

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HASSAS DÖKÜMLE ÜRETİLEN UÇAK FREN DİSKLERİNİN ISIL
OPTİMİZASYONU**

Haktan Murat GÜVEN

TEZ DANIŞMANI
Dr. Öğr. Üyesi Birol ŞAHİN
JÜRİ ÜYELERİ
Prof. Dr. Yücel ÖZMEN
Doç. Dr. Ali Paşa HEKİMOĞLU

RİZE-2021
Her Hakkı Saklıdır

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**HASSAS DÖKÜMLE ÜRETİLEN UÇAK FREN DİSKLERİNİN ISIL
OPTİMİZASYONU**

Dr. Öğr. Üyesi Birol ŞAHİN danışmanlığında, Haktan Murat GÜVEN tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararı ile oluşturulan jüri tarafından 08/12/2021 tarihinde Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı Soyadı	İmza
Başkan	: Prof.Dr. Yücel ÖZMEN	
Üye	: Doç.Dr. Ali Paşa HEKİMOĞLU	
Üye	: Dr.Öğr. Üyesi Birol ŞAHİN	

Doç. Dr. Ahmet YANIK
ENSTİTÜ MÜDÜRÜ

ÖNSÖZ

“Hassas dökümle üretilen uçak fren disklerinin ısı optimizasyonu” konulu tez çalışmamın seçilmesinde, yürütülmesinde, sonuç aşamasına getirilmesinde ve sonuçların değerlendirilmesinde hiçbir şekilde desteğini ve yardımlarını esirgemeyen, dökümhanede benimle birlikte kalarak numune üretmemde yardımcı olan değerli şefim Recep ATAN’a ve kıymetli dostum Döküm Mühendisi Eray Metin OKTAY’a ve Malzeme Mühendisi Murat CERAN’a teşekkür ederim.

Numune olarak üretilen fren disklerinin imalatı aşamasında yardımlarını esirgemeyen 2’nci Hava Bakım Fabrika Müdürlüğü’ndeki tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Çalışmamın başlangıcından bitiş anına kadar her anda yanımda olan aileme ve kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Birol ŞAHİN’e teşekkürü borç bilirim.

Haktan Murat GÜVEN

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Hassas Dökümle Üretilen Uçak Fren Disklerinin Isıl Optimizasyonu” başlıklı bu tezi, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim. 01/05/2023

Haktan Murat GÜVEN

Uyarı: Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

HASSAS DÖKÜMLE ÜRETİLEN UÇAK FREN DİSKLERİNİN ISIL OPTİMİZASYONU

Haktan Murat GÜVEN

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Birol ŞAHİN

Bu çalışmada çok diskli fren sistemlerinin hassas dökümü esnasında, özellikle soğuma sürecinde meydana gelen hataların, çeşitli analiz yöntemleriyle belirlenmesi ve üretimlerinin iyileştirmesi amaçlanmıştır. CASA uçağına ait fren disklerinin hassas dökümü esnasında meydana gelen hatalar değerlendirilerek kök neden analizi yapılmıştır. Bu değerlendirme neticesinde parça üzerinde çatlak ve çekinti boşlukları oluştuğu, bu hataların ise yönlü katılaşmanın sağlanamamasından kaynaklandığı saptanmıştır. Fren disklerinin dökümden sonraki katılaşmasının ısıl yönden daha kontrollü olabilmesi için soğuma süreci incelenmiş ve farklı salkım modelleri geliştirilmiştir. Çalışılan salkım modelleri, fren diski ham malzemesi olan 8620 çeliğı kullanılarak Nova Flow & Solid CV 4.3 analiz programıyla analiz edilmiştir. Daha sonra geliştirilen yeni salkım modellerine göre döküm yapılarak elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

2021, 119 sayfa

Anahtar Kelimeler: Analiz programı, Uçak fren diskleri, Hassas döküm

ABSTRACT

Thermal Optimization of Airplane Brake Discs Produced by Investment Casting

Haktan Murat GÜVEN

Recep Tayyip Erdogan University

Institute of Graduate Studies

Department of Mechanical Engineering

Master Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Birol ŞAHİN

In this study, it is aimed to determine the errors that occur during the investment casting of multi-disc brake systems, especially during the cooling process, with various analysis methods and to improve their production. Root cause analysis was performed by evaluating the errors that occurred during the investment casting of the brake discs of the CASA aircraft. As a result of this evaluation, it was determined that cracks and shrinkage porosities were formed on the part, and these errors were caused by the inability to provide directional solidification. In order to make the solidification of brake discs after casting to be more thermally controlled, the cooling process was examined and different cluster models were developed. The studied cluster models were analyzed with the Nova Flow & Solid CV 4.3 analysis program using 8620 steel, which is the raw material of the brake disc. Then, the results obtained by casting according to the new cluster models developed were compared with each other.

