

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KALIN KESİTLİ YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜMLERDE
DÖKÜM VE SİMÜLASYON PARAMETRELERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selçuk ŞİRİN

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Adem DEMİR

Temmuz 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

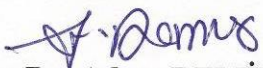
**KALIN KESİTLİ YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜMLERDE
DÖKÜM VE SİMÜLASYON PARAMETRELERİNİN
İNCELENMESİ**


YÜKSEK LİSANS TEZİ


Selçuk ŞİRİN

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Bu tez 30 / 07 /2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Doç.Dr. Adem DEMİR
Jüri Başkanı


Doç.Dr. Ahmet ÖZEL
Üye


Doç.Dr. Ramazan KAYIKCI
Üye

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmasında her aşamada bana yardımcı olan danıőmanım Sn. Doç.Dr. Adem DEMİR'e teőekkürü borç bilirim.

Deneysel çalıőmalarım süresince benden yardımlarını esirgemeyen Doç.Dr. Ramazan KAYIKCI'ya, yazım aőamasındaki katkılarından dolayı Murat ÇOLAK'a ve Ömer SAVAŞ'a, bölüm hocalarıma, döküm işlemlerini yapmamı sağlayan Arslan Kalıp'a, döküm simülasyonu ve termal analiz çalıőmalarında katkıları bulunan arkadaşım İbrahim ARDA'ya ve Anadolu Döküm Sanayi A.Ő.'ne ve tüm çalıőanlarına, tasarım ve analiz süresince sağladığı imkânlardan dolayı DTS Teknoloji Ltd. Őti.'ne teşekkür ederim.

Bu yoğun çalışma günlerimde maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen aileme, sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

BÖLÜM 2.

LİTERATÜR TARAMASI.....	4
2.1. Alüminyum Döküm Alaşımları	4
2.1.1. Al - Cu alaşımları	4
2.1.2. Al - Si alaşımları	6
2.1.3. Al - Ti alaşımları	7
2.2. Alüminyumun Ergitme Pratiği	7
2.3. Alüminyum Alaşımlarının Hazırlanması	10
2.4. Alüminyum Alaşımlarının Ergime ve Katılaşması	10
2.4.1. Çekirdeklenme	12
2.4.1.1. Homojen çekirdeklenme.....	14
2.4.1.2. Heterojen çekirdeklenme	16
2.4.2. Büyüme.....	17
2.4.2.1. Düzlemsel büyüme.....	17
2.4.2.2. Dentritik büyüme	18
2.5. Basınçlı Döküm	19

2.5.1. Basınçlı dökümün avantajları	22
2.5.2. Basınçlı dökümün dezavantajları	23
2.6. Basınçlı Döküm Yöntemleri ve Makineleri	24
2.6.1. Sıcak kamaralı döküm yöntemi	24
2.6.2. Soğuk kamaralı döküm yöntemi	27
2.7. Basınçlı Döküm Makinelerinde Kalıp Kapama Sistemleri	30
2.8. Basınçlı Döküm Kalıpları	30
2.8.1. Basınçlı döküm kalıpları konstrüksiyonu	31
2.8.1.1. Dışı kalıplar ve maçalar	31
2.8.1.2. İticiler	32
2.8.1.3. Girişler ve dağıtıcılar	32
2.8.1.4. Tahliye kanalları	34
2.8.1.5. Taşma kanalları	34
2.8.2. Basınçlı döküm kalıplarında soğutma	35
2.8.3. Basınçlı döküm kalıpların seçimi	36
2.8.4. Basınçlı döküm kalıplarda yüzey ayırıcılar	36
2.9. Basınçlı Döküm Alaşımları	37
2.9.1. Alaşımların Seçimi	39
2.9.2. Alüminyum basınçlı döküm alaşımları	39
2.10. Döküm Simülasyon Programları	41
2.10.1. Döküm simülasyonlarında tanımlanan parametreler	42
2.10.2. Modellenen döküm yöntemleri	44
2.10.3 Döküm simülasyonlarıyla belirlenebilen özellikler	44
2.10.4. Döküm simülasyon programlarının faydaları	45

BÖLÜM 3.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	47
3.1. Malzemenin Özellikleri ve Kimyasal Bileşimi	49
3.2. Basınçlı Döküm Parametrelerinin Belirlenmesi	49
3.2. Termal Analiz	50
3.3. Bilgisayar Ortamında Dökümlerin Modellenmesi	52
3.4. Bilgisayar Ortamında Kalıbın Doldurulması ve Dökümün Katlaşması	59
3.5. Döküm İşlemlerinin Yapılışı	60

3.6. Numunelerin İncelenmesi	61
BÖLÜM 4.	
SONUÇLAR ve İRDELEME	63
4.1. Simülasyon ve Döküm Sonuçları	63
4.1.2. Sıcaklığın etkisi	75
4.1.3. Basıncın etkisi	78
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMALAR ve ÖNERİLER	82
KAYNAKLAR	84
ÖZGEÇMİŞ	87

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ATAS	: Adaptive Thermal Analysis System
CLF	: Kritik Sıvı Oranı
STL	: Üç Boyutlu Model Dosya Transfer Biçimi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Al - Cu denge diyagramı [4]	5
Şekil 2.2. Al - Si denge diyagramı[4].....	6
Şekil 2.3. Saf bir metal için, sıcaklığa karşı hacim serbest enerji değişimi [8]	13
Şekil 2.4. Sıvıdan katı parçacıkları oluştuğunda arayüzey [8].....	13
Şekil 2.5. Sıvı-katı sisteminin toplam serbest enerjisi, katının boyutu ile değişimi [8]	14
Şekil 2.6. (a) Aşırı soğumanın (ΔT), birim zamanda oluşan çekirdek sayısı (K) ve büyüme hızına etkisi, (b) Saf metallerde soğuma hızının aşırı soğuma miktarına etkisi [9].....	15
Şekil 2.7. Heterojen çekirdeklenme için gerekli olan kritik yarıçap [8]	16
Şekil 2.8. Düzlemsel büyümenin oluşumu [8]	18
Şekil 2.9. Dentritik büyümenin oluşumu [8]	19
Şekil 2.10. Basınçlı döküm makinesi	21
Şekil 2.11. Basınçlı döküm yöntemiyle üretilen çeşitli ekipmanlar	22
Şekil 2.12. Sıcak hazneli basınçlı döküm makinesi.....	25
Şekil 2.13. Pistonlu ve sıcak hazneli basınçlı döküm makinesi kesit resmi	26
Şekil 2.14. Yatay soğuk hazneli basınçlı döküm makinesi kesit resmi.....	28
Şekil 2.15. Yatay soğuk kamaralı makinenin çalışmasına örnek a) Metalin Doldurulması, b) Metalin Basılması, c) Kalıbın Açılması, d) Parçanın Çıkarılması.....	29
Şekil 2.16. Düşey soğuk kamaralı döküm makinesi ve çalışma sırasının gösterilmesi... ..	30
Şekil 2.17. Dişi ve maça yerleşimlerine örnekler	32

Şekil 2.18. İtici pimlerin tipik konumları	32
Şekil 2.19. Çeşitli dağıtıcı şekil ve yerleşimleri	33
Şekil 2.20. Giriş kanallarının kalıp üzerindeki tipik konumları	33
Şekil 2.21. Taşma ve tahliye kanalına örnek dışı kalıp yerleşimi	34
Şekil 2.22. Taşma ve tahliye kanalına örnek parça yerleşimi	34
Şekil 2.23. Soğutma kanallarına örnek kalıp kesiti	35
Şekil 3.1. ATAS çalışma ekranından alınan görüntü	51
Şekil 3.2. ATAS cihazına termokapıl'ın yerleştirilmesi ve numunenin dökümü ..	51
Şekil 3.3. Tek parçalı modelin SolidWorks programı yardımıyla oluşturulan katı modeli.....	52
Şekil 3.4. Dört parçalı modelin SolidWorks programı yardımıyla oluşturulan katı modeli.....	53
Şekil 3.5. SolidWorks programından STL çıktısı alınması	53
Şekil 3.6. A360 alaşımının NovaCast için kalibre edilen soğuma eğrisi	55
Şekil 3.7. NovaCast veritabanındaki A360 alaşımının özellikleri.....	56
Şekil 3.8. Termal ölçümleme ekranı görüntüsü	57
Şekil 3.9. Modelin basınç, yolluk çapı ve uzunluğu parametrelerinin gerçeğe uygun olarak programa aktarılması	58
Şekil 3.10. Modelin döküm parametrelerinin gerçeğe uygun olarak programa aktarılması	58
Şekil 3.11. Modelin parametrelerinin belirlenmesinin ardından meş edilmesi	59
Şekil 3.12. NovaCast programında kalıbın dolumu esnasındaki görüntü	60
Şekil 3.13. Tek parça olarak dökülen modelin görüntüsü.....	61
Şekil 3.14. Dört parça olarak dökülen modelin görüntüsü.....	61
Şekil 4.1. Tek parçalı modelin a) A-A ekseninde, b) B-B ekseninden kesilerek çekilen fotoğrafları	64

Şekil 4.2. Tek parçalı modelin sıvı penetrant muayenesine tabi tutulması sonucu elde edilen görüntü.....	65
Şekil 4.3. Tek parçalı modelde gerçek dökümde oluşan çekinti boşluklarının simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	66
Şekil 4.4. Tek parçalı modelin katılma zamanı farklılıkları.....	67
Şekil 4.5. Dört parçalı modelde 750°C döküm sıcaklığı ve 10 MPa basınç altında yapılan simülasyon hava tahliye kanalının büyütülmesiyle oluşan sıcaklık gradyanı.....	68
Şekil 4.6. Dört parçalı modelin 750°C döküm sıcaklığında ve 50 MPa basınç altında yapılan simülasyonunun çekinti riski ve katılma zamanı ve görüntüleri.....	69
Şekil 4.7. Dört parçalı modelin 700°C döküm sıcaklığında ve 50 MPa basınç altında yapılan simülasyonunun çekinti riski ve katılma zamanı ve görüntüleri.....	70
Şekil 4.8. Dört parçalı modelin 650°C döküm sıcaklığında ve 10 MPa basınç altında yapılan simülasyonunun çekinti riski ve katılma zamanı ve görüntüleri.....	71
Şekil 4.9. Dört parçalı modelin 650°C döküm sıcaklığında ve 30 MPa basınç altında yapılan simülasyonunun çekinti riski ve katılma zamanı görüntüleri.....	72
Şekil 4.10. Dört parçalı modelin 650°C döküm sıcaklığında ve 50 MPa basınç altında simülasyonunun katılma zamanı.....	73
Şekil 4.11. Dört parçalı modelin 650°C döküm sıcaklığında ve 50 MPa basınç altında farklı kesitlerden alınmış çekinti riski simülasyon sonuçları....	74
Şekil 4.12. Sabit basınçta (50 MPa) sıcaklık değiştirilerek yapılan simülasyon sonucu elde edilen katılma zaman farklılıkları değerleri.....	76
Şekil 4.13. Sabit basınçta (50 MPa) a) 650°C'den, b) 700°C'den, c) 750°C'den dökülerek simülasyonu yapılan modellerin katılma zamanı ve çekinti risklerinin karşılaştırılması.....	77

- Şekil 4.14. Sabit sıcaklıkta (650°C), basınç değerleri değiştirilerek yapılan simülasyon sonucu elde edilen katılma zaman farklılıkları değerleri 78
- Şekil 4.15. Sabit sıcaklıkta (650°C) a) 50MPa, b) 30 MPa, c) 10 MPa basınç uygulanarak simülasyonu yapılan modellerin katılma zamanı ve çekinti risklerinin karşılaştırılması 79
- Şekil 4.16. 50 MPa basınç altında 650°C sıcaklıktan dökülen parçanın sıvı penetrant muayenesine tabi tutulması sonucu elde edilen görüntü 81

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Döküm proseslerin genel döküm karakteristikleri [13].....	20
Tablo 2.2. Bazı Alüminyum alaşımlarının fiziksel özellikleri.....	40
Tablo 3.1. Deneysel çalışma aşamaları	48
Tablo 3.2. A360 alaşımının spektral analiz sonuçlarına göre kimyasal bileşimi ...	49
Tablo 3.3. Basınçlı döküm yöntemiyle üretilecek modellerin döküm parametreleri.....	50

ÖZET

Anahtar kelimeler: Basınçlı Döküm Yöntemi, Döküm Simülasyonu, Parça Tasarımı, Alüminyum

Sıvı metal ve alaşımların şekillendirilmesi olarak da tanımlanabilen döküm yöntemi, dünyadaki en eski mesleklerden biri olmakla birlikte, insanlık tarihinde önemli bir yere sahiptir. Günümüzde ise artan rekabet koşullarının sonucu olarak düşük maliyet, yüksek kalite gereksinimi ön plana çıkmıştır.

Döküm yöntemlerinden basınçlı döküm yöntemi ile parça üretimi; ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasına karşın, düşük birim maliyetli seri üretime imkân vermektedir. Son yıllarda bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak döküm işlemlerinin modellenmesine olanak tanıyan Döküm Simülasyon Yazılımları sayesinde tasarımlar bilgisayar üzerinde yapılmakta ve analiz edilmekte; üretim tecrübeleri ile birlikte sonuçlar irdelenerek, optimum tasarım bilgisayar ortamında oluşturulabilmektedir. Bu sayede olası hatalar üretim deneme-yanılma yöntemiyle kalıp üzerinde değil, daha üretim safhasına gelmeden bilgisayar ekranında analiz edilebilmektedir. Döküm simülasyon programlarının kullanımı, özellikle yüksek kaliteli döküm parça üreten firmalarda her geçen gün daha da yaygınlaşmaktadır.

Bu çalışmada, basınçlı döküm yöntemiyle A360 Alüminyum alaşımından bu yöntem için kalın kesitli olarak sayılabilecek şekilde üretilen çekme çubuğunun simülasyonu yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar gerçek döküm şartlarıyla kıyaslanmıştır.

SIMULATION OF THICK SECTION HIGH PRESSURE DIE CAST PRODUCTS ACCORDING TO REAL CONDITIONS

SUMMARY

Keywords: High pressure Die casting, Casting simulation, Part design, Aluminum

Casting can be defined as forming the liquid metal which is known as the one of the first crafts and very important place in human history. In our time, the production must be at higher quality with lower cost according to market conditions' requirements.

Despite the fact that high pressure die casting has high investment prices, with die-casting it is possible to make high quality production at low costs. In recent years according to developments in computer science, casting simulation programs can be used in modeling and design of the castings. With these simulation programs and the experience of the foundry engineer all possible calculations and predictions can be done in simulation programs without making several shop trials. The combination of computer based analysis and experience makes the examination of defect causes possible prior to production and heads towards to optimum design. Every day the amount of simulation programs became used in high quality foundries across the world is increasing rapidly.

In this study; A360 Aluminum alloy has been cast and simulated with die-casting method in dimensions which is acceptable as thick. All results have been compared and causes have been investigated with real castings.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Döküm; metal veya alaşımların ergitilerek önceden hazırlanmış bir kalıp boşluğuna doldurulması ile parça imalatını kapsamaktadır. Bu yöntem sayesinde bir adımda basit veya karmaşık şekilli parçalar ergitilebilen herhangi bir malzemeden üretilebilir. Döküm yoluyla üretilen parçaların boyutları birkaç mm.den birkaç metreye ve ağırlıkları da birkaç gramdan birkaç tona kadar değişebilmektedir. Bu belirgin avantajlarının yanı sıra işlenebilirliği güç olan veya deformasyon kabiliyeti düşük olan bazı malzemeler ancak döküm yoluyla şekillendirilebilmektedir. Döküm, seri imalata uygun olup, çok sayıda parça kısa zamanda ve diğer yöntemlere nazaran en düşük maliyetle üretilebilir. Günümüzde, mevcut döküm yöntemlerinin biri veya birden fazlası ile her türlü geometrik şekle sahip parçaların imali mümkündür.

Özellikle çok ince ve karmaşık kesitli parçaların dökümünde sıvı metalin kalıba dolduramaması ve daha kaliteli dökümler elde etme isteği ile zaman içerisinde birçok döküm yöntemi geliştirilmiştir. Bu amaçla geliştirilen basınçlı dökümler, sıvı metalin basınç altında metal kalıba doldurulması yoluyla elde edilen dökümlerdir. Basınçlı dökümde metalin kalıba doluş hızının çok yüksek oluşu, çok kompleks şekilli parçaların dökülebilmesine imkân sağlamaktadır. Basınçlı döküm, ağırlıkları birkaç gram ile 25 kg arasında değişen, nihai üretim sekline yakın parçaların yüksek verimli ve yüksek kapasiteli dökümüne yönelik geliştirilmiş bir metottur. Kullanılan kalıp açısından kokil kalıba döküm yöntemine benzemektedir, aradaki en önemli fark metalin kalıba doluşunun basınç altında gerçekleştirilmesidir. Amerikan menşeli literatürde basınçlı döküm (Die Casting), kokil veya metal kalıba döküm ise (permanent mold casting) olarak geçer. Oysa Avrupa menşeli literatürde basınçlı döküm (pressure die casting), kokil kalıba döküm ise (gravity die casting) olarak adlandırılmaktadır.

Basınçlı dökümde kalıp kapatılıp kilitledikten sonra, sıvı metal, soğuk veya metal sıcaklığına ısıtılmış bir pompa haznesine aktarılır. Pompa sıvı metali süratle besleme sisteminden geçirir, bu esnada kalıp içindeki hava da kaçma deliklerinden dışarı çıkar. Kalıp boşluğu tamamen dolduktan sonra, basınç döküm soğuyuncaya kadar tatbik edilir. Bundan sonra kalıp açılır ve döküm parçası dışarı alınır. Kalıp açık durumda iken içi temizlenir ve yağlanır, sonra kapatılarak önceki işlem tekrarlanır.

Basınçlı dökümde kaliteyi yakalayabilmek ve aynı zamanda kalıbın kısa sürede yıpranmasını önlemek için üretilecek malzemenin alaşımı, biçimi v.b. özellikleri göz önünde bulundurarak kalıbın tasarlanması gerekmektedir. Özellikle karmaşık geometri ve farklı kesit kalınlıklarına sahip döküm parçaların yolluk, besleyici, çıkıcı tasarımı oldukça zordur ve yoğun mühendislik bilgi ve becerisi gerektirmektedir. Fakat bilgisayar teknolojilerindeki hızlı gelişmelere bağlı olarak döküm proseslerinin modellenmesi, döküm mikro ve makro yapılarının önemli ölçüde tahmin edilebilmesini döküm simülasyon programları sayesinde sağlamaktadır.

Döküm simülasyon programları, bilgisayarın kalıp doldurulurken ve doldurma yapıldıktan sonra kalıp içerisinde neler olduğu hakkında hızlı ve doğru tahmin yapabilmesi için gerekli bir matematiksel yöntemdir. Piyasada birçok döküm simülasyon programı mevcuttur, MagmaSoft, SolidCast, ProCast, Pam-Quick Cast, Nova Flow&Solid ve Vulcan Döküm simülasyonu programları bunlar arasında yaygın olarak bilinen programlardır. Bu programlar genellikle sonlu fark veya sonlu elamanlar teknikleri ile hesaplama yaparak verilen döküm geometrisini farklı döküm ve kalıp malzemeleri için kendi veri tabanlarında bulunan veya kullanıcı tarafından da girilebilen malzeme termo-fiziksel özellikler ve sınır şartları ile modelleyebilme yeteneğine sahiptirler.

Bu çalışmada, son yıllarda basınçlı döküm endüstrisinde gelişme gösteren gerçek döküm şartlarının bilgisayar ortamında modellenebilirliğinin incelenmesi, tasarımda etkili olan sıcaklık ve basınç gibi faktörlerin etkileri incelenerek açıklanmaya çalışılmıştır. Bunun yanında kalın kesitli bir model üzerinden örnek bir simülasyon uygulamasının ayrıntılı olarak incelenmesiyle bu konuda faaliyet gösteren firmaların simülasyon teknolojilerini kullanarak sağlayacakları avantajlar gösterilmeye

alışılmıştır. Buna bağlı olarak Arslan Kalıp tarafından, ABB Otomasyon firmasına yaklaşık beş bin adet üretilecek olan " Trafo faz yönü değiştirme ve voltaj çevirici başlığı" adlı parçanın bir kalıpta tek parça ve dört parça olarak basınçlı döküm yöntemiyle üretilebilirliği NovaCast döküm simülasyon programıyla analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar gerçek döküm sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Alüminyum Döküm Alaşımları

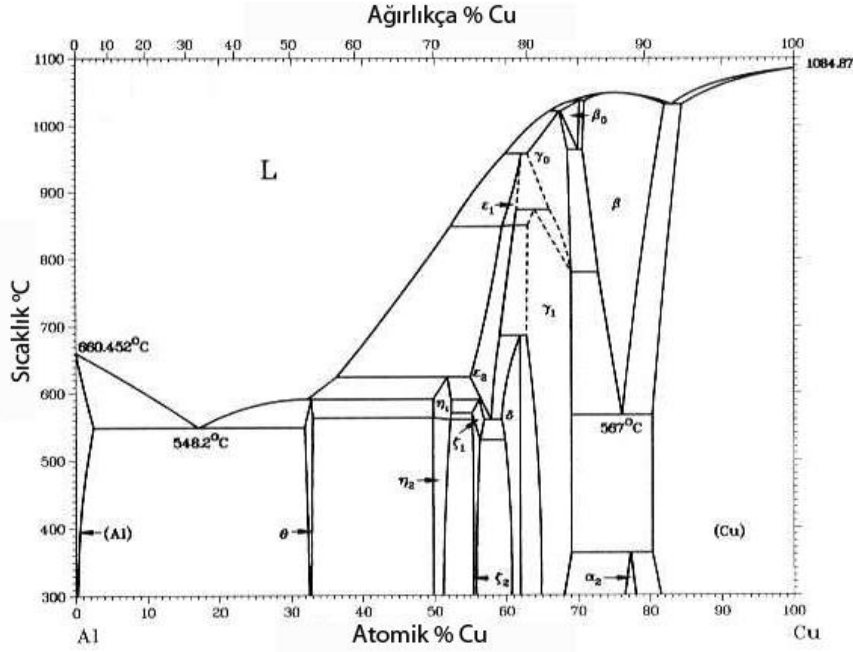
Döküm alaşımları başlıca iki kısımda mütalaa edilebilir. Birinci kısımda ıslah edilen özellikler yalnız alaşımlandırma neticesi elde edilmiştir. İkinci grupta ise, özelliklerin daha fazla ıslah edilmesi için ısıtma işlemleri tatbik edilmiştir. Dökümlerde kullanılan alaşımlandırıcı metaller genellikle bakır, silisyum, magnezyum, çinko ve demirdir. Bu elementlerin uygun miktarlarda ilave edilmesi ile alüminyumun mukavemeti ve sertliği büyük ölçüde artırılabilir. Bununla beraber süreklilik azalır. Alüminyum alaşımlarının dökümü yalnız kum kalıplarında değil fakat metal kalıplarında da yapılabilir. Buna ilaveten alaşımlardan bazıları püskürtme döküm makinelerinde dökülür. Metal kalıplarda istihsal edilen dökümlerin yüzeyleri, kum kalıplarda edilene nazaran daha düzgün ve boyut toleransları daha azdır. Bunun neticesi olarak da döküm parçasını işleme veya nihai şekillendirme maliyetlerinde önemli miktarda tasarruf sağlanmış olur [1,3].

2.1.1. Al - Cu alaşımları

Al' un yanında alaşım elementi olarak kullanılan en eski element bakırdır. Al' un endüstride ilk kullanıldığı yıllarda döküm alaşımı olarak % 8 Cu içeren Al - Cu alaşımı kullanılıyordu. Ticari saflıktaki alüminyuma Cu ilavesi ile yapılan bu kum kalıba döküm alaşımı olarak uzun yıllar dökülebilirliğinin zorluğuna rağmen kullanılmıştır. Daha sonraları bakırın miktarı %1,5 civarına indirildi ve silisyum ilave edildi. Bu şekilde kolay dökülebilir, iyi akışkanlığa sahip ve ısıtma işlemleriyle sertleşebilen bir alaşım geliştirilmiş oldu ve de geniş kullanım sahası buldu [2].

Bakır, alaşım elementi olarak % 3-12 oranında kullanılır. Alaşımlara sertlik kazandıran başlıca elementtir. Isıtma işlemleri tabii tutulmuş veya tutulmamış halde iken

alaşımın kopma mukavemetini artırır. Dövme alaşımlarında % 3 - 5 arasında kullanılır. % 5' den fazla kullanılırsa mekanik işleme güçlüğü ortaya çıkar, ayrıca elektrik iletkenliğini ve korozyon direncini düşürür.



Şekil 2.1. Al - Cu denge diyagramı [4]

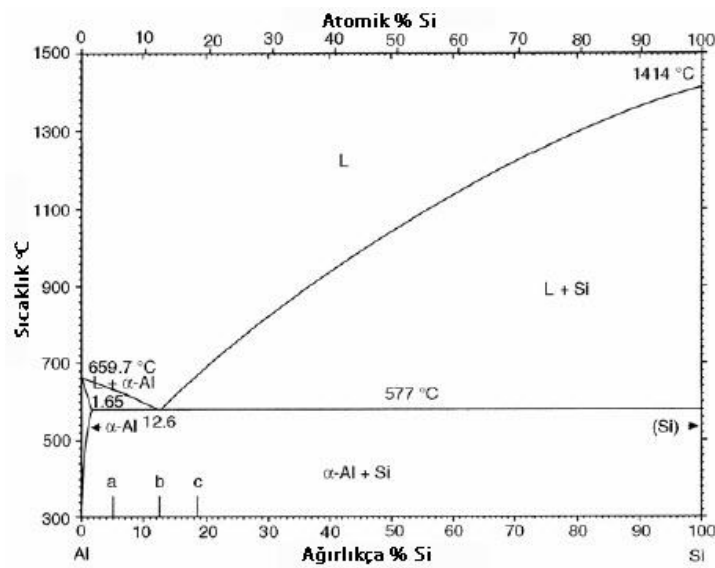
Al - % 4,7 Cu - % 0,3 Mg alaşımına az oranda gümüş ilavesi yaşlanma sertleşmesini çok artırır. Döküm alaşımlarında %12' ye kadar kullanılır, %10' dan fazla Cu bulunan alaşım gevrek yapıdadır. %12 Cu' lu bir alaşımın çekme mukavemeti 9,1 kg/mm² den 14 kg/mm²' ye çıkar. Bakırın, alüminyum içinde katı fazlı çözünürlüğü artan sıcaklıkla beraber artar. Böylece çökeltme sertleşmesi mümkün olur. Çökeltme için gerekli zaman, alaşımın birleşimine ve sıcaklığına bağlıdır. Çökeltmenin mekanik özelliklere yapacağı etki, çökelen faz miktarına, boyutlarına ve dağılımına bağlıdır. Oda sıcaklığında % 0,5 olan bakırın çözünürlüğü 548 °C' de % 5,65'e ulaşmaktadır. Bu çözünürlük sınırları içinde Al' la katı eriyik yapan bakır %54 oranında bulunduğu zaman CuAl₂ (Bakır alüminat) şeklinde bir ara kimyasal bileşik yapar [1].

Hızlı su verme ile yarı kararlı olan B fazı oluşur. Bu faz içinde bakır şeklinde CuAl₂ kalır. CuAl₂ çok sert ve kırılgan bir bileşiktir, malzemenin gevrekleşmesine yol açtığı için, döküm tekniği bakımından ötektik bileşime yakın olması gereken Al - Cu

alaşımlarının pratikte kullanılmasını engeller. Ötektik sıcaklığının altında bakır alüminyum kafesindeki çözünürlüğü azaldığından çökelme sertleşmesi için gerekli ön koşullardan biri yerine gelmiş olur. Böylece malzemeyi gevrekleştirmeden dayanım artışı sağlayan çökelme sertleşmesi uygulanır. Ortamda Mg varlığı çökelmeyi hızlandırır. Çökelme tamamlanmış durumdaki Al - Cu alaşımlarının korozyon direnci düşüktür. Al - Cu alaşımları vida, cıvata, uçak konstrüksiyon, perçin, yüksek sıcaklıklarda çalışan dövme silindir kafa ve pistonları v.s. gibi yerlerde kullanılırlar [1].

2.1.2. Al - Si alaşımları

Silisyum, sıvı alüminyumun akışkanlığını artırır. Özellikle Cu, Ni ve Mg ile karıştırıldığında yaşlanma ile sertleştirilebilir alaşımlar yapar. Fakat bu alaşımların çekme mukavemetleri çok yüksek değildir ve 13,6-15,4 kg/mm² arasında değişmektedir. Mukavemet artışı silisyum artışı ile orantılıdır. Silisyum ilavesi ile akışkanlık, kaynak kabiliyeti artar. Tane küçültme ve modifikasyon işlemleri ile iyi işlenebilirliği sağlanır. Ayrıca sıcak yırtılma da düşürülür. Mekanik özellikler, alaşımın bileşiminden çok silisyum içeren fazın şekli ve dağılımına bağlıdır. Küçük ve yuvarlak primer faz (veya ötektik yapı) yüksek mukavemet ve süneklik verir. İğne şeklindeki silisyumlu faz çekme mukavemetini artırmakla beraber süneklik, darbe ve yorulma mukavemetini düşürür [2].



Şekil 2.2 Al - Si denge diyagramı[4]

2.1.3. Al - Ti alaşımları

Tane küçültücü etkisi vardır. Mekanik özelliklerin artmasını sağlar. Kum ve metal kalıba dökülecek alaşımlarda % 0,05-0,02 arasında bulunması istenir. Alüminyum içinde en çok %20 seviyesinde bulunabilir. En iyi etkisi bor ile kullanıldığı zaman görülür. Titanyum çekme mukavemetini ve sünekliği artırırken, ısı iletkenliğinin düşmesinde rol oynar [1].

