. Akış düzenini ayarlamak için bazı genel kurallar vardır. Bu kurallar şöyledir;

- 1) Akış düzeni yayılacak şekilde olmalıdır ve küçük alanlarda çok hızlı ve direk şekilde olmamalıdır. Düz akış kalıp ömrü bakımından ve hızlı çarptığında çevresinde oluşturabilecek türbilans riskinden dolayı tercih edilmemesi gerekir.



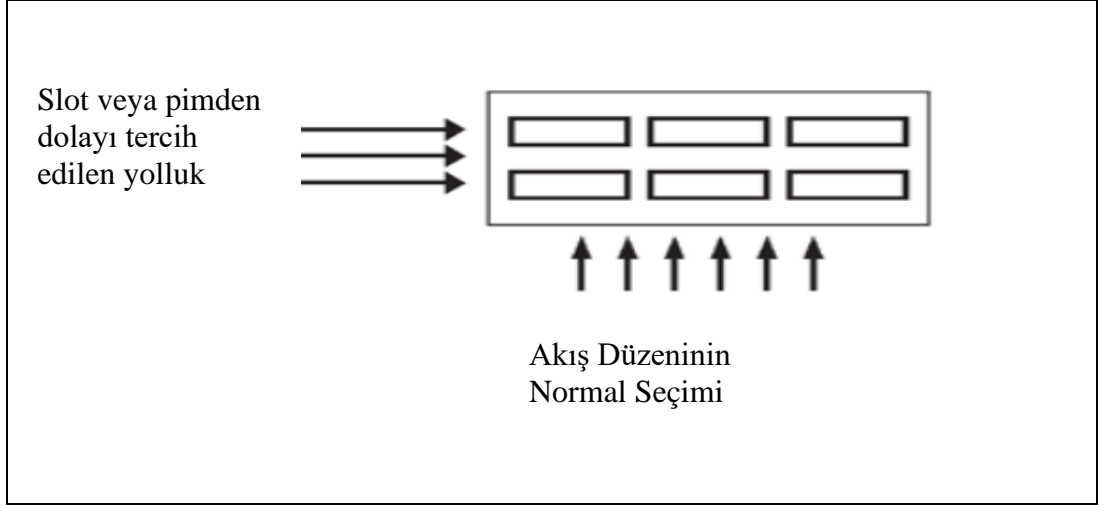
Şekil 3.13. Akış şemaları (NADCA, 2006)

- 2) Enjeksiyon yapılacak ürünün kritik noktalarına doğru akışın yönlendirilmesi gerekir. Kritik noktalar porozite veya yüzey kalitesi olsa da fark etmez. Direk akış bu iki konu içinde en verimli tercihtir.



Şekil 3.14. Yüzey kalitesi için iyi akış görseli (NADCA, 2006)

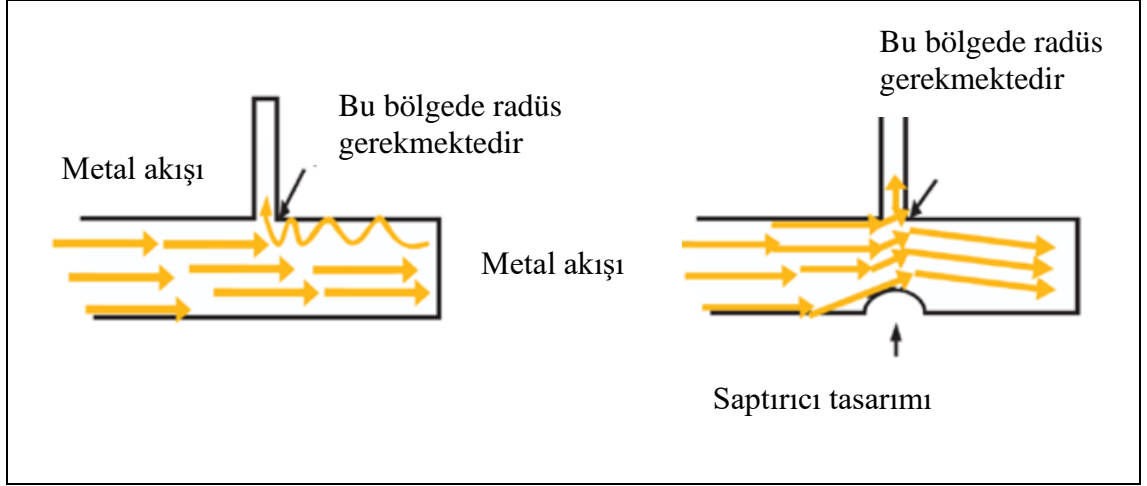
- 3) Ürün için tasarım çalışması yapılmış yolluk tasarımında akış en kısa ve en hızlı gideceği yol tercih edilmelidir fakat burada parçanın geometrisi önemlidir eğer akış daha kısa yoldan gidecek ama önünde fazla engel varsa enerji kaybedecektir. Bu nedenle enerji kaybetmektense uzun olan yol tercih edilmelidir.



Şekil 3.15. Radüs tasarımının parça kalitesine etkisi (NADCA, 2006)

Yukarıda örneklenen şekilde soldan bakıldığında 2 tane en boyutu olarak kısa engel var fakat yukarı ok işarati ile gösterilen akış düzeninde 3 tane ve kalın en boyutu geometrik şekil var. Burada akış soldan sağa gidecek şekilde tasarlanması doğrudur bu şekilde enerji kaybı ve türbilans daha az olacaktır.

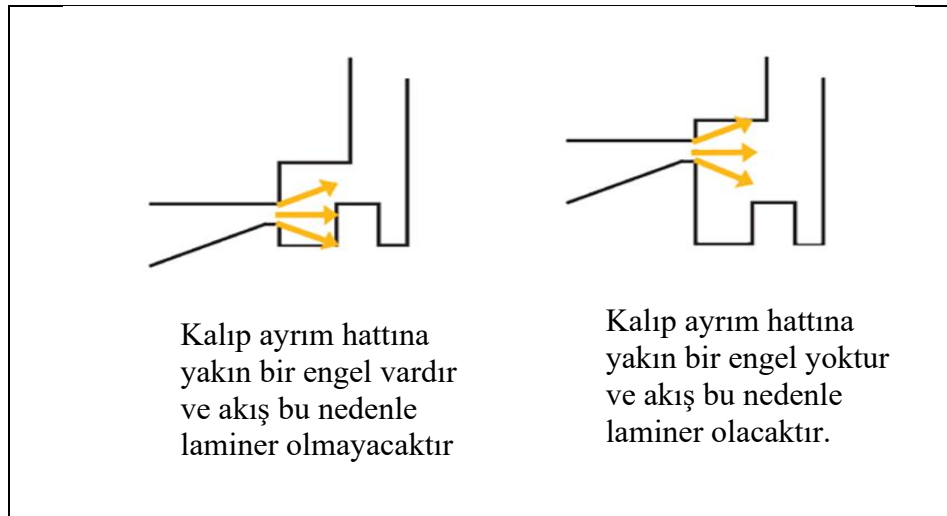
- 4) Ürün tasarımı yapılırken ürünün duvar kalınlıkları uniform olmasına önem gösterilemelidir. Uniform bir yapı olmadığı zaman yüzey kalitesi anlamında problem yaşama ihtimali vardır.
- 5) Akış düzeninde keskin köşeler yerine radüs tercih edilmelidir. Keskin köşelerde akış duvara çarptığında enerji kaybedecektir fakat radüs kullanıldığında akış radüsün konumu itibariyle akışı yönlendirip yüzey kalitesi ve porozite anlamında daha uygun sonuçlar verecektir.
- 6) Simülasyon incelemelerinde akışın yönü itibariyle dolumu zor olan yerler gözüküyorsa ve bu bölgeler porozite açısından fonksiyonellik teşkil ediyorsa o bölgeye akışın yönlendirilmesi için tasarımda saptırıcı kullanılması tercih edilmelidir.



Şekil 3.16. Radüs tasarımının parça kalitesine etkisi (NADCA, 2006)

Yukarıda görmüş olduğunuz 2 tane tasarım var. Soldaki tasarımda metal akışı devam ediyor ve figürün en sonunda dolmuş olduktan sonra çıkıntı olan bölgeye akış geliyor ve bu hem o bölgenin hem de parçanın içinde yüzey kalitesi ve porozite olarak problem teşkil edeceğini gösteriyor fakat sağ tarafta olan tasarımda bir saptırıcı ilave edilerek akış üst bölgeye doğru yönlendirilmiş olur o bölgenin dolması daha kolay olacaktır.

- 7) Kalıp ayırma hattı parçanın geometrisinde uniform olan yerlerde tasarlanmalıdır. Kalıp ayırma hattı parçanın iç bölgesinde girinti, çıkıntı veya bir engelle denk gelirse akış burada enerji kaybedip porozite olma ihtimalini arttıracaktır.



Şekil 3.17. Kalıp ayırma hattının parça kalitesine etkisi (NADCA, 2006)

Yukarıda belirtilmiş olan şekilde tasarım esnasında kalıp ayırım hattı iyi tasarlanmalıdır sol tarafta belirtilen görselde kalıp ayırım hattının yakınında bir engel vardır ve akış bu engele çarptıktan sonra parçanın içine dolmuş olacaktır bu da havayla karışmış alüminyumun parçanın içine sıkışıp porozite olarak karşımıza çıkmasını sağlayacaktır fakat sağ tarafta yine aynı şekilde kalıp ayırım hattı yukarı taşınmıştır bu nedenle herhangi bir engel olmayıp sağlıklı bir döküm yapacaktır.

3.4. Akış Hesaplamaları

Yolluk tasarımı yapılırken bazı belli başlı hesaplamalar yapılmalıdır. Bunlar göz dolmuş süresi, akış oranı, yolluk giriş kalınlığı ve buna paralel hesaplar vardır.

3.4.1. Göz Dolmuş Süresi

Göz dolmuş süresi ham maddenin enjeksiyona başladığı süreden gözün dolmuşunun bitiş zamanına kadar olan süreye denir. Enjeksiyon başladığı an zamana karşı bir yarış başlar. Ham madde kalıbın içerisine girdiği andan itibaren enerji kaybetmemeli, ısıyı düşmemelidir. Bu faktörler döküm kalitesini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Önemli bir tasarım düşüncesi, daha kısa doldurma sürelerinin, geçit alanları segment hacimleri ile orantılıdır. İyi bir son kat gerektiren bir döküm, hızlı bir doldurma gerektirir, zaman alır ve süreç seçimlerinin geri kalanı için tanımlayıcı değişken olur (NADCA, 2006). J. A. Wallace (Pratik Uygulama ve metal akışı ve yolluk araştırmasının sonuçları – 1965) temel NADCA dolmuş zamanı formülünü geliştirdi. E. A. Herman, güncel versiyonu kendi dergisinde Geçitli Döküm Kalıpları kitabında yayınladı. Yapılan hesaplamalar ideal dolmuş zamanı için maksimum limitler baz alınarak oluşturulmuştur. Aşağıda belirtilen formülde maksimum döküm zamanı hesaplanmıştır.

$$t = K \left\{ \frac{T_i - T_f + SZ}{T_f - T_d} \right\} T \quad (3.1)$$

t: Maximum döküm zamanı (sn)

K: Kalıp çeliğine göre referans alınan sabit katsayı (sec/mm)

Çizelge 3.4. Metal ve alaşımların K sabit değeri (NADCA, 2006)

Alaşım	Sabit Katsayı , K					
	P-20		H-12/H-21		Volfram	
	sec/mm	sec/in	sec/mm	sec/in	sec/mm	sec/in
Mg			0.0252	0.64	0.0124	0.311
Al						
360,380,384			0.0346	0.866	0.0124	0.311
Al390			0.0346	0.866	0.0124	0.311
Zn 12,27	0.0312	0.799	0.0346	0.866	0.0124	0.311
Zn 3,5,7	0.0312	0.799	0.0346	0.866	0.0124	0.311
Fe			0.0346	0.866	0.0124	0.311
Cu 60/40			0.0346	0.866	0.0124	0.311
Cu 85-5-5-5			0.0346	0.866	0.0124	0.311
Pb	0.0156	0.39	0.0346	0.433	0.0124	0.311

T: Ortalama Döküm Parça Kalınlığı (mm)

Tf: Metal alaşımın minimum akış sıcaklığı (T°)

Ti: Parça girişindeki metal alaşım sıcaklığı (T°)

Td: Metalin Enjeksiyona Başlamadan Önceki Kalıp Yüzey Sıcaklığı (T°)

S: Döküm Sonundaki Katılaşma Oranı (inç)

Z: Ötektik üstü alaşım oranı (sabit)

Çizelge 3.5. Metal ve alaşımların sıcaklık ve katılaşma oranı tablosu (NADCA, 2006)

Alaşım	Metal Enjeksiyon Sıcaklığı		Min. Akış Sıcaklığı		Kalıp Boşluğu Sıcaklığı		Katı Faktör	
	Ti		Tf		Td		Z	
	°c	°F	°c	°F	°c	°F	°C/%	°F/%
Mg	650	1200	510	1050	340	650	3.7	6.6
Al 360,380,384	650	1200	570	1060	340	650	4.8	8.6
Al390	720	1325	595	1100	355	675	5.9	10.6
Zn 12,27	565	1050	445	835	260	500	3.2	5.7
Zn 3,5,7	405	760	382	720	230	450	2.5	4.5
Fe	1540	2800	1370	2500	980	1800	6	10.8
Cu 60/40	955	1750	900	1650	510	950	4.7	8.4
Cu 85-5-5-5	1035	1900	930	1710	515	960	4.7	8.4
Pb	315	600	280	540	120	250	2.1	3.8

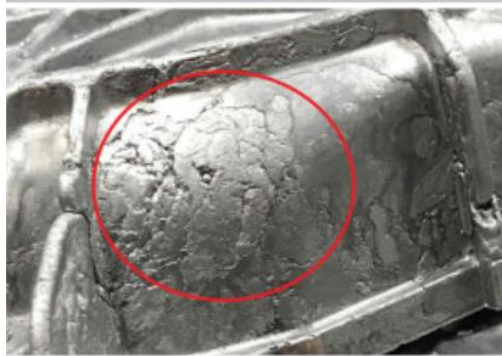
Çizelge 3.6. Metal ve alaşımların önerilen katılaşma oranı (NADCA, 2006)

Önerilen Katılaşma Oranı, S			
Parça Kalınlığı, Birim 'inç'	Al	Mg	Zn
.01-.03"	5%	10%	5-15%
.03-.05"	5-25%	5-15%	10-20%
.05-.08"	15-35%	10-25%	15-30%
.08-.125"	20-50%	20-35%	20-35%

Uygun döküm zamanını bulmak için parça döküm esnasında çevrim zamanı tutulur, parçanın kalınlıkları hesaplanır sonrasında yukarıdaki tablolardan gereken değerler alındıktan sonra parçanın dökülmesi gereken döküm zamanı hesaplanır. Yapılan üretim süresi yani çevrim süresi hesaplanandan uzun ise parçada soğuk birleşmeler meydana gelir soğuk birleşme yüzey kalitesi anlamında istenmeyen bir durumdur. Eğer parça hesaplanan çevrim süresinden daha kısa sürede üretiliyorsa bu durumda da porozite meydana gelecektir.



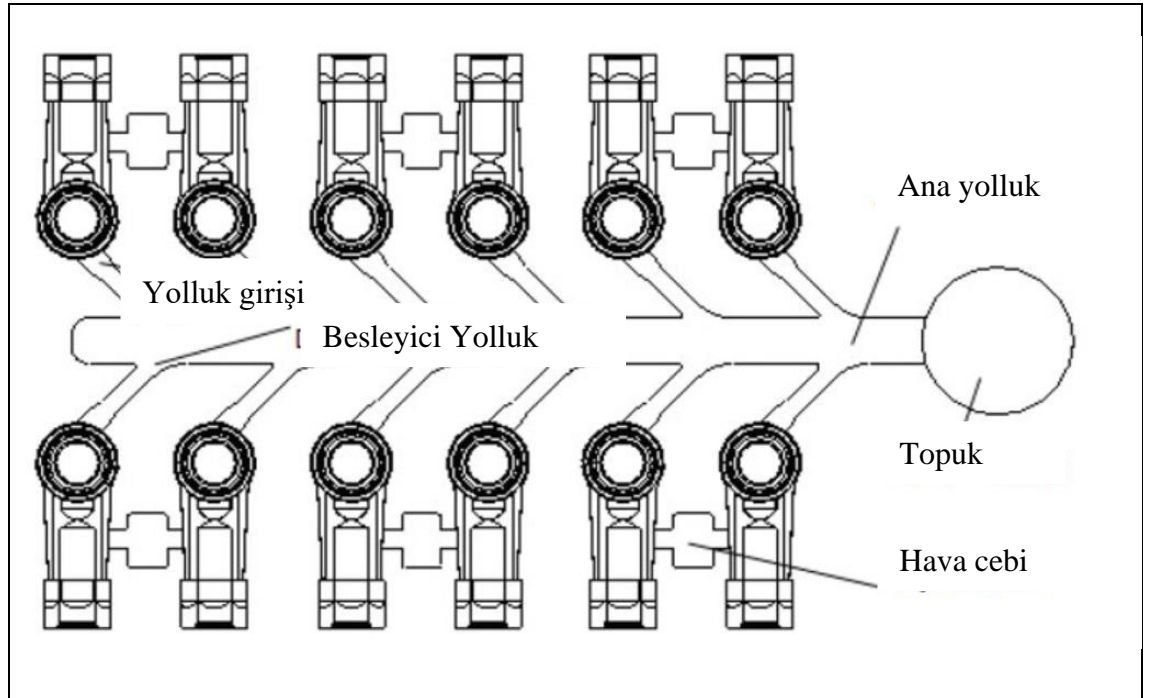
Şekil 3.18. Soğuk birleşme örneği (İştar, Şahin, Yıldırım ve Uygun, 2021)



Şekil 3.19. Eksik dolum örneği (İştar vd., 2021)

3.4.2. Yolluk Kesit Alanı Hesabı

Yolluk kesit alanı yapılırken hesaplamalar önce yolluk girişinden başlayıp topuk kesit alanına doğru hesaplanır. Yolluk giriş yeri parçanın ağırlığı ve dolum süresi değerleri kullanılarak hesaplanır ve kesit alanı doğru olmazsa düzgün bir döküm olma ihtimali çok düşüktür. Düzgün bir döküm olmaması demek parçanın yüzey kalitesi anlamında soğuk birleşme, çekinti porozitesi, eksik enjeksiyon gibi kalite hataları ortaya çıkartır bu nedenle çok önemlidir.