2021, 119 pages

Keywords: Analyze software, Aircraft brake discs, Investment casting

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ	II
ÖZET	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	XVI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Özeti	1
1.2.1. Uçağa Etki Eden Kuvvetler	1
1.2.2. Uçaklarda İniş Takımı.....	3
1.2.3. İniş Takımı Çeşitleri.....	5
1.2.3.1. Kuyruk Tekerleği Tipi İniş Takımı	5
1.2.3.2. Tandem Tipi İniş Takımı	6
1.2.3.3. Burundan Tekerlekli İniş Takımları	6
1.2.4. Uçaklarda Frenleme Sistemi.....	7
1.2.4.1. İtme Ters Çeviricileri (Thrust Reversers)	9
1.2.4.2. Hava Freni (Spoilers and Airbrake)	10
1.2.4.3. Normal Frenleme Sistemi.....	11
1.2.4.4. Kayma Önleyici (Anti Skid) Fren Sistemi	11
1.2.4.5. Park ve Uçuş Frenleri.....	12
1.2.4.6. Elektriksel Fren Sistemi	12

1.2.5. Hassas Döküm.....	13
1.2.5.1. Kalıp İmalatı	17
1.2.5.2. Mum Enjeksiyon.....	18
1.2.5.3. Salkım Asemblesi.....	19
1.2.5.4. Seramik Kabuk Oluşturma	20
1.2.5.5. Mum Giderme.....	24
1.2.5.6. Yakma ve Sinter.....	25
1.2.5.7. Döküm.....	26
1.2.5.8. Seramiğin Kırılması ve Parçaların Yolluktan Ayrılması	28
1.2.5.9. Isıl İşlem.....	28
1.2.5.10. Temizleme.....	31
1.2.6. Hassas Döküm Hataları	32
1.2.6.1. Döküm Süreksizliği.....	34
1.2.6.2. Kesme	35
1.2.6.3. Gaz.....	36
1.2.6.4. Gaz (Hava) Sıkışması.....	37
1.2.6.5. Cüruf.....	38
1.2.6.6. Sıcak Yırtılma	40
1.2.6.7. İnküzyon	41
1.2.6.8. Seramik İnküzyon.....	43
1.2.6.9. Seramik Kabuk Çatlamasından Kaynaklanan Metal Sızması	44
1.2.6.10. Kabuk Çatlağı, Finning (Fin=Dikey Kuyruk)	45
1.2.6.11. Metal Yürümemesi / Kalıp Dolmaması	46
1.2.6.12. İlk Kat Çıkıntısı (Şekil Değişikliği)	47
1.2.6.13. Fare Kuyruğu / Oksidasyon Çatlağı	48
1.2.6.14. Kabuk.....	50

1.2.6.15. Yollukta Çekme.....	51
1.2.6.16. Çekme (Yüzeyde)	53
1.2.6.17. Mum Akış Çizgisi.....	54
1.2.7. Isı Transferi.....	55
1.2.7.1. İletim (Kondüksiyon)	55
1.2.7.2. Taşınım (Konveksiyon)	57
1.2.7.3. Işınım (Radyasyon).....	58
1.2.8. Dökümde Metot Çalışması.....	60
1.2.9. CN-235 Uçağı ve Özellikleri.....	61
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	63
2.1. Materyal	63
2.1.1. CNC Freze	63
2.1.2. Enjeksiyon Kalıbı	63
2.1.3. Mum.....	64
2.1.3.1. Dolgu Mumları.....	64
2.1.3.2. Yolluk Mumları	64
2.1.3.3. Yapışkan Mumlar	64
2.1.4. Mum Enjeksiyon Presi	65
2.1.5. Seramik Çamuru	65
2.1.6. Seramik Çamur Tankı	65
2.1.7. Yağmurlama Tezgahı	65
2.1.8. Akışkan Yatak Tezgahı	66
2.1.9. Zahn Cup.....	66
2.1.10. İklimlendirme.....	67
2.1.11. Otoklav	67
2.1.12. Isıl İşlem Fırını.....	68