2.2. Alüminyumun Ergitme Pratiği

Alüminyum, en basit ve en yaygın şekli ile pota ocaklarında eritilmektedir. Bu ocaklarda kullanılan potalar genellikle dökme demir, grafit veya karbon ile bağlanmış silisyum karbürden yapılmaktadır. Bunların içinde en fazla kullanılan dökme demirden imal edilen potalardır, aynı zamanda eritilmiş metali tutmak amacı ile tutma ocaklarında da kullanılırlar. Isı geçirgenliği ve mekanik dayanımları fazla olmasına karşılık eritilen alüminyum alaşımının pota malzemesinden demir kapması ihtimali vardır. Bunu önlemek için potayı refrakter bir malzeme ile kaplamalı ve haftada bir potayı çevirmek sureti ile yakıcının karşısına gelen bölgeyi değiştirmelidir. Refrakter malzemedan yapılan potaların ısı geçirgenliği daha fazladır fakat silisyum karbürden yapılmış olanlarda magnezyumu yüksek olan bir alüminyum alaşımı eritildiğinde alaşımın pota malzemesinden silisyum kapması ve mekanik özellikleri bozması ihtimali vardır. Ayrıca bu tip potalar yükleme ve döküme taşınma esnasında bir çarpma sonucu kırılabilir.

Pota ocakları potanın kullanım şekline göre; kaldırmalı, sabit ve eğilebilen olmak üzere 3 ayrı çeşit de olabilir. Kaldırmalı ocaklarda pota, metal eridikten sonra kısaç yardımı ile ocaktan çıkarılmakta ve döküme götürülmektedir.

Sabit ocaklarda pota ocak içerisinde sabittir ve ergimiş metal el potalarıyla daldırma suretiyle alınmaktadır. Eğilebilen ocaklardan ise metal ocağın tümünün eğilmesi ile pota ağzından el potalarına akıtılmak sureti ile alınır. Bu tip ocaklardan el potalarına metalin akıtılması esnasında metalin hava ile teması neticesinde oluşan alüminyum oksitleri dökümde kalıntılar halinde görülmektedir. Alüminyum reverber ve elektrik ocaklarında da eritilebilmektedir. Elektrik ocaklarında eritmeye başlanabilmesi için

pota içinde ikincil bobin vazifesi görecek erimiş metal bulunması ve bunun bir başka ocaktan alınması zorunluluğu vardır. Her iki tip ocağın da ilk kuruluş ve çalışma masrafları pota ocağına nazaran fazladır, ayrıca metal işlemleri açısından pota ocaklarının diğerlerine nazaran kolaylık yönünden avantajı vardır.

Alüminyum ocaktan alındıktan sonra dökümden önce metal işlemleri adını verdiğimiz bir takım işlemlere tabi tutulur. Bunların başında cüruf yapıcı madde ilavesi gelmektedir. Curuflatıcı ilavesi metal banyosunun hava ile temasını kesme, eriyiği temizleme, cüruf giderimi ve gazlardan arıtma gibi işlemlerin gerçekleşmesini sağlaması bakımından gereklidir. Alüminyum eritildiğinde metal banyosunun üstü kalın bir alüminyum oksit tabakası ile kaplanır. İki oksit tabakasının bir özelliği de herhangi bir sebeple bozulduğunda derhal kendini yenilemesi ve erimiş metalin havaya açık olan yüzeyini yeniden oluşan oksitler ile kapamasıdır. Metal yüzeyi tamamen örtüldüğünde oksitlenme durmaktadır. Ancak %1 ve daha fazla Mg içeren alüminyum alaşımlarında oksitlenmeyi arttırır ve erimiş alaşımdaki yüzdesi istenilenin altına düşer. %10 Mg alaşımlarına eritken ilavesi gereklidir. Örtücü niteliği olan eritkenlerin ilavesinden sonra metal banyosu karıştırılmalıdır.

Temizleyici eritkenler eriyik içindeki oksitleri birleştirmek suretiyle yüzeyde toplar. Bu iş için ilaveden sonra metali 5 – 10 dakika kadar dinlendirmelidir. Ancak külçe alüminyum veya döküm artıklarının eritilmesinde bu ilaveye gerek yoktur. Eritken ilavesi 100 Kg. metale 1 Kg. eritken olmak üzere yapılır. Eritken olarak alüminyum ve $ZnCl_2$ kullanılmaktadır.

Döküm kalitesinin iyi olması gaz giderme işleminin yapılmasına bağlıdır. Çok az miktarda olduğu takdirde dökümde bulunan gaz boşlukları, çekme boşluklarının konsantrasyonunu azaltması bakımından yararlıdır. Çekme boşlukları birbirleri ile birleşebilen bir nitelik taşırlar, parçanın kullanımı sırasında bu birleşme neticesinde büyüyen boşluklar kırılmaya yol açabilirler. Az miktarda bulunacak gaz boşlukları bu birleşmeye mani olmaktadır. Ancak gaz boşluklarının fazla olması kesin olarak istenmeyen bir durumdur.

Su buharı alüminyum alaşımlarının gaz açığa çıkartmalarına sebebiyet verir, bu yüzden kaçınılmalıdır. Ayrıca açığa çıkan hidrojen gazı metal içinde çözülebilmektedir. H, çalkalama veya C_2Cl_6 ilavesi ile metalden alınabilir. Bu bileşik toz halinde alüminyum levhaya sarılı olarak metal banyosunun dibine daldırılır. Reaksiyon neticesinde açığa çıkan klorin gaz giderme işlemini gerçekleştirir. Çalkalama yolu ile gaz giderme işleminde genellikle nitrojen, klorin veya bunların karışımı (%90 N_2 + %10 Cl_2 veya %80 N_2 + % 20 Cl_2 karışımları halinde) grafitten yapılmış bir tüp veya refrakter malzeme ile kaplanmış demir bir çubuk yolu ile metal banyosu içine gönderilir ve çalkalanma işlemini oluşturur.

Bu işlem 150 – 200 kg metal için dakikada 0.011 - 0.021 m³ gaz karışımı gönderilecek şekilde 10 - 20 dakika kadar sürer. Çalkalanma 680 °C civarında yapılmalıdır. İşlem sonunda yüzeydeki cüruf temizlenir ve derhal döküme geçilir. Dökümde ince tane büyüklüğü elde edebilmek için çeşitli metotlar vardır, bunlardan bir tanesi de metale çeşitli katkı maddeleri ilavesidir. Boron (% 0.001 - %0.05), Titanyum (% 0.02 - % 0.05) veya Sodyum (% 0.05) tane küçültücü olarak metale dökümden az önce ilave edilebilir.

Külçe alüminyum veya döküm artıkları kapalı ve rutubetsiz bir yerde depolanmalıdır. Depo için kullanılacak yerde sıcaklık değişimlerinin de fazla olmamasına dikkat edilmelidir. Külçe veya artık metali eritmek için ocağa atmadan önce bir ön ısıtmaya tabi tutmak patlamaları önlemek için gereklidir. Erimiş alüminyum el potaları ile ocak içinden daldırma sureti ile alınırken metal banyosu çok karıştırılmamalı, el potasının dibinde bir önceki dökümden kalmış olan katılaşmış alüminyum mutlaka temizlenmiş olmalıdır.

Erimiş metal gerek döküm potalarına alınırken gerekse metal işlemleri uygulanırken ve döküme taşınırken potanın fazla çalkalanmaması metal banyosunun hava ile temas eden yüzeyini mümkün olan en az miktarda tutması bakımından önemlidir. Bunun neticesinde metal banyosunda fazla oksitlenme olmayacağı için dökümün kalitesi de iyi olacaktır. Aşağıda iyi bir döküm elde etmek için eritme esnasında dikkat edilmesi gerekli hususlar belirtilmiştir;

- Eritmeye kompozisyonu bilinen ve temiz malzemeler ile başlamalıdır.
- Eritme işlemi temiz sonuçlandırılmalı ve banyo sıcaklığı döküm anına kadar düşük tutulmalıdır.
- Ortamda su buharı ve hidrojen taşıyan gazlardan kaçınılmalıdır.
- Metal banyosu gerekenden fazla karıştırılmamalıdır.
- Uygun eritken ilavesi ve çalkalama pratiği seçilmelidir.
- Yüzeydeki curuf tabakası dökümden hemen önce temizlenmelidir, daha önceki işlemler sırasında temizlemeye gerek yoktur.
- Erimiş metali dökerken türbilanstan ve kesikli dökümden kaçınılmalıdır [5-7].

2.3. Alüminyum Alaşımlarının Hazırlanması

Alüminyum sıvı halde iken serbest atomlar sebebiyle atmosferik oksijen ile etkileşimi sonucu, Al_2O_3 ve metal oksitler şeklinde curuf oluşmaktadır. Oluşan bu metal oksitler döküm yapıncaya kadar metalle atmosferin etkileşimini önler ve döküm yapılmadan önce temizlenir. Yüzeydeki oksit tabakasının kalınlığı, oksitlenmiş ve korozyona uğramış hurdaların kullanılması, fırındaki sıvı metalin aşırı türbülansı, Mg elementinin varlığı ve ortamın sıcaklığı ile artmaktadır. Alüminyum alaşımlarının üretilmesi sırasında temiz ve homojen sıvı metal eldesi için, dökümden önce sıvı metale birtakım ilaveler yapılmaktadır

2.4. Alüminyum Alaşımlarının Ergime ve Katılaşması

Hemen hemen tüm metal ve alaşımları, bazı seramik ve polimer malzemeler üretimlerinin bir aşamasında sıvıdır. Sıvı, katılaşma sıcaklığının altına soğutulduğunda katılaşır. Malzeme katılaşmış durumda iken veya ısıl işlem ve mekanik işlemler uygulanmış halde kullanılabilir. Katılaşma süreci içerisinde ortaya çıkan yapı, mekanik özellikleri etkiler ve istenilen özellikleri elde etmek için başka işlemlere de ihtiyaç duyulabilir. Özellikle, tane boyutu ve şekli katılaşma ile kontrol edilebilir [8]. Dolayısıyla özellikle döküm malzemelerin özelliklerinin kontrol edilebilmesi için katılaşma olayının (kristalleşme) iyi bilinmesi gerekir. Bir sıvı metalin katılaşması birincil kristalleşme (katılaşma) ve bu sırada oluşan katılaşma içyapısı (döküm içyapısı) birincil içyapı olarak adlandırılır. Döküm

parçalarda birincil içyapı parça ömrü boyunca hiç değişmeyeceğinden katılma olayının çok iyi kontrol edilmesi zorunludur [9].

Sıfır Kelvin sıcaklıkta metal atomları kristal kafesleri içerisinde buldukları yerde hareketsiz olarak dururlar. Isı verilmesiyle gittikçe artan oranlarda buldukları noktalarda salınımlarında ortalama konumlarını değiştirmeyecek şekilde salınmaya başlar. İki atom birbirinden denge durumuna göre belli ölçülerde uzaklaşacak olursa bunları birbirine yaklaştıran çekim kuvveti artma gösterir. Buna karşılık atomların birbirine yaklaşması durumunda şiddetli bir şekilde itme kuvveti ortaya çıkar. Artan salınım uzaklığı ile atomların uzaklığı denge durumundakine göre gittikçe büyür ve kafes sistemi genişler. Verilen ısı hareket enerjisine dönüşür ve bu da hem sıcaklığın yükselmesine ve hem de hacimsel büyümeye yol açar.

Ergime sıcaklığına ulaşılması ile sıcaklık bir süre yükselme göstermez. Ergimenin başlamasıyla birlikte, verilen ısı daha çok atomların düzenli kafes yapısı durumundan, düzensiz olan sıvı fazdaki durumuna; yani salınım yerine belirgin olmayan bir atom hareketinin görüldüğü duruma geçmesine neden olur. Ergime esnasında harcanan ısıya ergime ısısı denir. Bu ısı malzeme içerisinde bir sıcaklık yükselmesine yol açmadığından buna ayrıca dönüşüm ısısı ya da gizli ısı denilmektedir. Bir eksen üzerinde özgül hacim, sıcaklığa bağlı olarak incelenecek olursa, ergime sıcaklığında malzemenin hacminde şiddetli bir büyümenin varlığı dikkati çeker. Ergime ve katılma durumunda, dönüşüm sıcaklıklarında sıcaklık - zaman eğrileri (ısı eğrileri) dönüşüm ısısı nedeniyle duraklama gösterir. Katılma ergimenin tersi bir davranış gözlenir. Katılma sıcaklığına ulaşılmasıyla birlikte atomlar yeniden eski konumlarına ve salınan düzenli kafes yapılarına geri dönerler. Bu arada açığa çıkan dönüşüm ısısı katılma ısısı adını alır ve bu ısı ergime için harcanan ısıya eşittir. Burada da ısı eğride yine duraklama görülür.

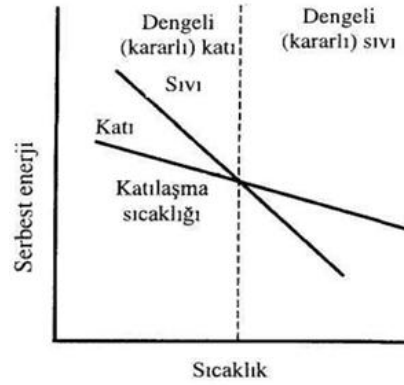
Katılma, tane çekirdekleri, çekirdekçik adı verilen çok küçük taneciklerden başlar. Tane büyümesi bu çekirdekler etrafında gerçekleşir. Sıvı metal içerisinde istenmeden önceden var olan ya da istenerek sıvıya katılan yabancı

atom ve moleküller çekirdekçik görevi üstlenebilirler. Buna örnek olarak kendiliğinden çelik bünyesinde bulunan alümina (Al_2O_3) ve aşılama amacıyla ergiyiğe istenerek katılan Ti ve Ce elementleri gösterilebilir. Çok saf olan ergiyiklerde bile çekirdekçik oluşumu vardır. Soğutma esnasında sıcaklık, katılma noktasına ne kadar yaklaşırsa ve atomların ergiyik içerisindeki hareket hızları ne kadar azalırsa, buna bağlı olarak bazı atomlar hemen kristal kafesi oluşturmak üzere grup halinde bir araya gelirler. Ancak bu atomların durumlarını koruyabilmeleri ve tane çekirdeklerine dönüşebilmeleri için sıvı ortamdan ısının çekilmesi ve ortamla çevre arasında sıcaklık gradyanının bulunması gerekir. Tanelerin büyümesi sırasında yapıda bulunan ve kafese kabul edilmeyen kirletici elemanlar (inklüzyonlar) tane sınırlarına itilirler ve burada tane sınırı yapısını oluştururlar. Taneler birbirlerine temas edecek duruma gelinceye kadar büyürler. Oluşan tane sınırları oldukça düzensizdir. Tanelerin özellikleri üzerinde, tane sınırlarından çok onların atom dizilişleri rol oynar [9].

2.4.1. Çekirdeklenme

Katılma sırasında atomik diziliş, en düzenli kısa mesafeli düzenden uzun mesafeli düzene veya kristal yapıya kadar değişir. Katılma iki aşamadan meydana gelir. Bunlar; çekirdeklenme ve büyümedir. Çekirdeklenme, küçük katı parçacıklarının sıvıdan embriyolaşması ile olur. Çekirdek kararlı olmadan önce minimum kritik çapa gelmelidir. Katının büyümesi, atomların sıvıdan oluşan çekirdeklere geçmeleri ile olur ve bu şekildeki büyüme sıvı bitene kadar devam eder.

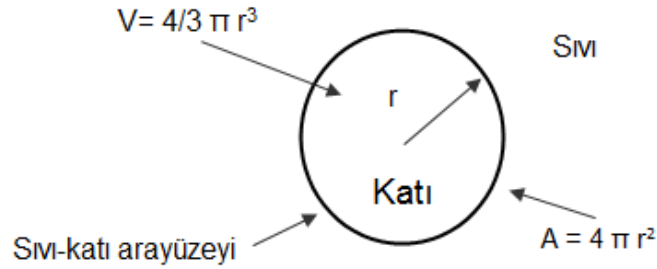
Sıvı, katılma sıcaklığının altına soğutulduğu zaman bir malzemenin katılması beklenir. Çünkü katının kristal yapısı ile ilgili enerjisi; sıvının enerjisinden daha azdır. Sıcaklık katılma noktasından daha da aşağıya düştüğünde, giderek büyüyen enerji farkı katıyı daha dengeli (kararlı) hale getirir (Şekil 2.3). Katı ve sıvının arasındaki bu enerji farkı serbest hacim enerjisidir.



Şekil 2.3. Saf bir metal için, sıcaklığa karşı hacim serbest enerji değişimi [8]

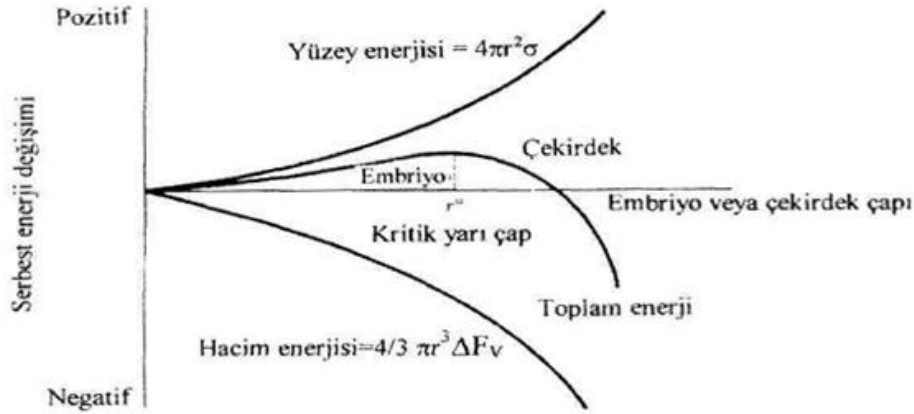
Buna karşın, katının oluşması için katı ile sıvıyı ayıran bir ara yüzeyin oluşturulması gerekmektedir (Şekil 2.4). Yüzey serbest enerjisi, ara yüzey enerjisi σ ile birleşmiştir. Geniş yüzeyler, yüzey serbest enerjisini artırır; büyük bir yüzey alanı daha büyük yüzey enerjisi demektir.

Sıvı, katılaşma noktasına soğutulduğunda, sıvı içerisindeki atomlar kümeleşerek katı malzemeye benzeyen küçük bir bölge oluştururlar. Bu küçük katı parçacıkları "embriyo" olarak adlandırılır. Embriyo oluştuğunda, toplam serbest enerji değişimi, hacim serbest enerjisinde azalma ve yüzey serbest enerjisinde ise bir artış gösterir.



Şekil 2.4 Sıvıdan katı parçacıkları oluştuğunda arayüzey [8]

Serbest enerjideki değişiklik, embriyonun boyutuna bağlıdır (Şekil 2.5). Embriyo çok küçükse, embriyonun daha fazla büyümesi serbest enerjinin yükselmesine neden olabilecektir.



Şekil 2.5 Sıvı-katı sisteminin toplam serbest enerjisi, katının boyutu ile değişimi [8]

Büyüme yerine embriyo tekrar erir ve serbest enerjinin azalmasına neden olur. Bu yüzden metal sıvı kalır. Sıvı, denge katılaşıma sıcaklığının altında bulunduğu için alt soğumuş olacaktır. Gerçek sıvı sıcaklığı ile denge katılaşıma sıcaklığı arasındaki fark aşırı soğumadır. Sıcaklık, denge katılaşıma sıcaklığının altında olduğu halde çekirdeklenme henüz oluşmamıştır ve büyüme başlayamaz. Eğer, embriyo kritik çekirdek yarıçapından (r^*) büyükse, embriyonun boyutu arttığında toplam enerji azalır. Oluşan katı kararlıdır ve çekirdeklenme oluşmuştur. Artık çekirdek olarak adlandırılan katı parçasının büyümesi başlar. Çekirdeklenme, ancak yeterli sayıdaki atom kendiliğinden katı üretmek için kümeleştiğinde ve bu katının çapı kritik çaptan büyük olduğunda oluşur. Bu durumda, kritik yarıçap, toplam serbest enerji değişim eğrisi üzerinde maksimum noktaya karşılık gelir [8].

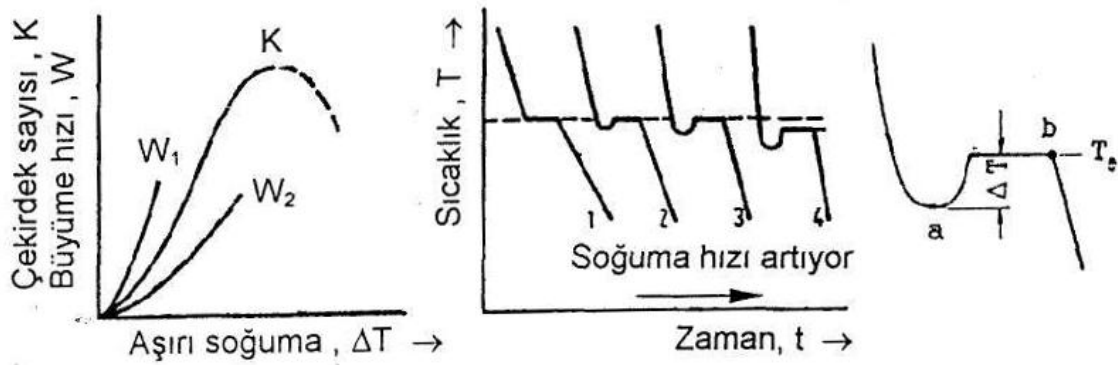
2.4.1.1. Homojen çekirdeklenme

Sıvının sıcaklığı denge katılaşıma sıcaklığının daha da altına soğutulduğunda, büyük bir ihtimalle atomlar kümeleşerek, kritik yarıçaptan (r^*) daha büyük bir embriyo oluşturacaktır. Buna ilaveten büyük alt soğuma, embriyonun kritik boyutunu geçmesini sağlayacak kadar büyük olduğunda homojen çekirdeklenme olur [8]. İçinde çekirdek görevi yapabilecek parçacıklar (karbür, nitrür, oksit ve diğer katı bileşikler gibi) bulunmayan ideal ve homojen bir eriyikte kararlı çekirdeklenmeye ilişkin aktivasyon enerjisi, eriyiğin kendi enerji içeriğinden karşılanmalıdır. Bu nedenle homojen çekirdek oluşumu (öz çekirdeklenme) için bir ΔT ısıl aşırı soğuması gereklidir. Yani eriyik katılaşıma T_e erime sıcaklığında değil, daha

düşük bir $T = T_e - \Delta T$ sıcaklığında başlar. Artan aşırı soğuma (ΔT) ile birim zamanda oluşan çekirdek sayısı (K) yükselir (Şekil 2.6.a). Ancak sıcaklığın çok düşmesi halinde atomların hareketleri güçleştiği için, K değerinde düşme görülür.

Birincil içyapının tane büyüklüğü, birim zamanda oluşan çekirdek sayısı K ve kristallerin büyüme hızı W ' ye bağlıdır. K ne kadar büyük ise, birincil taneler o kadar ince olarak oluşur. Kristal büyüme hızının (W) çok büyük olması halinde ise ilk oluşan az sayıda çekirdek büyüyerek tüm içyapıyı kaplayacağından daha kaba taneler elde edilir.

Şekil 2.6 a'da W_2 olarak gösterilen büyüme hızına sahip malzemenin içyapısı W_1 ' inkiye oranla daha küçük tanelidir [9].



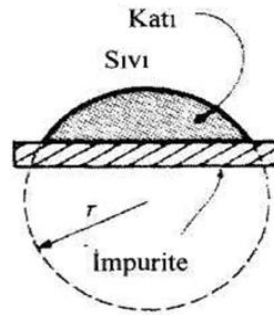
Şekil 2.6. (a) Aşırı soğumanın (ΔT), birim zamanda oluşan çekirdek sayısı (K) ve büyüme hızına etkisi, (b) Saf metallerde soğuma hızının aşırı soğuma miktarına etkisi [9]

Teknikte kullanılan döküm alaşımlarında aşırı soğumanın kontrolü ile içyapıdaki tane büyüklüğü büyük ölçüde ayarlanabilir. Hızlı soğuma sırasında (örneğin kokil kalıba döküm) aşırı soğuma miktarı ve dolayısıyla çekirdek sayısı artar. Daha yavaş soğuyan kum kalıba dökümde ise durum bunun tam tersidir. Ayrıca bir parçanın farklı bölgelerinde farklı soğuma koşullarının bulunması, aynı parça içinde farklı özelliklere sahip içyapılarının ortaya çıkmasına neden olacaktır. Şekil 2.6 b' de saf metal eriyiklerinde soğuma hızının aşırı soğumaya (ΔT) olan etkisini özetlemektedir. Eğrinin (a) noktası çekirdek oluşumunun, yani kristalleşmenin başlangıcını temsil etmektedir. Açığa çıkan kristalleşme ısı nedeniyle sıcaklık, erime sıcaklığına kadar artar. Daha sonra T_e sıcaklığı sabit kalarak

katılaşma devam eder ve (b) noktasında sona erer. Çok hızlı bir soğutma sırasında uzaklaştırılan ısı, kristalleşme ısısından daha büyük olabilir. Bu durumda eriyik daha düşük bir sıcaklıkta katılaşır [9].

2.4.1.2. Heterojen çekirdeklenme

Alışılmamış laboratuvar deneyleri dışında, sıvı metal içinde homojen çekirdeklenme asla olmaz. Sıvı ile temas halinde bulunan kalıp duvarları, yabancı maddeler (impüriteleri) veya katı parçacıkları, çekirdeklenme için uygun yüzey sağlayabilirler [8].



Şekil 2.7. Heterojen çekirdeklenme için gerekli olan kritik yarıçap [8]

Heterojen çekirdeklenmenin oluşması için çekirdekleyici maddenin sıvı metalle ıslanması gerekir. Aynı zamanda sıvı, çekirdekleyicinin üzerinde kolaylıkla katılaşmalıdır. Ayrıca çekirdeklenmenin çekirdekleyici madde üzerinde meydana gelmesinin nedeni, bu durumda kararlı bir çekirdek oluşturmak için yüzey enerjisinin, homojen çekirdeklenmeden daha düşük olmasıdır. Heterojen çekirdeklenmede yüzey enerjisi daha düşük olduğundan, kararlı bir çekirdek oluşturmak için gerekli toplam serbest enerji değişimi ve çekirdeğin kritik yarıçapı daha düşük olacaktır. Dolayısıyla çok daha küçük alt soğumalar yeterli olacaktır. Sıvı katı arasındaki çok küçük toplam yüzey alanı artışı ile kritik yarıçaptan daha büyük olan kavis yarıçapına ulaşılmaktadır. Bir katı parçası üretmek için sadece birkaç atom birlikte kümeleşmek zorundadır ki, bu istenilen kavisin yarıçapıdır. Kritik boyuta ulaşmak için, istenilen alt soğuma daha azdır ve böylece çekirdeklenme daha kolay oluşur. İmpüriteler üzerindeki çekirdeklenme, heterojen çekirdeklenme olarak bilinir. Bütün mühendislik metalleri ve alaşımlar, katılaşma esnasında heterojen

şekilde çekirdeklenir. Heterojen çekirdeklenmede kristalleşmenin başlayabileceği yabancı yüzeylere örnek vermek gerekirse;

- Eriyiğin içinde bulunduğu kabın duvarları (örneğin dökümde kalıp duvarları),
- Erime sıcaklığı yüksek olan ve eriyik içinde katı halde bulunan bileşikler (karbürler, nitrürler, oksitler) veya alaşımın diğer bileşenleri,
- Aynı veya yabancı türden çekirdeklerin katılaşmadan hemen önce eriyiğe katılmasıyla aşılama [8,9].

2.4.2. Büyüme

Katılaştıran metalde katı çekirdekler oluştuğundan sonra bu çekirdek büyüyerek bir kristal haline gelecektir. Her katılaştıran kristalde atomlar esas olarak düzenli bir şekilde dizilmekte, fakat her kristalin yönelmesi farklı olmaktadır. Metalin katılaşması bittikten sonra, farklı yönelimdeki kristaller birbirine bitişerek yönelmenin birkaç atom boyunca değiştiği tane sınırlarını oluştururlar. Katılaşmış metaldeki kristaller taneler, taneler arasındaki yüzeylerde tane sınırlarıdır [9].

Önce katı çekirdek oluşur. Sıvı içerisindeki atomların katı çekirdek yüzeyine difüzyon ederek tutunmasıyla büyüme meydana gelir. Saf metallerde, katılaşma sırasında büyüme, ısının sıvı-katı sisteminden nasıl uzaklaştırıldığına bağlıdır. İki tip ısı uzaklaştırma vardır. Bunlar, sıvının özgül (spesifik) ısı ve ergime veya gizli ısıdır. Özgül ısı malzeme birim ağırlığının sıcaklığını 1°C değiştirmek için gerekli olan ısıdır. İlk önce özgül ısı, sıvı katılaşma sıcaklığına soğuyana kadar çevredeki atmosfere radyasyonla veya kuşatan kalıba iletilmekle uzaklaştırılmalıdır. Ergime veya gizli ısı, düzensiz sıvı yapının daha kararlı kristal yapıya dönüşüm enerjisidir. Bu ısı, katılaşma tamamlanmadan önce sıvı-katı ara yüzeyinden uzaklaştırılmalıdır. Bu yolla uzaklaştırılan gizli ergime ısı büyüme mekanizmasını ve son yapıyı belirler [8,9].

2.4.2.1. Düzlemsel büyüme

Bütün kristal büyüme tekniklerinde ısı akışındaki amaç bir denge şekli teşekkül etmiş sıvı katı ara yüzeyinde bir sıcaklık gradyanı meydana getirmek ve sonradan

bu gradyantlı sıvı katı ara yüzeyi istenilen bir hızda hareket edecek tarzda değiştirmek veya hareket ettirmektir.

Birçok metalin sıvı eriyiklerinin katılaştırılmasında, büyüme esnasında ara yüzeyde denge olduğu kabul edilir. Yani katılaştırma esnasında katı ve sıvı içinde büyük konsantrasyon gradyantları oluşabilir. Fakat ara yüzeyden geçişte atomların aktarılmasına karşı sadece ihmal edilebilir bir direnç mevcuttur [9].

İyi aşılınmış sıvının denge (kararlı) durumunda, yavaşça soğuduğu kabul edilsin. Sıvı metalin sıcaklığı, katılama sıcaklığından daha yüksektir. Diğer bir deyişle katının sıcaklığı katılama sıcaklığında veya altındadır. Katılamanın devam etmesi için gizli ergime ısısının sıvı-katı ara yüzeyinden kondüksiyonla çevreye doğru uzaklaştırılmasını gerektirmektedir. Herhangi küçük bir şişkinlik, katılama sıcaklığının üzerindeki sıvı metal tarafından çevrilen ara yüzeyde büyümeye başlar (Şekil 2.8). Bu şişkinliğin büyümesi, geride kalan ara yüzeyle, aynı hizaya gelinceye kadar olur. "Düzlemsel büyüme" olarak bilinen bu büyüme mekanizması, düzgün katı-sıvı arayüzeyinin sıvıya doğru ilerlemesiyle olur [8].