Şekil 3.20. Yolluk dizayn örneği (Yüksel ve Göloğlu, 2014)

$$V = (\text{Ürün Ağırlığı}) / (S : \text{Sabit}) = \text{Ürün Hacmi (hava cebi dahil)} (\text{cm}^3)$$

$$S : 2,65 \text{ g/cm}^3$$

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

$$a : \text{Giriş Alanı (cm}^2)$$

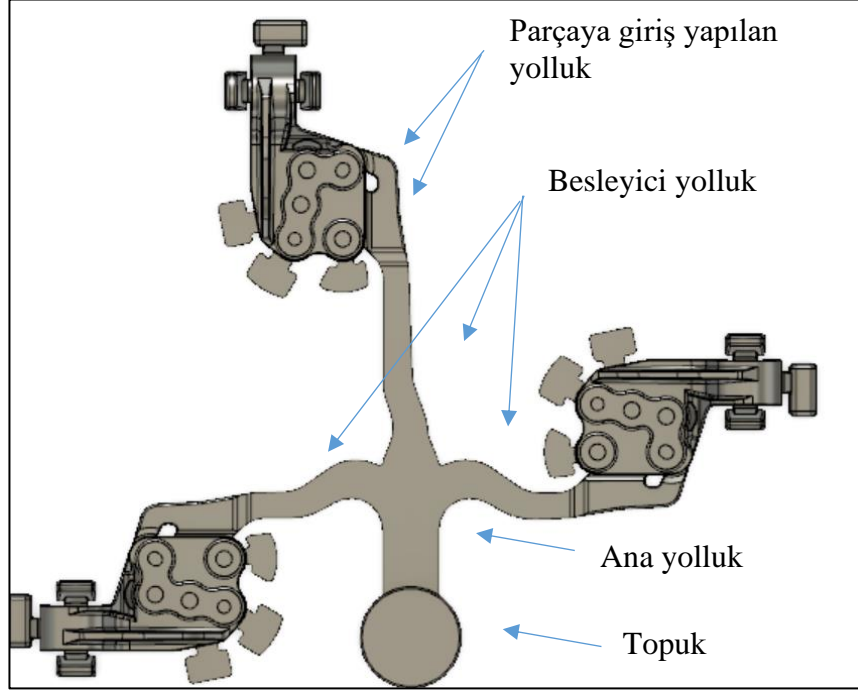
$$v : \text{Parça Yolluk Giriş Hızı (cm/sn)}$$

$$t : \text{Dolum Zamanı (sn)}$$

Giriş alanı hesaplandıktan sonra giriş kesit alanının %15-%20 büyük olacak şekilde besleyici yolluk hesaplanır. Besleyici yolluk kesit alanının %10-%15 arası büyük olacak şekilde yan yolluk kesit alanı olmalıdır. Yan yolluğun toplam kesit alanından da

%10-%20 arası büyük olacak şekilde topuk kesit alanı olmalıdır. Topuk kalınlığı minimum 25 mm olmalıdır.

Kesit alanı hesabı aşağıdaki görsellerde şu şekilde belirtilmiştir;

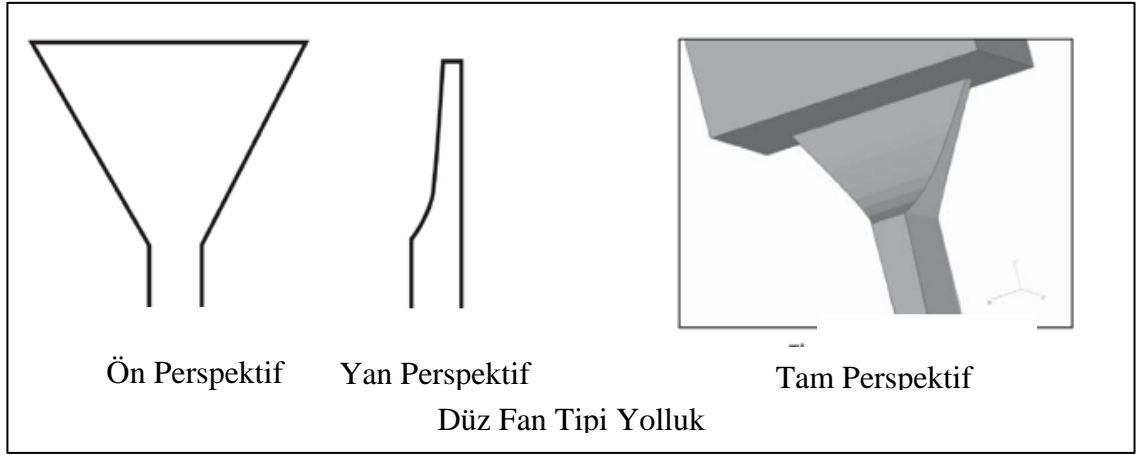


Şekil 3.21. Yolluk dizayn örneği

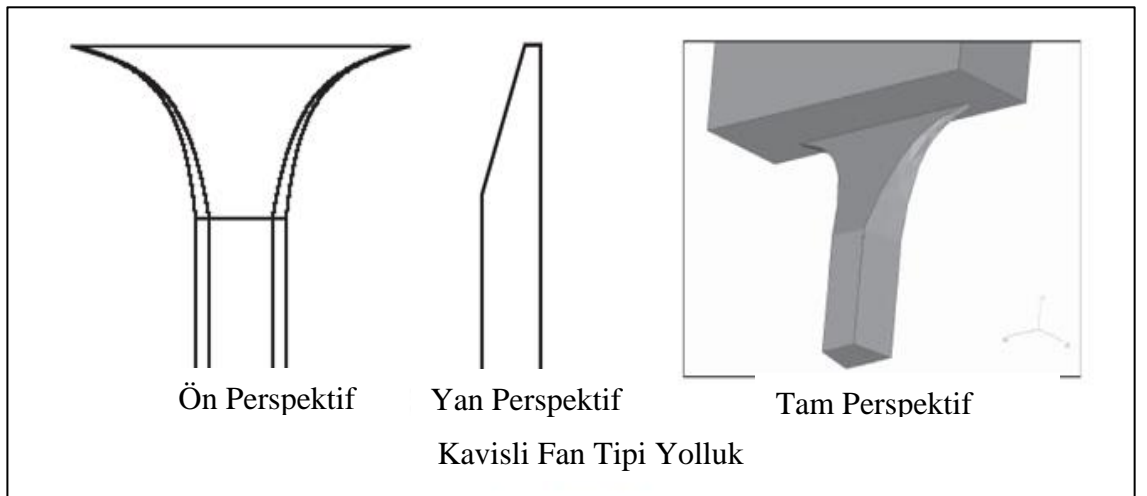
3.4.3. Yolluk Tipleri

Günümüzde kullanılan 3 tip giriş yolluk çeşidi vardır. Bunlar düz fan tipi yolluk, kavisli fan tipi yolluk ve teğetsel tip yolluktur. Giriş yolluğunun amacı kalıptan başlayan enjeksiyonun parçanın içine hızlı püskürterek dolum yaptırmasıdır. Bu nedenle giriş yollukları olabildiğince en küçük alan olmalıdır ki akış parçaya girerken püskürerek, çok hızlı ve sıcak bir şekilde dolum yapmasını sağlamaktır aksi takdirde bu giriş yolluğu büyük veya geniş olursa 1.fazdan 2.faza geçerken alüminyum parçanın içine yavaş dolar bu da karşımıza porozite ve soğuk birleşme olarak karşımıza çıkar. Standart olan yolluk tipi fan tipi yolluktur kalıp üretimi yapılırken işleme operasyonu teğetsel tip yolluğa göre daha kolaydır. Ciddi bir işçilik istenmez ama teğetsel yollukta bu durum böyle değildir. Teğetsel yolluk karmaşık geometrik şekilli parçaların dolumunda tercih edilmesi gereken yolluk çeşidir.

Aşağıda görüldüğü gibi düz fan tipi yolluk ve kavisli fan tipi yolluktan alan büyükten küçüğe doğru gider bu detay akışın daha debili ve hızlı gitmesi için yapılmıştır. Düz fan tipi yollukta eğri bir iniş olurken kavisli tip yollukta iniş açılı bir şekilde hesaplanmıştır. Düz fan tipinin avantajı sıvı metalin gideceği yol bellidir açı bilinir ve kesme presine ihtiyaç duyulmadan parça yolluktan ayrılır. Dezavantajı ise yolluk imalatı aşamasındayken işleme olarak zordur. Üretim öncesinde modeli yapılması gerekir. Kavisli fan tipinin avantajı yolluk imalatı aşamasındayken işleme operasyonu daha kolaydır. Dezavantajı ise akış açısı kavisten dolayı bilinmez ve kesme presine ihtiyaç duyulur. Kesme presi olmadan parçada yüzey kalitesi olarak iyi bir kalite elde edilmez.



Şekil 3.22. Fan tipi yolluk perspektifi (NADCA, 2006)

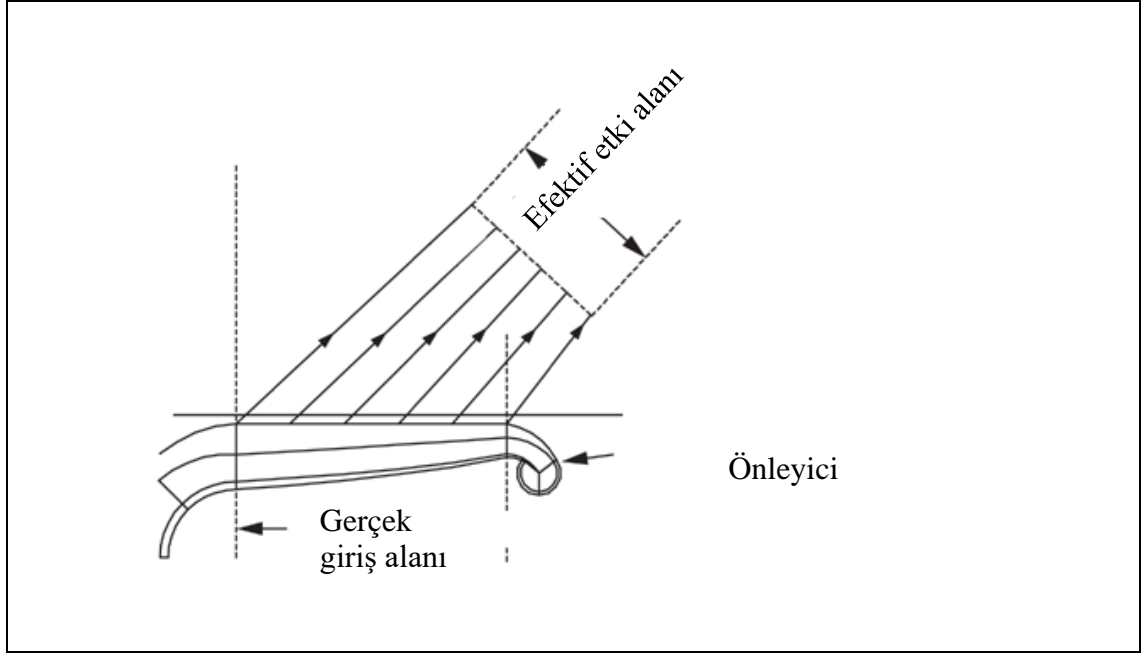


Şekil 3.23. Kavisli fan tipi yolluk perspektifi (NADCA, 2006)

Teğetsel tip yolluk yukarıda belirtilen yolluk tiplerinden farklıdır. Bu yolluk tipi yeni ve modern yolluk tasarımında kullanılan yolluk tipidir. Karmaşık şekilli parçaların veya duvar kalınlıkları laminar olmayan parçaların dolusunda tasarlanan yolluk tipidir. Teğetsel tip yolluğun avantajları şunlardır:

- Yolluktan gelen akış parçaya yakındır.
- Akış yönü kontrol edilebilir.
- Teğetsel tip yolluk sıcak sıvı metali nispeten uzun bir alandan yayarak parçanın içine doldurabilir

Dezavantajı ise eğer parçanın geometrisi gereği içerideki açı küçük ise teğetsel tip yolluktan gelen akış yönü bunu karşılayamamak kadar büyüktür.

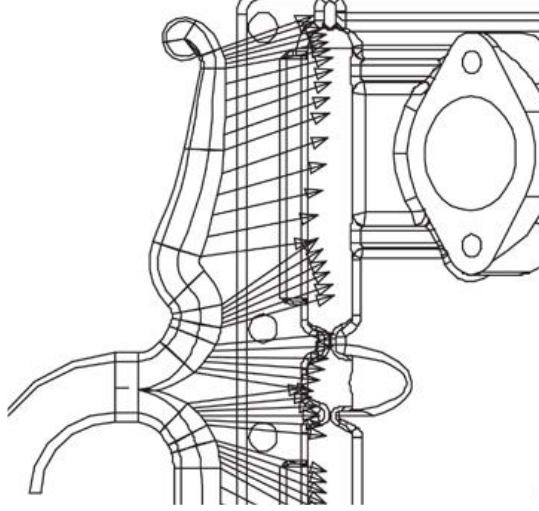


Şekil 3.24. Teğetsel tip akış yönü (NADCA, 2006)

Teğetsel tip yollukta akış gerçek giriş alanından girer ve o doğrultuda devam eder. Önleyici ise akış yolluk girişinden parçaya dolarken önleyici metalin dolumu bittiğinde geriye dolmasını engeller bu şekilde sıvı metal dışında havanın dolması engellenip poroziteyi önler.

Teorik olarak teğetsel tip yolluğun akış derecesi 26 ile 45 derece arasındadır. Teğetsel tip yolluk tekniği özellikle yüzey kalitesi isteniyorsa gayet başarılı bir yolluk

tipidir. Günümüzde bu yolluğun kullanılması enjeksiyon sektöründe seviye atlamak denilebilir.



Şekil 3.25. Teğetsel tip akış yönü (NADCA, 2006)

3.5. Hava Cebi ve Çilvent Sistemi

Hava cebi ve çilvent sıvı metalin dolumu esnasında içeride sıkışan havanın, parçanın içinde hapsolmemesini sağlayan bir sistemdir. Bilindiği üzere alüminyum enjeksiyonda en önemli iki kalite faktörü porozite ve yüzey kalitesidir. Gaz porozitesini en aza indirmenin faktörleri yolluk tasarımı ve hesaplamalarının dışında hava cebi ve çilvent ekleme sistemidir. Mantık olarak hava cebi ve çilvent parçanın simülasyon incelemelerinde hava nerede sıkışıyor veya en son dolan yer neresi ise oraya eklenmelidir. Çok fazla veya çok az diye bir kriteri yoktur. Eklenecek hava miktarı tamamen simülasyon incelemeleri sonucunda ve parçanın geometrisi incelenerek karar verilir. Hava cebi ve çilvent sisteminin belirli hesaplamaları vardır. Hava cebi tasarımı yapılırken simülasyon incelemesine bakılarak şu yorumlar yapılır;

- Hava cebi en son mu doluyor?
- Parça dolmadan hava cebi doluyor mu?

Eğer böyle durumlar karşınıza çıkıyorsa şu bilinmelidir. Hava cebi en son dolmuş yer olmalıdır eğer hava cebi parça dolmuş bittikten sonra başlamıyorsa hava cebine giden sıvı metal geriye doğru gelerek parçanın içine akar ve bu da porozite olarak karşımıza çıkar.