2.1.13. İndüksiyon Ocağı.....	68
2.1.14. Termokupl.....	68
2.1.15. Optik Emisyon Spektrometresi	68
2.1.16. Nova Cast Döküm Simülasyonu	69
2.2. Yöntem.....	72
3. BULGULAR.....	95
4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR	114
5. ÖNERİLER.....	116
KAYNAKLAR	117
ÖZGEÇMİŞ	119

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Uçağa Etki Eden Kuvvetler	2
Şekil 2. Bleriot Uçağı	3
Şekil 3. Uçak İniş Takımları URL-3, (2021).....	7
Şekil 4. Fren Diski Aşınma (Wear) İndikatörü.....	8
Şekil 5. Thrust Reversers Düzeneği	9
Şekil 6. Pivoting Door ve Bucket Door Uçak Üzerindeki Gösterimi.....	10
Şekil 7. Spoiler	11
Şekil 8. Hassas Döküm Seramiğine Döküm Anı.....	14
Şekil 9. Hassas Dökümün Stratejik Özellikleri	15
Şekil 10. Hassas Dökümün Aşamaları	17
Şekil 11. 5 Eksenli CNC Tezgahta İşlenen Mum Enjeksiyon Kalıbı.....	18
Şekil 12. Mum Enjeksiyon Presi	19
Şekil 13. Salkım ve Seramik Kalıp.....	19
Şekil 14. Seramik Çamur Tankı	23
Şekil 15. Hassas Dökümde Kullanılan Bir Otoklav	24
Şekil 16. Yakma ve Sinter Fırını	26
Şekil 17. Optik Emisyon Spektrometresi ve Dökümde Kullanılan Termokupl	27
Şekil 18. Hassas Dökümde Döküm Anı	28
Şekil 19. Demir Karbon Denge Diyagramı, Denge Koşullarında Çelik ve Dökme Demirlerde Oluşan Fazlar	30
Şekil 20. AISI 8620 Çeliklerine Ait CCT Diyagramı (N. I., Aronov, M. A., Ferguson, B. L., and Li, Z., 2012).....	31

Şekil 21. Döküm Süreksizliği (Soğuk Döküm)	34
Şekil 22. Kesme Hatası.....	35
Şekil 23. Gaz Hatası	36
Şekil 24. Gaz Sıkışması	38
Şekil 25. Cüruf Hatası	39
Şekil 26. Sıcak Yırtılma.....	40
Şekil 27. İnküzyon Hatası.....	42
Şekil 28. Seramik İnküzyon Hatası	43
Şekil 29. Seramik Kabuk Çatlamasından Kaynaklanan Metal Sızması	44
Şekil 30. Kabuk Çatlağı (Dikey Kuyruk) Hatası	45
Şekil 31. Metal Yürümemesi, Kalıp Dolmama Hatası	46
Şekil 32. İlk Kat Çıkıntısı (Şekil Değişikliği) Hatası	47
Şekil 33. Fare Kuyruğu (Oksidasyon Çatlağı) Hatası	49
Şekil 34. Kabuk Hatası	50
Şekil 35. Yollukta Çekme Hatası	52
Şekil 36. Yüzeyde Çekme Hatası	53
Şekil 37. Mum Akış Çizgisi Hatası	54
Şekil 38. Isı Transferi Tipleri	55
Şekil 39. CN 235 Uçağı.....	62
Şekil 40. Hazırlanan Salkım	72
Şekil 41. 1 Nolu Numunenin Mum, Salkım, Seramik Hali ve İşlendikten Sonraki Durumu	73
Şekil 42. Seramik Kabuk Oluşturma	74
Şekil 43. Yağmurlama İşlemi	75