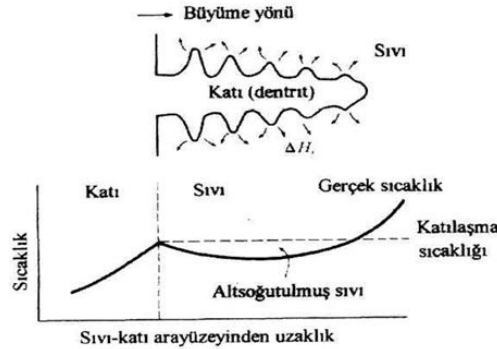
Şekil 2.8. Düzlemsel büyümenin oluşumu [8]

2.4.2.2. Dentritik büyüme

Hüresel katılama olmadan dentritik katılama geçiş, hücrelerin yan yüzlerinin kararsız hale gelerek yanlara doğru çıkıntılar meydana getirmesiyle olur. Alaşımarda katılama ile sıvı içine doğru itilen çözünen madde, hücreler arasında birikir ve hücre aralarını çözünen maddece zenginleşmesine sebep olur. Bu konsantrasyonca

farklılıkta yapısal aşırı soğumaya, dolayısıyla ara yüzeylerin karasız hale gelmesine, ara yüzeylerde katı çıkıntılarının (ikinci kolların) meydana gelmesini yani dentritik katılaşmaya sebep olur. Yüksek katılaştırma hızı çözünen maddelerin hücre ve dentritler arasında yanlara yayılmalarına fazla zaman vermediğinden hücre ve dentritler arasındaki mesafeler küçük olur [8,9].

Çekirdeklenme zayıf olduğunda, katı oluşmadan önce, sıvı katılma sıcaklığının altında bir sıcaklığa soğur (Şekil 2.9). Bu şartlar altında, dentrit olarak bilinen ve ara yüzeyde oluşan küçük katı şişkinlik, büyümeye devam ederken, ergime ısı alt soğuyan sıvıya iletilir. Sıvının sıcaklığı katılma sıcaklığına doğru yükselir. Gizli ergime ısının dağılım hızına bağlı olarak, birincil dal üzerinde ikincil ve üçüncül dentrit kolları oluşabilir. Dentritik büyüme, alt soğuyan sıvının katılma sıcaklığına ulaşmasına (veya ısınmasına) kadar devam eder. Geriye kalan sıvı düzlemsel büyüme ile katılır. Düzlemsel ve dentritik büyüme arasındaki farklılık, farklı gizli ısılarına sahip sıvı gölcükleri nedeniyle ortaya çıkar. Düzlemsel büyümede sıvının içinde bulunduğu kap veya kalıp ısıyı emer (absorbe eder). Dentritik büyümede ise alt soğutulmuş sıvı ısıyı absorbe eder. Saf metallerde dentritik büyüme, normal olarak toplam büyümenin yalnız küçük bir kısmını temsil eder.



Şekil 2.9 Dentritik büyümenin oluşumu [8]

2.5. Basınçlı Döküm

Düşük sıcaklıkta ergime ve metal kalıplar içerisinde kalıplanabilme özelliği olan demir dışı metal ve metal alaşımlarının yüksek basınç altında biçimlendirilmesine "Basınçlı Döküm" denilmektedir [11]. Diğer bir tanıma göre ise basınçlı döküm,

ergitilmiş demir dışı metalin bir hidrolik enerji vasıtasıyla metal kalıba yüksek hızla doldurulması olarak tanımlanır [12]. Kokil döküm yönteminde sıvı metal yerçekimi kuvveti yardımıyla kalıbı doldururken, bu yöntemin gelişmiş uygulaması olan basınçlı dökümde, sıvı metal basınçla kalıbı doldurarak çeşitli parçaların çok kolay ve seri bir şekilde elde edilmesini sağlamaktadır.

Tablo 2.1. Döküm proseslerin genel döküm karakteristikleri [13]

GENEL DÖKÜM KARAKTERİSTİKLERİ							
PROSES	Tipik Döküm Malzemeleri	Ağırlık (Kg) Min Max	YüzeY Pürüzlüğü (µm)	Porozite*	Şekil Karmaşıklığı*	Ölçüsel Hassasiyet*	Kesit Kalınlığı(mm) Min Max
Kum Kalıba Döküm	Hepsi	0,05/Sınırsız	5 – 25	4	1 - 2	3	3 / Sınırsız
Kabuk Kalıba Döküm	Hepsi	0,05 / 100+	1 – 3	4	2 – 3	2	2 / -
Sıvama Kalıba Döküm	Demirdışı	0,05 / 50+	1 – 2	3	1 – 2	2	1 / -
Seramik Kalıba Döküm	Hepsi	0,005 / 100+	1 – 3	3	1	1	1 / 75
Kokil Kalıba Döküm	Hepsi	0,5 / 300	2 – 3	2 – 3	3 – 4	1	2 / 50
Yüksek Basınçlı Döküm	Demirdışı	<0,05 / 50	1 – 2	1 – 2	3 – 4	1	0,5 / 12
Savurma Döküm	Hepsi	- / 5000+	2 – 10	1 – 2	3 – 4	3	2 / 100
* İZafı Oran; 1 En İyi - 5 En kötü. Not: Burada verilen oranlar genelemedir. Kullanılan metoda göre değişiklikler görülebilir.							

Elle çalışan döküm makinelerinin patentleri, hızlı dökümle daha kaliteli parçaları elde etmek isteyen, Sturgiss (1849), Barr (1852) tarafından alınmıştır. Daha sonra metal bir kalıba piston ilerlemesi tarafından zorlanan sıvı metalin dökülmesiyle Ottmar Mergenthaler otomatik döküm makinesini “Linotip” geliştirdi. Linotip adını taşıyan ilk basınçlı döküm makinesinin patenti 1905 yılında H.H. Doehler tarafından alınmıştır. İki yıl sonra E.B. Wanger’ in bugünkü sıcak kamaralı basınçlı döküm makinesinin bir prototipi niteliğindeki makinesi ortaya çıkmıştır. Bu makine II. Dünya Savaşı sırasında sıklıkla kullanılmıştır. Bundan kısa bir süre sonra iyi mekanik özelliklere sahip alaşımların dökümlerine uygulanması başladı. Kalay-kurşun alaşımlarından biraz daha yüksek ısıya sahip olan çinko alaşımlarında da

başarı sağlanınca 1915' te bir şirket ilk defa ticari alüminyum alaşım parçaları üretti. Birinci dünya savaşında bu teknikle gaz maskesi, makinalı tüfek, dürbün vb. sistem parçaları basınçlı döküm ile yapıldı. Magnezyum ve pirinç alaşım dökümleri ile gelişti. Yaklaşık olarak 650 °C'de ergiyen alüminyum ve magnezyum alaşımlarının yine yaklaşık olarak 870 °C'de ergiyen ve "Pirinç" adıyla tanıdığımız bakır-çinko alaşımları takip etmiştir.



Şekil 2.10. Basınçlı döküm makinesi

Günümüzde de basınçlı döküm, metal işleme sanatının en önemli yöntemlerinden biridir. Son yıllardaki basınçlı döküm makineleride güvenlik, emniyet ve akıllı makineler üretilerek günün şartlarına uyum sağlamıştır. Bu makinelerde voltaj dalgalanmalarından etkilenmeyen PLC (Programmable Logic Control), insan düşünce birikiminin endüstriyel uygulamaya dönüştürebileceği mükemmel bilgisayar donanımlı hale gelmiştir. Üç kademeli kalıp bağlama seviyesi, network bağlantı imkanı, internet, e-posta, SMS gibi teknolojilerini kullanma imkânı, otomasyona uygunluk, baskı sayıcı, makine çalışma zaman göstergesi, 16.000 adımlık program hafızası, dijital gösterge paneli, hata uyarı sistemi, uzaktan izleme imkânı, elle veya tam otomatik (300-400-600 ton) kullanım imkanı olan ve aynı zamanda çevreye duyarlı, kullanımı kolay, ISO 9000 ve CE kalite belgelerine sahip basınçlı döküm makineleri tercih sebepleri arasında önemli yer tutan özelliklerdendir.

Basınçlı döküm, otomatik transmisyon karteri ve vites kutusu bileşenleri gibi otomotiv vb. parçalarının yüksek kalite ve düşük maliyetle üretilebilmesi için önemli bir yöntemdir. Bu yöntemde sıvı metal (çoğunlukla Al) yüksek basınç ve hızla (30-100 m/s) karmaşık yolluk ve gidici kesitlerinden geçirilerek kalıp boşluğuna enjekte

edilir [14]. Basınçlı dökümle bisiklet parçaları, atal bıçak takımları, saatler, klimalar, kül tablaları, el aletleri, motorlar, kilitler, makaralar, valfler, traktör parçaları, tren parçaları, elektrik aletleri, dürbünler, hava freni donanımı, savaş gereçleri, roket parçaları v.b. gibi yapımı özen gerektiren önemli parçalar üretilebilmektedir (Şekil 2.11.) [15].



Şekil 2.11. Basınçlı döküm yöntemiyle üretilen çeşitli ekipmanlar

2.5.1. Basınçlı dökümün avantajları

Basınçlı döküm, talaş kaldırma işçiliğinin, malzeme sarfiyatının az olması, üretim sayısının fazlalığı, simetrik olmayan karmaşık biçimdeki kalıplama işlemlerinin kolaylığı nedeniyle endüstri alanında çok kullanılmaktadır. Basınçlı dökümün yaygın olarak kullanılmasının yararları aşağıda sıralanmıştır.

Metal kalıba kıyasla çok daha karmaşık şekilli parçaların dökümü mümkündür. Kalıplar basınç altında doldurulduğundan, diğer döküm yöntemlerine kıyasla, daha ince cidarlı, "uzunluk/kalınlık" oranı daha yüksek ve boyutsal hassasiyeti daha fazla

olan parçalar üretilebilir. Özellikle birden fazla boşluk ihtiva eden kalıplar kullanıldığında üretim hızı diğer yöntemlerden çok daha fazladır. Dökülen parça boyutlarında bir değişim olmaksızın aynı kalıptan binlerce parça üretilebilir. Daha ince kesitlerin dökülebilmesi, metal maliyetini azaltıcı bir husus olmaktadır. Basınçlı döküm ürünleri genellikle çok az bir yüzey bitirme işlemi gerektirirler, Bazı alaşımlar (örneğin Al esaslılar) basınçlı döküm yöntemi ile üretildiklerinde, diğer döküm yöntemlerine nazaran çok daha yüksek mekanik özellikler gösterirler[15].

- Ölçü tamlığı çok iyidir ve çok sayıdaki işlerde az tolerans farkı vardır.
- Karmaşık parça üretiminin çok kolaydır.
- Farklı metaller çok kolay birleştirilir (kompozit gereçler).
- İnce kesitli, işleme payı az ve sık dokulu parçalar üretildiği için gereç kazanımı sağlar.
- Dış görünümü güzel döküm parça üretilir.
- Döküm parçalarda dış yüzey işlemlerini ortadan kaldırır.
- Çok sayıdaki parça üretimde aynı kalıp kullanıldığından parçalar arasında ölçü tamlığı sağlar.
- Çok sayıda parça üretimini hızlı gereç akışı ve az işçilikle sağlayarak yüksek verim elde edilir. Bundan dolayı pahalı kalıplara rağmen düşük maliyet sağlar.
- 0,1 gramdan, 25-35 kilogram aralığındaki değişik ağırlıklarındaki parçalar kolaylıkla elde edilebilir.

2.5.2. Basınçlı dökümün dezavantajları

Döküm boyutları sınırlıdır, döküm ağırlığı en fazla olarak 23 kg'ı aşar ve genellikle 4-5 kg. civarındadır, Kalıp dizaynında dökülecek parçanın dolayısıyla yolluklarının ve hava kaçış yollarının yapımı ve yerinin seçimi büyük önem taşır; zira bu faktörlere bağlı olarak kalıp içerisine hava sıkışması söz konusu olabilir ve hap solan havada gaz boşluklarına neden olabilir, Komple bir basınçlı döküm makinesi (ana pres, yardımcı cihazlar ve kalıplar) oldukça pahalıdır. Bu nedenle yöntemin ekonomik bir değer ifade edebilmesi ancak çok sayıda parça üretimi ile mümkündür, Birkaç istisna dışında, ergime sıcaklıkları bakır esaslı alaşımların ergime sıcaklıklarından daha yüksek olan alaşımlar basınçlı döküm yöntemiyle üretilemezler [15].

2.6. Basınçlı Döküm Yöntemleri ve Makineleri

Basınçlı döküm makinesinin fonksiyonu kalıbın iki parçasının tam ekseninde ve sağlam olarak tutmak, yeterli miktarda erimiş madeni kalıba basınç altında göndermek ve kalıbın iki parçasını açıp kapatarak dökülmüş parçanın kalıptan çıkarılmasını sağlamaktadır. Kalıp, içine dökülecek parça oyulmuş, maça itici ve benzeri parçalar eklenmiş, basınçlı döküm makinesi tablalarına aynı ekseninde monte edilmiş iki çelik bloktan meydana gelir [16]. Basınçlı döküm makineleri, metal basma sisteminin farklı oluşuna göre "sıcak kamaralı" ve "soğuk kamaralı" makineler olarak başlıca iki ana guruba ayrılır. Basınçlı döküm makinesi seçimi dökülecek malzemenin özelliklerine ve yapısına göre seçilmektedir [17].

2.6.1. Sıcak kamaralı döküm yöntemi

Sıcak kamaralı basınçlı döküm makinelerinde ergime sıcaklığı 327°C olan kurşun, 420°C olan çinko, 232 °C olan kalay gibi ergime sıcaklıkları düşük olan malzemelerin kalıplanmasında kullanılır. Bu yöntemle çok küçük ve hassas, hepsi aynı özelliğe sahip parçalar seri halde dökülebilir. Sıcak kamaralı döküm yöntemi ile üretim sonucunda $\pm 0,05$ mm hassasiyet elde edilebilir. Pistonlu ve sıcak hazneli basınçlı döküm makinelerinde alüminyum dökümü yapılamaz. Çünkü alüminyumun ergime derecesi yüksek olduğundan, demir yada çelikten yapılan piston, silindir ve kaz boynunu etkileyerek sarma yapar ayrıca dökülecek alüminyum alaşımın bileşimini bozar. Metal ergitiminde kullanılan ocak makinenin ön kısmındadır. Kalıp içine püskürtülecek metal bir pota içerisinde ergitilir ve silindir içinde hareket eden bir piston ile 20-60 Atü. veya 70-250 Atü. basıncındaki hava ile yapılır. Her püskürtme (enjeksiyon) işleminden sonra sıvı metal silindir içine dolar ve yeni bir işleme hazır hale gelmiş olur.



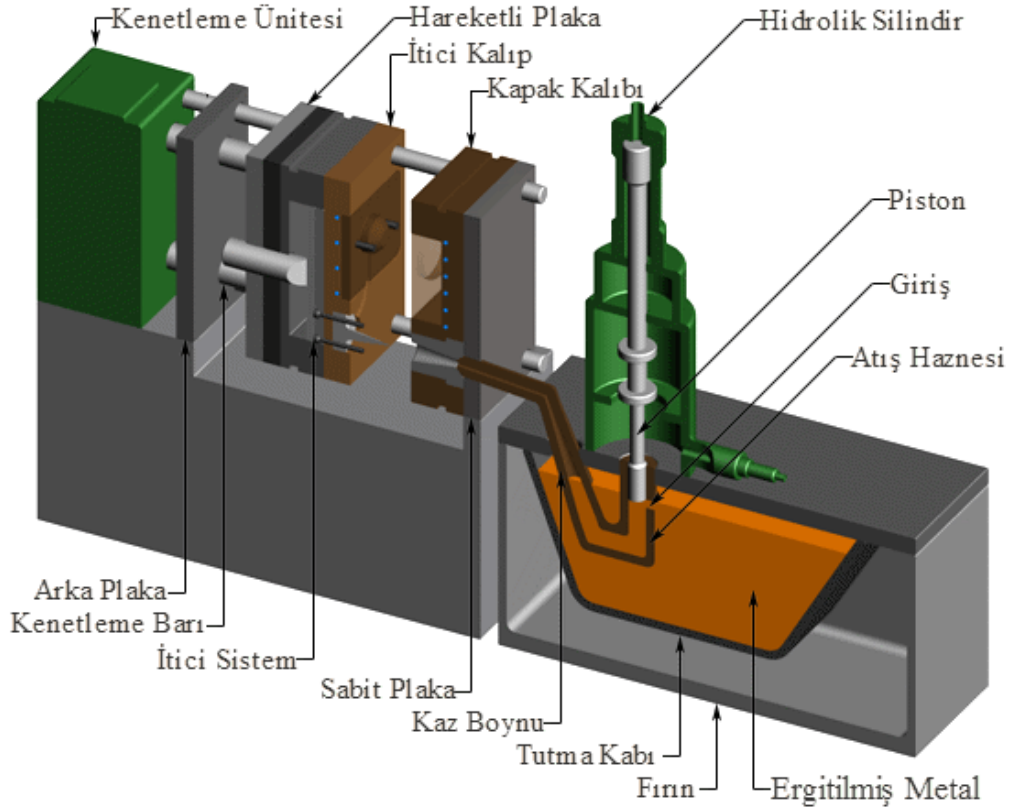
Şekil 2.12. Sıcak hazneli basınçlı döküm makinesi

Üretim sırasında 10-80 atmosfer basınçla çalışıldığından üretilmiş parçaların üzerinden ikinci bir suretle talaş kaldırılmasına gerek duyulmaz. Sıcak kamaralı döküm yönteminde kullanılan makineler çalışma sistemlerine göre ikiye ayrılmaktadır [18].

a-) Pistonlu ve sıcak kamaralı makineler;

Şekil 2.13. de görünen pistonlu makinelerde; Fırın içerisine pik bir pota yerleştirilir. Bu potaya monte edilen silindir ergimiş alaşımın içine gömülür. Silindir içindeki piston bir levye ve eksantrik mekanizma ile yatay yönde çalıştırılır. Ergimiş metal bir delikten geçerek yer çekimi etkisi silindiri doldurur. Çalıştırma levyesi çekildiğinde piston kolu pim çevresinde dönerek pistonu silindir içinde hareket ettirir. Pistonun ileri hareketi önce silindirde metal giriş deliğini kapatır, sonra da silindirdeki metali kalıba basar [17]. Bu sistem ile yaklaşık olarak 20 kg/cm²'yi aşan basınçlara erişmek mümkün olabilmektedir. Ayrıca sıvı metal en kısa sürede ve en az ısı kaybı ile enjekte edilebilmektedir [15]. Bu işleme sıvı metalin püskürtülmesi veya enjekte edilmesi de denir. Kalıptaki sıvı metalin katılaşması için bir süre beklenir ve piston geriye çekilir. Bu arada kalıp açılır ve itici pimlerin yardımıyla da döküm parçanın kalıp yüzeyinden ayrılması sağlanmış olur. Bu işlemlerin tekrarı diğer döküm

parçaların elde edilmesi demektir. Burada uzun uzun anlatılan işlemler çok kısa sürede olmaktadır.



Şekil 2.13. Pistonlu ve sıcak hazneli basınçlı döküm makinesi kesit resmi

b-) Basınçlı hava ile çalışan sıcak kamaralı makineler;

Alüminyum dökümlerinde kullanılan bu tip makineler diğerine göre daha az tercih edilmektedir. Bu makinelere “Dalma Hücreli Makineler” de denmektedir. Bu makine görünüş itibari ile kaz boynunu andırdığı için kaz boynu tipide denilebilir. Hareket kolunun yardımı ile hareket koluna bağlı bulunan kaz boynunun sıvı metal içerisine daldırılması sağlanır. Sıvı metal içerisine daldırılan kaz boynu içerisine doldurma kanalından ergitilmiş metal dolar daha sonra hareket kolu yardımıyla kaz boynu sıvı metali kalıba basacak şekilde kilitlenir sonra sıvı metal, kaz boynundan kalıba yüksek basınçlı bir hava ile doldurulur. Bu tip makinelerde kalıba sıvı metalin doldurma işlemi yaklaşık 35 kg/cm² basıncındaki hava ile gerçekleşmektedir. Burada depo içindeki sıvı metal ergime noktasının oldukça üstünde bir sıcaklıkta tutulur.

2.6.2. Soğuk kamaralı döküm yöntemi

Soğuk kamaralı döküm yönteminde ergime sıcaklığı 665 °C olan alüminyum, 649 °C olan magnezyum, 1083 °C olan bakır gibi ergime sıcaklıkları yüksek olan malzemelerin kalıplanmasında kullanılmaktadır. Soğuk hazneli basınçlı döküm makinelerinde ergitme ocağı ayrı bir yerdedir.

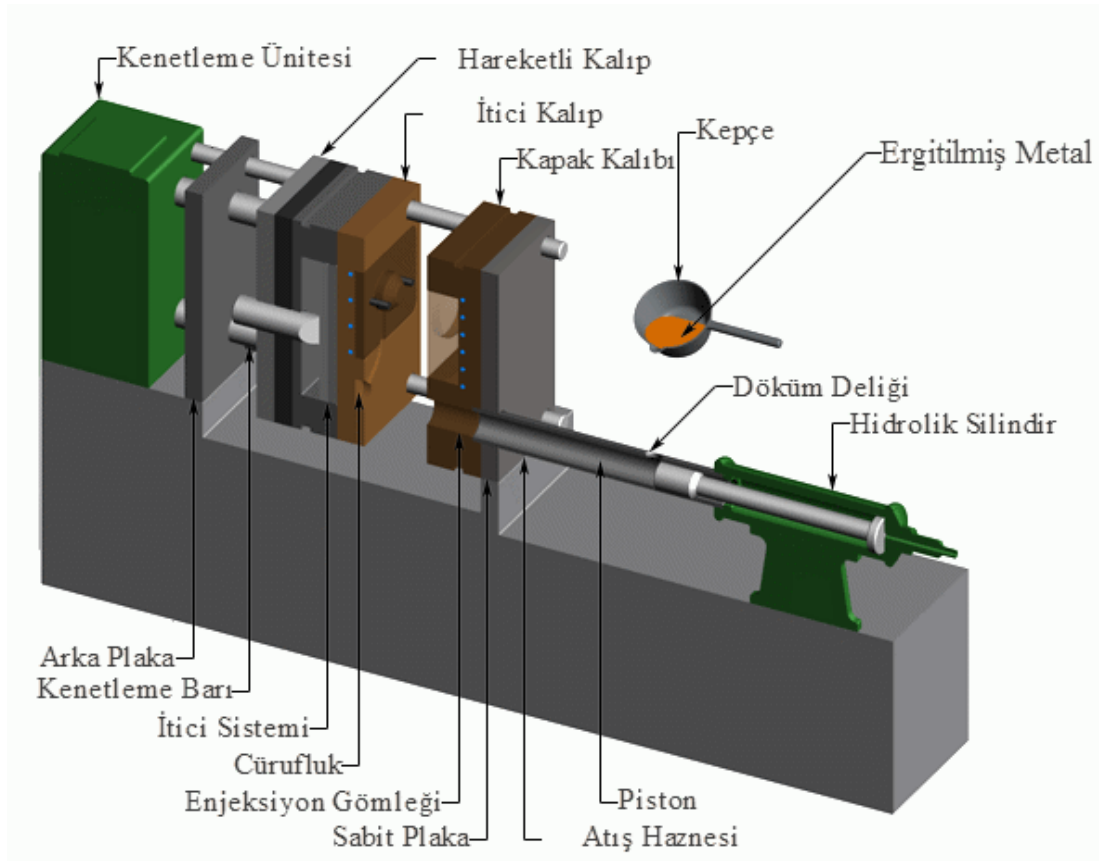
Ergimiş metal silindir içindeki hazneye kepçe ya da otomatik olarak dökülecek parçadan fazlaca konur. Piston yardımıyla sıkıştırılarak kalıp boşluğuna doldurulur. Soğuyan kalıp açılar ve iticilerin yardımıyla döküm parça dışarı alınır. Soğuk hazneli basınçlı döküm makinesinde sıvı metal piston tarafından 2000-2250 kg/cm³ basınçla sıkıştırılır. Pistonun sıkıştırma hareketi genel olarak yataydır, çok az da olsa dikey olanları da vardır. Bazı durumlarda metal pıhtı (ne tam ergiyik ne de tam katı) halde piston tarafından kalıp içine büyük bir basınçla (50 ton-550 ton) basılır. Böyle çalışan makinelere “Pres veya Basma Döküm Makineleri” denir.

Basınçlı döküm makine ölçüleri, sabit ve hareketli kalıpları taşıyan yan çubukların eksenleri arasındaki ölçüye göre belirtilir. Bu ölçüler 300-1200 mm. arasında değişir. Bu presin en büyük avantajı eritilmiş olan metalın silindir- piston ünitesini etkilememesidir. Çünkü metal ayrı bir fırın içerisinde eritilerek kalıp içerisine basılmaktadır [19].Örnek bir soğuk hazneli döküm makinesi Şekil 2.14’te gösterilmiştir. Soğuk kamaralı döküm makineleri, alışma konumlarına göre iki çeşittir.

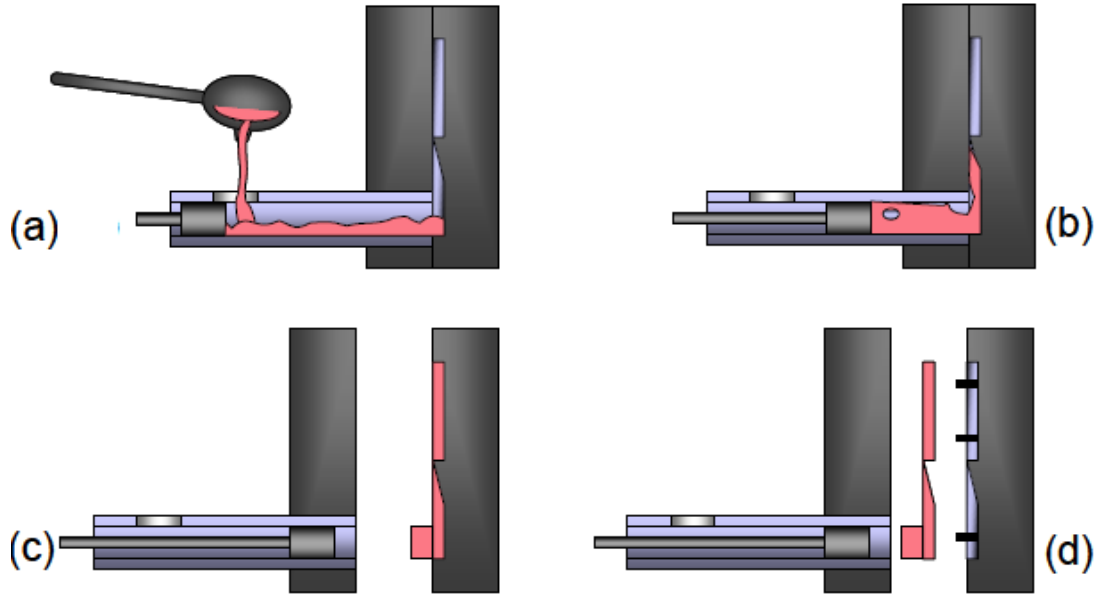
a-) Yatay soğuk kamaralı döküm makinesi;

Yatay konumlu soğuk kamaralı makinelerde enjeksiyon sistemini oluşturan silindir, piston ünitesi yatay düzleme paralel olarak yerleştirilmiştir (Şekil 2.15.). Silindir-piston ünitesi ısıtılmayan bu makinelerde ergitilmiş madenin enjeksiyon sistemini sıcaklık etkisinden korumak amacıyla silindir ve piston içerisine soğutucu kanallar açılmıştır. Kalıplama işleminin ardından, açılan kanallar sayesinde silindir-piston ünitesi soğutulmuş özelliğinin bozulmaması sağlanır. Bu preste ergitilmiş metalın silindir içerisine aktarılışında uygulanacak ilave ve besleme sisteminin yerleşiminin

zor olması, kalıplama zamanının fazlalığı, ısı kaybını önlemek için madenin ergime sıcaklığından fazla ısıtılması gibi zararlı yönleri olmaktadır(20).



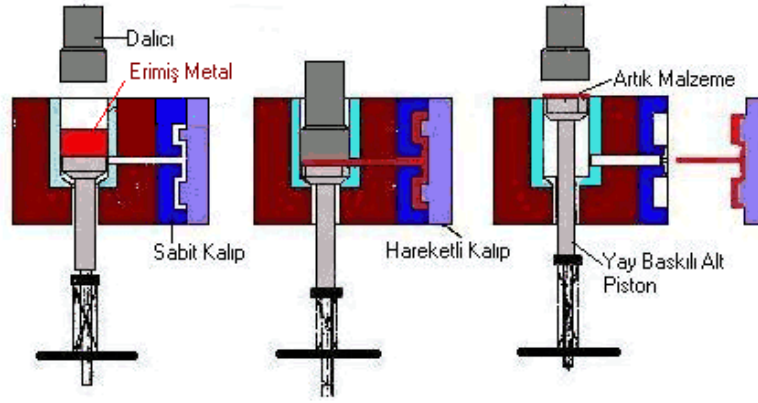
Şekil 2.14. Yatay soğuk hazneli basınçlı döküm makinesi kesit resmi



Şekil 2.15. Yatay soğuk kamaralı makinenin çalışmasına örnek
a) Metalin Doldurulması, b) Metalin Basılması, c) Kalıbın Açılması, d) Parçanın Çıkarılması

b-) Düşey soğuk kamaralı döküm makinesi;

Basma işlemi düşey bir kamarada yapılmaktadır, şekil 5.'deki gibi alttaki piston ergimiş metal kamaraya dolarken, kalıp giriş deliğini kapayacaktır. Metal beslendikten sonra üst piston aşağı doğru hareket ettirilerek, önce ergimiş metal iki piston arasında sıkıştırılır ve bu esnada alt piston üst piston basıncının etkisi ile aşağı doğru hareket ederek kalıp giriş deliğini açar. Ergimiş metal bu girişten hızla kalıp boşluğuna basılır ve dökümün tamamlanması için bir süre basınç tatbik edilir. Katılaşma bittikten sonra üst ve alt piston yukarıya doğru hareket ettirilerek metal artığı dışarı atılır. Kalıp yarımı açılarak parça çıkarılır. En önemli avantajları piston hareket ettirildiğinde ergimiş metal sıkı bir kitle halinde hareket ederek dökülen parçada hava boşluklarının oluşumu da minimum olur. Düşey makineler genellikle merkezden beslemenin en iyi olduğu veya daha etkin olduğu durumlarda tercih edilir. Örneğin; merkez kısmının et kalınlığı fazla ve merkezden uzaklaştıkça kenarlara doğru et kalınlıkları azalan tekerlek v. b. parça dökümlerinde kullanımı avantajlıdır [15].