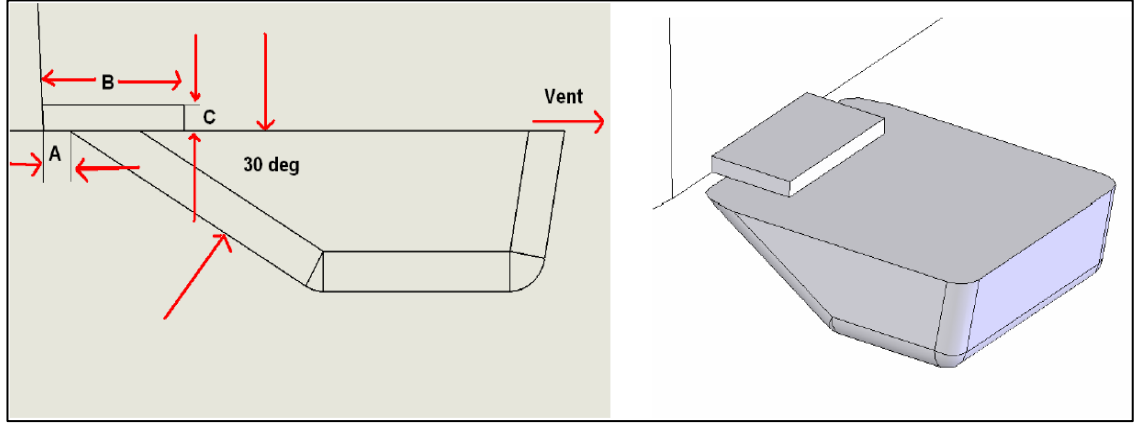
Hava cebi dizaynı yapılırken belli parametre hesaplarına göre yapılır ve bu hesaplamalar aşağıda belirtilmiştir.

A (Giriş mesafesi): 2-5 mm

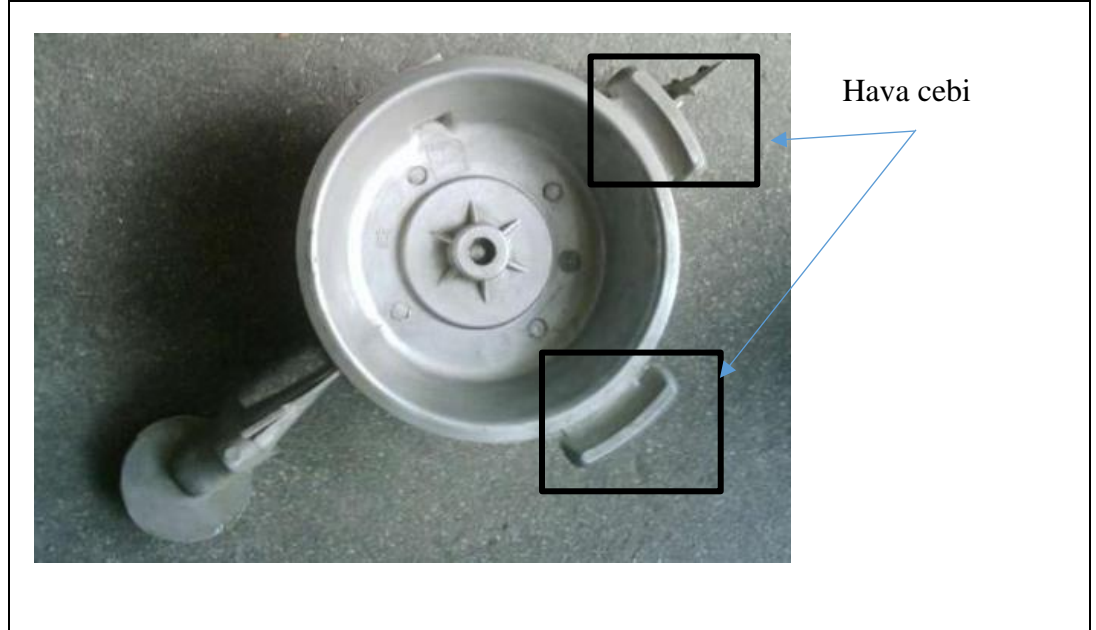
B (Toplam giriş mesafesi): 5-8 mm

C (Hava cebi giriş et kalınlığı): 0,6-1,2 mm

D (Hava çıkışı et kalınlığı): 0,1-0,15 mm

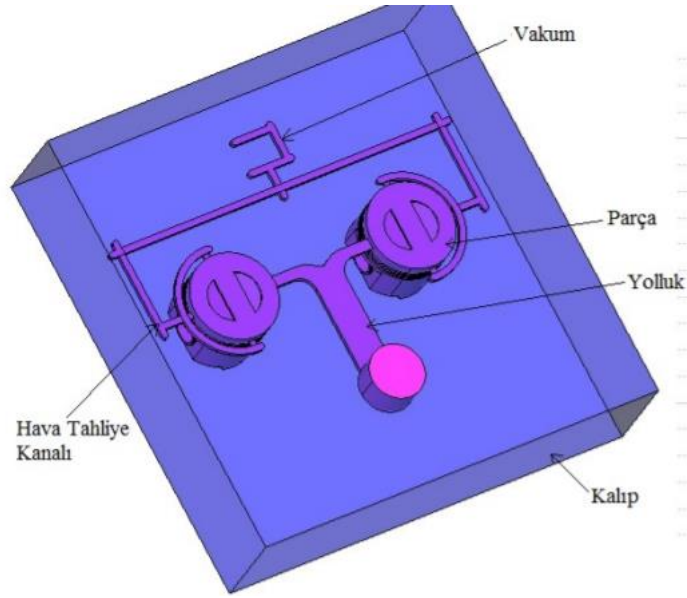


Şekil 3.26. Hava cebi hesaplamasi (NADCA, 2006)



Şekil 3.27. Hava cebi örneği (Global Piyasa, 2021)

Çilvent döküm kalıbı için gereklidir. Çilvent havanın parça içinde sıkışmasını önleyip parçanın dışına çıkmasını sağlar. Çilvent tasarımı porozite standardı yüksek öneme sahipse kesinlikle ürün tasarımına eklenmesi gerekir. Yapılmadığı takdirde hava parçanın içine sıkışacaktır ve porozite olacaktır. Kalıba yapılan yolluk ve ürün tasarımında parça çok büyük değil ise fonksiyonelliği çok önemli değil ise çilvent yerine hava kanalı da açılarak bu görev görülür. Aşağıda hava kanalı örneğinde kalıbın sağ ve sol kısmında yeterli alan olmadığından ve parçanın geometrisi büyük olmadığından çilvente gerek duyulmayıp hava kanalı ile porozite önleme çalışması yapılmıştır.



Şekil 3.28. Kalıp parça yerleşimi (Koru ve Serçe, 2014)

Çilvent dolumun en son tamamlandığı yere tasarlanmalıdır. Çilvent alanı yolluktan parçaya akış hızına göre hesaplanır. Optimum çilvent alanı için ilk sıvı metal akış hızı(Q) hesaplanır. Akış hızı hesaplandıktan sonra sabit katsayı alınarak 8000 in/sn veya 200 m/sn değerine bölünerek bulunur.

Optimum Çilvent Alanı=Q/8000(inch/sn)

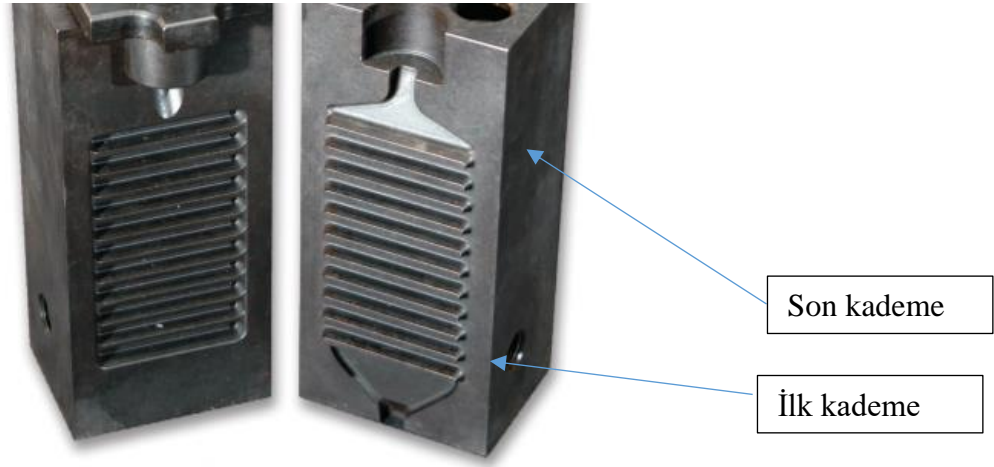
Bir başka yol ise;

Çilvent Alanı= Yolluk giriş alanı/4 (mm²)

Çilvent kalınlığı genelde 0,005-0,20(inch) arasındadır.



Şekil 3.29. Çilvent (VDS, 2021)



Şekil 3.30. Çilvent (VDS, 2021)

Çilvent tasarımında ilk kademedeki kalınlık değeri son kademeye yaklaştıkça her kademedede 0,05-0,1 aralığında azalarak gitmelidir. Çilvent tasarımında son kademesinde kalınlıklar çok önemlidir. Kalıbın içine sıvı metal enjeksiyonu başladığı zaman çilventlerden sıvı metal akışı olursa kalıbın yüzeyine denk gelir ve kalıpta ezilme, çatlama gibi istenmeyen durumlar olabilir. Literatür bilgisi değildir fakat edinilen tecrübelerle göre çilvent toplamda 8-10 kademe aralığında olması yeterlidir ve dolumda 5.kademeye kadar kalından inceye doğru gelmesi gerekir. 5. kademeyi geçerse kalıp kapanmada mengene tam sıkılaşma durumunda enjeksiyon iç haznenin dışına çıkabilir ondan sınır 5. kademe denilebilir.

BÖLÜM 4

LİTERATÜR TARAMA

Literatürde genel olarak incelemeler yapıldığında alüminyum alaşımlarıyla yüksek basınçlı döküm çalışmaları yapılmış ve bulunan sonuçlar doğrultusunda okuyucuya belirli bilgiler vermeye çalışılmıştır. Tezin konusu olan alüminyum alaşımlarda yolluk ve cep optimizasyonunun parça kalitesine etkisi amacıyla yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bu kapsamda yapılan literatür taramasında tez konusu ile ilgili tespit edilen çalışmaların özetleri aşağıda verilmiştir.

Dou (2020), bilgisayar destekli modelleme ile yüksek basınçlı döküm prosesinin optimizasyonu konusuyla ilgili tez çalışması yapmıştır. Tez çalışmasında yapılan modelleme sonlu elemanlar yöntemiyle simülasyon programı kullanılmıştır. Kullanılan sonlu elemanlar yöntemleri model ayrıklaştırma, sırasıyla hesaplama ve sonuç analizi. Yüksek basınçlı döküm sisteminin geometrik modeli yüksek basınçlı döküm makinesinin gerçek ölçülerine göre CAD simülasyonu kullanılarak yapıldı. Çalışmada piston hızı 0 to 0.2 ms⁻¹ farklı mesafelerde denenmiştir. Vuruş mesafesi 10 mm, 30 mm, 50 mm, 60 mm olarak belirlenmiştir. Denemesi yapılan vuruş mesafelerinde 50 mm simülasyon çalışmaları ve grafikler sonucunda belirlenip denemesi yapılan piston ilk vuruş hızı 0.2-0.3 ms⁻¹, 0.4-0.6 ms⁻¹ ve 0.6-1.0 ms⁻¹ belirlenmiştir. İncelenen simülasyon çalışmalarında optimum hız 0,4 ms⁻¹ olarak belirlenmiştir. Çalışmada vuruş noktası ve vuruş hızları incelenerek seçilen değerlerde porozite oluşumunun en az olacağı gözlemlenip bu tez çalışması simülasyon incelemelerinin önemi ve parça kalitesindeki etkisine olumlu şekilde referans olmuştur.

Niu (2000), vakumun alüminyum alaşımlarının yüksek basınçlı dökümde etkisini incelemiştir. Vakum sisteminin devreye alarak ve almayarak poroziteye etkisi karşılaştırılarak araştırılmış ve ergimiş alüminyum alaşımların Al-5%Si, Al-8%Si ve Al-18%Si 400 tonajlı enjeksiyon makinesinde denemeler yapılmıştır. Yapılan çalışmada vakumun gaz porozitesi ve çekinti porozitesine etkisinin olumlu olarak sonuçlandığı

ispatlanmış olup vakum yapılmadan yapılan denemelerde çıkan parçaların mikroskobik görüntüleri alınmıştır. Değerlendirilen görüntülerde gaz porozitesinin daha yoğun olduğu incelenmiştir.

Rathinam vd. (2020), taguchi metodu kullanılarak farklı proses parametrelerinde poroziteye etkisini incelemiştir. Çalışması yapılan parametreler vuruş noktası, 1.faz, 2.faz ve basınçtır. Çalışmalarda referans alınan vuruş mesafeleri 150, 160, 170,180 ve 190 mm, referans alınan basınç değerleri 260, 270, 280, 290,300 kg/cm², 1.faz hızları 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2,5 m/s, 2.faz hızları 2.0, 2.5, 3.5, 4.0 ve 4,5 m/s olarak optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda parametreler taguchi metoduyla çalışmaları yapıp optimum değerler 170 mm, 300 kg/cm², 1 m/s ve 4 m/s olarak karar verilmiştir. HPDC'yi optimize etmek için Taguchi metodolojisi benimsendi proses parametreleri ve elde edilen sonuçlardan şu sonuca varılabilir: bu teknik poroziteyi azaltmak için kullanılabilir

Subbiah vd. (2021) yapmış oldukları çalışmada dolu kalıba döküm yöntemiyle alüminyum 6082 ve silikon imal edilmiştir. Döküm işlemi sırasında farklı girdi kısıtlamaları dökme sıcaklığı, bulamaç viskozitesi ve soğuma süresi dikkate alınmıştır. Üretilen parçalarda çekme mukavemeti değerlendirilmiştir. Optimal faktörü belirlemek için Taguchi tekniği uygulanmıştır. Faktörün etkisi ve korelasyonu bir etkileşim planı aracılığıyla incelendi.

Antunes vd. (2015) EN AC 46000 serisi alüminyum alaşımının çekme özellikleri ve korozyon davranışı. enjeksiyon sıcaklığının ve basıncının mikro yapı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Ayrıca bu çalışmada dökümün porozite seviyeside incelenip değerlendirilmiştir. Alüminyum alaşım 760°C de eritilmiştir. 5 dakika gaz alma operasyonu yapıldıktan sonra 3 farklı enjeksiyon sıcaklığı denenmiştir. Çalışma yapılan sıcaklıklar 579 °C, 643 °C ve 709 °C dir. 280 tonajlı alüminyum enjeksiyon makinesinde piston vuruş hızları 1-5 m/sn⁻¹ arasında 20 saniyelik çevrim süresinde denemeler yapılmıştır. Enjeksiyon basıncı 35 MPa ve 70 MPa olarak belirlenmiştir. Deneme dökümleri sonucunda en küçük porozite çapları 579 °C ve 70 MPa parametrelerinde bulunmuş olup bu iki parametre referans alınmıştır.

Sung vd. (2008), kalıp içindeki çekirdeğin içerisindeki ergiyik metal enjeksiyonunu ve etkili kalıp tasarımının analizi için döküm simülasyonları incelemişlerdir. Çalışmalarında nominal koşulları, deneysel veriler kullanarak incelenen basit denklemlerle hesaplamışlardır.

Kwon vd. (2018) yüksek basınçlı dökümde simülasyon çalışmalarıyla optimum yolluk dizaynı hakkında çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında simülasyon değerleri olarak momentum denklemi, enerji denklemi, süreklilik denklemi ve dolum hacmi formüllerinden model değerlendirmeleri yapmışlardır. İnceledikleri simülasyon çalışmalarında dolum hacimlerini %10 değerinden %95 e kadar incelemede bulunulmuş dolum hacimlerine göre parçanın simülasyonda hangi bölgelerin soğuk veya dolmamış olduklarını inceleyip aldıkları referanslara göre yani dolumu zor olan bölgeleri belirleyip yolluk dizaynını buna göre tasarımını yapmışlardır.

Guo vd. (2019) $AlSi_{17}Cu_{2.5}$ alaşımını yüksek basınçlı alüminyum dökümde 0,05, 0,10 ve 0,15 m/sn hızlarını kullanarak sabit vuruş noktasında denemeler yapıp piston vuruş hızının dolumda etkisini araştırmışlardır. Deneme yapılan ürünlerin mikroskobik görüntüleri incelenmiştir ve vuruş noktası sabitken eğer hız parça özelliklerine göre olması gereken hızdan yavaş ise donma, soğuk birleşme ve porozite yaptığı gözlemlenmiştir.