Şekil 44. Yakma İşlemi	76
Şekil 45. Yakılma İşlemine Uğramış Seramiğin İç Yüzeyi.....	76
Şekil 46. Yakma İşlemine Uğramamış Seramiğin İç Yüzeyi.....	77
Şekil 47. Döküm İşlemi	77
Şekil 48. Döküm Sonrası Soğumaya Bırakılan Seramikler.....	78
Şekil 49. Döküm Sonrası Soğumuş Kalıpların Görünümü.....	79
Şekil 50. Seramiği Kırılan Salkımlar.....	79
Şekil 51. Parçaların Yolluktan Ayrılması.....	80
Şekil 52. Kademeli Soğutulan Numunede Oluşan Çatlak.....	82
Şekil 53. Program Başlangıç Ekranı.....	83
Şekil 54. Çizimin Ekrana Alınması	83
Şekil 55. Kabuk Oluşturma	84
Şekil 56. Kabuk Oluşturma Devamı.....	85
Şekil 57. Seramik Kalınlığının Belirlenmesi.....	85
Şekil 58. Seramik Oluşumu	86
Şekil 59. Mesh Kalitesinin Belirlenmesi	87
Şekil 60. Mesh Oluşturulması	87
Şekil 61. Mesh Sonrası Oluşan Ekran	88
Şekil 62. Malzemenin Belirlenmesi Ekranı.....	89
Şekil 63. Seramik Bilgilerinin Girilmesi	90
Şekil 64. Metal Bilgilerinin Girilmesi	90
Şekil 65. Atmosfer Bilgilerinin Girilmesi	91
Şekil 66. Kalıp Boşluğu Bilgilerinin Girilmesi	91
Şekil 67. Analiz Başlangıç Ekranı.....	92

Şekil 68. Analiz Başlangıcı	93
Şekil 69. Numune-2	93
Şekil 70. Numune-3	94
Şekil 71. Numune-1 Hata Yüzdeleri.....	95
Şekil 72. Katılaşma Anında Simülasyon	96
Şekil 73. 3D Shrinkage (Çekinti)	97
Şekil 74. Niyama	97
Şekil 75. Dökümü Yapılan Numunenin Sıcaklık-Zaman Değişimi	98
Şekil 76. Niyama, Sıcaklık, Termal Modül ve Çekinti Dörtlüsü	99
Şekil 77. Gözle Muayenede Görülen Çatlak	100
Şekil 78. NDT Aşamasında Görülen Çatlak.....	100
Şekil 79. Numune-2 Hata Yüzdeleri.....	101
Şekil 80. Katılaşma Anında Simülasyon	102
Şekil 81. Shrinkage (Çekinti)	102
Şekil 82. Niyama	103
Şekil 83. Dökümü Yapılan Numunenin Sıcaklık-Zaman Değişimi	103
Şekil 84. Termal Modül, Sıcaklık, Sıvı Faz, Çekinti Dörtlüsü.....	104
Şekil 85. Mikroçekinti	105
Şekil 86. Mikroçekinti Boşlukları	105
Şekil 87. Katılaşma Anında Simülasyon	106
Şekil 88. Shrinkage (Çekinti)	107
Şekil 89. Niyama	107
Şekil 90. Dökümü Yapılan Numunenin Sıcaklık-Zaman Değişimi	108
Şekil 91. Mesh, Sıcaklık, Sıvı Faz, Çekinti Dörtlüsü	108

Şekil 92. Kabul Kriterindeki Parçanın NDT'si	109
Şekil 93. TS EN 150 6508 Standartına Göre Yapılan Sertlik Testi	110
Şekil 94. Üretilen Numunelerin Çekme Testi Standartına Uyması Amacıyla Lazerde Kesilme Şekli.....	110
Şekil 95. Tornada İstenilen Ölçülere Getirilen Çekme Testi Numuneleri	111
Şekil 96. Numunelerin Fire Oranları	113