Şekil 2.16. Düşey soğuk kamaralı döküm makinesi ve çalışma sırasının gösterilmesi

2.7. Basınçlı Döküm Makinelerinde Kalıp Kapama Sistemleri

Kalıpları kapatma basıncı, metalin kalıp içine enjeksiyonu sırasında meydana gelecek basınçlara dayanması gerekir. Bu arada kalıpların birleşme yüzeyleri bir birine tam temas etmelidir. Yüzeyler arasında oluşabilecek en küçük boşluklardan sıvı metal dışarı fışkırarak kalıp içine giren sıvı metalin basıncı düşürür ve en ince noktalara kadar gitmesini engelleyerek işlerin özürlü çıkmasına neden olur. Bu durum makine ve etrafında çalışanlar içinde büyük tehlike oluşturur. Birçok makinede kapama ve kilitleme işlemi hidrolik, basınçlı hava, elektrikli motor, kam veya el ile çalıştırılan sistemlerle yapılır.

2.8. Basınçlı Döküm Kalıpları

Basit bir parçaya ait kalıp, iki parçadan meydana gelir. Bunlardan biri sıvı metalin enjekte edildiği tarafa bağlanır ve sabittir. Buna “Sabit Kalıp” denir. Diğeri hareketli ve üzerinde itici parçaları taşır. Bu kalıba da “Hareketli ya da Alt Kalıp” denir. Kalıp boşluğu iki çelik blok üzerinde döküm ya da işleme metoduyla meydana getirilir. Bu kalıpların birleşme yüzeyine de mala yüzeyi denir. Bu iki yarım kalıbın birleştirilmesi tam olmalı, birleşme yüzeylerinde hiç boşluk olmamalıdır. Az bir boşluk sıvı metalin fışkırarak dışarı çıkması sonucu döküm parçanın sakat olmasına ve iş kazalarına neden olur.

Kaliteli bir üretim yapılabilmesi için basınçlı döküm parçalarının iyi bir konstrüksiyonu olması gerekmektedir. Konstrüksiyonun yapılmasında bazı

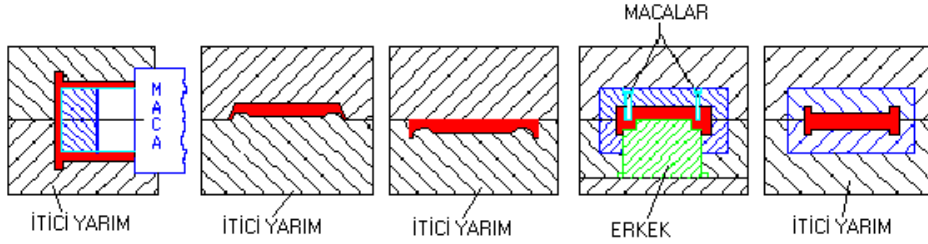
noktaların üzerinde durulması gerekmektedir. Bu önemli noktaları şöyle sıralayabiliriz. Parçaların şekillendirilmiş kısımları mümkün olduğu kadar doğrusal olmalıdır. Sivri uçlardan kaçınılmalıdır. 1, 5 mm den 4mm ye kadar aynı kalınlıkta bir cidar kalınlığı sağlanmalıdır. Parçalarda lüzumlu koniklik miktarı 1° den aşağı olmamalıdır. Muhtelif yerlere konacak boşluk, delik ve cep gibi yerlere konacak maçalardaki koniklik $1, 5^\circ$ 'nin altında olmamalıdır, Parçada vida dişleri hususi hallerde dökülür, gerekli dişlere ait maçalardan istifade edilir, döküldükten sonra maçalar yerlerinden döndürülmek suretiyle çıkarılır. Basınçlı döküm parçalarının konstrüksiyonlarında en iyi tasarım elde edilinceye kadar gerekli çalışmalar yapılmalıdır[20].

2.8.1. Basınçlı döküm kalıpları konstrüksiyonu

Basınçlı döküm kalıpları, her biri dökülecek parçanın geometrisine göre işlenmiş iki kalıp yarımından meydana gelir. Makineye monte edilen bu kalıp bloklarından biri sabit (hareketsiz) kalıp yarımı, diğeri hareketli (enjektör) kalıp yarımı olacak şekilde düzenlenirler. Ergimiş metal kalıp boşluğuna, sabit kalıp yarımında bulunan beslemem memesi vasıtasıyla akar. Hareketli kalıp yarımında ise dökülen parçanın şekline bağlı olacak yolluklar veya kanallar vardır [15].

2.8.1.1. Dişi kalıplar ve maçalar

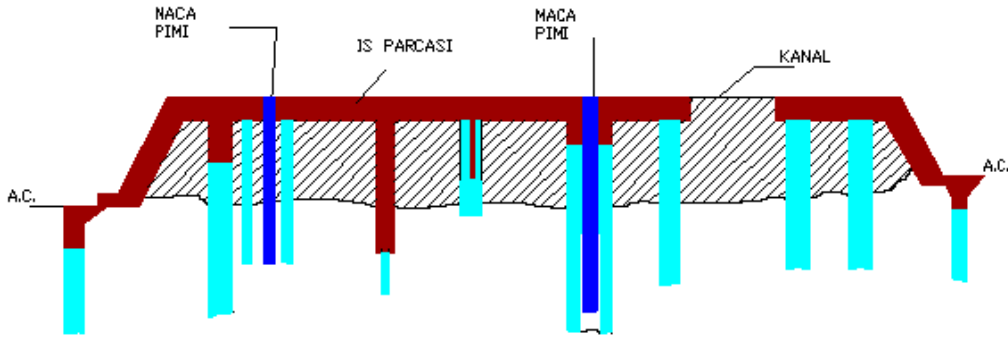
Dişi kalıplar istenilen biçimde doğrudan doğruya kalıbın ayırma çizgisinden itibaren itici kısmına ve sabit tarafına işlenir. Dişi kalıplar aynı zamanda ayrı çelik bloklardan işlenerek kalıp takımlarının iki yarısındaki yuvalarına yerleştirilmek suretiyle kullanılır. Kalıp takımına yerleştirilen dişi kalıp, kalıplanacak parçanın biçimine göre yapılır. Kalıbın iki parçasının üst yüzeyleri ayırma çizgisinde birbirine oturur. Maçalar iş parçası üzerindeki delik, oluk ve iç girintileri yapmak için kullanılır. Bunlara örnek Şekil 2.17.de gösterilmiştir. Bazı maçaların amacı, parçanın cidar kalınlıklarını eşit yapmak ve metal tasarrufunu sağlamaktır [21].



Şekil 2.17. Dişi ve maça yerleşimlerine örnekler

2.8.1.2. İtçiler

Basınçlı döküm kalıp konstrüksiyonunun da en önemli öğelerden biri parçayı kalıp içindeki şekillendikten sonra çıkarılabilecek sistemin ortaya konmasıdır. Parçaların çıkarılmasında genellikle itici pimler kullanılır (Şekil 2.18.). İtici pimlerin, ölçüleri, uygulamaya göre 3 mm den 25 mm çapa kadar değişir. En çok kullanılan pim çapları 6-8 ve 10 mm dir. İtici pimlerin yüzeyleri aşınmaya karşı çok sert nitrüre edilmiştir [21].

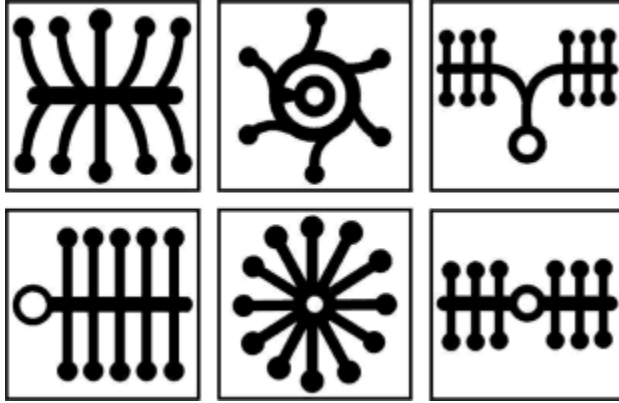


Şekil 2.18. İtici pimlerin tipik konumları

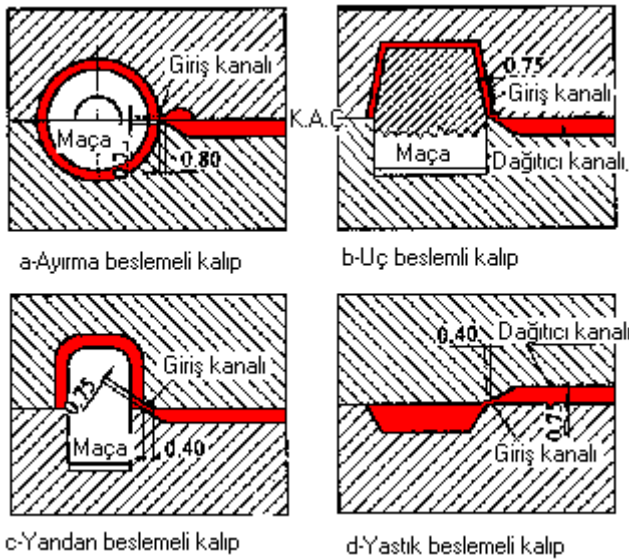
2.8.1.3. Girişler ve dağıtıcılar

Dağıtıcılar yolluk burcundan giren ergiyik alaşımın, basınçlı döküm kalıbına ayırma yüzeyinden dişi kalıbın içine dolmasını sağlayan geçiş kanallarıdır (Şekil 2.19.). Basınçlı döküm kalıplarında dağıtıcılar genellikle kalıp iticisi bulunan kısma açılır. Derinlikleri 4, 5 mm den 8 mm ye kadar değişir. Genişlikleri ise iş parçasının ağırlığına ve dış biçimine göre tayin edilirler. Basınçlı döküm kalıplarında girişlerin yani dağıtıcı memelerinin geniş aralıklı tiplerinde ölçü 1, 25 mm üzerindedir. İnce aralıklar ise 0, 625 mm civarındadır. Çok büyük parçaların meme aralığı 2, 25 mm

veya daha fazla aralıkla yapılır (Şekil 2.20.). İnce girişlerle iyi yüzey kalitesi elde edilir, artık kısımların ve yüzeyin düzeltilmesi kolay olur, fakat yoğun bir döküm yapılamaz. Büyük girişlerle daha yoğun ve kusursuz bir döküm yapılır. Fakat artık kısımların kırılması ve yüzeyin düzeltilmesi daha güç olur. Girişlerin büyüklüğü ve biçimi ergiyik alaşımın buhar gibi püskürmeden bir akım sağlayacak şekilde olmalıdır [21].



Şekil 2.19. Çeşitli dağıtıcı şekil ve yerleşimleri



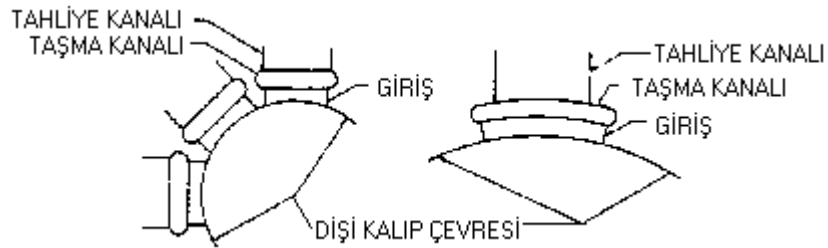
Şekil 2.20. Giriş kanallarının kalıp üzerindeki tipik konumları

2.8.1.4. Tahliye kanalları

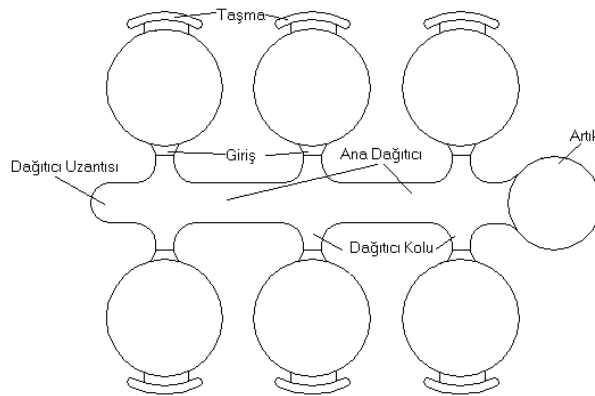
Basınçlı döküm kalıplarda hava tahliyesi şarttır. Tahliye kanalları kalıbın ayırma çizgisi üzerine işlenir. Tahliye kanalı Şekil 2.21. ve 2.22.'deki gibi genellikle ergiyik alaşımın havayı sıkıştıracağı yerde veya girişin karşıt tarafına açılır. Bazı tahliye kanalları kızakların etrafına hareketli maçaların ve iticilerin üzerine açılır [21].

2.8.1.5. Taşma kanalları

Taşma kanalları, basınçlı döküm yapmada önemli rol oynayan tahliye sisteminin bir parçasıdır. Doldurulması güç olan dişi kalıpların çukurlarına ergimiş alaşımın akmasını kolaylaştırır (Şekil 2.21., 2.22.) [21].



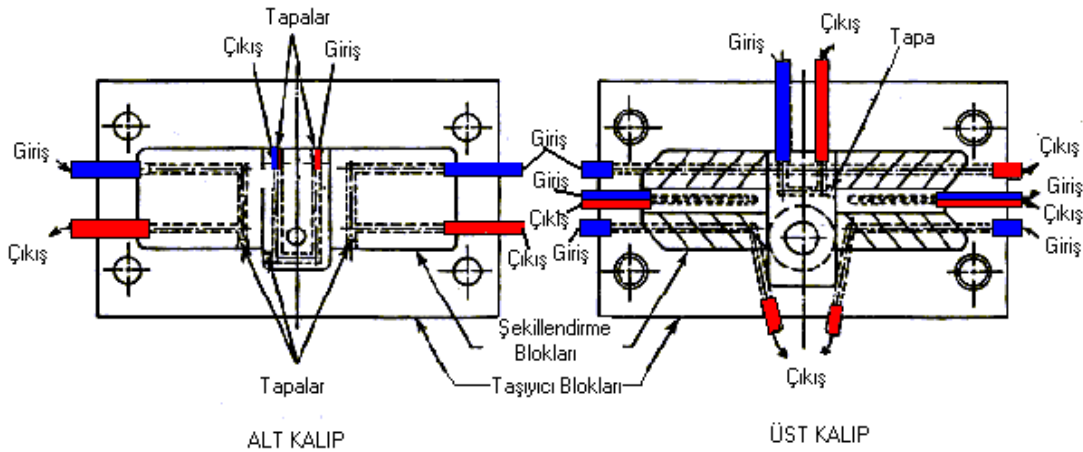
Şekil 2.21. Taşma ve tahliye kanalına örnek dişi kalıp yerleşimi



Şekil 2.22. Taşma ve tahliye kanalına örnek parça yerleşimi

2.8.2. Basınçlı döküm kalıplarında soğutma

Basınçlı döküm makineleri her ne kadar belirli zaman aralığında daha önceden tespit edilen sayıda parça dökümü için ayarlanmış ve kalıp ısınmaları göz önüne alınmışsa da, kalıpların bazı kısımları diğer taraflarına nazaran daha fazla sıcaklık çeker. Bu kısımlar soğutma suyu kullanılarak istenilen sıcaklığa düşürülür. Şekil 2.23.'deki gibi soğutmayı gerektiren bölgelere su, kalıp bloğuna delinen delikler veya açılan kanallarla iletilir. Delinen su deliklerinin kalıp yüzeyine 20 mm den yakın olmaması tavsiye edilir. Bununla beraber sakıncası olmayan hallerde kanallar, maça yahut boşluk yüzeylerine 6 mm kalıncaya kadar yaklaşabilir. Uygun soğutma sadece imalat kolaylığı için değil aynı zamanda iş parçasının yüzey kalitesinin iyi olmasına ve kalıp ömrünün artmasına yardımcı olur [21].



Şekil 2.23. Soğutma kanallarına örnek kalıp kesiti

Kalıp yapımında kullanılan malzemeler; Basınçlı döküm kalıplarında yüksek sıcaklık, basınç gibi etmenlerden dolayı kalıpta; Isıl yorulma, Çatlama-kırılma, Korozyon- Erozyon, Çökme gibi sorunlar meydana gelebilir. Bu sorunları en aza indirebilmek için kalıp çeliklerinde olması gereken başlıca özellikler;

- Yapısal sağlamlık ve homojenlik,
- Kolay işlenebilme özelliği,
- Sıcak çalışmada ısıl arızalara karşı yüksek dayanımı,
- Çalışma anında deformasyonu önleyecek yeterlikte sertlik ve mukavemet,
- Moleküler çatlamayı önleyecek yeteri sağlamlık,

- Dökülen alaşımın aşındırıcı ve silici etkisine karşı yüksek dayanımı,
- Yüksek ısı iletkenliği,
- Çok küçük ısıl genleşme katsayısı,
- Isı işleminde ölçüsel stabilize olmamalıdır [22].

2.8.3. Basınçlı döküm kalıpların seçimi

Az sayıda yapılan kalay, kurşun ve çinko dökümleri için kalıp yapım gereci % 0,6 – 0,8 karbonlu alaşımsız ve sertleştirilmiş çelikler kullanılır. Çok sayıda üretimi düşünülen hafif alaşım veya çinko alaşımlarında ise ıslah edilmiş iş çeliği yada molibdenli takım çeliği kullanılır. Bakır alaşımlarında ise bileşiminde % 15 volfram (tungsten), % 10 krom ve % 1,5 vanadyumdan oluşan sıcak iş çeliği tercih edilir. Çelik maçaların yüzeyleri nitrürasyon (Azotla yüzey sertleştirme) ile sertleştirilmiş olmalıdır. Kalıbın iç yüzeyleri polisajdan sonra içerisinde cam tozu bulunan karışım püskürtülerek yüzey ayırıcının kalıp yüzeyine yapışması sağlanmalıdır. Hatasız yapılmış bir kalıp ile çinko ve magnezyum alaşımından yaklaşık olarak 250bin döküm parça alınırken bu miktar bakır alaşımları için yaklaşık olarak 10 bin civarıdır.

2.8.4. Basınçlı döküm kalıplarda yüzey ayırıcılar

Kalıpların ömrünü artırmak için yüzey ayırıcı maddeler kullanılır. Yüzey ayırıcı madde metal kalıba dökülen sıvı metal ile metal kalıp yüzeyleri arasında ince bir tabaka (katman) oluşturarak sıvı metalin kalıp yüzeyini etkilemesini önlemek ve döküm parçanın kalıptan rahat çıkmasını sağlamak amacıyla kullanılır. Yüzey ayırıcı madde kullanılmazsa kalıba, döküm parça yapışarak kalıbın çabuk yıpranmasına neden olur. Yüzey ayırıcı madde kalıp yüzeyine homojen yayılmalı ve çok ince bir tabaka oluşturmalıdır. Kalıp veya dökülecek metal ve alaşım ile etkileşmemelidir. Dökülen parça yüzeylerinde lekeler oluşturmamalıdır. Ayrıca çalışanlar için tehlikeli olabilecek buhar ve zehirli gazlar oluşmamalıdır.

Basınçlı döküm kalıplarında kullanılan belli başlı yüzey ayırıcıları şunlardır: flor bileşikleri, silikonlar, molibden sülfid, balmumu, madensel yağlar vb. dir. Bunlar içinde balmumu çinko alaşımlarında iyi sonuç verirken alüminyum alaşımlarında

kullanılmaz. Madensel yağlar ise kalıbı etkilemediği gibi oksitlenmede yapmadığı için tercih edilir. Grafit karışımlar ise alaşım çeşitlerine uygun olduğundan kullanılır.

2.9. Basınçlı Döküm Alaşımları

Basınçlı döküm yöntemiyle üretilen parçaların kullanım alanlarının genişliği fiziki ve kimyasal şartlara uyum sağlayabilecek alaşımların geliştirilmesi ile sağlamıştır. Bir kullanım alanı için son derece uygun olan alaşım başka alanlara uygun olmayabilir. Örnek olarak, insanların sürekli temas halinde olduğu kapı kolunda estetik ve görünümüne buna bağlı olarak kaplanabilme özelliği vb. ön planda iken kuvvet iletiminde kullanılan bir dişlide esas olan malzemenin dayanımıdır. Tasarımcı malzeme bilgisi ve basınçlı döküm alaşımları hakkında bilgi sahibi olmalıdır.

Kum kalıba dökümü yapılan her metal ve alaşım basınçlı döküme uygun değildir. Çünkü basınçlı dökümün kendine özgü bazı özellikleri vardır. Bu özelliklerden bazıları aşağıdaki gibidir:

- Katılaşma olayının belli bir sıcaklıkta oluşması gerekir. Bu nedenle kurşun (Pb) ve kalay (Sn) hariç, ötektik alaşımlar ve saf metaller basınçlı döküme pek elverişli değildir.
- Sıcak tutma haznesinde hiçbir kristal ayrışımı olmamalıdır.
- Keskin ve ince hatların iyi olması için alaşımın yeterli bir akıcılığı olmalıdır.
- Hızlı soğumaya rağmen çöküntü ve iç boşluklar meydana getirmemelidir.
- Kalıp içindeki engellere rağmen çatlama ve gerginlikler olmamalıdır.

Basınçlı döküm yöntemiyle dökülecek bir alaşımın seçiminde göz önünde tutulacak faktörler aşağıda verilmektedir.

- Mukavemet, süneklik ve sertlik gibi mekanik özellikler.
- Yaşlanmanın özelliklere etkisi ve boyutlardaki kararlılık.
- Basınçlı döküme uygunluk: Dökülebilme, akışkanlık soğumadaki büzülme oranı vb.
- Alçak ve yüksek sıcaklıktaki mukavemet.
- İşlenebilirlik.

- Parlatma, boyama veya herhangi bir yüzey bitirme işlemine uygunluk.
- Korozyona direnç.
- Ağırlık ve maliyet.

Bu faktörlerden herhangi birini sağlamak için başlıca 6 grup alaşım içinde bir seçim yapmak gerekir. Bu alaşım gurupları; çinko, alüminyum, magnezyum, bakır, kalay ve kurşun alaşımlarından oluşmaktadır. Basınçlı döküm alaşımlarının yaklaşık % 60'ını çinko esaslılar oluşturmaktadır, bunda birinci neden çinko alaşımlarının kolay ve hızlı dökülebilmeleridir. Ayrıca bu alaşımların düşük olan döküm sıcaklıkları daha az yakıt harcaması ve daha düşük kalıp maliyetine de sebep olmakta ve mekanik özelliklerinin üstün ve işlenebilirliklerinin de iyi oluşu bir avantaj oluşturmaktadır. Alüminyum esaslı alaşımlar özellikle hafif oluşları, mükemmel sürünme direnci, elektrik ve ısı iletkenliğine sahip oluşları ve maliyet açısından çelik ve dökme demirle rekabet edebilmeleri nedenleriyle geniş bir kullanma alanına sahiptirler. Magnezyum esaslı basınçlı döküm alaşımları daha çok hafifliğin başta gelen faktör olduğu uygulamalarda kullanılır.

Yüksek mukavemet, tokluk, korozyon ve aşınmaya karşı direnç özellikleri bakır esaslı alaşımların (özellikle pirinçler) yaygın kullanılmalarının nedeni olmakta ve basınçlı döküm yöntemiyle endüstrinin gereksindiği parçalar üretilebilmektedir. Kalay alaşımlarının basınçlı döküm yöntemiyle şekillenmesi, daha çok sürtünmeye karşı yatak üretimi için yapılmıştır, ancak giderek yeni yatak malzemelerinin geliştirilmesi, kalay esaslı alaşımların bu alandaki kullanımlarını azaltmıştır.

Nihayet kurşun esaslı alaşımlar, mukavemet, sertlik ve diğer mekanik özelliklerin önem taşımadığı, yalnız korozyona dirençli ucuz bir malzemenin istendiği uygulamalarda kullanılır. Bileşim kontrolü ise şarja bağlıdır. Önceden hazırlanmış alaşım veya ingotlardan hareketle şarj oluşturulabilir, genellikle uygulamada şarjın % 50'si yeni metal, % 50'si artık metaldendir. Seçilen alaşım hangi guruptan olursa olsun bileşimdeki oynamaların döküm karakteristikleri ve özellikler üzerinde önemli etkisi vardır. Empüritelerin başlıca kaynağı hurdalar ve dökümhane döngüleridir (yolluk, çıkıcı, kompleks parça artıkları vb.). Bu metal artıklarının ergitilme zorlukları malzemesine göre değişir ve dökümden önce bileşimin kontrolü gereklidir.

2.9.1. Alaşımın Seçimi

Basınçlı döküm yöntemiyle üretilen parçaların kullanım alanlarının genişliği buralardaki fiziki ve kimyasal şartlara uyum sağlayabilecek alaşımların geliştirilmesini sağlamıştır. Bunun sonucu olarak ortaya çok değişik tipte alaşım çıkmıştır [17].

Bununla birlikte bir kullanım alanı için son derece uygun olan bir alaşım baksa bir işte uygunluk sağlamayabilir. Örnek olarak, insanların sürekli temas halinde bulunduğu kapı kolu gibi bir parçada estetik, buna bağlı olarak da kaplanabilme özelliği vb. ön planda iken kuvvet iletiminde kullanılan bir dişlide esas problem malzemenin dayanımıdır. Bu yüzden tasarımcı başlıca basınçlı dokum alaşımları hakkında bilgi sahibi olmalıdır. Ayrıca tasarımcı malzeme seçiminde aşağıdaki hususları göz önünde bulundurmalıdır. Bunlar [16];

- İmalatı yapılan parçanın dayanımı, sertlik ve şekil değiştirme gibi mekanik özellikler
- Yaslanmanın mekanik ve fiziksel özellikler üzerindeki etkisi
- Dökülebilirlik, akışkanlık, soğuma çekmesi vb. yönlerden basınçlı dokum kalıplamaya adapte edilebilirliği
- Isı etkisiyle dayanımda meydana gelen değişiklikler
- Talaş bitirme işlemlerinde kullanılabilirliği
- Parlatma boyama kaplama vb. bitirme işlemlerinde uygunluğu
- Korozyona karşı dayanım
- Kullanım yerine göre parça ağırlığı
- Kullanılan yere göre parça maliyeti
- Kimyasal etkilere ve aşınmaya karşı dayanıklılığı

2.9.2. Alüminyum basınçlı döküm alaşımları

Kullanım alanı gittikçe artmaktadır. Halen bütün basınçlı dökümlerin % 30 kadarı alüminyum alaşımları oluşturmaktadır. Alüminyum alaşımlarının tercih edilme sebepleri; ağırlıklarının az olması, akma sınırının istenenden çok iyi olması, termik ve elektrik iletkenliği ve yüzey parlaklığının iyi olması, fiyatının ekonomik

olmasının yanı sıra son işlem maliyetinin az olmasıdır [16].

Tablo 2.2. Bazı Alüminyum alaşımlarının fiziksel özellikleri

ÖZELLİKLER	ALAŞIMLAR					
	A 43	A 13	A 85	A 380	A 360	A 218
Gerilme Mukavemeti (kpa)	206,84	268,89	275,78	317,15	282,68	310,26
Akma Mukavemeti (kpa)	110,31	144,78	165,47	172,36	158,57	186,15
Darbe Mukavemeti (j)	5,42	2,71	4,06	4,06	6,78	9,5
Kopma Mukavemeti (kpa)	151,68	172,36	158,57	199,94	193,05	206,84
Ergime Sıcaklığı (°C)	621	573,88	615,55	585	593,33	615,55
Elektriksel İletkenlik (%)	41	37	28	27	37	25
Brinell Sertliği	50	80	75	80	75	80
% Uzama	5	2	3,5	3	5	8

Alüminyum alaşımları (665°C) aşırı ısıtıldığında aşırı demir birikmesi olayı görülür. Bu demir birikmesi yalnız döküm kalitesini bozmakla kalmayıp, ergitme ve döküm cihazlarının metalik kısımlarının ömrünü de azaltır. Alüminyum esaslı basınçlı döküm alaşımlarında Fe oranı genellikle % 0.8 - 1.2 arasındadır. Bu orandaki demir, dökülen metalin kalıba yapışma eğilimini azaltır, sıcak mukavemeti artırır ve sıcak çatlamayı minimuma indirir. Alüminyum alaşımlarının süneklik ve işlenebilirliğini azaltan bir kompleks Al Fe Mn (Cr) Si bileşiğinde, Fe miktarı diğer elementlerin bulunması halinde % 0.8 den fazla olmamalıdır. Manganez max % 0.5 olabilir. Mn Miktarı, daima Fe oranına bağlıdır. Krom normal hallerde % 0.25 max değerindedir. Nikel oranı max % 0.5 olmasına rağmen, özellikle yüksek sıcaklık alaşımları için % 3 Ni arzu edilir. Sıcak gevreklik ve çatlamaya neden olan çinko, impürite olup % 0,1'in altında kalmasına özen gösterilmelidir. 218 ve 360 alaşımları dışında magnezyum oranı % 0,1 dir. Mg'un artışı, ergimiş alaşımın akışkanlığını ve sertliğini artırır, uzamayı ve darbe mukavemetini azaltır.