Ji vd. (2018) vakumun yüksek basınçlı alüminyum enjeksiyona olumlu etkisini Al-Si-Mg-Mn alaşımlarda mekanik özelliklerde tekrarlanabilirliğini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada vakum yöntemi farklı zamanlarda ve farklı basınçlarda devreye alınmıştır. Çalışmalar sonucunda vakum süresi iyi hesaplanmazsa poroziteye bir etkisi olmayacağını hatta 1.fazdan 2.faza geçerken geç kalma durumu olursa devreye girip kalıbın içerisindeki havayı alma yerine sıvı metal alaşımını alabileceği ve bunun da makineyi bozacağı anlatılmıştır.

BÖLÜM 5

ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deneysel çalışmalar sırasında 2 farklı yolluk tasarımı yüksek basınçlı döküm otomotiv parçası (motor bağlantı elemanı) üzerinde farklı yolluk tasarımlarının parçalarda yaşanan soğuk birleşme, baloncuk ve porozite hataları üzerine etkileri Nowaflow&Solid yüksek basınçlı döküm simülasyon yazılımı kullanılarak incelemeleri yapılmış ve sonrasında çalışması yapılan 2 farklı yolluk tasarımından 1 tanesi seçilmiştir. Seçilen 2 tane farklı yolluk tipinin simülasyon parametreleri aynı girilmiştir. Parametrelerin aynı olmasından dolayı kontrol edilen ve incelemeleri yapılan konular parçada porozite ve görsel kontroldür. Görsel kontrol, X-Ray ve test sonuçları ile simülasyon sonuçlarının doğrulaması yapılmıştır. Tez kapsamında deneysel çalışmada bulunan parça spesifik olarak basma testi ve parçanın içerisindeki porozitenin ASTM standardına göre seviye 2 içerisinde olduğunu doğrulamak için keserek porozite testi ve radyoskopi sonuçları incelenip başarıyla sonuçlanmıştır.

5.1. Yolluk Dizaynı

Yolluk dizaynı için belli başlı parametreler vardır. Bu parametrelerin en önemlisi kesit alanı hesabıdır. Kesit alanı hesabı yapılırken parçaya giriş yapılan yerin alanından başlanır topuk bölgesine kadar devam eder. Kesit alanı hesaplandıktan sonra yolluk dizaynı yapılır. Yolluk dizaynında çok fazla girinti çıkıntı, kavis, keskin köşeler tercih edilmez. Akış her zaman laminar olmalı ve enerji kaybı yaşanmamalıdır. Parçanın yolluk dizaynı bu kriterler ışığında tasarlanmıştır. Yapılan simülasyon hız parametresini gösterir burada hızın birimi santimetre/saniye şeklindedir. Parçanın ağırlığına göre belirli hız değerleri vardır. Simülasyon incelenirken renk göstergeleri baz alınır. 2000 cm/sn-3000 cm/sn aralığındaki değer enjeksiyonun başladığı yerde olmalıdır ve hız parçaya giriş yapılan yolluklarda 4000 cm/sn-5000 cm/sn aralığında olmalıdır. Bu renk değişiminin yanı sıra hızın artış gösterdiği yer vuruş yeri (switch noktası) olarak tanımlanır. Switch

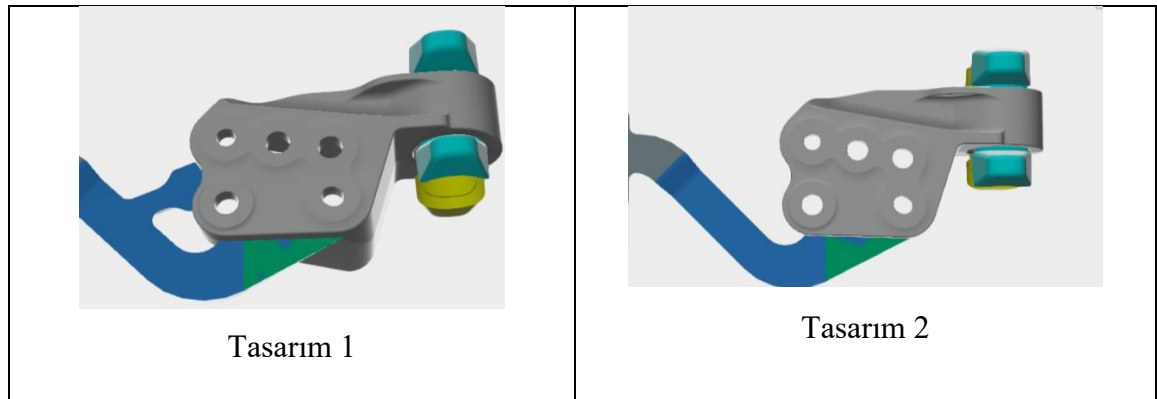
noktası 1.fazdan-2.faza geçiş yaptığı yer olarak tanımlanır. 1.faz topuktan başlayıp parçayı besleyen yolluğun(1.yolluk ve 2.yolluk) önüne kadar gelmelidir ve parçanın içine girmemelidir. Parçanın içine enjeksiyon başladığı yerde 2.faz devreye girmelidir ve hız artışı olmalıdır

5.2. Hava Cebi Dizaynı

Hava cebi, ürünün enjeksiyonu esnasında içerideki havanın atılmasını sağlar. Tasarım sırasında hava cebinin, parçaya giriş yapan yolluğa en uzak ve parçanın en kalın yerine yerleştirilmesi gerekir. Simülasyonda izlenmesi gereken önemli bir nokta hava cebinin parçadan evvel dolmamasıdır. Aksi halde parçada porozite olur. Sunulan çalışmada üretilecek parça için toplam 4 adet hava cebi tasarlanmış ve kalıbın uygun yerine yerleştirilmiştir.

5.3. Yolluk Sayısının Tespiti

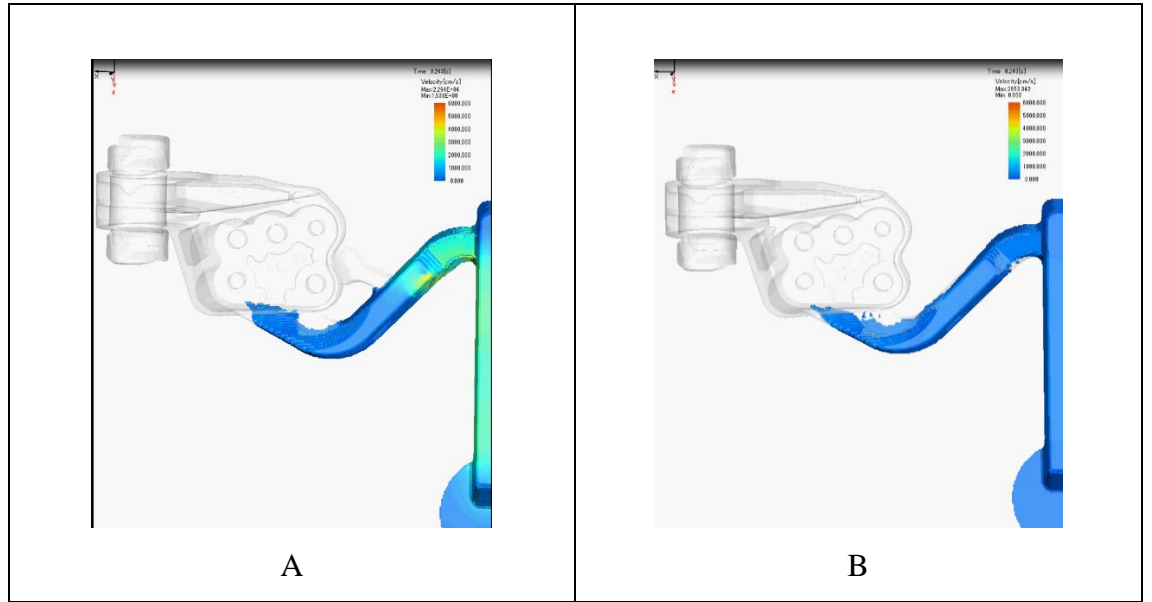
Genel olarak enjeksiyon kalıp yolluk tasarımı yapılırken 1 den fazla yolluğun kullanılması tercih edilmez. Ancak sunulan çalışmada üretimi yapılacak parça nispeten büyük ve kalın olduğundan -literatür doğrultusunda- teğetsel tip yolluk kullanmak kaydıyla 2 adet yolluk ta tercih edilebilir. Teğetsel tipde yollukta akışın 2 yönlü dağılma olasılığı mevcuttur. Bu bakımdan imalatı yapılacak ürünün enjeksiyonu için 1 adet yolluk ve 2 adet yolluk içeren ve Şekil 5.1’de gösterilen 2 farklı tasarım düşünülmüştür. Her iki yolluk sayısı için aşağıda simülasyon sonuçları farklı parametreler ışığında irdelenmiş ve yüzey kalitesi ile porozite bakımından en uygun tasarım belirlenmiştir.



Şekil 5.1. Simülasyon çalışması yapılan 2 farklı yolluk tipi

5.3.1. Kalıba Malzeme Girişi

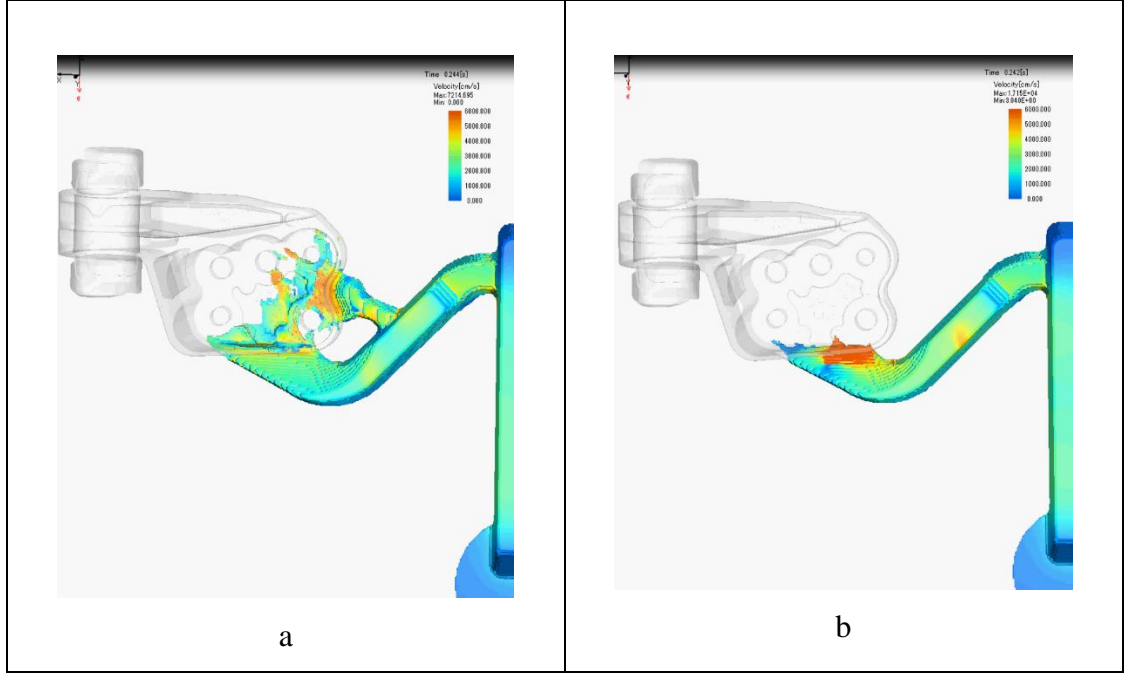
Malzeme akışı simülasyonu seri üretim makine parametreleri şartlarında gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar şekil 5.2’de gösterilmektedir. Şekil 5.2.a’da 2 adet yolluk sayısına sahip tasarımın simülasyon sonuçları gösterilmektedir. Görüldüğü gibi büyük olan yolluktan alüminyum alaşım parçanın içine dolacakken diğer yolluk girişine daha alüminyum gelmemiştir. Bu durum ürün içerisinde laminer akış şartlarını bozacak ve porozite ihtimalini arttıracaktır. Çünkü ilk yolluktan malzeme akışı olduktan sonra içeri başka bir yolluktan malzeme girmesi türbülans tehlikesi oluşturmaktadır. Şekil 5.2.b’de görüldüğü üzere tek yollukta böyle bir tehlike söz konusu değildir.



Şekil 5.2. 2 Farklı yolluktaki kalıba malzeme girişi

5.3.2. Pimde Yapışma

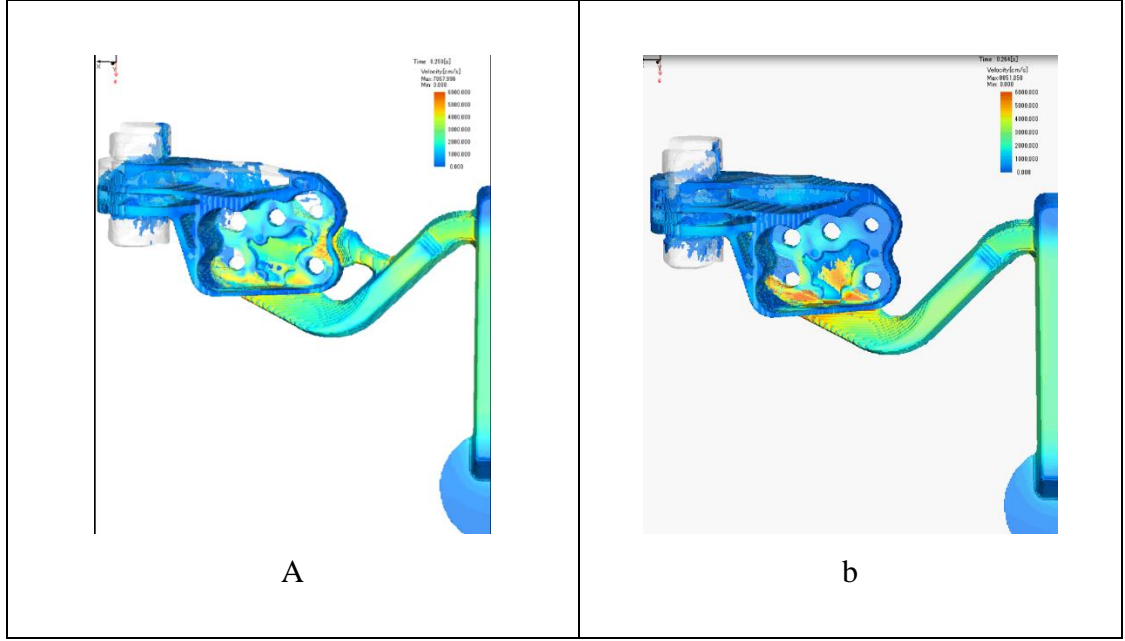
Parçanın orijinal geometrisi gereği parça üzerinde bir pim mevcuttur. Bu pim tasarım gereği 2 yolluklu sistemde küçük olan yolluğun çok yakınındadır (Şekil 5.3.a). Simülasyon detaylı incelendiğinde alüminyum oraya sürekli olarak hızlı bir şekilde çarpacağı için yüzey kalitesinin bozuk çıkma tehlikesi mevcuttur. Şekil 5.3.b’de gösterilen tek yolluklu tasarımında enjeksiyondan dolan alüminyum herhangi bir engelle çarpmadan dolum yapar ve laminer akışı bozacak bir durum yoktur.



Şekil 5.3. 2 Farklı yolluktaki akışın pime etkisi

5.3.3. Hava Cebinin Parçadan Önce Dolması

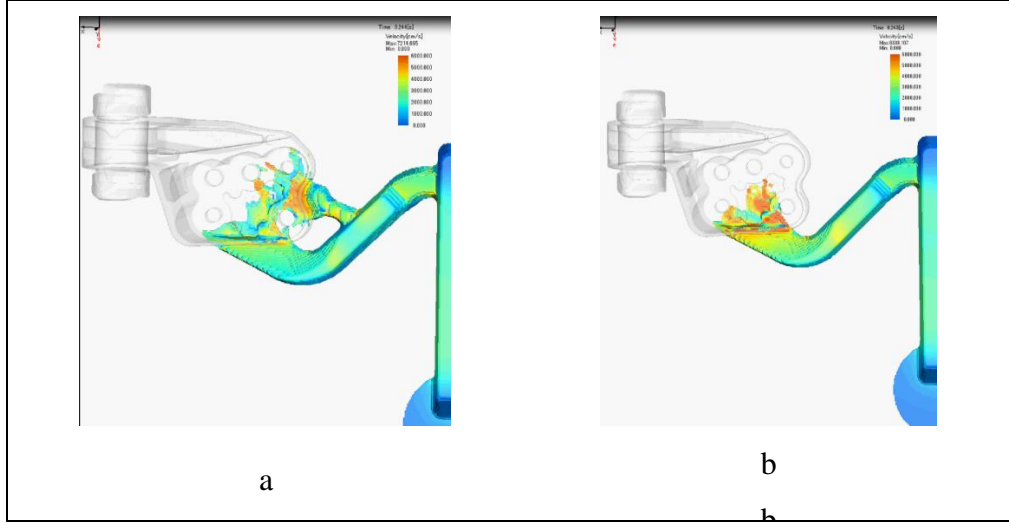
Hava cebine malzeme dolması simülasyon esnasında incelenmesi gereken önemli bir konudur. Hava cebine parçadan önce alüminyum veya herhangi bir alaşım doluyorsa akış devamında içeride bir türbülans oluşturma ihtimali yüksektir ve bu poroziteye yol açar. Şekil 5.4.a incelendiğinde 2 yolluklu tasarımda parçanın henüz dolmayan bölgeleri olduğu halde türbülanslı bir akış olduğundan hava ceplerine malzeme dolmaya başlamıştır. Bu malzeme hava cebini doldurup parçanın içine doğru yönelecektir. Bu durum porozite olarak karşımıza çıkar. Tek yolluklu tasarım için malzeme akış simülasyonu Şekil 5.4.b'de gösterilmekte olup burada hava cebine malzeme girişi tüm parça dolduktan sonra olmaktadır.



Şekil 5.4. 2 Farklı yolluktaki akışın hava cebi dolumu

5.3.4. Malzeme Akışı

Şekil 5.5.a'da ok yönünde görüldüğü gibi 2 yolluk içeren tasarımın büyük yolluğundan parçanın kalın duvar kısmına doğru hızlı ve sıcak bir akış yolu vardır. Küçük olan yolluktan giren malzeme ise farklı bir yol izlemektedir. Bu durum parçanın girişinde türbülans oluşturup içerideki havayı hapsederek porozite oluşumuna yol açar. Şekil 5.5.a'da görüldüğü gibi iki adet yolluk vardır. Büyük olan yolluk girişinden sıvı alüminyum yukarı doğru bir yol giderken küçük olan sağ taraftaki yolluktan gelecek sıvı alüminyum tam karşıya doğru bir püskürtme yapacaktır bu da farklı zamanlarda parçanın içinde birbirine çarpıp sıvı alüminyumun belirli bir rota izlemeden dolması demektir. Bu da porozite ve türbilans yaratacaktır. 5.5.b'de tek yolluklu tasarımda ise görüldüğü gibi malzeme akışı tek yöndedir. Bu durumda laminar bir akış söz konusu olup porozite ihtimali azalmaktadır.



Şekil 5.5. 2 Farklı yolluktaki malzeme akışı

Yukarıda verilen simülasyon sonuçlarına bağlı olarak tasarımın tek yolluklu yapılması kararlaştırılmıştır. Hava cebi sayısı baştan tasarlandığı gibi 4 olarak sabit kalacaktır. Bu durumda kalıpların imalatına başlanmış ve enjeksiyon parametrelerinin seçimine geçilmiştir

5.3.5. Porozite İncelemesi

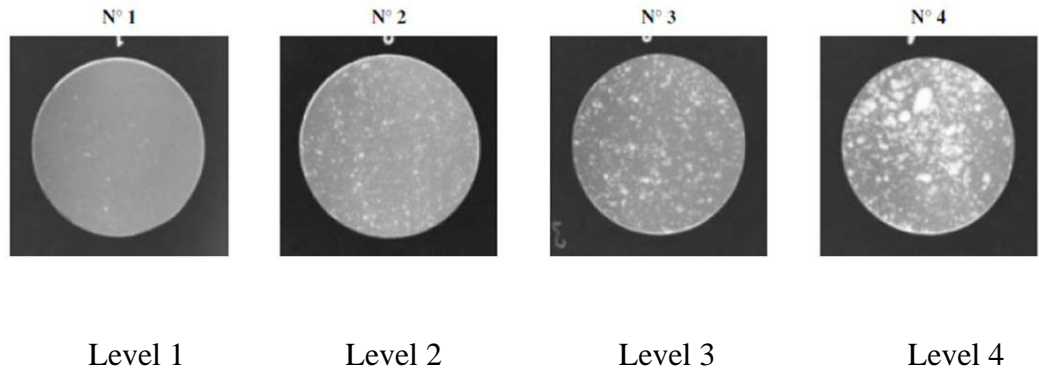
İki tasarımın simülasyonları incelendiğinde, simülasyon porozite büyüklük ve oranları incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda tek yolluklu tasarımda porozite oranı daha az ve yoğunluğu iki yolluklu tasarıma göre daha uygun sonuç çıkarmıştır. İki yolluklu tasarım çalışmasında parçanın boynuz kısmı yani hava cebi olan kısmı parçanın montaj hattında önemli bir yere sahiptir ve porozite istenmeyecek kadar az olmalıdır. Bu nedenden dolayı 1 yolluk ve 4 hava cebi olan tasarım incelenip onaylanmıştır. Görseldeki noktalar poroziteyi ifade etmektedir. Noktaların rengi maviden turuncuya doğru gitmesi o bölgede oluşacak porozitenin yani hava boşluğunun boyutu anlamına gelmektedir. Porozite standartlarına göre incelenen bölgenin duvar kalınlığına göre 2 bölüme ve her bölüm de kendi içinde 4 seviyeye ayrılır:

1. Duvar kalınlığı 9,5 mm ve daha küçük olan bölgeler
2. Duvar kalınlığı 9,5 mm'den büyük, 25,4 mm veya daha küçük olan bölgeler

Çizelge 5.1. ASTM E 505 duvar kalınlığına göre porozite şartları

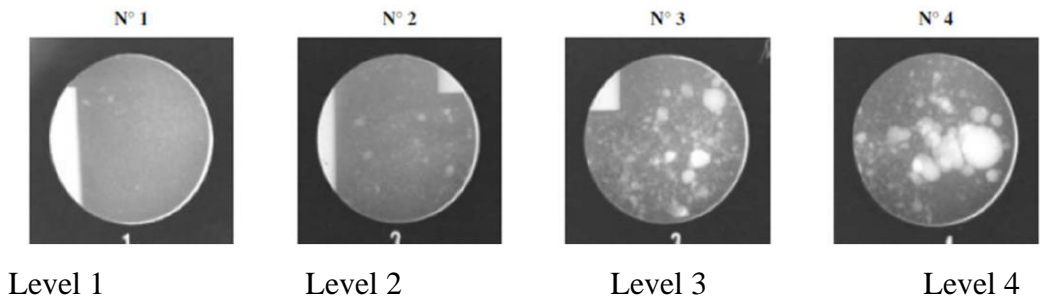
Seviye	Duvar Kalınlığı in.(mm)	Uygulanabilir Döküm Kalınlığı in.(mm)
Alüminyum Döküm		
Kategori A (Porozite)	1/8 (3.2)	up to 3/8 (9.5), incl
Kategori A (Porozite)	5/8 (15.9)	over 3/8 to 1 (9.5 to 25.4), incl
Kategori B (Soğuk Birleşme)	1/8 (3.2)	up to 3/8 (9.5),incl
Kategori C (Çekinti)	5/8 (15.9)	over 3/8 to 1 (9.5 to 25.4), incl
Kategori D (Yabancı madde)	0.200 (5.08)	up to 1 (25.4),incl

1. Duvar kalınlığı 9,5 mm ve daha küçük olan bölgeler



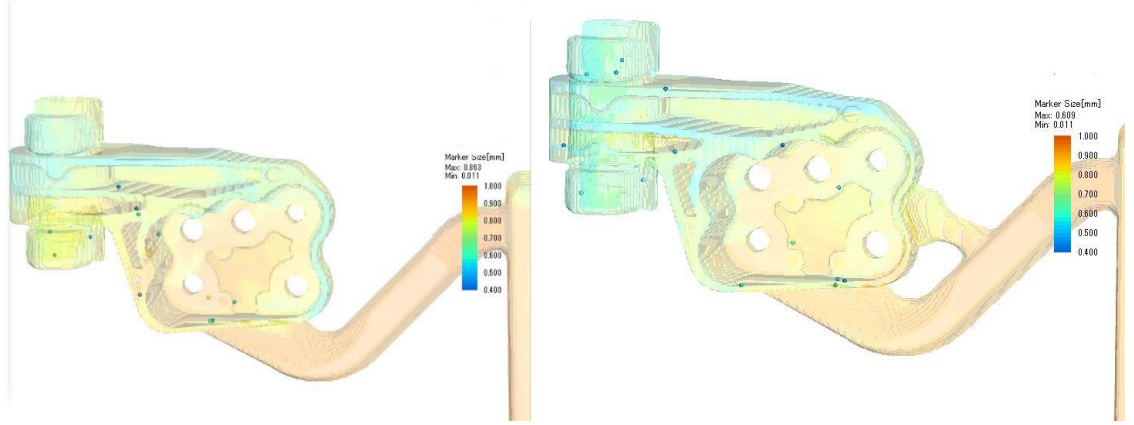
Şekil 5.6. ASTM E 505 Duvar kalınlığı 9,5 mm den küçük bölgelerdeki porozite seviyeleri

2. Duvar kalınlığı 9,5 mm'den büyük, 25,4 mm veya daha küçük olan bölgeler



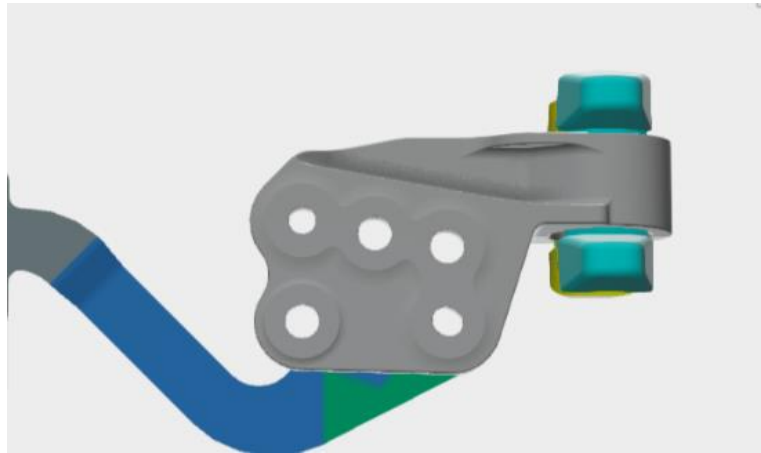
Şekil 5.7. ASTM E 505 duvar kalınlığı 9,5 mm den büyük bölgelerdeki porozite seviyeleri

Yukarıda belirtilen porozite seviyelerinde parçanın kalınlığına göre porozite oranı belirlenip ASTM kriterine göre ölçülür. Simülasyon çalışmalarında sonucundaki aşağıdaki görselde porozitenin boyutları incelenip yapılacak olan kalıp tasarımındaki porozite boyutları parçanın kalınlığına göre okey veya red olup olmadığı anlaşılır.



Şekil 5.8. Seçilen farklı yolluk tiplerindeki dolum sonrası oluşan muhtemel porozite boyutları

Yukarıda iki farklı yolluk tipi incelenmiştir. Tasarımların parça yüzey kalitesi ve porozite bakımından 5 farklı konuda incelemeleri yapılmış olup tasarım 2 yani 1 yolluklu 4 hava cebi olan tasarım seçilmiştir. Şekil 5.9’da seçilen tasarımı görebilirsiniz.



Şekil 5.9. Seçilen yolluk tipi

Seçilmiş olan tasarımın kalıp çalışmaları yapılmış olup tek gözlü protatip kalıbı imal edilmiştir. Yapılacak kalıp 750 tonluk makineye göre ayarlanıp üretim denemesinin orada yapılacağına karar verilmiştir.

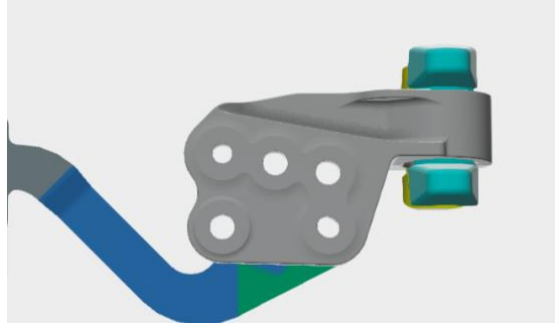


Şekil 5.10. 750 tonluk yüksek basınçlı enjeksiyon makinesi

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Tasarım onayı verildikten sonra simülasyon çalışmaları 6 farklı parametrede yapılmıştır. Switch noktası(vuruş noktası) 50 mm/ 60 mm / 70 mm olarak denemesi yapılmıştır. Vuruş hızı 2 m/sn 4 m/sn ve 6 m/sn olarak simülasyon çalışmaları yapılmıştır.

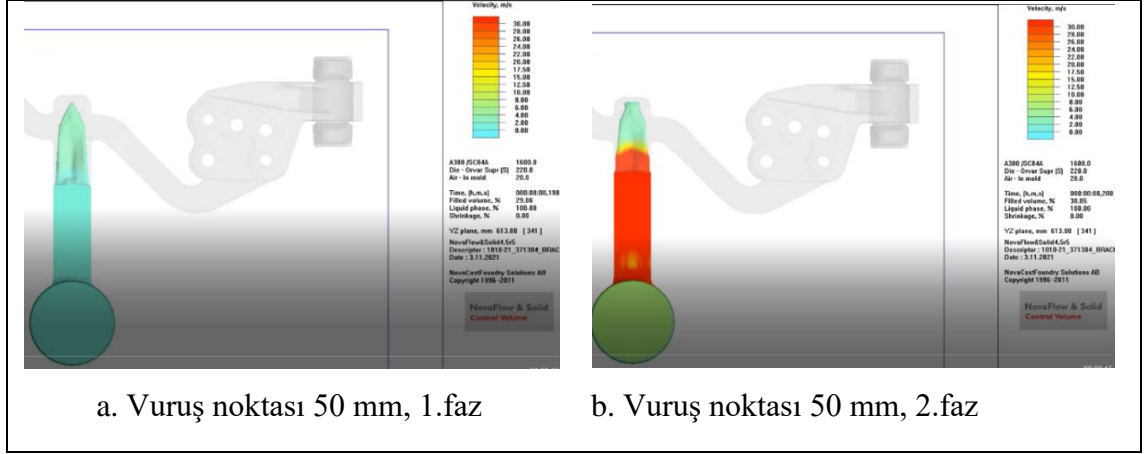


Şekil 6.1. Seçilen yolluk tipi

6.1. Switch Noktası

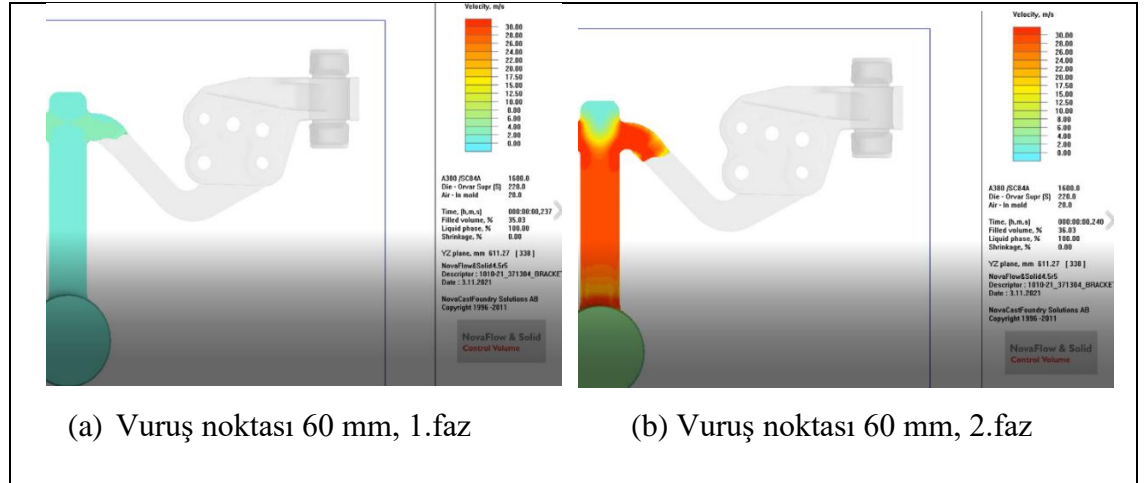
Vuruş noktası besleyici yolluktan parça giriş yolluğuna yakın bir noktada olması gerekir. Vuruş noktası şekil 6.2.b 1.fazdan 2.faza geçtiği nokta olarak tanımlanır.

Aşağıdaki simülasyon çalışmasına doldurma hacmi %29,06 iken renk mavidir. Mavi renk hız tanımında 0-2 m/sn aralığındadır. Renk maviden kırmızıya gitmesi hızın artışı anlamına gelir ve bu da 2.faza geçtiği noktadadır.