Alüminyum basınçlı döküm alaşımlarının özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Uzun zaman, verilen parlaklığı muhafaza edebilme yeteneği
- Korozyona karşı yüksek dayanım
- Ölçüsel değişme probleminin olmayışı
- Düşük sıcaklıklarda da özelliklerin korunması
- Yüksek termik ve elektrik iletkenliği

2.10. Döküm Simülasyon Programları

Döküm; üretilmek istenen nihai şeklin sıvı metale doğrudan verilebilmesi sayesinde çok eskilerden beri kullanılan üretim yöntemlerinden biridir. Üretim yöntemleri arasında, esnekliği, ucuzluğu ve çeşitliliği gibi birçok özelliğinin yanı sıra sıvı metalle istenen nihai şeklin elde edilmesini mümkün kılmasından dolayı çok avantajlı bir üretim yöntemidir. Ne var ki yeterli bilgi ve teknoloji kullanılmadığında veya yetersiz kaldığında bu avantajlı yönü dezavantaja dönüşebilmektedir. Özellikle karmaşık geometri ve farklı kesit kalınlıklarına sahip döküm parçaların yolluk besleyici tasarımı oldukça zordur ve yoğun mühendislik bilgi ve becerisi gerektirmektedir. Fakat bilgisayar teknolojilerindeki hızlı gelişmelere bağlı olarak döküm proseslerinin modellenmesi, döküm mikro ve makro yapılarının önemli ölçüde tahmin edilebilmesini döküm simülasyon programları sayesinde sağlamaktadır. Döküm proseslerinin modellenmesi, bilgisayarın kalıp doldurulurken ve doldurma yapıldıktan sonra kalıp içerisinde neler olduğu hakkında hızlı ve doğru tahmin yapabilmesi için gerekli bir matematiksel yöntemdir. Piyasada birçok döküm simülasyonu programı mevcuttur, MagmaSoft, SolidCast, ProCast, Pam-Quick Cast, Nova Flow&Solid ve Vulcan Döküm simülasyonu programları bunlar arasında yaygın olarak bilinen programlardır [23-29].

Döküm simülasyon programları; yeni bir teknoloji olarak döküm kalıplama tasarımını kolay, ekonomik ve doğru yapabilmeye olanak sağlayarak deneme ve yanılma maliyetini ortadan kaldırmaktadır. Bütün tasarım ve analizlerin bilgisayar ortamında yapılması ile model ve kalıp hazırlama ve boşuna hurda malzeme üretmeye gerek kalmaksızın dökümhane ortamında deneme-yanılma yapmayı ve gereksiz sakat-hurda döküm üretmeyi ortadan kaldırmaktadır. Simülasyon kullanarak 3 boyutlu katı model üzerinde, kaç tane ve hangi ebatta besleyicinin gerekli olduğunu ve nereye yerleştirileceği belirlenerek, yolluk-besleyici tasarımı bilgisayar üzerinde yapılabilir. Tasarımı yapılan parçanın simülasyonu yapılarak bilgisayarda döküm, katılma ve çekinti oluşumu gibi birçok sonuç görülebilir. Bu sonuçlardan faydalanarak gerekiyorsa tasarımda mümkün olan en iyi ve en ekonomik döküm için revizyon yapılabilir. Ayrıca parça tasarımında optimizasyon sistem tarafından optimum kalite ve verim elde edilecek şekilde otomatik olarak yapılabilir. Tüm

bunların hepsi çok kısa zamanda yapılabilir. Yani model, kalıp ve ilk döküm yapıldığında yüksek oranda başarı ve yüksek oranda verim elde edilir. Böylece müşterilere; gecikmesiz teslimat, tek seferde başarılı üretim ve döküm parça servis süresince daha yüksek kalite ve daha düşük maliyet sağlanabilir [23-25].

Döküm simülasyon programları; dökümle ilgili kişiler için yüksek kaliteli döküm parçaları üretmek konusunda başarının anahtarı durumundadır. Günümüz yoğun rekabet ortamında, döküm üreticileri kaliteyi arttırmak, maliyeti düşürmek ve teslimat gecikmelerini önlemek zorundadır. Bu sebeplerden dolayı özellikle yüksek kaliteli parça üreten dökümhanelerde simülasyon programlarının kullanımı her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Literatürde döküm simülasyon programlarıyla tasarımı yapılarak çok iyi sonuçlar alınmış birçok çalışma mevcuttur [23-33].

Döküm proses modellemesini yapmak için gerekli işlem basamaklarını sıralamak gerekirse sırasıyla;

- Malzeme ve özelliklerinin seçimi
- Döküm ve kalıp modeli oluşturma
- Modelin meşlenmesi ve simülasyon
- Sonuçların değerlendirilmesi şeklindedir.

Sonuçları inceledikten sonra isteğe bağlı olarak veya gerekiyorsa revizyon ve tekrar simülasyon yapılabilir. Simülasyon tekrarlanabilen bir işlem olduğundan istediğimiz parametreyi değiştirerek simülasyona devam edebiliriz ve optimum tasarımı kısa zamanda masrafsızca belirleyebiliriz [23-25].

2.10.1. Döküm simülasyonlarında tanımlanan parametreler

Döküm simülasyon programlarında neredeyse bütün alışılmadık dökümü modellenir ve dökümhane ortamındaki herşey birebir programda tanımlanabilir. Başarılı sonuçlar elde edilmesindeki en önemli etken gerçek dökümhane şartlarının simülasyon programında tam ve doğru olarak girilmesine bağlıdır. Çünkü döküm ve katılma işlemi bu parametrelerden etkilenmektedir ve bunların modelleme esnasında eksik girilmesi yanlış sonuçlar verebilir. Döküm Simülasyon

programlarında sınır şartları olarak tanımlanan bazı önemli parametreleri maddeler halinde incelenecek olursa [24-29];

- Kullanılacak derece boyutları ve döküm boşluğunun koordinatları,
- Dökülecek alaşım malzemesi ve özelliklerinin seçimi,
- Yolluk sistemi kesiti ve akış parametreleri,
- Kalıp Malzemesi içinde ısı akışını kontrol eden özellikler,
- Kalıp malzemesi seçimi, kum, kokil vb.,
- Döküm yöntemi seçimi, gravite, alçak basınç, yüksek basınç, hassas dökümvb.,
- Kalıplamada kullanılan soğutucular, yalıtım ve ekzotermik gömlekleri,
- Kokil kalıplarda soğutma ve ısıtma kanalları,
- Kaplamalar; ısı iletim katsayıları ve kalınlıklarıyla birlikte,
- Kokil kalıplarda çevrim sayısı ve ön ısıtma değerleri,
- Yolluk ve meme bağlantılarının yerleri,
- Filtreler ve akış ölçerler,
- Döküm sıcaklığı,
- Termokopullar ve bağlandıkları yerler,
- Cüruf Partikülleri,
- Isı transfer katsayıları

şeklinde olduğu görülmektedir. Bunların arasında malzeme ve özellikleri seçimi oldukça kapsamlıdır ve genellikle aşağıdaki maddeleri kapsar. Bunlar;

a) Kalıp Malzemesi içinde ısı akışını kontrol eden özellikler

- Isıl iletkenlik katsayıları
- Özgül ısı değerleri
- Yoğunluk (özümlü ağırlık) değerleri
- Başlangıç sıcaklığı (döküş sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, kalıp öntav sıcaklığı)

b) Döküm Alaşımaları;

- Katılaşma aralığı (liküdü ve solidüs sıcaklıkları)
- Ergime gizli ısı

- Katılma eğrisi
- Hacimsel değişim (çekinti) eğrisi değerleri de program tarafından bizlere verilebildiği gibi isteğe bağlı olarak manuel olarak değiştirilmesi mümkündür.

c) Isı Transfer Katsayıları Malzemeler Arası Isı Akışını Kontrol Eder

- Kalıp kaplamaları
- Hava boşlukları (air-gap)
- Soğutma kanalları (su soğutma, hava soğutma vb.)
- Yayınlam, ışınlam değerleri[24-29]

2.10.2. Modellenen döküm yöntemleri

Döküm simülasyon programları yardımıyla neredeyse dökülebilen tüm alaşımların aşağıda sıralanan döküm yöntemleriyle modellenmesi mümkündür.

- Kum kalıba döküm
- Kabuk kalıba döküm
- Kokil kalıba döküm
- Alçak basınçlı döküm
- Hassas döküm
- Yarı-katı döküm
- Devirmeli döküm (tilt pour)
- Disamatik ve sinto kalıplama dökümleri
- Strafor döküm

2.10.3 Döküm simülasyonlarıyla belirlenebilen özellikler

Modelleme sonucu döküm parça üzerinde neredeyse istenilen bütün özellikler belirlenebilir. Bunları sıralayacak olursak;

- Kalıp dolumu esnasında sıvı metalin hızı, basıncı, yönü, türbilanslar, soğuk birleşme bölgeleri vb.,
- Döküm parçanın katılma süresi,

- Döküm parça üzerinde oluşan sıcak noktalar, beslenmesi gereken noktalar ve modülleri,
- Besleyici yeri ve boyutları,
- Parça üzerinde oluşan çekinti (makro porozite),
- Niyama ve FCC gibi kriterlere göre mikroporozite tahmini,
- Döküm parça kesitleri üzerinde soğuma süresince sıcaklık-zaman analizleri,
- Döküm paça kesitleri üzerinde katılaşma zamanı analizi,
- Döküm parçanın herhangi bir bölgesindeki sertlik ve çekme mukavemeti değerleri,
- Döküm mikroyapısı,
- Döküm parça üzerinde oluşan gerilme (stres) analizi,
- Sıcak yırtılma riski taşıyan bölgeler,
- Segregasyon analizi,
- Yönlenmiş katılaşma analizi,
- Doldurma ve Katılaşma esnasındaki sıcaklık dağılımı,
- Herhangi bir zamandaki sıvı faz, katı faz, kritik katı oranları,
- Döküm parçada oluşan kritik katı oranına ve katıya bağlı sıcak nokta oluşumları,
- Döküm parça hacim ve ağırlıkları,

olarak sıralanabilir ve bunlar aynı zamanda hareketli görüntü formatlı video olarak oluşturulabilir. Görüntü sayısı, görüntü hızı ve gösterilecek veri aralığı kontrol edilebilir. Bu videolar Windows'un standard AVI formatında kaydedilerek, bilgisayarlarda fazladan bir yazılım ya da donanım ihtiyacı duymadan izlenebilir [24-29].

2.10.4. Döküm simülasyon programlarının faydaları

Döküm simülasyon programlarının kullanım faydalarını genel olarak özetlemek gerekirse;

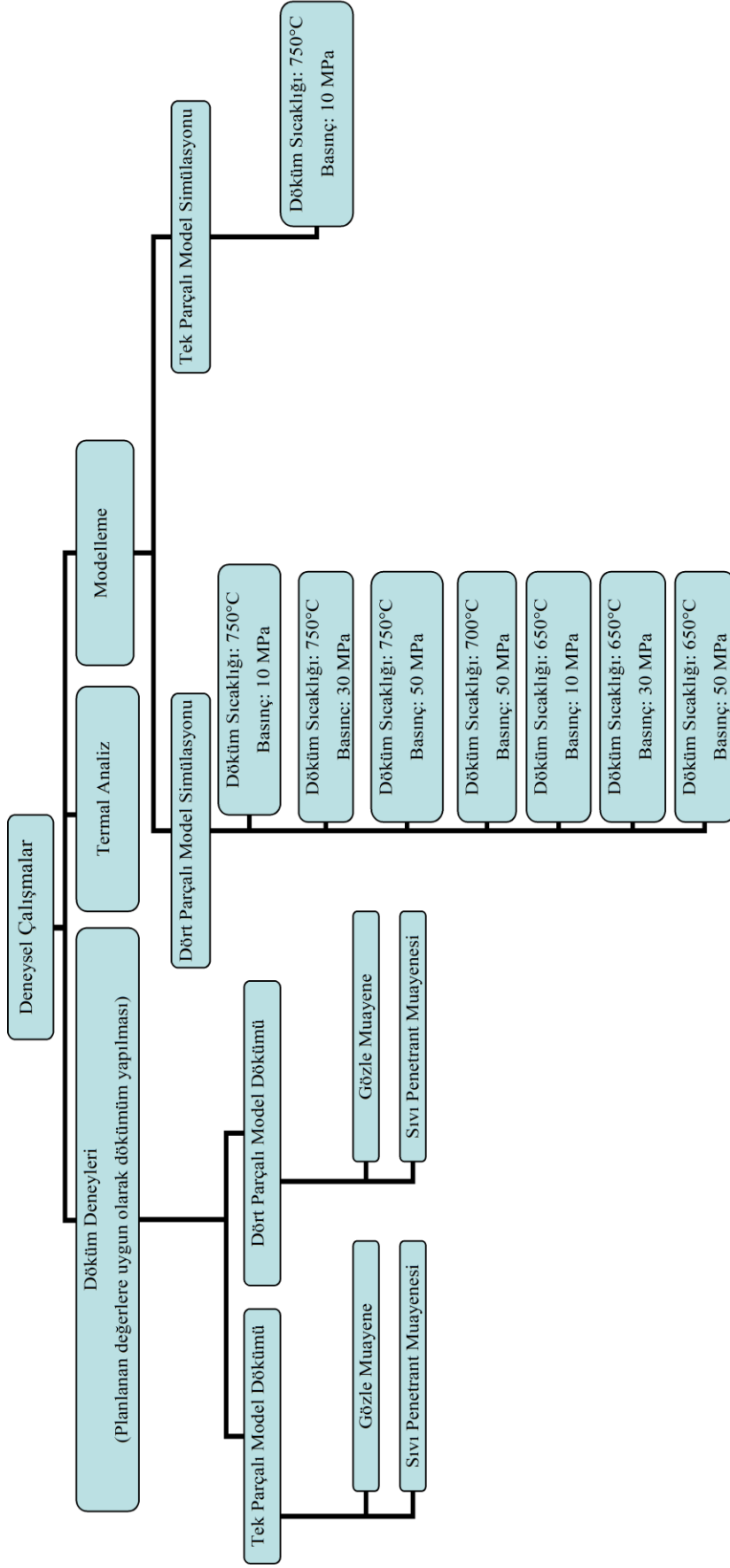
- Döküm parça tasarımını; deneme yanılma yönteminde olduğu gibi, modeller, kalıplar hazırlamaya ve gereksiz hurda malzeme üretmeye gerek kalmadan bilgisayarda yapmaya olanak sağlaması,

- Tasarıma aşamasında, kaç tane ve hangi ebatta besleyicinin gerekli olduğunu ve nereye yerleştirilmesi gerektiğinin belirlenmesi,
- Döküm için en uygun yolluk sisteminin seçilmesi,
- Tasarımı yapılan parçanın simülasyonu yapılarak bilgisayarda döküm, katılaşma ve çekinti oluşumu gibi birçok sonucun görüntülenmesi,
- Simülasyon sonucu elde edilen sonuçlardan faydalanarak gerekiyorsa tasarımda mümkün olan en iyi ve en ekonomik döküm için revizyon yapılabilmesi,
- Döküm parça tasarım süresinin kısalması ve tek seferde başarılı üretim,
- Yüksek kaliteli ve düşük maliyetli parçalar üretmek,
- Teslimat gecikmelerini önleyerek müşteri ilişkilerini iyileştirmek ve pazar payını geliştirmek,
- Teknik personelin eğitimi (tasarım aşamasında muhtemel hataları bilgisayar üzerinde deneyerek gördüğünden her bir parçada yeni bir şeyler öğrenmektedir),
- Döküm hatalarını henüz tasarım aşamasında görebilmek [24-29].

BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar gerçek basınçlı dökümler ile bilgisayar ortamında simüle edilmiş basınçlı dökümlerin karşılaştırılması olarak iki ana aşamada gerçekleştirilmiştir. Buna bağlı olarak Arslan Kalıp tarafından, ABB Otomasyon firmasına ayda yaklaşık beş bin adet üretilecek olan " Trafo faz yönü değiştirme ve voltaj çevirici başlığı" adlı parçanın bir kalıpta tek parça ve dört parça olarak basınçlı döküm yöntemiyle üretilebilirliği NovaCast döküm simülasyon programıyla analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar gerçek döküm sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışma aşamaları Tablo 3.1.de şematik olarak gösterilmiştir. İlk etapta tek parçalı model olarak üretilen dökümde eğer varsa hataları gözlemlemek için modelin ortasında geçecek bir düzlemden parça kesilmiştir. Daha sonra kesilen bu yüzeyde gözle ve sıvı penetrant yöntemiyle yapılan muayenelerde parçada çekinti riski olduğu gözlemlenmiştir. Bu aşamadan sonra öncelikli olarak gerçek döküm şartlarıyla simülasyon sonuçları arasında birebirliği sağlayabilmek için A.T.A.S. termal analiz ünitesinde termal analiz yapılmıştır. Ardından A.T.A.S.'tan elde edilen veriler NovaCast döküm simülasyon programına aktarılmıştır. Daha sonra hatalı olarak üretilen tek parçalı modelde hatanın nedenini tespit edebilmek için döküm simülasyonu yapılmıştır. Hatanın tespitini için farklı sıcaklıklarda ve farklı basınç değerlerinde simülasyonlar yapılmıştır. Yukarıda özetlenen deneysel çalışmalar aşağıdaki alt bölümlerde ayrıntılı bir biçimde verilmiştir.

Tablo 3.1. Deneysel çalışma aşamaları



3.1. Malzemenin Özellikleri ve Kimyasal Bileşimi

Trafo faz yönü değiştirme ve voltaj çevirici başlığı adlı parçanın alaşımı A360 alüminyum alaşımı olarak belirlenmiştir. Alaşımın kimyasal bileşimi Tablo 3.2. de verilmiştir. Dökülen alaşımın kimyasal analizleri WAS – Oxford Foundry Master Pro spektral analiz cihazı ile belirlenmiştir. Parçanın ağırlığı 147 gram, tek parçalı model salkım ağırlığı 235 gram ve dört parçalı model için parça ağırlığı 588 gram, salkım ağırlığı 1002 gramdır.

Tablo 3.2. A360 alaşımının spektral analiz sonuçlarına göre kimyasal bileşimi

Alaşım Elementi	Si	Mg	Mn	Cu	Fe	Ni	Zn	Sn	Al
% Bileşim	9,52	0,54	0,35	0,63	1,37	0,56	0,51	0,13	Kalan

3.2. Basınçlı Döküm Parametrelerinin Belirlenmesi

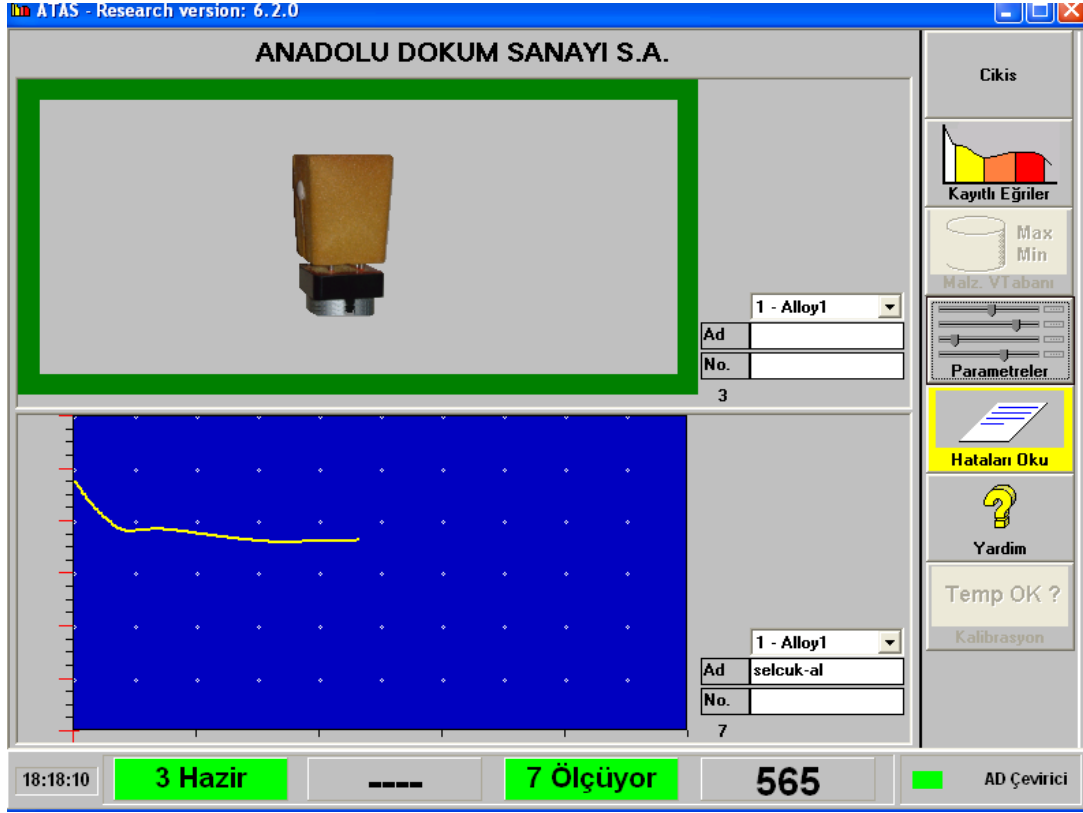
Trafo faz yönü değiştirme ve voltaj çevirici başlığı parçasının basınçlı döküm yöntemiyle sağlam üretilebilmesi için ilk etapta tek parçalı olarak dökülen dökümün, parametreleri incelenmiştir. Buna bağlı olarak basınç ve döküm sıcaklığının basınçlı dökümde önemli parametreler olduğu göz önünde bulundurularak üç farklı basınç ve üç farklı sıcaklık parametresi seçilmiştir (Tablo 3.3.).

Tablo 3.3. Basıncılı döküm yöntemiyle üretilecek modellerin döküm parametreleri

<u>Tek Parçalı Modelin Döküm Parametreleri</u>	<u>Dört Parçalı Modelin Döküm Parametreleri</u>
Döküm Sıcaklığı: 750°C	Döküm Sıcaklığı: 750°C – 700°C - 650°C
Kalıp Malzemesi: H13 Sıcak iş takım çeliği	Kalıp Malzemesi: H13 Sıcak iş takım çeliği
Kalıp Sıcaklığı: 200°C	Kalıp Sıcaklığı: 200°C
Maksimum Basınç: 10 MPa	Maksimum Basınç: 10 – 30 – 50 MPa
Piston Hızı: 50 m/s	Piston Hızı: 50 m/s

3.2. Termal Analiz

Döküm parametrelerinin belirlenmesinden sonra bu parametrelere uygun bir şekilde ve gerçek döküm sonuçlarıyla birebirliği sağlamak amacıyla termal analiz işlemi yapılmıştır. Adaptive Thermal Analysis System in kısaltılması olan ATAS, bir adet analog/dijital çevirici sayesinde bir termal çift bağlı ölçüsü önceden belirlenmiş küçük kapların içine dökülen ergimiş metale ait termal değerlerini ölçüp kaydedilmesi ve bunların simülasyon programına aktarılmasını sağlamaktadır. ATAS sayesinde gerçek termal veriler bilgisayara aktarılarak daha gerçekçi yaklaşımlar sağlanabilir.



Şekil 3.1. ATAS çalışma ekranından alınan görüntü

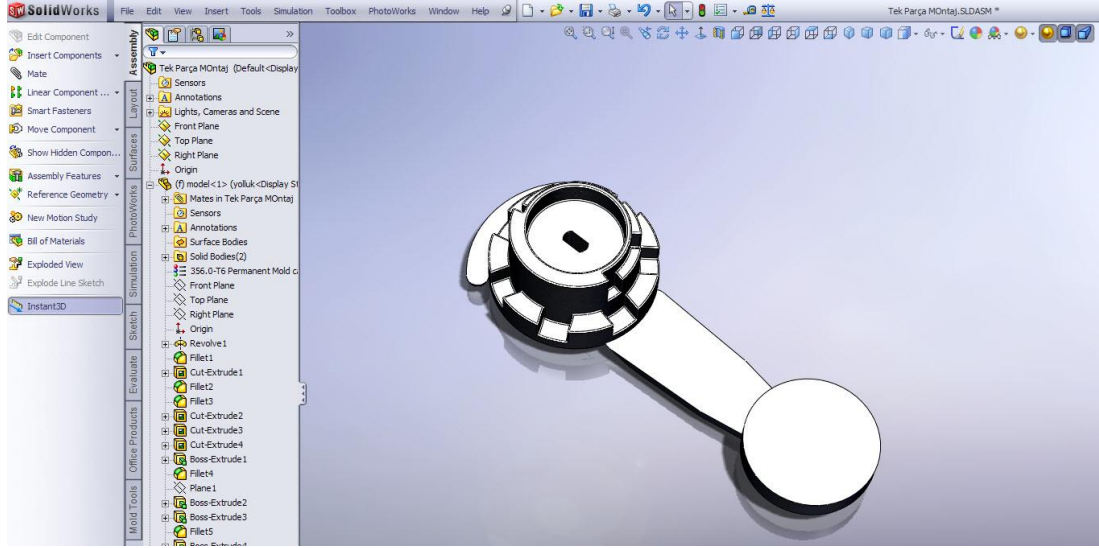
ATAS sayesinde Novacast yazılımına kaydedilen soğuma eğrilerini aktararak program veritabanındaki termal değerleri, çekinti değerleri ve faz eğrileri gerçeğe yakın şekilde ayarlanabilmektedir.



Şekil 3.2. ATAS cihazına termokapıl'ın yerleştirilmesi ve numunenin dökümü

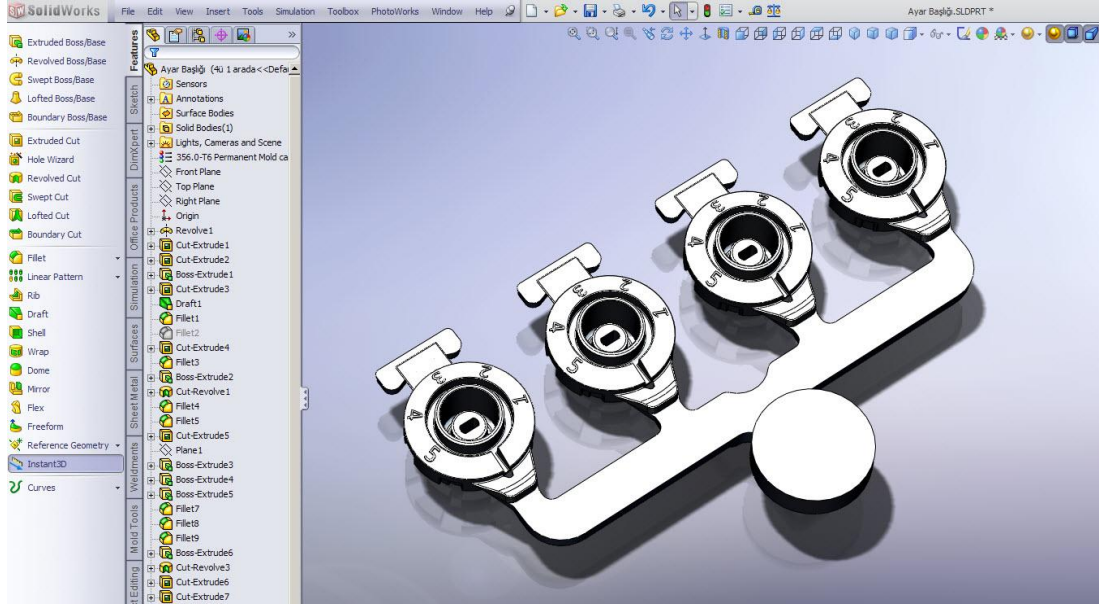
3.3. Bilgisayar Ortamında Dökümlerin Modellenmesi

Bilgisayar ortamında yapılacak basınçlı dökümlerin modellenmesi amacıyla trafo faz yönü değiştirme ve voltaj çevirici başlığı parçasının bir kalıpta tek parça (Şekil 3.3.) olarak tasarımı yapılmıştır.



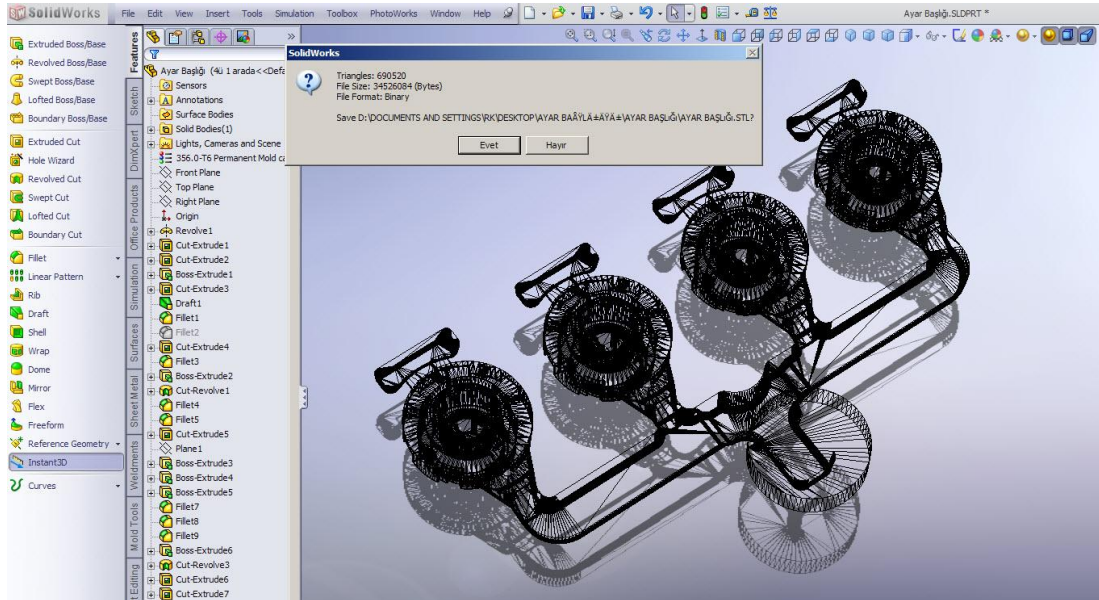
Şekil 3.3. Tek parçalı modelin SolidWorks programı yardımıyla oluşturulan katı modeli

Daha sonra Trafo faz yönü değiştirme ve voltaj çevirici başlığı parçasının çok sayıda üretileceği düşünülerek tek kalıpta dört parça dökülebilecek şekilde (Şekil 3.4.) tasarımı yapılmıştır.



Şekil 3.4. Dört parçalı modelin SolidWorks programı yardımıyla oluşturulan katı modeli

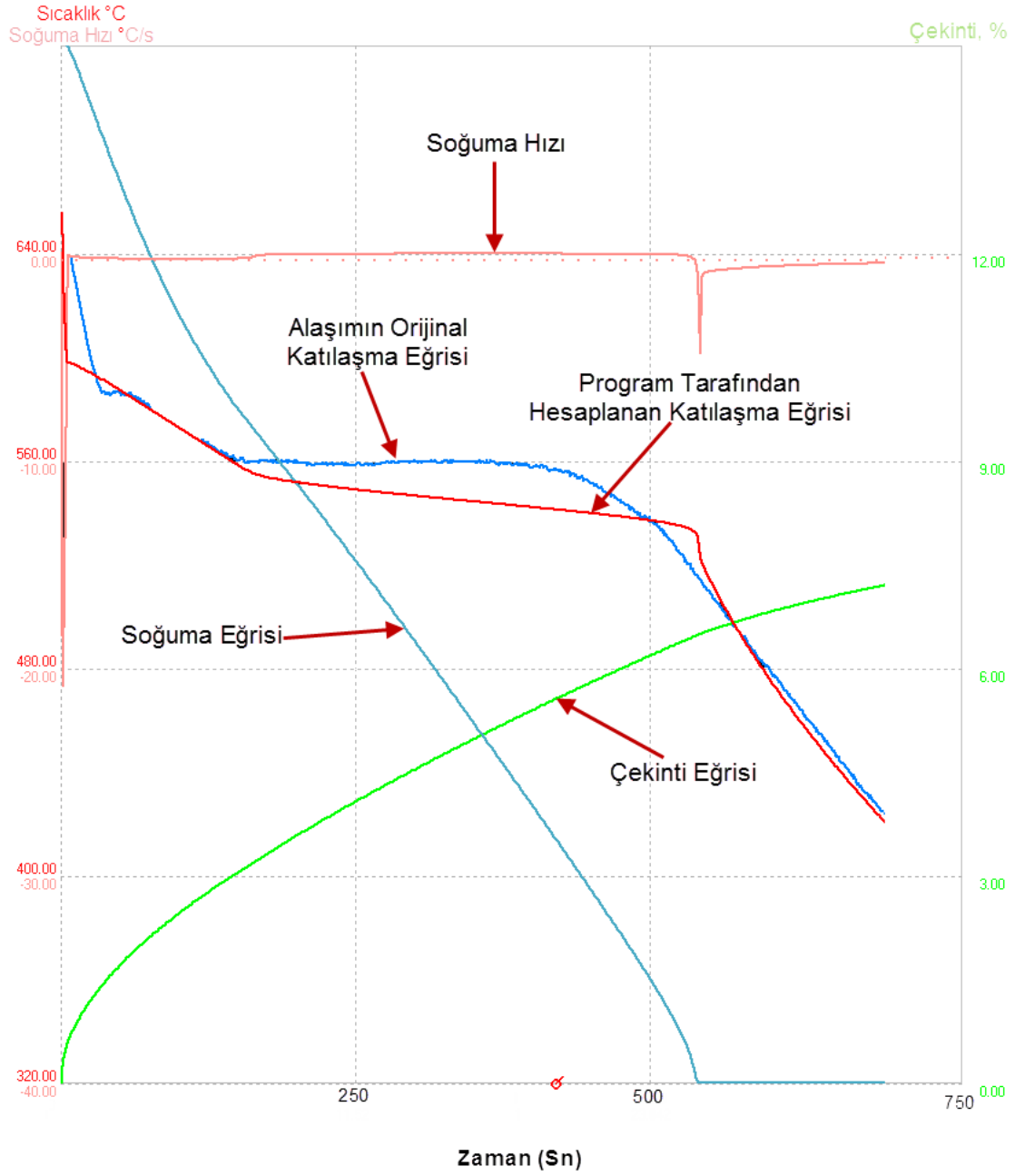
SolidWorks programında katı modeli oluşturulan döküm parçası döküm simülasyon programında kullanılabilmesi için gerekli format olan STL formatına (Şekil 3.5.) çevrilerek kaydedilmiştir. Daha sonra STL formatındaki dosyalar NovaCast döküm simülasyon programına çağrılmıştır.



Şekil 3.5. SolidWorks programından STL çıktısı alınması

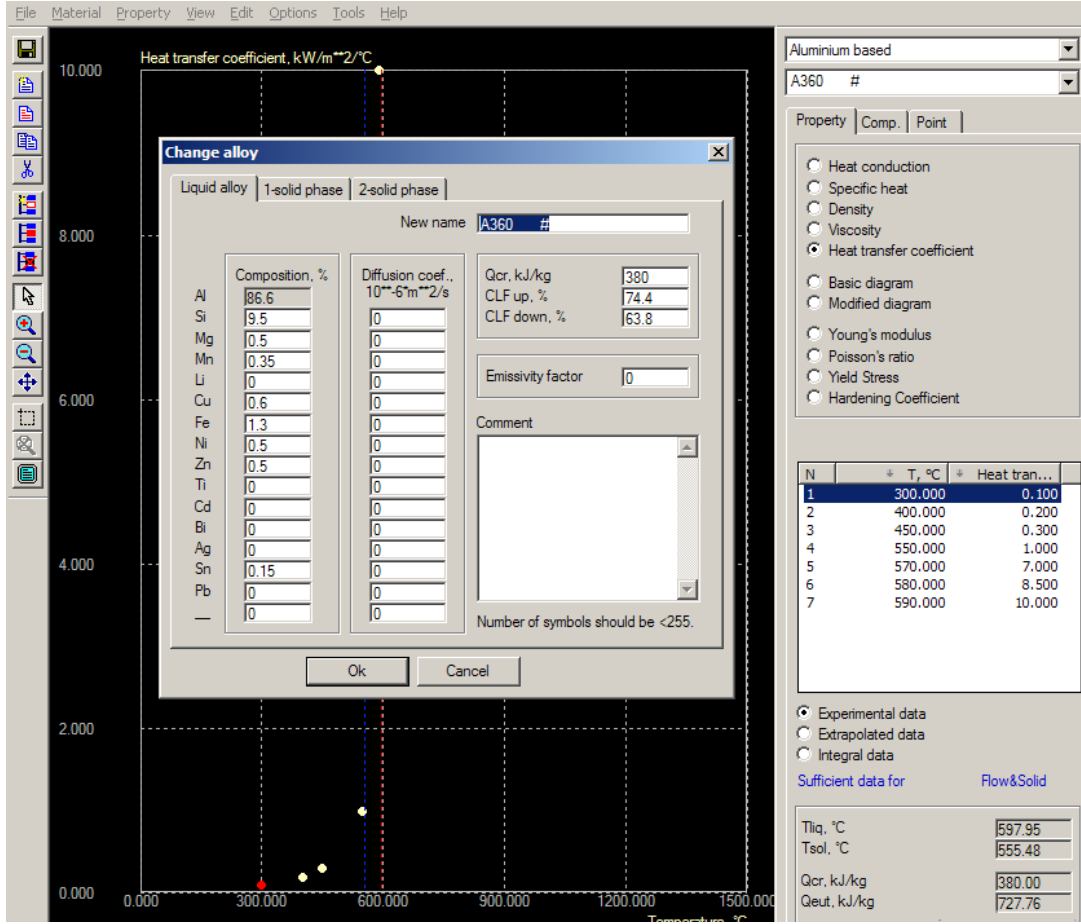
Model, döküm simülasyon programına aktarıldıktan döküm alaşımı, kalıp malzemesinin türü, döküm ve kalıp sıcaklığı ve basınç değeri gibi parametreler

gerçek döküm ortamına uygun şekilde tanımlanmıştır. 3 Boyutlu ticari döküm simülasyon programı olan NovaCast, sonlu fark ve hacim kontrolü (Control Volume) metodu ile ısı transfer ve faz dönüşüm hesaplamalarını üç boyutlu döküm ve kalıp kesitlerinde yaparak bir döküm parçasının katılaşmasını modelleyebilmektedir. Bu çalışmada fiziksel olarak gerçek döküm şartlarında yapılan dökümlerin simülasyon ortamında sayısal verilerle birebir simüle edilebilmektedir. Döküm alaşımının termo fiziksel özellikleri A.T.A.S. termal analiz sisteminden elde edilen veriler kullanarak hazırlanmıştır. A.T.A.S. termal analiz sistemiyle alaşımın soğuma eğrisi, CLF değeri ve yüzde hacimsel çekme oranı değerleri elde edilmiştir. Bu değerler A.T.A.S. sisteminden NovaCast aktarılmasıyla elde edilen A360 alaşımına ait soğuma eğrisi Şekil 3.6. da verilmiştir.



Şekil 3.6. A360 alaşımının NovaCast için kalibre edilen soğuma eğrisi

Bu aşamadan sonra Novacast yazılımına ait malzeme veritabanına A360 alaşımının kimyasal bileşimi (Şekil 3.7.) girilmiştir. Kimyasal alaşıma göre program likidüs sıcaklığını otomatik olarak hesaplamaktadır. Alaşımın termal değerleri haricindeki viskozite gibi tüm diğer veriler standart malzeme veritabanındaki aynı standart malzemeden alınmıştır.



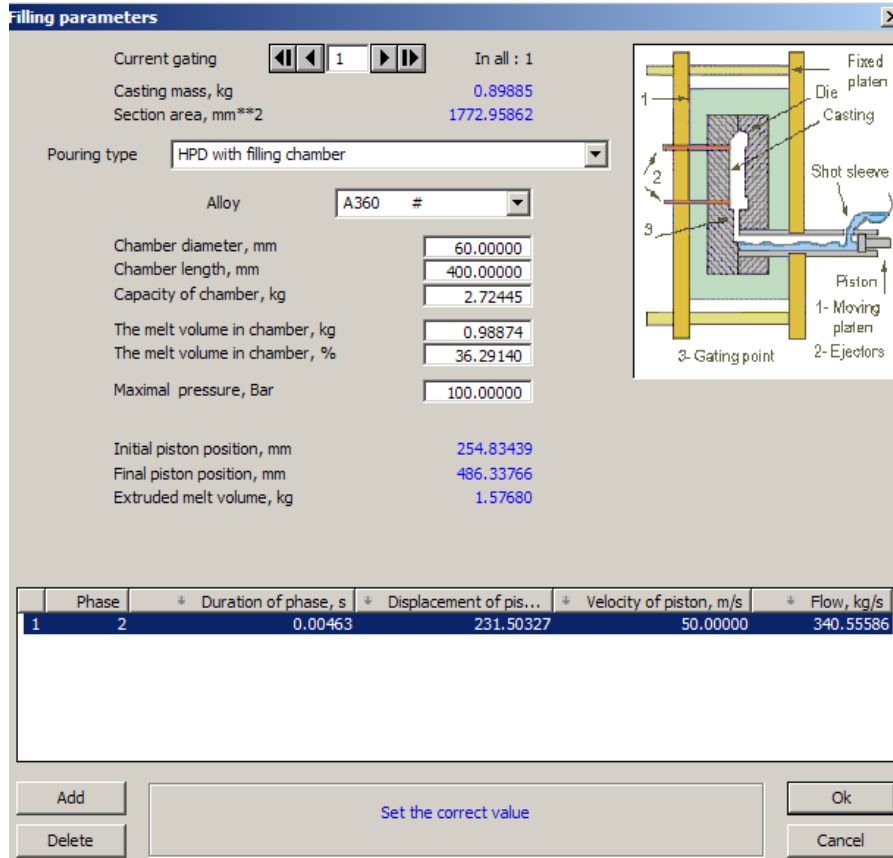
Şekil 3.7. NovaCast veritabanındaki A360 alaşımının özellikleri

Geri kalan termal veriler A.T.A.S. cihazı ve programından alınan veriler ile Novacast yazılımının termal ölçümleme bölümüyle tamamlanmıştır. Termal ölçümleme işleminde alınan numuneden elde edilen termal veriler aktarılmıştır (Şekil 3.8.).

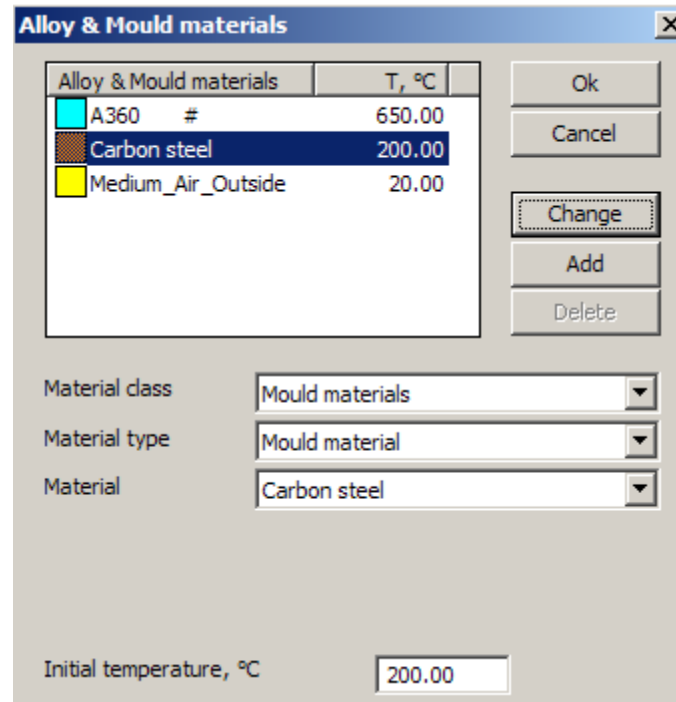


Şekil 3.8. Termal ölçüleme ekranı görüntüsü

Geometrinin aktarımının tamamlanmasından sonra, kalibre edilen A360 alaşımı döküm malzemesi olarak belirlendikten sonra, döküm sıcaklığı, kalıp malzemesi, kalıp sıcaklığı gibi parametreler programa tanıtılarak parça meş edilmiştir. Belirlenen döküm parametreleri Tablo 3.2.de verilmiştir. Ayrıca modelin basınç, yolluk çapı ve uzunluğu parametrelerinin programda tanıtılması Şekil 3.9.da, modelin malzeme cinsi döküm sıcaklığı ve kalıp sıcaklığı parametreleri Şekil 3.10.da gösterilmiştir.

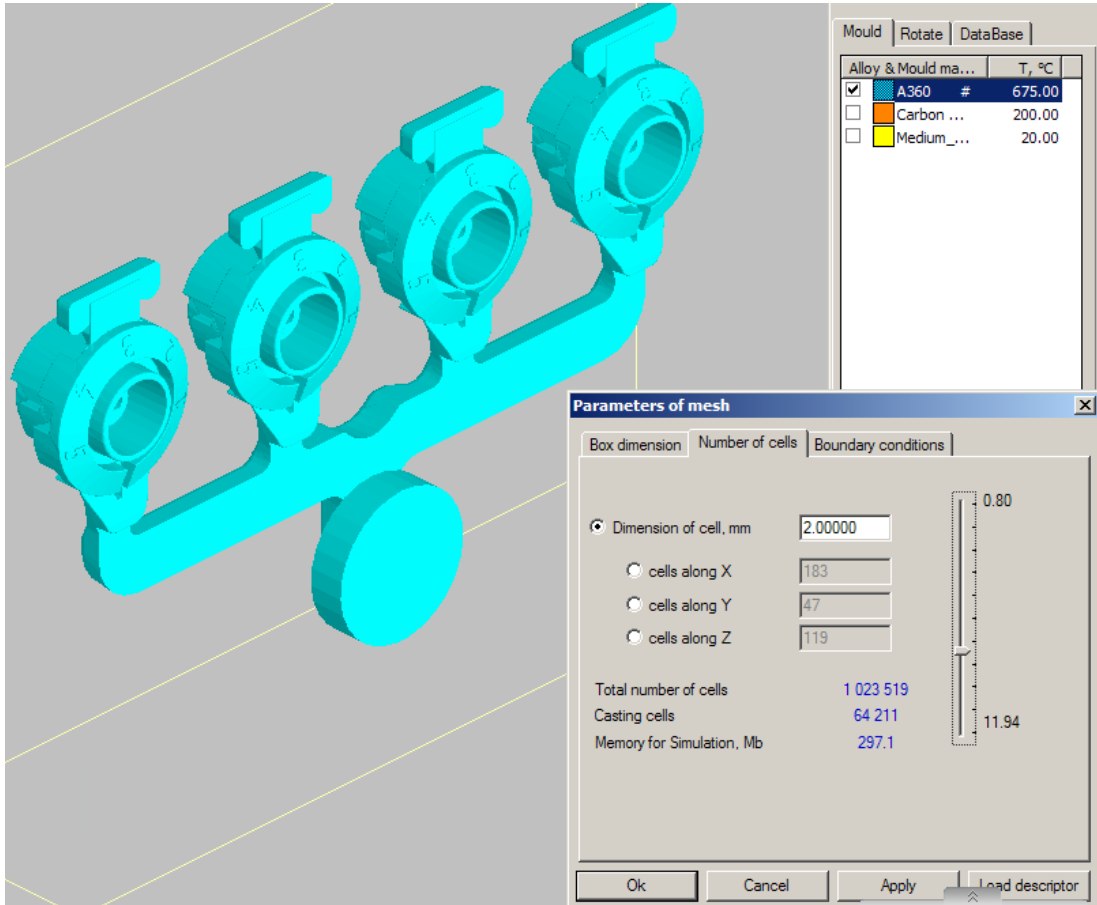


Şekil 3.9. Modelin basınç, yolluk çapı ve uzunluğu parametrelerinin gerçeğe uygun olarak programa aktarılması



Şekil 3.10. Modelin döküm parametrelerinin gerçeğe uygun olarak programa aktarılması

Parça bu işlemde hacim kontrol yöntemine göre tanelere ayrılmıştır. Parçanın kalıplandığı derece boyutları girilerek parça kalıpla birlikte tanelere ayrılmıştır. Bu işlemin sonucunda Novacast programı tarafından parça sadece kendisi 64.211 tane olmak üzere toplamda kalıp ve hava ile birlikte toplam 1.023.519 tane ayrılmıştır. Yazılım bu esnada sadece bu parçanın analizi için 297 MB sistem belleğinin boş olması gerektiğini de göstermektedir (Şekil 3.11.).

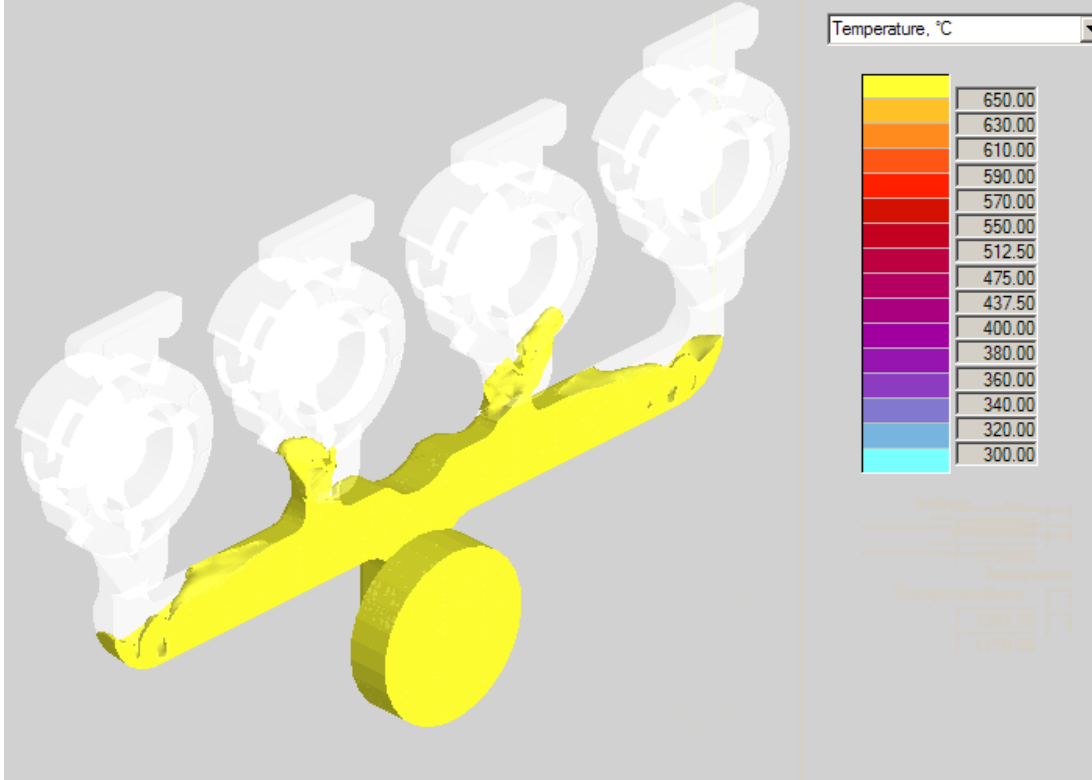


Şekil 3.11. Modelin parametrelerinin belirlenmesinin ardından meş edilmesi

3.4. Bilgisayar Ortamında Kalıbın Doldurulması ve Dökümün Katılaşması

NovaCast döküm simülasyon programında kalıp doldurma işlemi ve dökümün katılaşması için farklı modüller kullanılmaktadır. Kalıp doldurma işleminde NovaFlow modülü kullanılırken, dökümün katılaşmasında basınçlı döküm modülü olan NovaShot modülü kullanılmaktadır. NovaFlow modülü akışkanlar dinamiği kıstaslarına göre sıvı metali kalıp boşluğuna doldururken türbülans, eksik doldurma, soğuk birleşme ve basınç, cürufur vb. gibi faktörleri de hesaplamaktadır. Şekil

3.12.'de simülasyon programında kalıbın doldurulmasını gösteren bir görüntü verilmiştir.



Şekil 3.12. NovaCast programında kalıbın dolumu esnasındaki görüntü

Kalıp tamamen dolduktan sonra parça katılaşmaya geçer ve tüm döküm kesitleri katılaşmaya kadar soğuma işlemine devam eder. Program katılaşma tamamlandığı anda otomatik olarak sonlanır ve döküm parça üzerinde simülasyon sonrası analizlere geçilir.

3.5. Döküm İşlemlerinin Yapılışı

Döküm işlemleri Arslan Kalıp firmasında, Tansoy Metal tarafından üretilen TM250 marka ve model numarasına ait 50 tonluk yatay soğuk kamaralı basınçlı döküm makinasında Tablo 3.2. de belirlenen parametrelere uygun olarak yapılmıştır. Tek parça olarak dökülen modelin görüntüsü Şekil 3.13. te, dört parça bir arada dökülen modelin görüntüsü Şekil 3.14. te gösterilmiştir. Dökülen parçalar daha sonra belirli bölgelerden kesilerek sıvı penetrant muayenesine tabi tutulmuştur. Ayrıca kesilen

yüzeylerin fotoğrafı çekilerek gözle muayene edilmiş ve elde edilen sonuçlar simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.13. Tek parça olarak dökülen modelin görüntüsü



Şekil 3.14. Dört parça olarak dökülen modelin görüntüsü

3.6. Numunelerin İncelenmesi

Döküm yüzeylerinin incelenmesinde hedeflenen amaç o yüzeyin temsil ettiği döküm kesitinde (bu kesit dökümün tam merkezinden geçen bir düzlemdir) eğer var ise çekinti boşluklarının ve gözeneklerin gözlemlenebilmesidir. Bu ölçüm bir tahribatsız

muayene yöntemi olan sıvı penetrant ile yapıldığından öncelikle yüzeylerin uygun şekilde temizlenmesi gerekmektedir.

Her bir inceleme yüzeyi tek tek özel temizleme spreyleri ile uygun şekilde temizlenmiştir. Temizleme esnasında kesinlikle aşındırıcı ve talaş oluşturuvcu temizleme madde ve donanımı kullanılmamıştır. Temizleme esnasında temizleme sıvısı yüzeyden emdirilerek alınmıştır. Daha sonra ticari olarak kullanılan BETA BT68 penetrant boya temizlenmiş yüzeyler üzerine uygulanmıştır. Burada amaç yüzeyde oluşan ve göz ile tespit edilemeyen gözenekleri tespit edebilmektir.

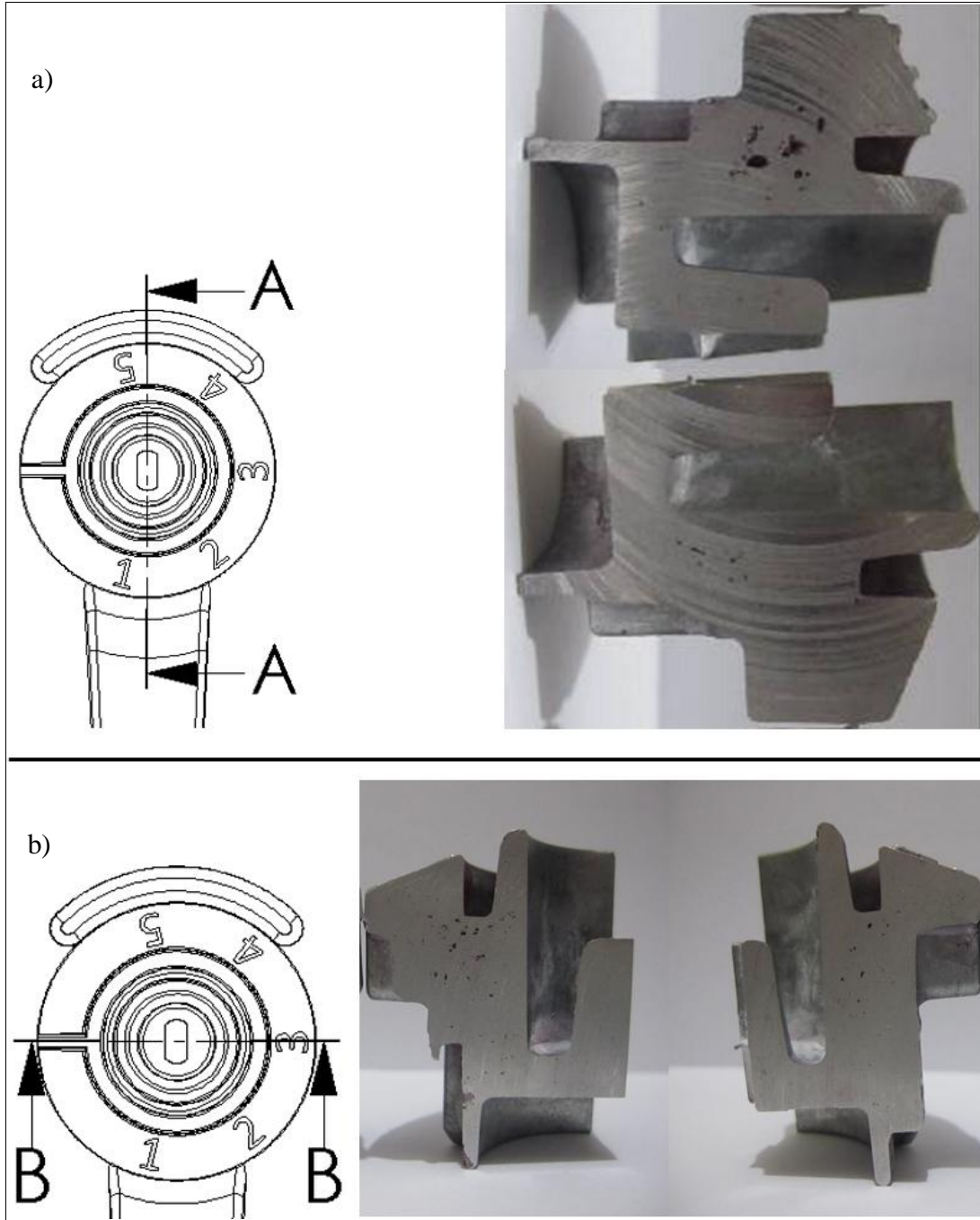
Sıvı penetrant boya muayenesinin mekanizması, yüzey gerilimi çok düşük olan ve çabuk fark edilebilen bir renkteki boyanın test edilecek yüzeye uygulanarak varsa gözeneklere dolmasını sağlamaktır. Gözenekler gözle görülemeyecek şekilde küçük olduğu için uygulanan boyanın yüzeyde bir süre beklemesi ile gözeneklere dolması sağlanır. Yeteri kadar beklendikten sonra boya özel spreyi ile uzaktan sıkılarak ve lif bırakmayan bir bez ile yüzeyden emdirilerek kaldırılmıştır.

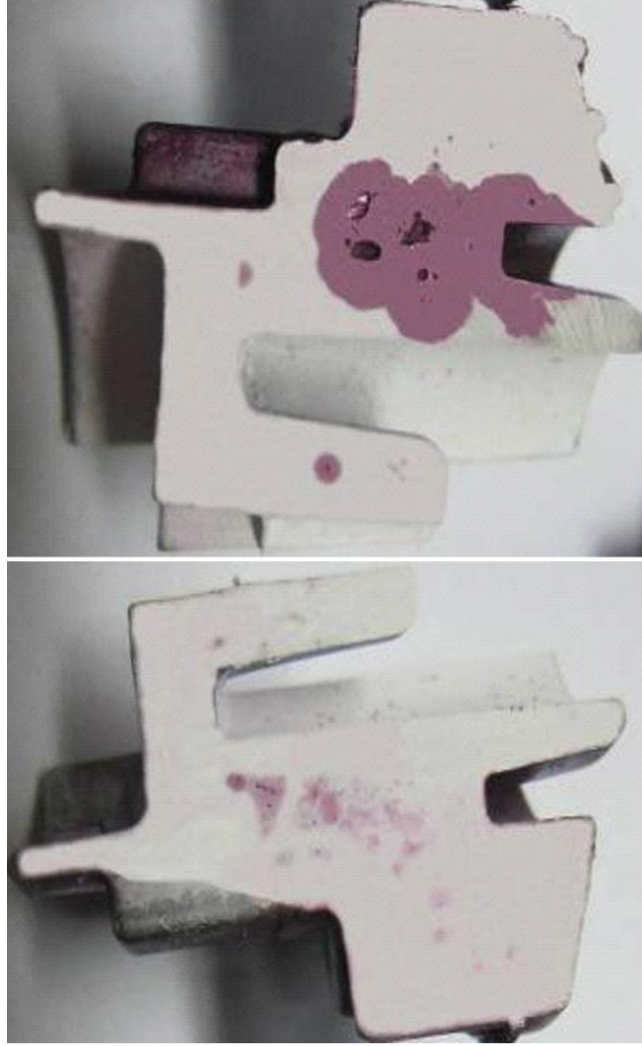
Penetrant boyanın yüzeyden kaldırılması ile birlikte analiz edilecek yüzeye BETA BT70 developer uygulaması yapılmıştır. Developer uygulaması sprej şeklinde ve parçadan en az 15cm uzaktan uygulanmıştır. Developer sayesinde gözeneklere dolan penetrant boya daha net görünür hale gelmekte ve böylece göz ile yapılan kontrollerde daha küçük gözenekleri de saptayabilmekteyiz.