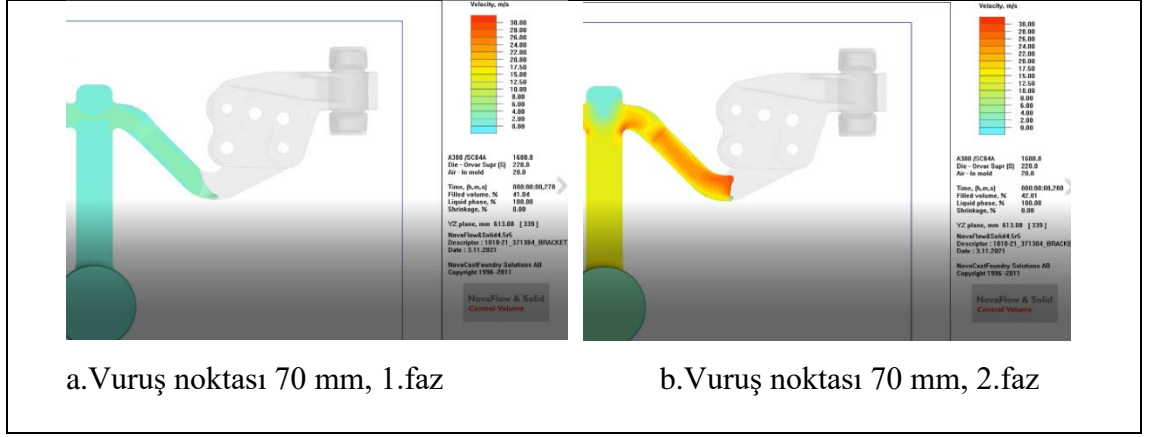
Şekil 6.2. Vuruş noktası 50 mm dolumun 1.fazdan (a) 2.faza geçtiği nokta (b)

Şekil 6.2.b de dolum hacmi %30,05 dir ve renk değişimi gözlenmektedir. Bu fark bize hızın arttığı yani 2.faza geçtiği anlamına gelir ve vuruş noktası renk değişiminin başladığı yerdir. 50 mm vuruş noktası parçaya yakın yerde değildir ve uygun parametre değildir. Bir sonraki çalışmada vuruş noktası 60 mm olarak belirlenip denemelerini aşağıda görebilirsiniz.



Şekil 6.3. Vuruş noktası 60 mm dolumun 1.fazdan (a) 2.faza geçtiği nokta (b)

Şekil 6.3.a'da vuruş noktası 60 mm'de dolum hacmi %35,03 de 1.fazdadır şekil 6.3.b'de %36.03 dolum hacminde renk değişimi olmuştur. Bu fark bize vuruş noktasını gösterir. 50 mm vuruş noktasıda istenilen parametre değildir. Vuruş noktası uygun dolum için parçayı besleyen yan yollukta olmalıdır. Vuruş noktası 70 mm denemesi yapılmıştır. Aşağıda görebilirsiniz.



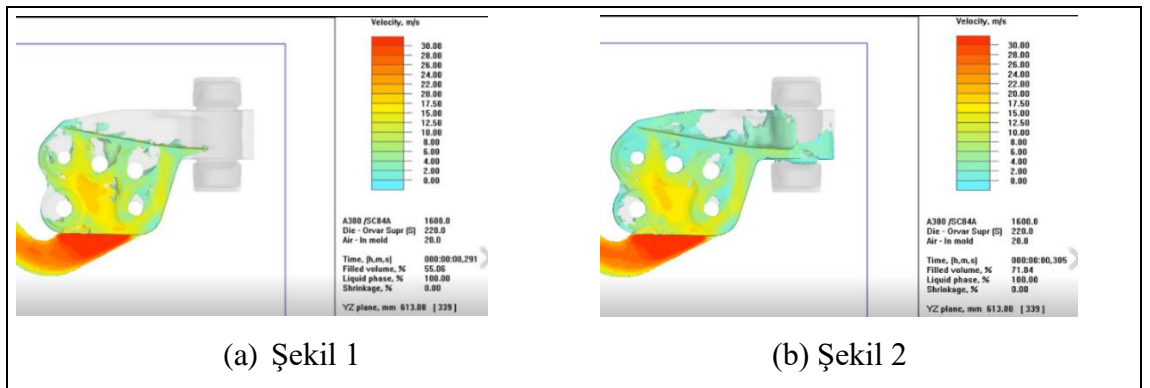
Şekil 6.4. Vuruş noktası 70 mm dolunun 1.fazdan (a) 2.faza geçtiği nokta (b)

Şekil 6.4.a'da vuruş noktası 70 mm'de dolun hacmi %41,04 de 1.fazdadır şekil 6.4.b'de %42.01 dolun hacminde renk değişimi olmuştur. Bu fark bize vuruş noktasını gösterir. 70 mm vuruş noktasında istenilen parametreye ulaşılmış olup switch noktası 70 mm olarak karar verilmiştir

6.2.2. Faz Sonuçları

70 mm vuruş noktasında 2 m/sn 4 m/sn ve 6 m/sn hızları denemesi yapılmıştır. 2.fazda önemli olan kriter dolun hızlı olmalıdır. Sıvı metal parçanın şeklini alırken erken donma yapmamalıdır. Erken donma yaparsa kalıp açıldığında parça eksik çıkacaktır. Porozite olması ve soğuk birleşme riskleri kaçınılmazdır.

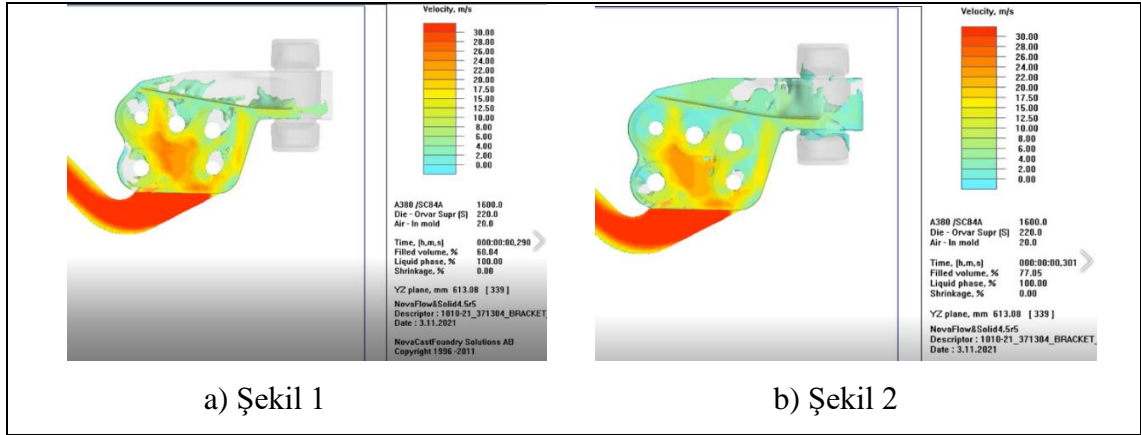
2.faz hızı:2 m/sn



Şekil 6.5. Metal akışı esnasında simülasyon incelemeleri

Şekil 6.5.a'da dolum hacmi %55 değerlerindeki parçanın iç kısmında sıvı metalin hızı 10 m/sn-15 m/sn'dir ve düşüktür ve teorik olarak parçanın içindeki hızın 2-4 m/sn olduğu zamanlarda parçanın neredeyse %90 ı dolmuş olması gerekmektedir. Şekil 6.5.b'de ise dolum hacmi %71 seviyelerindeyken parçayı besleyen yolluğa en yakın pimde boşluklar vardır. Bu durum enjeksiyon hızının düşük olması ve boşlukların olması porozite,donma veya soğuk birleşme olacağını kesin gösterecektir.

2.Faz Hızı: 4 m/sn

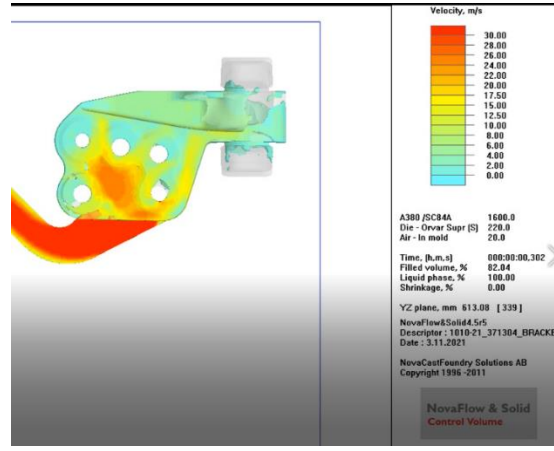


Şekil 6.6. Metal akışı esnasında simülasyon incelemeleri

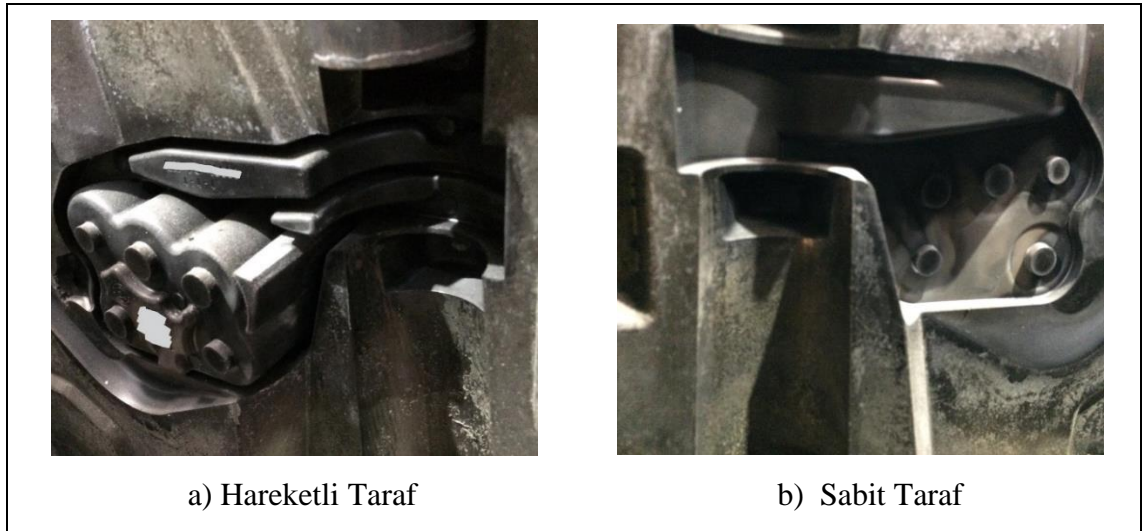
2.Faz hızınının 2 m/sn denemesi başarılı bir dolum yapmadığından dolayı 2.faz hızı 4 m/sn denemesi yapılmıştır.Yukarıda görmüş olduğunuz şekil 6.6.a ve şekil 6.6.b. 4 m/sn dolumda farklı zamanlardaki dolum sıcaklığını ve oranını göstermektedir.

4 m/sn denemesinde parçanın dolumu ilk denemeye göre daha uygundur.Parçanın dolum hacmi şekil 6.6.a %60,04 iken dolum hızı 15-20 m/sn arasında gelmektedir fakat parçanın dolum yapılmayan bölgesi hala yüksektir. Şekil 6.6.b de ise parçanın en kalın yerin dolumu hala yapılmadığı halde parçanın iç hızı düşüşe geçmektedir. 4 m/sn denemesinde uygun bir dolum değildir. Parçada porozite ve donma ihtimali çok yüksektir.

2.Faz Hızı: 6 m/sn



Şekil 6.7. Metal akışı esnasında seçilen hızın simülasyon incelemeleri

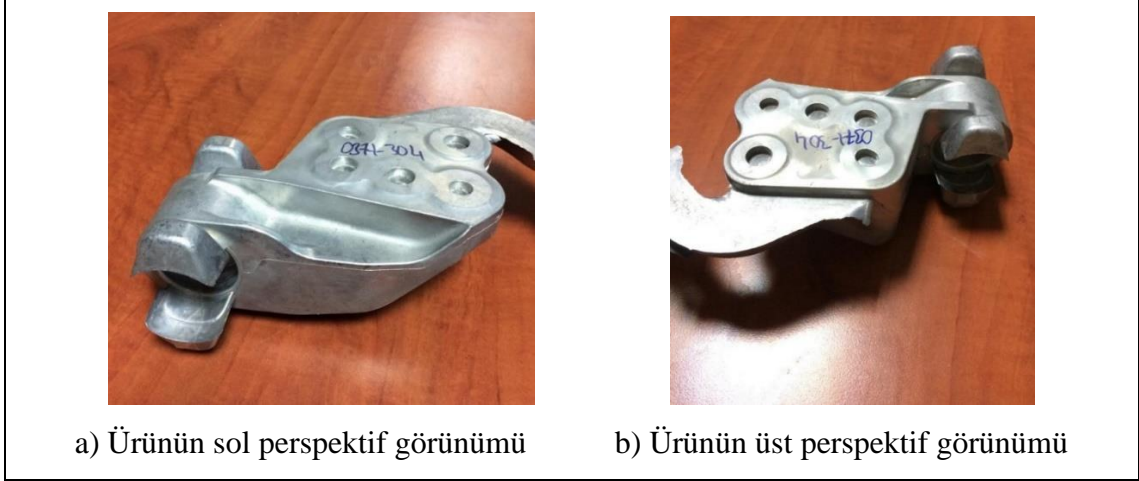


Şekil 6.8. Parça için üretilen kalıbın hareketli(a) ve sabit(b) tarafı

Ürün tasarımı incelenen simülasyon çalışmaları sonucunda karar verilip kalıbın üretimi yapılmıştır. Kalıp tek gözlü protatip imal edilmiştir. Hava cebi simülasyon çalışmalarında olduğu gibi 4 tane olacak şekilde üretilmiştir. Hava ceplerinin 2 adeti kalıbın hareketli tarafında 2 adeti sabit tarafında tasarlanmıştır.

Yüksek basınçlı enjeksiyon dökümde havuzda 650-700 derece arasında sıvı metal bekletilir. Kepçe sıvı metali ocaktan alır makinenin içine doğru iletir o anda soğuma gerçekleşmeden piston sayesinde sıvı metal kalıbın içine itilir buna enjeksiyon işlemi

denir. Kalıbın içine giren sıvı metal kalıbın içindeki çekirdeğin şeklini alır ve enjeksiyon tamamlandığında kalıp açılıp parça kalıptan çıkartılarak soğumaya bırakılır.

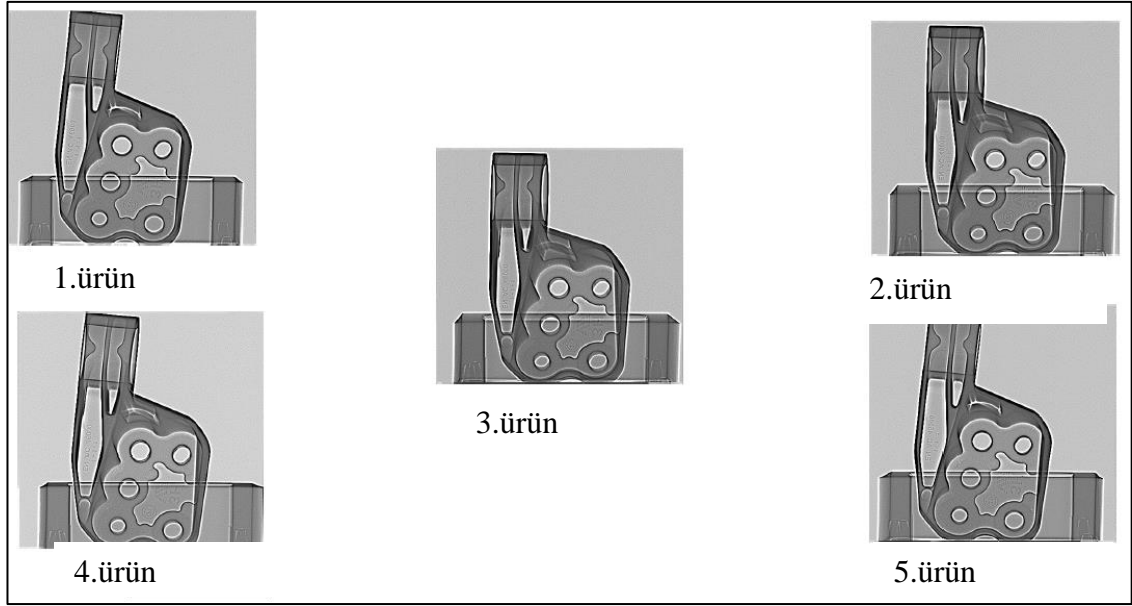


Şekil 6.9. Üretilen ürünün sol (a) ve üst (b) perspektifi

Parça kalıptan çıktığındaki halini yukarıdaki görselde görebilirsiniz. Görülebildiği gibi parçanın kalıpta kalan bir bölgesi, kırılan bir bölgesi veya donma gibi bir durum karşılanmamıştır. Parçanın simülasyon çalışmalarında uygun olduğu tespiti üretim denemesi sonucunda da aynı sonuçları bize göstermiştir. Simülasyon çalışmalarında önceden de bahsettiğimiz üzere yüzey kalitesi ve porozite konularına yoğunlaşılır. Diğer ürün parametrelerinde bize çok aydınlatıcı bilgiler verdiği söylenemez. Yüzey kalitesine bakıldıktan sonra üretilen ürün röntgen odasına götürülüp tomografi cihazı ile porozite sonuçları incelenir.

6.3. X-Ray Sonuçları

Altındaki görsellerde tasarım onayı verildikten sonra kalıp üretimi olmuştur. Kalıp üretiminden sonra deneme dökümü olmuştur. Deneme dökümü esnasında 5 tane parçanın porozite incelemesi Yxlon Computed Tomography röntgen cihazında incelenmiş olup parçanın porozite açısından uygun olduğu ASTM 505 standartlarına göre seviye 2 standardının içinde olduğu belirtilmiştir. Görseller parçanın simülasyon çalışmalarında olduğu gibi porozite açısından level 2 standardına uygun olduğu belirlenip parçanın başarılı bir şekilde üretimi tamamlanmıştır.