BÖLÜM 4. SONUÇLAR VE İRDELEME

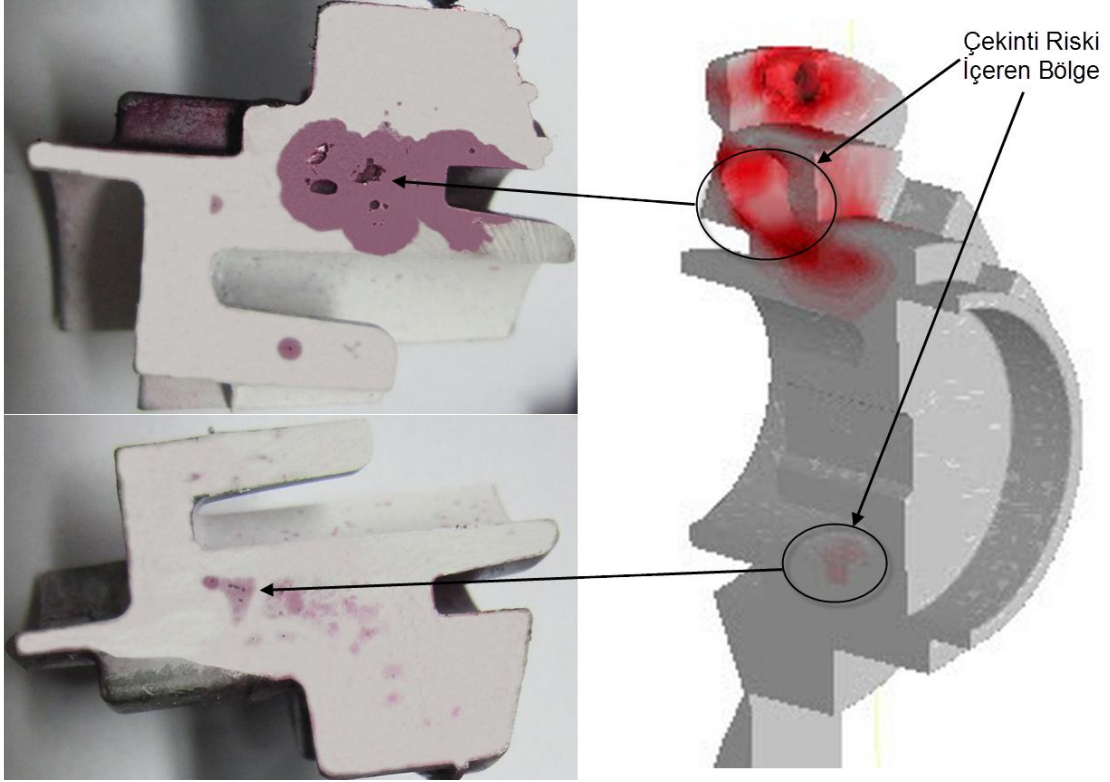
4.1. Simülasyon ve Döküm Sonuçları

Yapılan iki farklı kalıpta yolluk, hava tahliye kanalları, basınç ve döküm sıcaklığı parametrelerine göre tasarımlar yapılmıştır. Döküm parametreleri, Tablo 3.1.de belirtilen şartlara göre yapılmıştır. Yapılan dökümler sonucunda tek parçalı model olarak üretilen tasarımda çekinti boşlukları görülmüştür. Bu hataların görüldüğü yüzeylerin fotoğrafı çekilerek (Şekil 4.1.), sıvı penetrant muayenesine tabi tutularak (Şekil 4.2.) ve bilgisayar ortamında simüle edilerek (Şekil 4.3.) tespit edilmiştir. Şekil 4.3. te kırmızı renkte görülen bölgeler çekinti boşluğu riski içeren bölgeleri göstermektedir.



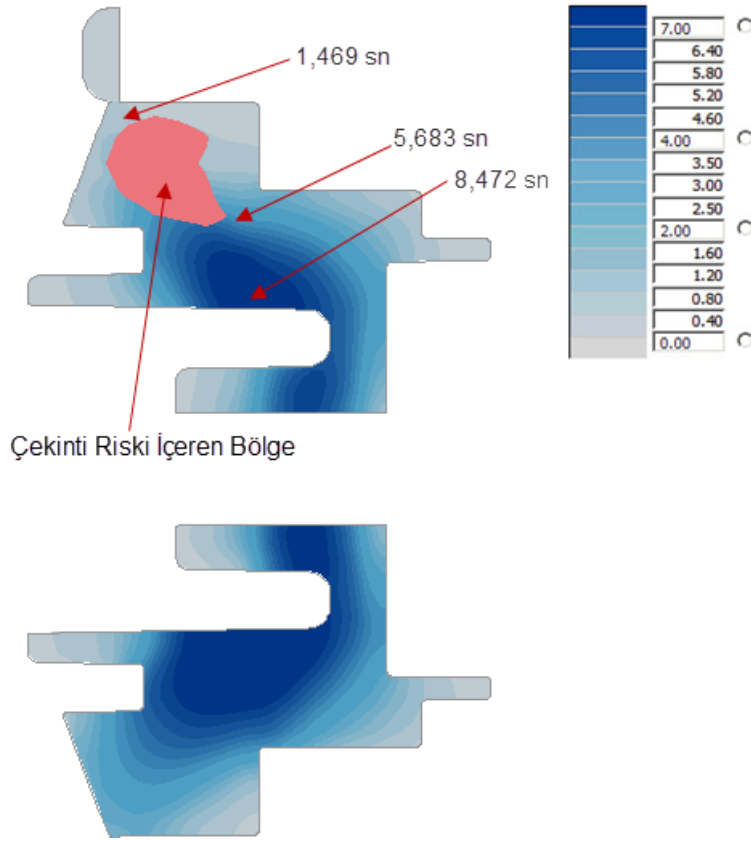


Şekil 4.2. Tek parçalı modelin sıvı penetrant muayenesine tabi tutulması sonucu elde edilen görüntü



Şekil 4.3. Tek parçalı modelde gerçek dökümde oluşan çekinti boşluklarının simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılması

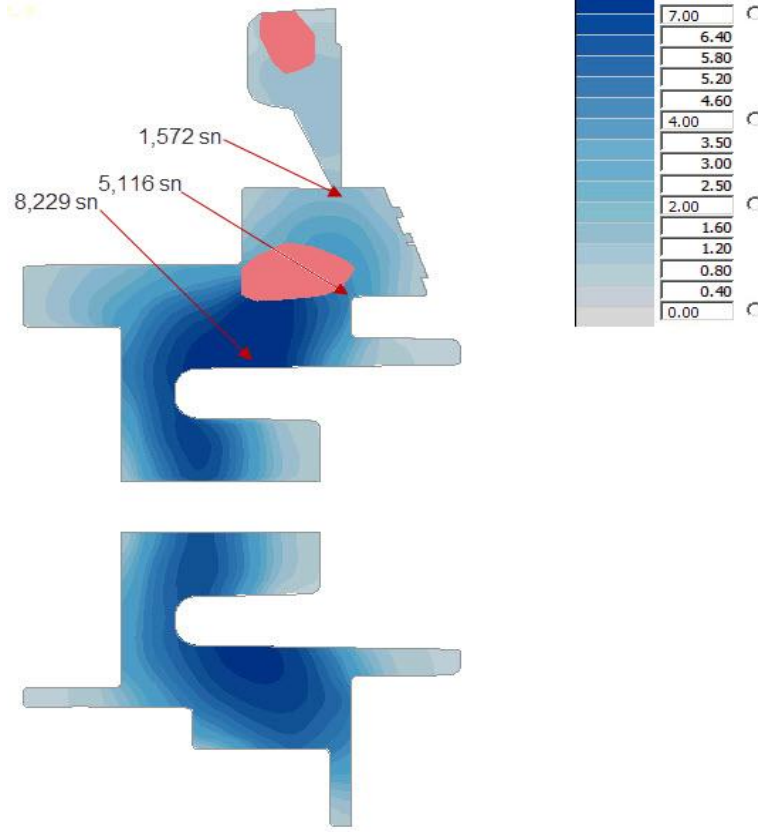
Tek parçalı modelden elde edilen sonuçlara bakıldığında parçada çekinti boşlukları olduğu açıkça görülmektedir. Aynı zamanda simülasyon sonuçlarıyla gerçek sonuçlar örtüşmektedir. Ayrıca simülasyon sonuçlarına göre parçanın dış yüzeyiyle iç kısmı arasındaki katılma zamanı farkının fazla olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.4). Katılma zamanlarındaki farkın fazla olması sıcaklık gradyanının yüksek olmasına neden olmuştur. Bu durum parçada çekinti boşluğu oluşturmuştur.



Şekil 4.4. Tek parçalı modelin katılma zamanı farklılıkları

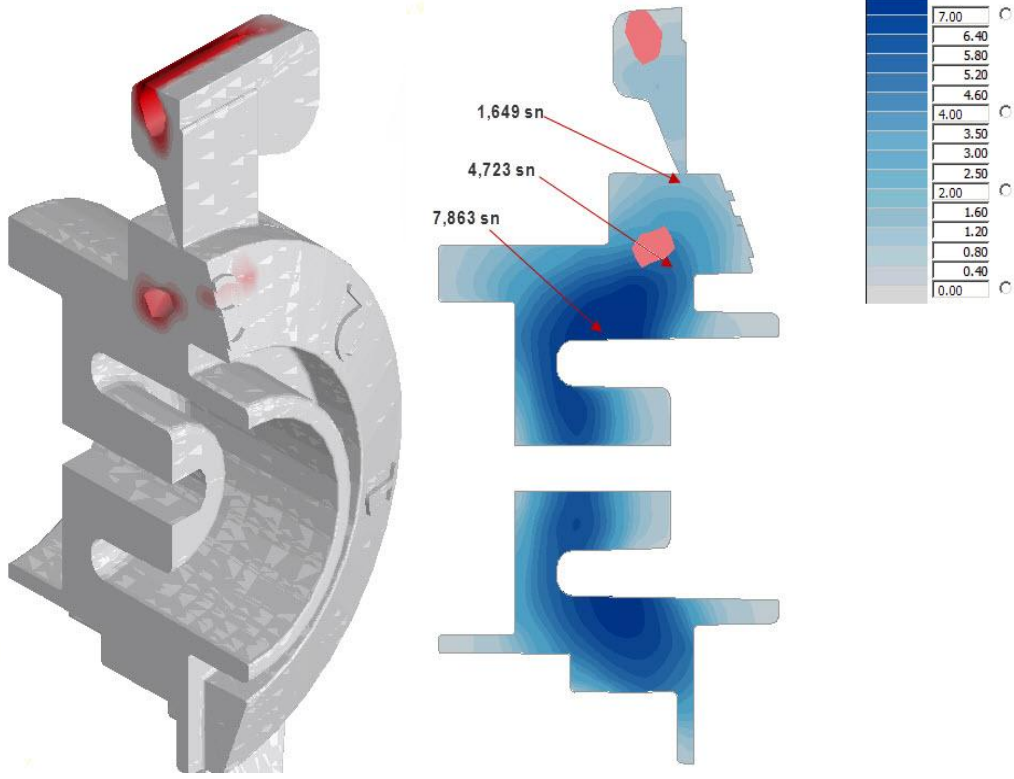
Basınçlı dökümlerde ince kesitli parçalarda genel olarak basınç ve hızlı katılma etkisiyle hemen hemen her parçada sorunsuz üretim yapılabilirken, kalın kesitli parçalarda modelin dış yüzeyi katılarak kabuk oluşmasıyla iç kısımlarda kalan bölgeler daha geç katılmaktadır. Bu durumda geleneksel döküm yöntemlerindeki gibi katılma görülmektedir ve katılma zamanları arasındaki fark açıldıkça parçada görülen çekinti riski artmaktadır. Bu yüzden kalın kesitli parçaların basınçlı dökümünde mümkün olduğunca düşük sıcaklıkta ve yüksek basınçta döküm yapılarak parça kesitleri arasındaki katılma zamanı farklılıkları minimuma indirilmelidir. Bu noktadan yola çıkarak yapılan simülasyonlar sonucunda görülen bu hataların nedeni olarak hava tahliye kanallarının yetersiz olması, basınç ve döküm sıcaklığının optimum değerlerde olmadığı tespit edilmiştir. Tek parçalı modelde 1,39 mm³ olan hava tahliye kanalları dört parçalı modelde 4,15 mm³'e çıkartılmıştır. Hava tahliye kanalının büyütülmesinin sonuçlarını gözlemlemek için bir önceki modelle

aynı basınç (10 MPa) ve döküm sıcaklığı (750°C) değerlerinde yeniden simülasyon yapılmıştır (Şekil 4.5.).



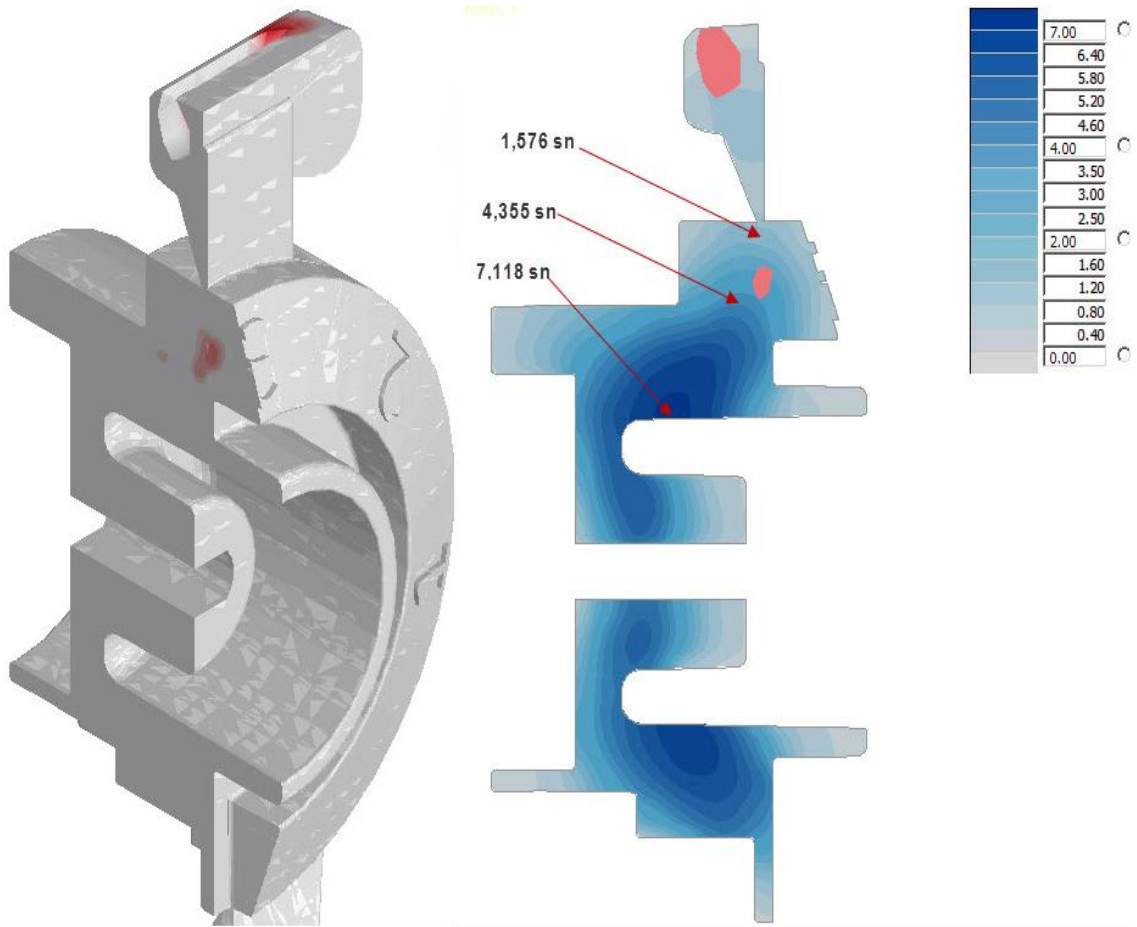
Şekil 4.5. Dört parçalı modelde 750°C döküm sıcaklığı ve 10 MPa basınç altında yapılan simülasyon hava tahliye kanalının büyütülmesiyle oluşan sıcaklık gradyanı

Bu simülasyon sonucunda hava tahliye kanalının daha küçük olduğu bir önceki versiyona göre daha iyi sonuç alınmıştır. Fakat parçada hala çekinti riski olduğu görülmektedir. Bu yüzden katılma zamanlarındaki farkı azaltabilmek, dolayısıyla sıcaklık gradyanını düşürebilmek için öncelikle basıncı arttırarak dört parçalı modelin 750°C döküm sıcaklığında ve 50 MPa basınç değerlerinde simülasyonu yapılmıştır. Bu simülasyonun katılma zamanı sonuçları ve çekinti riski Şekil 4.6.da verilmiştir.



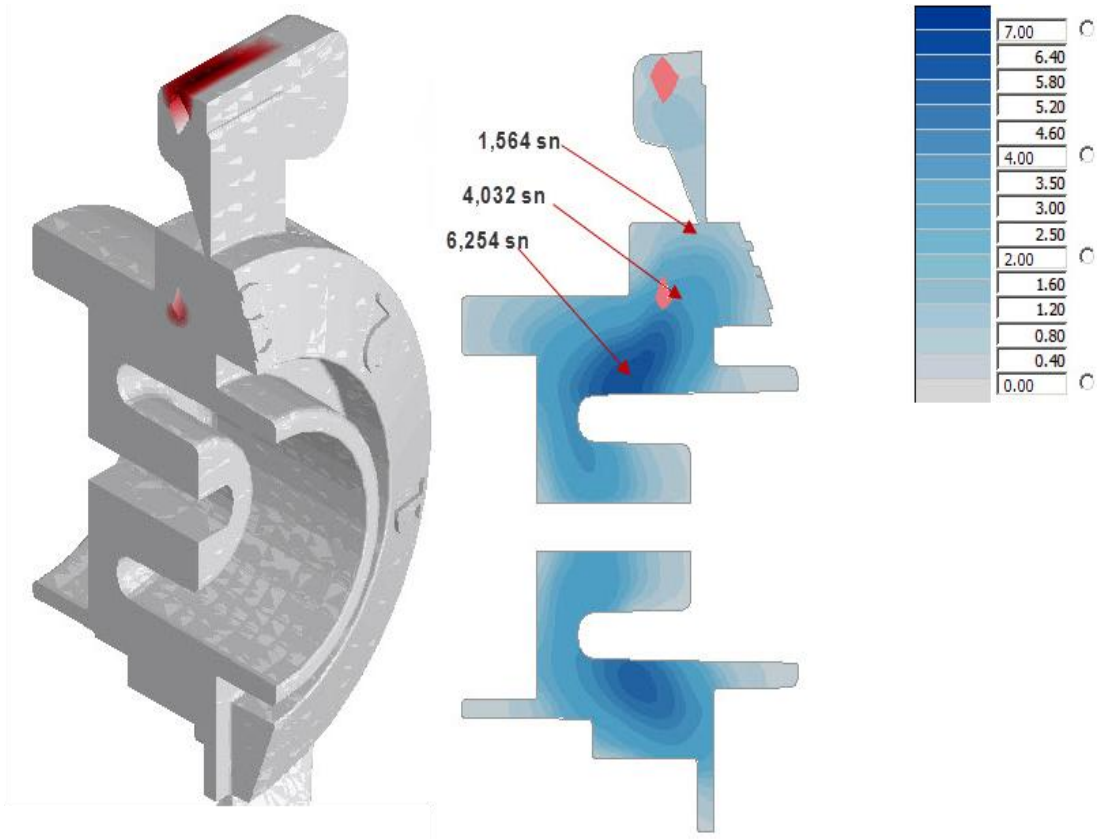
Şekil 4.6. Dört parçalı modelin 750°C döküm sıcaklığında ve 50 MPa basınç altında yapılan simülasyonunun çekinti riski ve katılaşma zamanı ve görüntüleri

Elde edilen sonuçlar önceki çalışmalara göre daha iyi olmakla birlikte parçada çekinti riski devam etmektedir. Döküm sıcaklığının da basınçlı dökümde bir parametre olduğu düşünüldüğünde döküm sıcaklığının düşürülmesiyle oluşacak farklılıkları gözlemek adına 700°C döküm sıcaklığında basınç değeri değiştirilmeden (50 MPa) yeni bir simülasyon yapılmıştır. Bu simülasyonun çekinti riski ve katılaşma zamanı sonuçları Şekil 4.7.de verilmiştir.



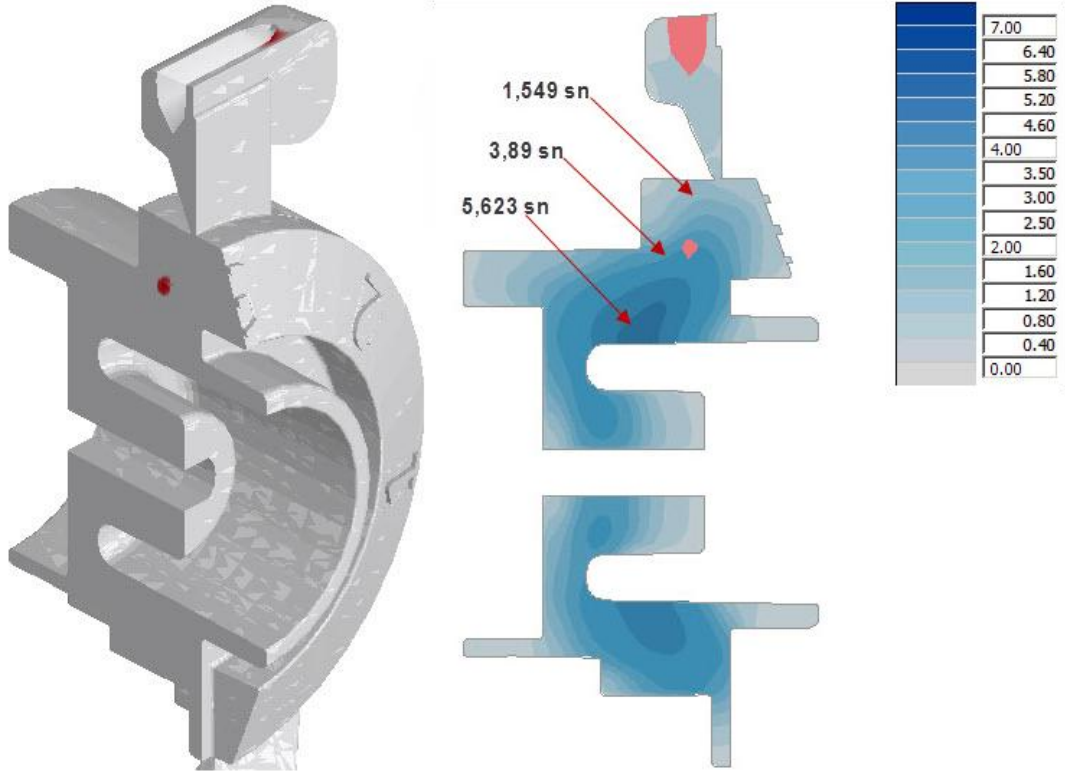
Şekil 4.7. Dört parçalı modelin 700°C döküm sıcaklığında ve 50 MPa basınç altında yapılan simülasyonunun çekinti riski ve katılaşma zamanı ve görüntüleri

Basınç ve sıcaklığın etkilerini tam olarak gözlemleyebilmek ve optimum sonucu bulabilmek için bu aşamadan sonra 650°C'de, 10 MPa - 30 MPa - 50MPa basınç değerlerinde simülasyonlar yapılmıştır. 650°C döküm sıcaklığı ve 10 MPa basınç altında yapılan simülasyonun çekinti riski ve katılaşma zamanı sonuçları Şekil 4.8.de verilmiştir.



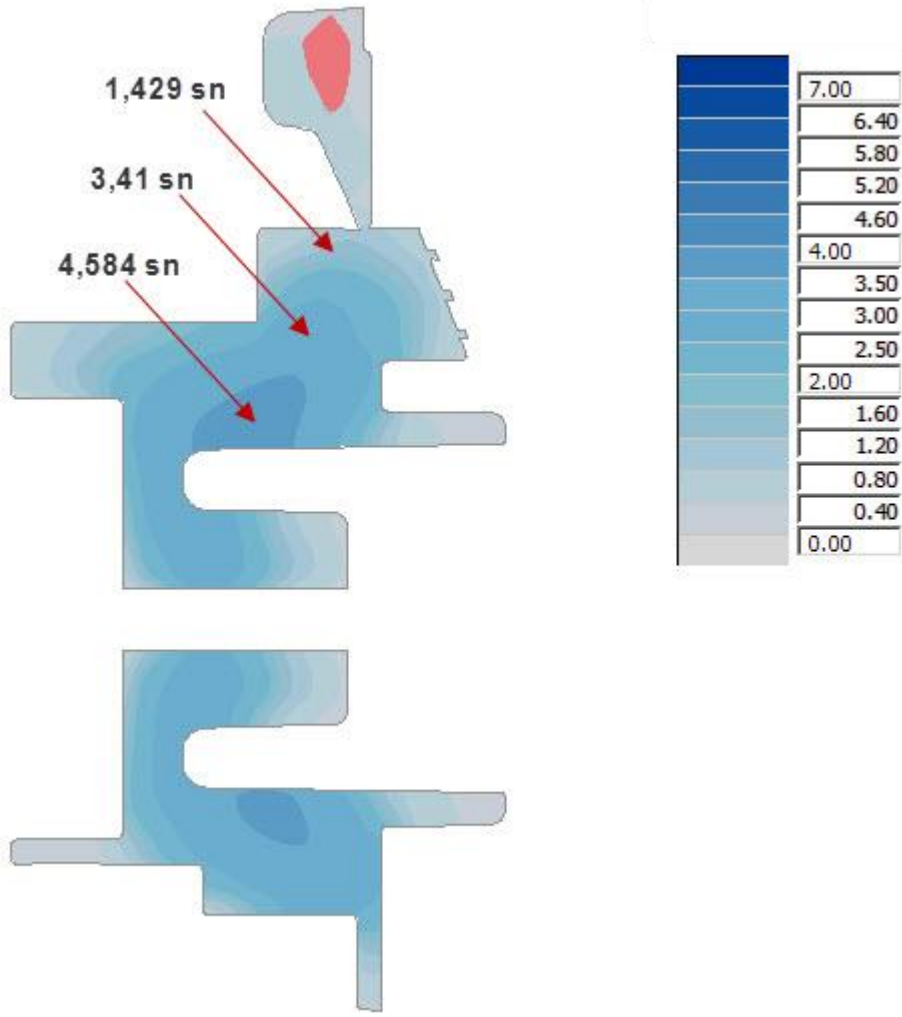
Şekil 4.8. Dört parçalı modelin 650°C döküm sıcaklığında ve 10 MPa basınç altında yapılan simülasyonunun çekinti riski ve katılaşma zamanı ve görüntüleri

650°C döküm sıcaklığı ve 30 MPa basınç altında yapılan simülasyonun çekinti riski ve katılaşma zamanı sonuçları Şekil 4.9.da verilmiştir.

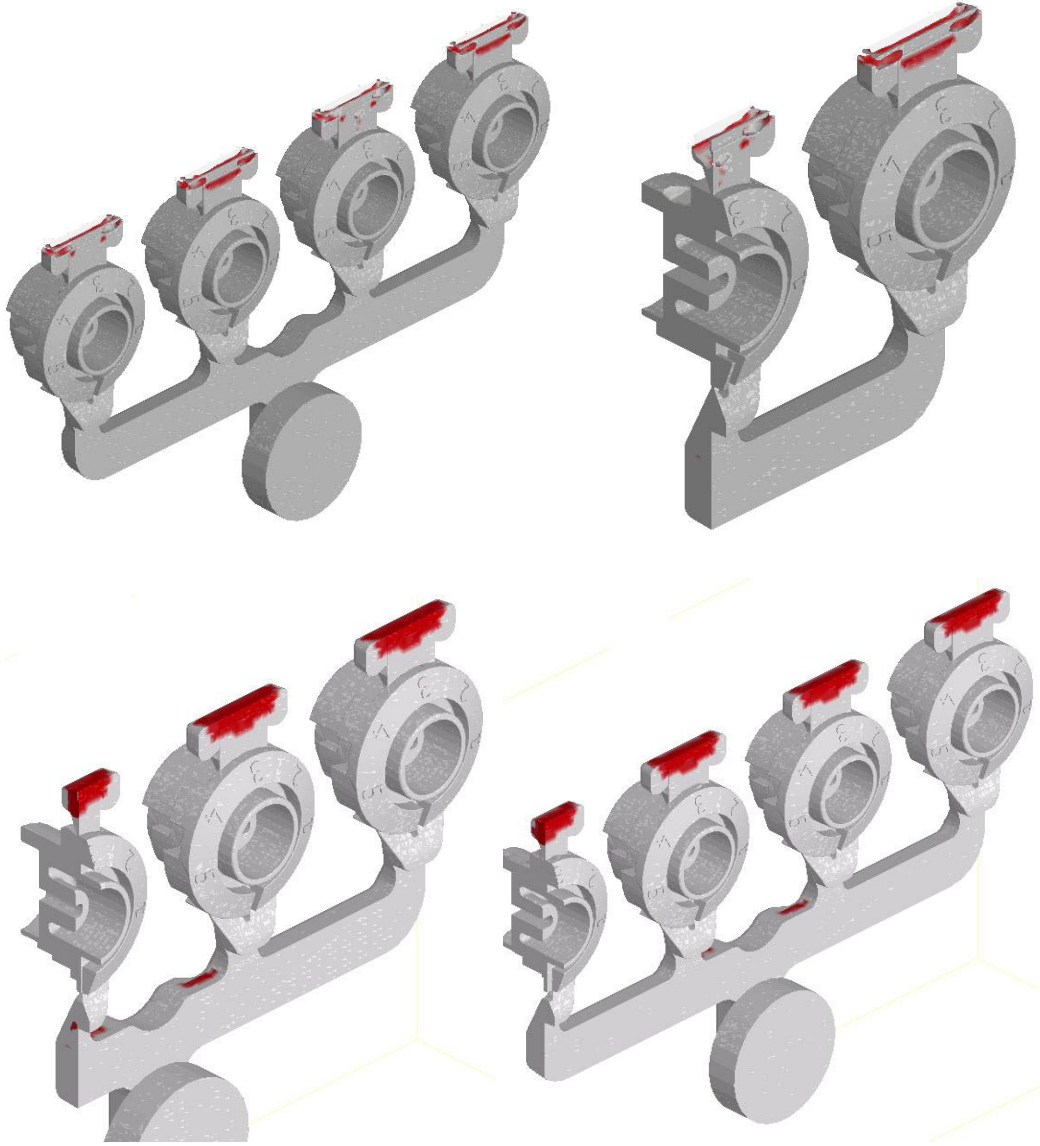


Şekil 4.9. Dört parçalı modelin 650°C döküm sıcaklığında ve 30 MPa basınç altında altında yapılan simülasyonunun çekinti riski ve katılma zamanı görüntüleri

Son olarak 650°C döküm sıcaklığına ve 50 MPa basınç altında yapılan simülasyonlarda herhangi bir çekinti boşluğu riski görülmemiştir. Bu simülasyonun katılma zamanı sonuçları Şekil 4.10.da, çekinti riski sonuçları Şekil 4.11.de verilmiştir.



Şekil 4.10. Dört parçalı modelin 650°C döküm sıcaklığında ve 50 MPa basınç altında simülasyonunun katılaşma zamanı



Şekil 4.11. Dört parçalı modelin 650°C döküm sıcaklığında ve 50 MPa basınç altında farklı kesitlerden alınmış çekinti riski simülasyon sonuçları

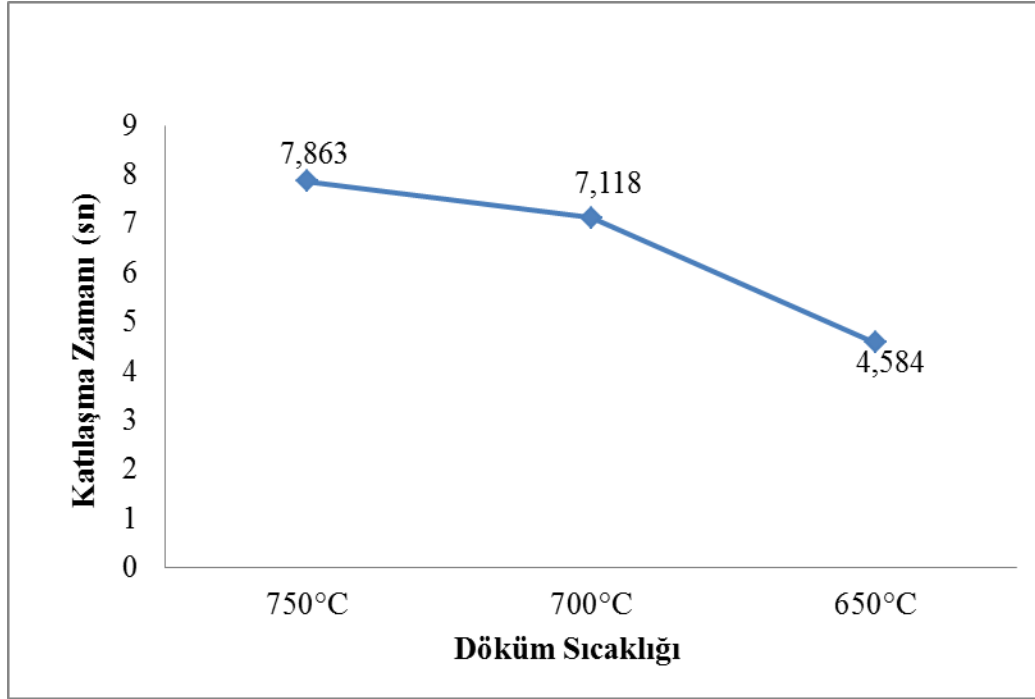
Yapılan tüm optimizasyon çalışmalarıyla ilgili sonuçlar Tablo 4.3.te verilmiştir.

Tablo 4.3. Optimizasyon çalışmalarından elde edilen katılma zamanı değerleri

Salkım Tipi	Basınç (MPa)	Döküm Sıcaklığı (°C)	En Son Katılan Bölge(Sn)
Tek Parçalı Salkım	10	750	8,472
Dört Parçalı Salkım	10	750	8,229
Dört Parçalı Salkım	50	750	7,863
Dört Parçalı Salkım	50	700	7,118
Dört Parçalı Salkım	10	650	6,254
Dört Parçalı Salkım	30	650	5,623
Dört Parçalı Salkım	50	650	4,584

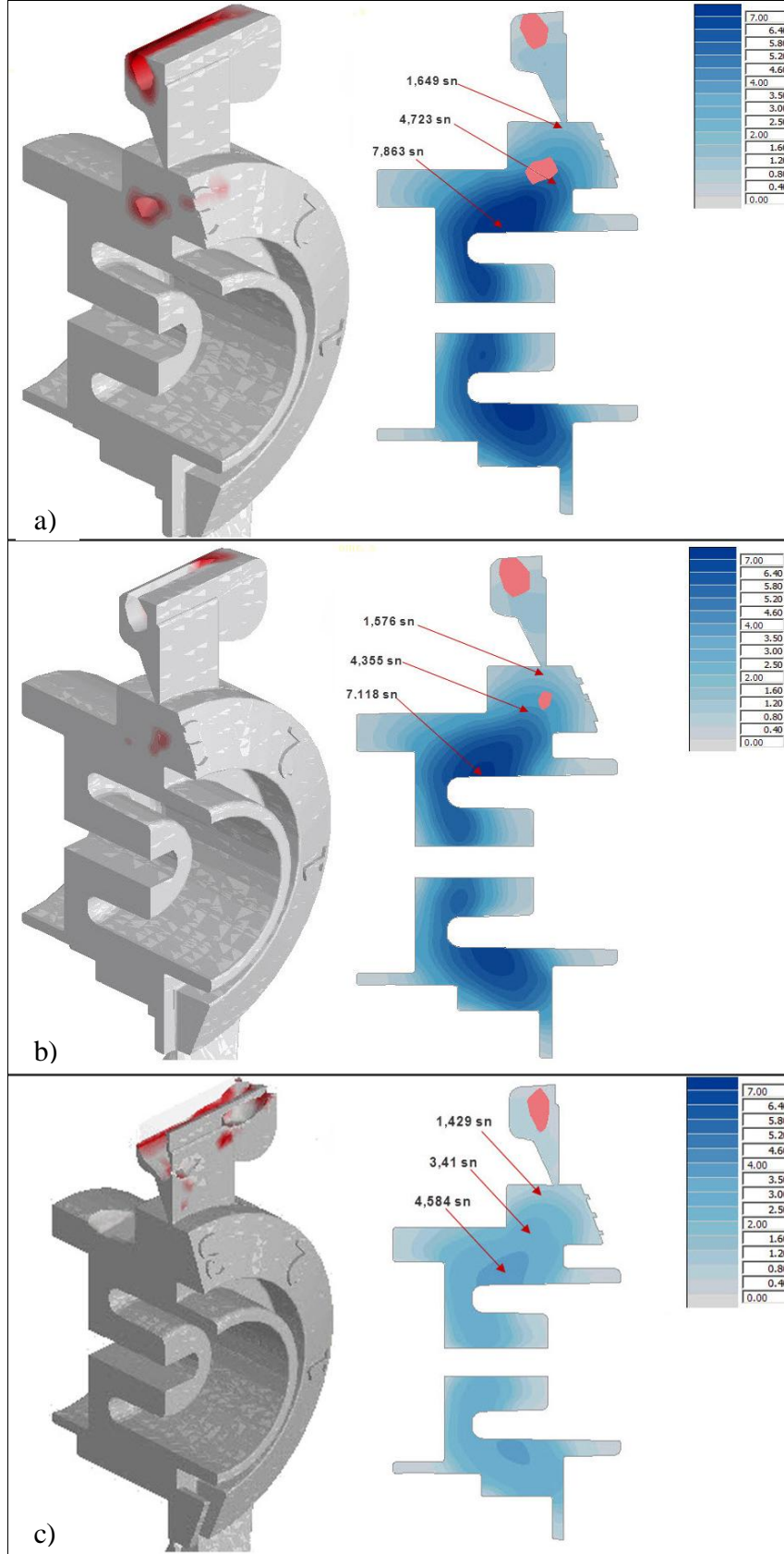
4.1.2. Sıcaklığın etkisi

Elde edilen verilere göre basınç sabit tutularak (50 MPa) sıcaklık değiştirildiğinde katılma zamanlarında değişimler gözlenmiştir. Bu değişimin grafiği Şekil 4.12.de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Sabit basınçta (50 MPa) sıcaklık değiştirilerek yapılan simülasyon sonucu elde edilen katılma zaman farklılıkları değerleri

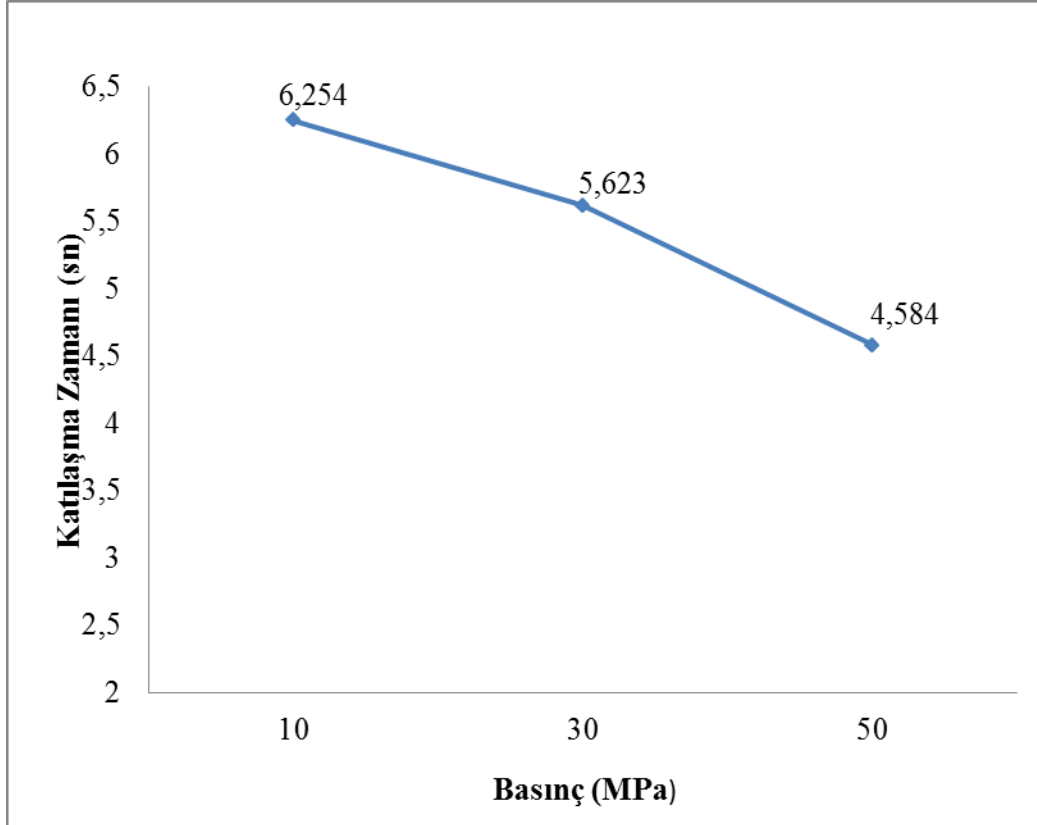
Basıncın sabit tutularak sıcaklık değiştirildiği durumda simülasyondan elde edilen katılma zamanı ve çekinti riski sonuçları Şekil 4.13.te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 4.13. Sabit basınçta (50 MPa) a) 650°C'den, b) 700°C'den, c) 750°C'den dökülerek simülasyonu yapılan modellerin katılma zamanı ve çekinti risklerinin karşılaştırılması

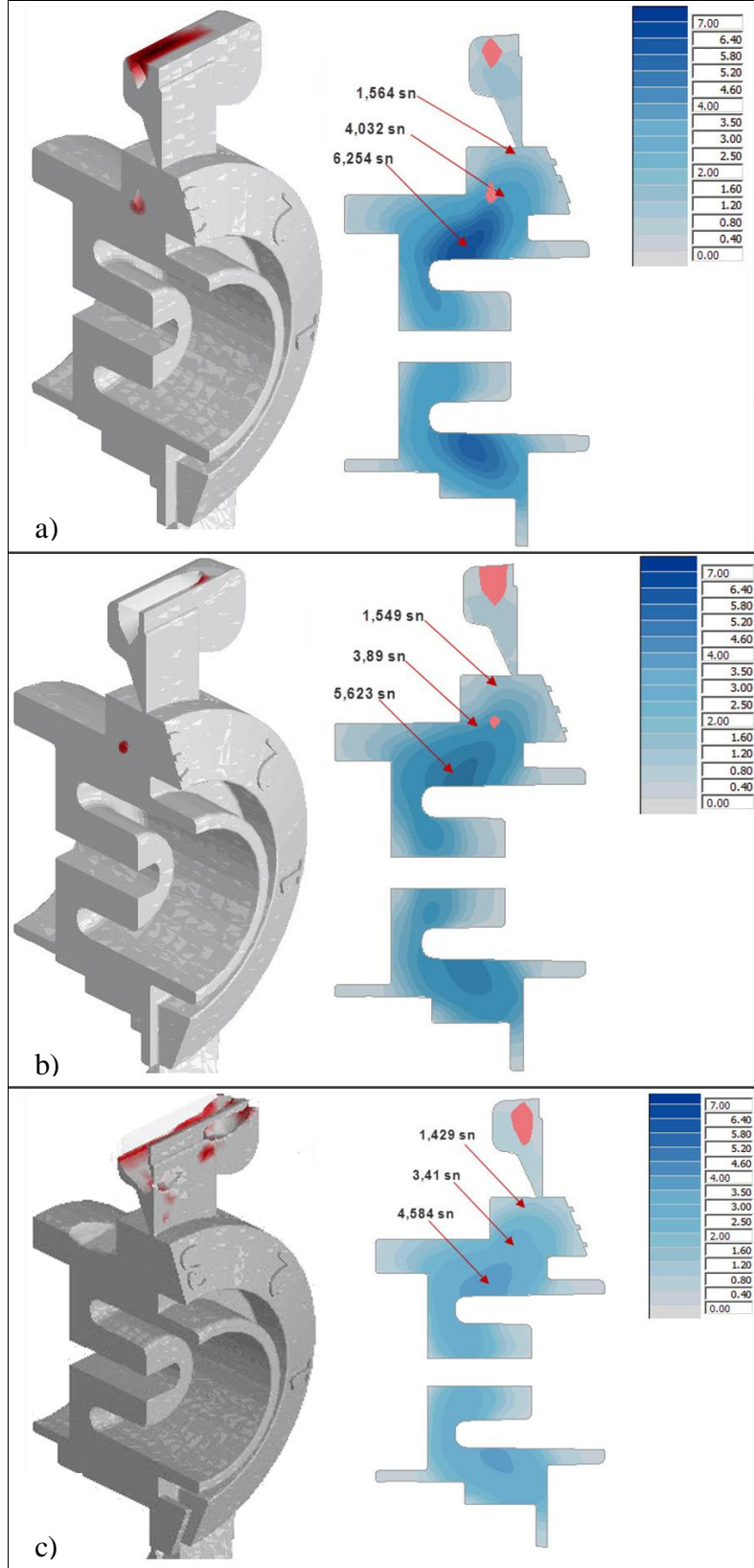
4.1.3. Basıncın etkisi

Sıcaklık sabit tutularak basıncın değiştirilmesi durumunda ise yine aynı şekilde katılma zamanlarında değişiklikler gözlemlenmiştir. Bu durumla ilgili veriler Şekil 4.14.te grafik halinde gösterilmiştir.



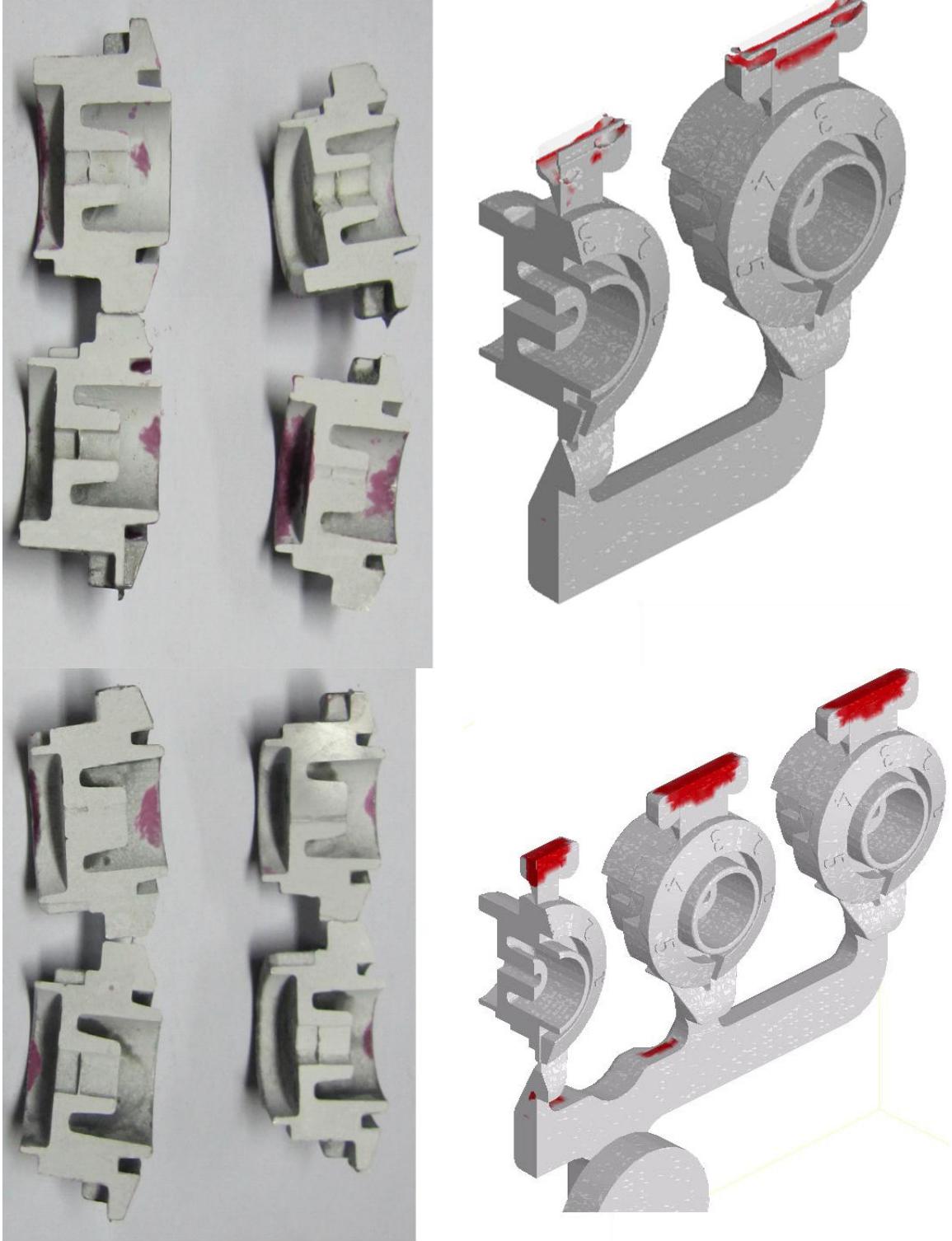
Şekil 4.14. Sabit sıcaklıkta (650°C), basınç değerleri değiştirilerek yapılan simülasyon sonucu elde edilen katılma zaman farklılıkları değerleri

Sıcaklığın sabit tutularak (650°C), basıncın değiştirildiği durumda simülasyondan elde edilen katılma zamanı ve çekinti riski sonuçları Şekil 4.15.te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 4.15. Sabit sıcaklıkta (650°C) a) 50MPa, b) 30 MPa, c) 10 MPa basınç uygulanarak simülasyonu yapılan modellerin katılma zamanı ve çekinti risklerinin karşılaştırılması

Yapılan tüm bu simülasyonlar sonucu elde edilen optimum döküm parametreleri 650°C döküm sıcaklığı ve 50 MPa basınç değeri olarak belirlenmiştir ve simülasyon sonucunda modelde herhangi bir çekinti riskin görülmemiştir. Bu noktadan yola çıkarak tespit edilen parametrelere göre tasarımı yapılan modelin basınçlı dökümü yapılmıştır. Döküm işlemi tamamlandıktan sonra parçanın yolluğu ve hava tahliye kanalları parçadan ayrıldıktan sonra her parça ayrı yerlerden kesilerek sıvı penetrant muayenesine tabi tutularak incelenmiş ve gerçek sonuçlarla karşılaştırılmıştır. (Şekil 4.24.) Bu incelemeler sonucunda simülasyonlar sonucunda belirlenen 650°C döküm sıcaklığı ve 50MPa basınç parametrelerine göre dökülen parçada herhangi bir çekinti riski görülmemiştir. Aynı zamanda simülasyon sonuçlarıyla gerçek sonuçların örtüştüğü gözlemlenmiştir. Bu gözlemler sonucunda nihai tasarım olan dört parçalı modelin simülasyon sonuçlarında sorunlarında bir risk görülmemiştir. Deneme dökümlerindeki sonuçlar ile simülasyon sonuçları örtüştüğü için firma seri üretime bu sonuçlara uygun olarak devam etmiştir.



Şekil 4.16. 50 MPa basınç altında 650°C sıcaklıktan dökülen parçanın sıvı penetrant muayenesine tabi tutulması sonucu elde edilen görüntü

BÖLÜM 5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- Basınçlı döküm yöntemiyle imal edilen parçaların hatasız olarak üretilebilmesi kalıplama tasarımı ile doğrudan alakalıdır.

-Basınçlı dökümde birden fazla parametreye dikkat etmek gerekir. Basınç ve döküm sıcaklığı, basınçlı döküm yöntemiyle sorunsuz üretim yapabilmek için önemli biri parametredir.

- Bu yöntemde basıncın arttırılması % çekinti miktarına direk olarak etki etmezken, sıcaklık gradyanını düşürdüğü için sonuca olumlu etki yapmaktadır.

- Döküm sıcaklığının düşürülmesi sonucu % çekinti miktarının ve sıcaklık gradyanının azaldığı görülmüştür.

- Basınçlı dökümde kalıp maliyetleri yüksek olması nedeniyle deneme-yanılma yoluyla doğru tasarımı elde etmesi çabası sağlıklı sonuçlar vermeyecektir. Dolayısıyla bu yöntemde döküm simülasyon yazılımlarının kullanılması hem maddi anlamda hem de zaman anlamında ciddi kazançlar sağlayacaktır.

- Bu çalışmada A360 Alüminyum alaşımlarından basınçlı döküm yöntemiyle üretim yapmak için optimum döküm sıcaklığının 650°C ve basıncın 50 MPa olduğu tespit edilmiştir.

- Termal analiz cihazları, döküm alaşımıyla ilgili soğuma eğrisi, hacimsel çekme oranı vb. gibi gerçek döküm ortamındaki parametrelerle birebirliği sağlayacak veriler sunduğu için simülasyon sonuçlarıyla gerçek döküm şartlarının kıyaslanmasıyla sonuçların doğruluğunda önemli rol oynamaktadır.

Bu çalışmadan elde edilen veriler ışığında ileride yapılacak çalışmalar için aşağıda önerilen tavsiyeler yapılabilir.

- Bu çalışmada piston hızı sabit tutularak (50 m/s) analizler yapılmıştır. Sonraki çalışmalarda, basınçlı döküm yönteminde önerilen [14] piston hızı aralığı olan 50-100m/s piston hızlarında çalışmalar yapılabilir.
- A360 alaşımı için sıvı metal minimum akış hızının 572°C [34] olduğu göz önünde bulundurularak daha düşük sıcaklıklarda dökümler yapılabilir.
- Basınç, sıcaklık, piston hızı gibi parametrelerin mekanik özelliklere etkilerini incelemek amacıyla mekanik testler yapılabilir.
- Basınçlı dökümde sıcaklık gradyanından dolayı kalıp tasarımı çok önemli olduğundan sıcaklık gradyanı artışını engellemek adına soğutma kanalları kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] KARAKIŞLAK, M., Alüminyum Alaşımaları ve Isıl İşlemleri, MMLT, İTÜ, Metalurji Fakültesi, İstanbul, 1992.
- [2] AHLATÇI, H., Al-Cu-Mg-Si Alaşımalarının Deformasyonu ve Yaşlandırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Lisans Bitirme Tezi, 1994.
- [3] GÜRLEYİK, Y., Alüminyum ve Alaşımaları, Makine ve Mühendis, 402, (sf:16 -32), Temmuz 1993.
- [4] Metals Handbook; Vol. 3, Alloy Phase Diagrams, Ed. ASM International Handbook Committee, 743-770, Metals Park, OH, ASM International, 1989.
- [5] Metals Handbook; Vol. 8, Metallography Structures and Phase diagrams, Ed. ASM International Handbook Committee, 743-770, Metals Park, OH, ASM International, 1989.
- [6] YILMAZ, F., ŞEN, U., Alaşımaların Yapı ve Özellikleri, (sf: 54 – 77), Sakarya Üniversitesi Yayınevi, Sakarya, 1999.
- [7] ÜNAL, T., Alüminyumun Eritilmesi, TÜBİTAK Bilgi Profili No:46.
- [8] SMİTH, W. F., Çeviri, ERDOĞAN, M., Mühendislik Alaşımalarının Yapı ve Özellikleri Cilt 2, Nobel Yayın Dağıtım,(sf: 339 – 392), Ankara, 2001.
- [9] ARAN, A., Metal Döküm Teknolojisi, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1999.
- [10] SIGWORTH, G. K., KUHN, T. A., Refinement of Aluminium casting Alloys, AFS Transactions, Vol.115, (sf:1-12), 2007.
- [11] ERİŞKİN, Y., Hacim Kalıpcılığı, Ankara, Yüksek Teknik Öğretmen Okulu yayınları, Mart. 1980.
- [12] Metals Handbook; Vol. 15, Casting, ASM International The Materials Information Company, (sf:611-631), 2002.

- [13] AKSEL, L., Metal Enjeksiyon Kalıplarında Yolluk Tasarımı, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2008.
- [14] CLEARY, W. F., Ha, J., Three Dimensional Modelling of High Pressure Die Casting, Second International Conference on CFD in The Minerals and Process Industries, 1999.
- [15] ÇAVUŞOĞLU, N., Basınçlı Döküm Teknolojisi I, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüş suyu, 1981
- [16] DOEHLER, H ., Çeviren: BAYVAS, M . ŞEVKİ, Basınçlı Döküm, Ankara Erkek Teknik Yüksek Öğretmen Okulu Matbaası, Ankara, 1974
- [17] ÇİĞDEMOĞLU, M., Basınçlı Döküm Cilt 1, Makine Mühendisleri Odası, Ankara, 1972.
- [18] ÇAPAN, O., Basınçlı Döküm Kalıpları, Araştırma.
- [19] UZUN, İ., ERİŞKİN, Y., 1982, Hacim Kalıpcılığı, Milli Eğitim Basım Evi, İstanbul 1984.
- [20] ERDEM, H., Basınçlı Döküm Kalıpları, Mühendis ve Makina, Şubat, Cilt-7, Sayı 79, Sayfa 20, 1964.
- [21] KLUZ, J., Çeviren:GIYASETTİN, ERCİ, Plastik ve Metal Döküm Kalıpları, Milli Eğitim Bakanlığı Etüd. ve Programlama Dairesi Yayınları No. 72.
- [22] HATMAN, A., Sıcak İş Kalıplarında Ömür Artırıcı Önlemler, Metal Makina Dergisi, Ekim, 1997.
- [23] ARDA, İ., KAYIKCI, R., Döküm simülasyonu nedir? Ne değildir?, Metal Dünyası, Mart 2006.
- [24] http://www.dokumsimulasyonu.com/index.php?option=com_content&view=article&id=8&Itemid=6, (Nisan 2009)
- [25] <http://www.finitesolutions.com/default.aspx>, (Nisan 2009)
- [26] http://www.magmasoft.de/ms/product_en_proceses/index.php, (Mart 2009)
- [27] <http://www.novacast.se/index2.asp?siteid=6&pageid=215>, (Nisan 2009)
- [28] <http://www.esi-group.com/products/casting/procast>, (Nisan 2009)
- [29] <http://www.quantech.es/QuantechATZ/Home.html> , (Nisan 2009)

- [30] KAYIKCI, R., Büyük kütleli bir çelik parçanın dökümünde klasik ve bilgisayar destekli mühendislik yöntemlerinin karşılaştırılması, Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, Cilt 23, No 2, 2008.
- [31] KAYIKCI, R., AKAR, N., Farklı kesit kalınlıklarına sahip büyük hacimli bir çelik dökümün simülasyon teknikleri ile tasarlanması, Politeknik Dergisi, 10-4, s.219-227, 2007.
- [32] STEFANESCU, D.M., Computer simulation of shrinkage related defects in metal castings – review, International Journal of Cast Metals Research, vol 18, no 3, 129-145, 2005.
- [33] HSU, F.Y., JOLLY, M.R., CAMPBELL, J., Vortex-gate design for gravity casting, International Journal of Cast Metals Research, Vol 19, No 1, 38-46, 2006.
- [34] Solidcast Casting Simulation Program Database.

ÖZGEÇMİŞ

1982 Sakarya doğumluyum. İlköğrenimimi Arifiye Neviye İlköğretim Okulunda, orta ve lise öğrenimimi de Sakarya Anadolu İmam Hatip Lisesinde tamamladım. 2002–2007 yılları arasında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal İşleri Öğretmenliği bölümünü bitirerek Teknik Öğretmen unvanını almaya hak kazandım. 2010 yılında Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Bölümünde 2007 yılında başladığım yüksek lisans eğitimini bitirme aşamasına geldim.