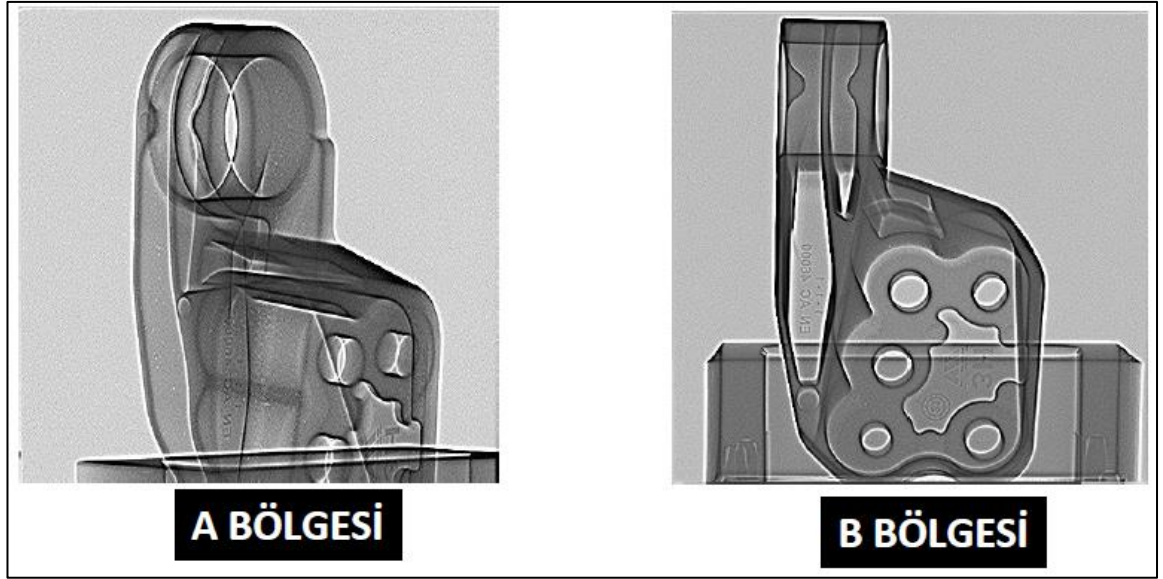
Şekil 6.10. X-Ray radyoskopi görüntüleri



Şekil 6.11. Yxlon computed tomography

6.4. Radyoskopi Sonuçları

Şekil 6.10'da üretilen 5 parçanın (X-RAY) röntgen cihazında porozite kontrolü yapıldıktan sonra radyoskopi cihazında da kontrolleri sağlanmıştır. Bu iki testin amaçları aynıdır. Aradaki tek fark X-RAY cihazının çözünürlüğü daha hassastır.



Şekil 6.12. Röntgen görselleri

Çizelge 6.1. ASTM 505 kalınlığa göre porozite kabulü

BASINÇLI ALAŞIM DÖKÜM İÇİN KABUL EDİLEBİLİR LİMİT								
HATA	LEVEL 1		LEVEL 2		LEVEL 3		LEVEL 4	
	<9,5 mm	≥ 9,5 mm	< 9,5 mm	≥ 9,5 mm	<9,5 mm	≥ 9,5 mm	<9,5 mm	≥ 9,5 mm
POROZİTE			*					
SOĞUK BİRLEŞME			*					
ÇEKME BOŞLUĞU			*					
YABANCI MALZEME			*					

Çizelge 6.2. Radyoskopi cihaz parametreleri

HATA DEĞ. STAN. : ASTM E 505 LEVEL 2 (<i>EVALUTION NORM</i>) :	GÖRÜNTÜ KALİTE BELİRTECİ / NO : 10 ALEN 13W TEK CİDAR (<i>SCREEN QUALITY MARKER</i>):
" FFD " MESAFESİ (MM) : 1200 (<i>" FFD " DISTANCE (MM)</i>) :	" F " MESAFESİ (MM) : 230 (<i>" F " DISTANCE (MM)</i>) :
TEST STANDARTI : EN 444 / EN 462-3 (<i>TEST STANDARD</i>) :	AKIM (MA) : 3,2 (<i>CURRENT (mA)</i>):
İŞİNİM KAYNAĞI / TİPİ : X Işını / 225 KW - 4 MA (<i>RADIATION STANDART</i>) :	VOLTAJ (KV) : 160 (<i>VOLTAGE (KV)</i>) :
" d " (mm) : Ø 0,5	KALINLIK (mm) : 9,5 (<i>THICKNESS</i>):
PROGRAM NO : (<i>PROGRAM NO</i>) :	
KULLANILAN KISALTMALAR (list of abbreviations) :	
Odak - parça mesafesi : <i>Focus -part distance : F</i>	Hata değerlendirme standardı : Hata değ. Stan. <i>Evaluation standart:</i>
Odak - Ekran Mesafesi : FFD <i>Focus - Screen distance :</i>	Odak Büyüklüğü : d <i>Focus size :</i>

Radyoskopi cihaz parametreleri Çizelge 6.2’de belirtilmiştir. İncelenen bölgeler 9,5 mm kalınlığındaki yerler olmuştur. Seviye 2 standardına göre radyoskopi incelemeleri yapılan yerlerin sonuçları şekil sgsdfgs de belirtilmiş olup parçada mikro porozite görülmüştür ve seviye 2 nin altında bir durumdur. Parçada soğuk birleşme, çekme boşluğu ve yabancı malzeme tespiti olmayıp parça radyoskopi testinden onay almıştır. Altta tablodaki radyoskopi test sonuçları gösterilmiştir.

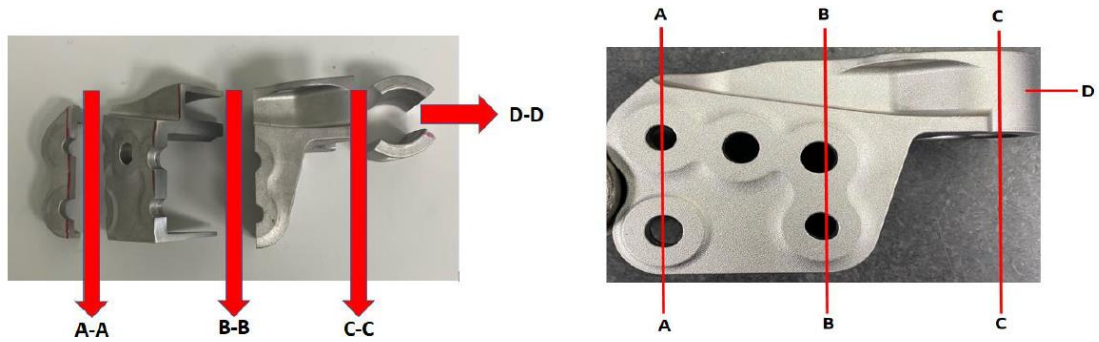
Çizelge 6.3. Radyoskopi test sonucu

Prozite (<i>Porosity</i>) " A "	mikro porozite. (micro porosity. Accepted for ASTM E 505 LEVEL 2)
Soğuk Birleşme (<i>cold flow</i>) " B "	hata tesbiti yapılmamıştır (no detected any cold flow limit of ASTM E 505 LEVEL 2)
Çekme Boşluğu (<i>shrinking cavity</i>) " C "	hata tesbiti yapılmamıştır (no detected any shrinking cavity limit of ASTM E 505 LEVEL 2)
Yabancı malzeme (<i>Foreign material</i> " D ")	hata tesbiti yapılmamıştır (no detected any foreign material limit of ASTM E 505 LEVEL 2)

6.5. Keserek Porozite İncelemesi

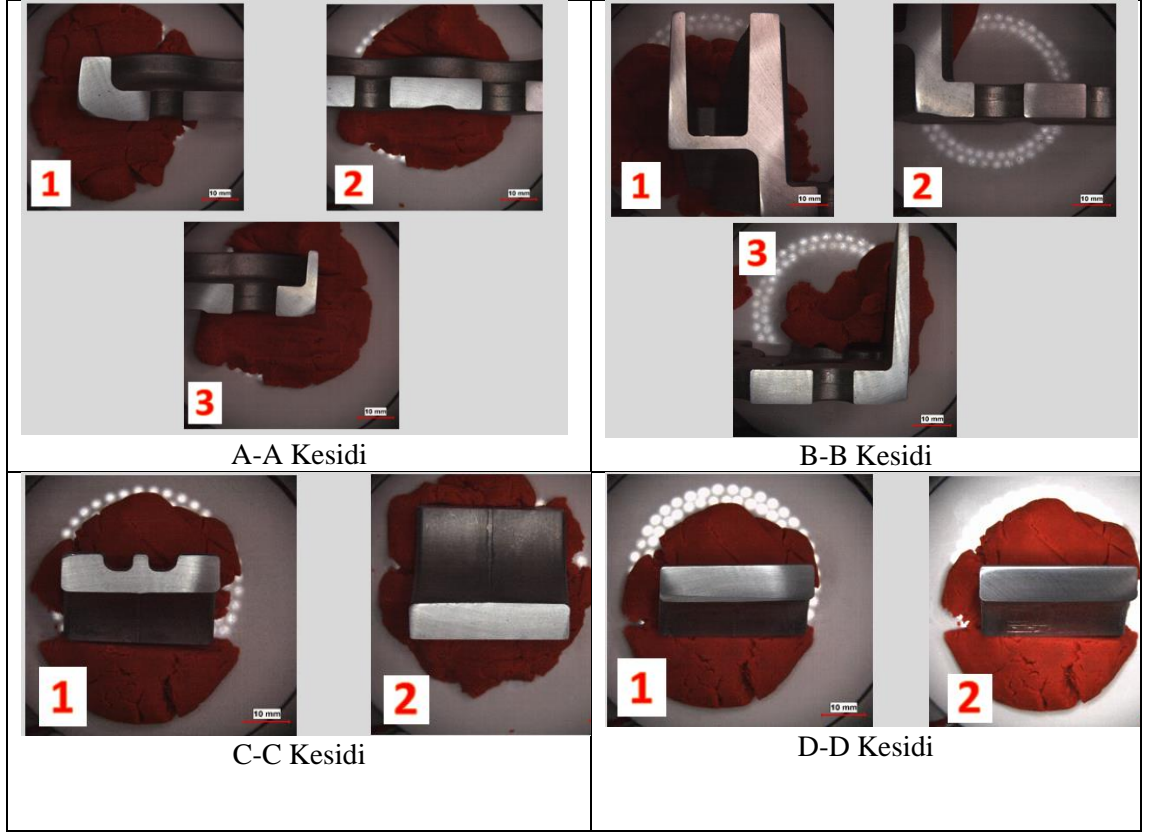
Keserek porozite incelemesi parçaya yapılan ayrı bir testtir. Üretimi yapılan 1 parça referans alınıp testere ile kesilerek porozite testine tabi tutulmuştur. Bu testte parça mukavemet olarak sağlamlığının önemli olduğu montaj noktaları belirlenip kesilmiştir.

Kesilen bölgeler şekil 6.15 de A-B-C-D bölgelerinden kesilip polisaj işlemi ile parlatma prosesi yapılmıştır. Kesilen bölgelerin alanları bulunup toplam alan içindeki porozite var mı eğer kesilen bölgelerde porozite var ise oranını bulma hesabı yapılmıştır. Testin amacı ASTM E 505 seviye 2 ye göre kalınlığı 9,5 mm'den küçük olan bölgelerdeki en büyük hava boşluğu yani porozitenin çapının 0,5 mm'den küçük olup olmadığını bulmaktır. Simülasyon çalışmalarında tasarım 2 seçilirken yapılan karşılaştırmalarda porozite incelemesi yapılmıştır. Yapılan incelemede en yüksek porozite çapının 0,5 mm'den küçük olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada da bu verinin doğruluğunun sağlanması amaçlanmaktadır.

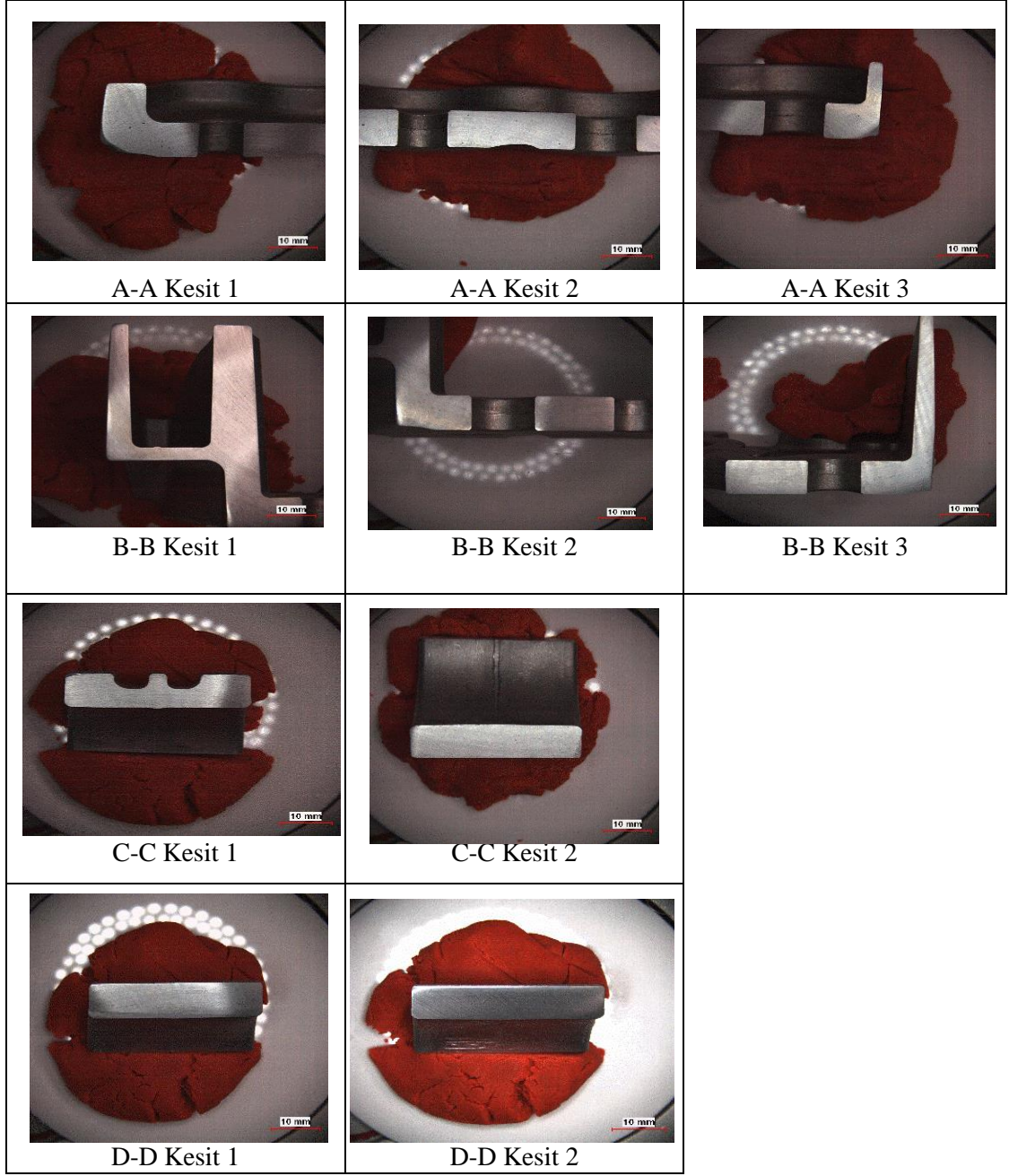


Şekil 6.13. Ürün kesilecek bölge tanımları

İlk olarak parça A-A bölgesinden başlayarak D-D bölgesine kadar kesilmiştir. Kesilen A-A kesiti mikroskopta yakınlştırılarak incelemesi yapıp porozite alanının toplam alana oranı belirlenmiştir. Mikroskop ile incelenmesinden dolayı bakılan alan yakınlştırıldığında bütün alanı kapsamadığından toplam 2 veya 3 kere mikroskop çekimi yapılarak tüm kesit alanı incelenip sonuçlandırılmıştır. Kesilen A-A, B-B, C-C, D-D kesitinin bölgelerinin incelenmesi şekil 6.16 da gösterilmiştir.



Şekil 6.14. Kesitlerin görünümü



Şekil 6.15. A-A, B-B, C-C, D-D Kesitlerinin inceleme görselleri

Şekil 6.17 de kesitler boyutuna göre 2 ve 3 farklı yerden kesilip mikroskopta porozite çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda sadece porozite A-A Kesit 1 de rastlanılmıştır. Porozite değerleri şu şekildedir;

İncelenen Bölge: A-A Kesit 1

En büyük porozite çapı: 0,379 mm

Porozitelerin Alanı 0,1128 mm²

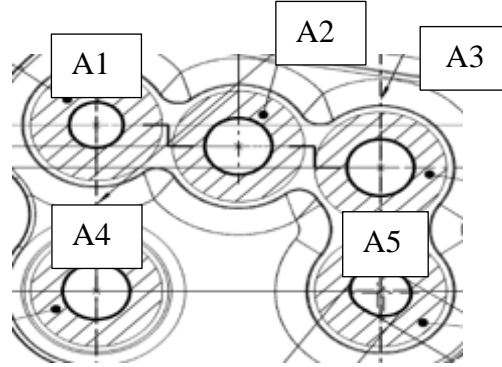
Toplam Alan: 48,715 mm²

Porozite Alanı/Toplam Alan: %0,20

Yapılan çalışmalar sonucunda incelenen parça keserek porozite kontrol testinden başarıyla geçmiştir. Yapılan simülasyon çalışmaları ve makine parametrelerinin önemi bu çalışmalar sonucunda ne kadar önem verilmesi gereken süreçler olduğunu önümüze sermektedir.

6.6. Basma Testi Sonuçları

Üretim denemesi yapıldıktan sonra 1 adet parça Şekil 6.16'da gösterildiği gibi A1A2-A3-A4-A5 bölgelerine basma testi yapılmıştır. Basma deneyi, metalik ve metalik olmayan malzemelerin statik yükleme koşulları altında porozite olarak uygun bir parçanın, basma akma mukavemeti, basma mukavemeti, basma elastisite modülü, şekil değişimi, % kesit değişimi gibi mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılır.



Şekil 6.16. Basma testi referans bölgeleri A1-A2-A3-A4-A5

Test Parametreleri

Test Kuvveti : 28850 N

Maks. Kuvvet : 57700 N

Bekleme Süresi: 0 sn

Test Hızı: -5,00 mm/dk

T. Geri Hızı: -5,00 mm/dk

Ön Yük Hızı: -5,00 mm/dk

Ön Yük: 0,510 kg

Deneyde kullanılan malzemeler: çekme deneyi numunesi, mekanik çekme cihazı, gres ve grafit gibi çeşitli tipte yağlayıcı ve kumpas.

Basma deneyi, yükün uygulanması ve bunun numune üzerindeki etkileri açısından çekme deneyinin tam tersidir. Basma deneyi de üniversal cihazlarında yapılır ve iki basma kafası arasına yerleştirilen numuneye sabit hızla artan bir basma yükü uygulanır. Bu basma yükü neticesinde, numune boyu sürekli kısalırken, numunenin kesit alanı da sürekli artar. Testin asıl amacı ise parçanın testten onaylı şekilde geçmesi için basma yükünün 57700 N değerindeyken numunenin kesit alanınının 0,1 mm'den fazla olmamasıdır. Alttaki şekil 6.19 da parçanın 5 bölgesinde aynı parametreler kullanılarak basma testi uygulanmıştır. Uygulanan test sonucundaki uzama değerleri aşağıda görebilirsiniz.

A1: -0,046 mm

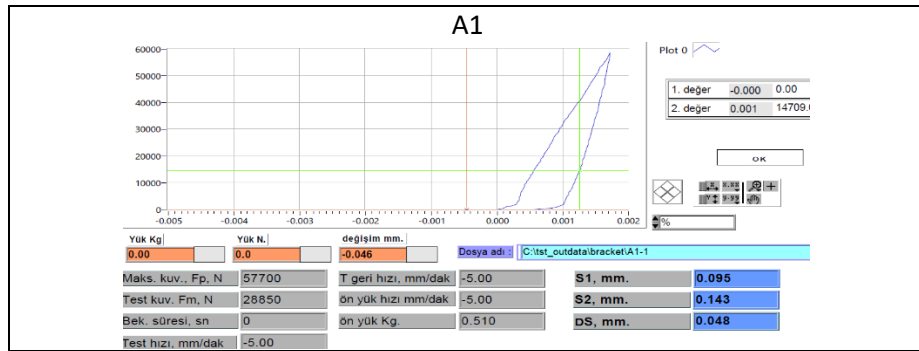
A2: -0,052 mm

A3: 0,064 mm

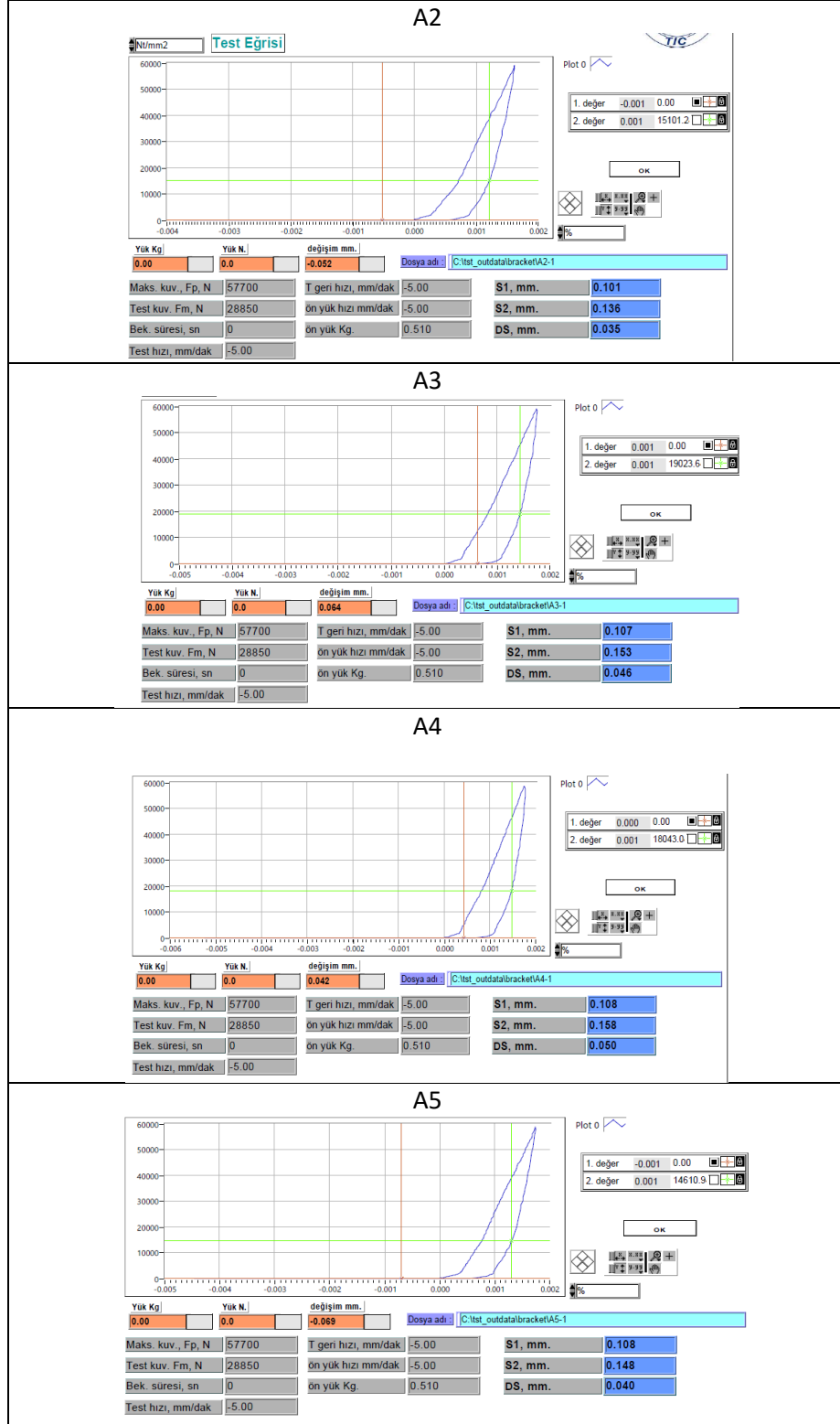
A4: 0,042 mm

A5: -0,069 mm

A1-A2-A3-A4-A5 bölgelerindeki uzama değerlerinin sonuçları 0,1 mm'den küçük olup test çalışmaları başarıyla sonuçlanmıştır.



Şekil 6.17. Referans bölgelerin basma testi sonuçları



Şekil 6.17. (devam) Referans Bölgelerin Basma Testi Sonuçları

BÖLÜM 7

GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Genel Sonuçlar

Tez çalışması kapsamında yürütülen farklı yolluklarda simülasyon çalışmalarının katılma sonuçları incelendiğinde yolluk tipinin dolum kalitesine etkisinin olduğu tespit edilmiş ve yolluk tipi belirlenirken simülasyon çalışmalarının önemi vurgulanmıştır. Vuruş noktasının katılma sonuçlarına etkisinin olduğu ve vuruş noktası belirlendikten sonra piston vuruş hızı yani 2. faz diye belirtilen hızın parça üzerinde etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Özellikle gaz gözenekliliğinde belirleyici olan dolum esnasında parçada oluşan yolluk girişindeki azami sıvı metal hızının (2.faz hızı), dolum esnasında parçanın iç bölgesindeki enjeksiyon hızı sonuçlarında gerçekleştirilen incelemeler neticesinde optimum vuruş noktasının parçayı besleyen bölge olmak koşuluyla yola çıkılarak 70 mm ve enjeksiyon hızlarının (ikinci faz hızı) 6 m/s olduğu tespit edilmiştir. Belirlenen optimum kalıp tasarımı ve süreç parametreleri ile dökümü gerçekleştirilen parçalar, dijital radyografik muayeneye tabi tutularak döküm ve simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Radyografik muayene sonuçları ışığında, 6 m/sn enjeksiyon hızında gerçekleştirilen döküm çalışmalarında az gözenekliliği (gas porosity), soğuk birleşme (cold fill), çekinti gözenekliliği (shrinkage cavity) ve yabancı partikül (foreign material) hataları değerlendirildiğinde, 6 m/sn enjeksiyon hızlarında dökülen parçalarda ASTM E505 standardına göre seviye 2 referans alınarak poroziteye rastlanılmamıştır. Porozite dışında soğuk birleşme, çekinti gözenekliliği, yabancı partikül hataları gözlemlenmemiştir. Ayrıca, soğuk birleşme dışındaki diğer hatalara her üç enjeksiyon hızı parametresinde de rastlanmamıştır. Bu sonuç, simülasyon çalışmalarında farklı vuruş noktalarının, farklı vuruş hızlarının ve kalıp üretimi öncesinde yolluk dizaynı aşamasındayken incelenen simülasyon çalışmalarının önemini anlamlandırmıştır.

7.2. Öneriler

Yapılan değerlendirmelerde yüksek basınçlı enjeksiyon dökümünde yolluk tipinin karşılaştırılmasının parça üzerindeki etkisi araştırılmıştır ve bu araştırmaların dışında yolluk tipinin etkisinin yanı sıra farklı yolluk giriş tiplerinin denemesi yapılabilir ve bu farklı yolluk giriş tiplerininin parçayı doldururken ki etkisi incelenebilir. Tez konusu olan parçanın hava boşluğu problemini ortadan kaldırmak için belirli hesaplamalar yapıp hava cebi eklemeleri yapılmıştır fakat bu çalışmayı daha ileri bir seviyeye çıkarmak için vakum veya sıkıştırılmalı pin yöntemiyle de döküm denemeleri çalışmaları yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Balkon, O. ve Yavuz, S. (2019). Pozitif malzeme tanımlama. 29.12.2021 tarihinde <https://metaldunyasi.com.tr/tr/guncel/108/basincli-dokum.html> adresinden alınmıştır.
- Bonollo, F. ve Timelli, G. (Ed.) (2014). Aluminium alloy castings: The Eu stacast guide to defects classification, mechanical potential and design issues. Milano: Assomet Servizi, Associazione Italiana di Metallurgia.
- Buchner, H.J. ve Glosner, J. (2015). Foundry industry 2020: Trends and challenges. IKB Deutsche Industriebank AG, Düsseldorf 23rd April 2015.
- Butler, W. A., Timelli, G., Battaglia, E. ve Bonollo, F. (2019). Basınçlı döküm (Çev. S. Tezel). 29.12.2021 tarihinde <https://metaldunyasi.com.tr/tr/guncel/108/basincli-dokum.html> adresinden alınmıştır.
- Campbell, J. (2004). Castings practice: The 10 rules of castings. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- CFS (2017). Application of aluminum in automotive industry. 29.12.2021 tarihinde <https://www.investmentcastchina.com/aluminum-die-casting-for-automotive-industry/> adresinden alınmıştır.
- CFS (2017). Application of aluminum in automotive industry. 29.12.2021 tarihinde <https://www.investmentcastchina.com/aluminum-die-casting-for-automotive-industry/> adresinden alınmıştır.
- Chinasavvy (2021). Permanent mold process limitation. 29.12.2021 tarihinde www.chinasavvy.com/permanent-mold-process-limitation adresinden alınmıştır.
- Çetin, A. (2021). Çekinti türlerin sınıflandırılması. 29.12.2021 tarihinde <https://dokumhane.net/kutuphane/cekinti-turlerinin-siniflandirilmasi/> adresinden alınmıştır.
- Doehler, H. (1917). Art of ant Apparatus for Casting Fluid Metal. Patent 973,483, Washington,D.C.: United States Patent and Trademark Office.
- Dos Santos, S. L., Antunes, R. A., & Santos, S. F. (2015). Influence of injection temperature and pressure on the microstructure, mechanical and corrosion properties of a AlSiCu alloy processed by HPDC. Materials & Design, 88, 1071-1081.
- European Aluminium Association (2002). The Aluminium Automotive Manual:Version 2002. European Aluminium Association.
- Global Piyasa. 29.12.2021 tarihinde <https://www.globalpiyasa.com/tr/urun/metal-enjeksiyon-kalip-karmosan-model/175446> adresinden alınmıştır.
- İştar, K. C., Şahin, S., Yıldırım, M. E. ve Uygun, M. (2021). Yüksek basınçlı alüminyum enjeksiyon döküm prosesinde hata türleri ve olası nedenleri analizi ve pompa

sektöründe kullanılan örnek bir parçadaki hatalar ve önlemleri. 29.12.2021 tarihinde <https://metaldunyasi.com.tr/tr/guncel/125/yuksek-basincli-aluminyum-enjeksiyon-dokum-prosesinde-hata-turleri-ve-olasi-nedenleri-analizi-ve-pompa-sektorunde-kullanilan-ornek-bir-parcadaki-hatalar-ve-onlemleri.html> adresinden alınmıştır.

- Karaçalı, Ö. Malzeme ve İmalat Teknolojileri Endüstri Mühendisliği Lisans Programı İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi.
- Koru, M. ve Serçe, O. (2014). Yüksek basınçlı döküm prosesinde, farklı yolluk tipi ve vakum uygulamasının simülasyonu. *Mechanical Technologies*, 6(3), 1-13.
- Kwon, H. J., & Kwon, H. K. (2019). Computer aided engineering (CAE) simulation for the design optimization of gate system on high pressure die casting (HPDC) process. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 55, 147-153.
- Lordan, E., Lazaro-Nebreda, J., Zhang, Y., Dou, K., Blake, P., & Fan, Z. (2020). On the relationship between internal porosity and the tensile ductility of aluminium alloy die-castings. *Materials Science and Engineering: A*, 778, 139107.
- NADCA (2006). Nadca gating manual. Illinois: NADCA Publications.
- NADCA (2016). Die casting handbook. Illinois: NADCA Publications.
- Niu, X. P., Hu, B. H., Pinwill, I., & Li, H. (2000). Vacuum assisted high pressure die casting of aluminium alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 105(1-2), 119-127.
- Pro Die Casting (2021). Alüminyum döküm. 29.12.2021 tarihinde <https://www.prodiecasting.com/casting-porosity/> adresinden alınmıştır.
- Rathinam, N., Dhinakaran, R., & Sharath, E. (2021). Optimizing process parameters to reduce blowholes in high pressure die casting using Taguchi methodology. *Materials Today: Proceedings*, 38, 2871-2877.
- Rooy, E. L. ve Kaufman, J. G. (2004). Aluminum alloy castings. ASM International.
- Smarttech (2019) Die casting mould. 29.12.2021 tarihinde <http://www.smartmoldtech.cn/die-casting-mould/> adresinden edinilmiştir.
- VDS (2021). Provac chillvents. 29.12.2021 tarihinde <https://vdssa.ch/provac-cv-chillvents/> adresinden alınmıştır.
- Vinarcik E. J. (2002). High integrity die casting processes. Wiley-Interscience.
- Yüksel, S. ve Göloğlu, C. (2014). Metal enjeksiyon kalıplamada yolluk tasarım sistematigi. 29.12.2021 tarihinde <http://www.demircelik.com.tr/-1-7142-metal-enjeksiyon-kaliplamada-yolluk-tasarim-sistematigi-runner-design-systematics-in-metal-injection-molding.html> adresinden alınmıştır.
- Yuan, Z., Guo, Z., & Xiong, S. M. (2019). Skin layer of A380 aluminium alloy die castings and its blistering during solution treatment. *Journal of Materials Science & Technology*, 35(9), 1906-1916.