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Kum Çeşitleri ve Özellikleri (Özel, A., 2015).	21
Tablo 2. Yağmurlama Kum ve Tane Boyutları.....	23
Tablo 3. Döküm Süreksizliği Sebepleri ve Önerilen Yöntemler	35
Tablo 4. Kesme Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler	36
Tablo 5. Gaz Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler.....	37
Tablo 6. Gaz Sıkışması Sebepleri ve Önerilen Yöntemler	38
Tablo 8. Sıcak Yırtılma Sebepleri ve Önerilen Yöntemler	41
Tablo 9. İnküzyon Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler	42
Tablo 10. Seramik İnküzyon Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler.....	43
Tablo 11. Seramik Kabuk Çatlama Sebepleri ve Önerilen Yöntemler	44
Tablo 12. Kabuk Çatlağı (dikey kuyruk) Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler	45
Tablo 13. Metal Yürümemesi, Kalıp Dolmama Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler	46
Tablo 14. İlk Kat Çıkıntısı (Şekil Değişikliği) Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler	48
Tablo 15. Fare Kuyruğu (Oksidasyon Çatlağı) Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler	49
Tablo 16. Kabuk Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler.....	51
Tablo 17. Yollukta Çekme Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler	52
Tablo 18. Yüzeyde Çekme Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler (Kurul A., (1991)).	54
Tablo 19. Mum Akış Çizgisi Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler (Megep,2011).	55
Tablo 20. Viskozite Hesapları.....	67

Tablo 21. Numune 1 İçin Oluşan Hatalar	95
Tablo 22. Numune 2 İçin Oluşan Hatalar	100
Tablo 23. Numune 3 İçin Oluşan Hatalar	109
Tablo 24. Deney Sonuç Tablosu	111



SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Alan
a	Yüzeye Gelen Işınım
A _s	Yüzey Alanı
ASTM	American Society for Testing and Materials
C	Karbon
C°	Derece
CASA	Construcciones Aeronáuticas S.A
CCT	Continous Cooling Transformation
C _m	Kalıp Sabiti
Cr	Krom
Cu	Bakır
C _{vm}	Kontrol Hacim Yöntemi
h	Taşınım Isı Transferi Katsayısı
k	Isıl İletim Katsayısı
L	Uzaklık
m	Modül
Mn	Manganez
Mo	Molibden
n	Kinematik Viskozite
Ni	Nikel
σ	Stefan-Boltzmann Sabiti
P	Fosfor
Psı	Pounds Per Square Inch
Q	Isı
Ra	Aritmetik Ortalama Yüzey Pürüzlülük Sapması
RH	Relative Humidtry
Si	Silisyum
t	Akış Süresi, Kristallenme Zamanı
T _{1,2}	Isı Transferinin Ölçüleceği Yerdeki İki Farklı Sıcaklık
T _∞	Yüzeyden Uzaktaki Akışkanın Sıcaklığı

Ts	Yüzey Sıcaklığı
TST	Kalıp Tamamen Dolduktan Sonra Geçen Katılaşma Süresi(Dk)
TTT	Time Temperature Transformation
V	Hacim, Vanadyum
ε	Yüzey Yayıcılığı



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsanoğlunun uçuş arzusu, varlığını kavradığı andan itibaren başlamıştır. Havacılık insanlık tarihi kadar kökleri derin, insanlığı etkileme bakımından ise yalnız 100 yıllık bir geçmişe sahiptir (Yalçın, 2016).

Havacılığa olan ilginin artması ile birlikte uçakların insan yaşamı içerisindeki konumu da hayati önem taşımaya başlamıştır. İnsanlar seyahatlerinde çoğu zaman uçakları tercih etmektedir. Askeri alanda önemi oldukça fazla olan uçaklar, hava taşımacılığına olan ilginin artması sebebi ile sivil havacılıkta da önem kazanmıştır.

Havacılık sektörünün hızla gelişmesi ile birlikte hava taşıtları teknolojisi büyük aşamalar kat etmiştir. Başta hız olmak üzere, konfor ve güvenlik bu sektörün tercih edilme nedenleridir. Uçuş güvenliğinin en önemli unsurlarından biri de fren sistemleridir. Uçağın güvenli bir şekilde havalanabilmesi, havada kalabilmesi ne kadar önemli ise; uçağın güvenli bir biçimde piste teker koyarak inişini gerçekleştirmesi de bir o kadar önemlidir.

1.2. Literatür Özeti

1.2.1. Uçağa Etki Eden Kuvvetler

Uçuş esnasında bir uçağa temelde 4 farklı kuvvet etki eder. Aşağı yönlü ağırlık, yukarı yönlü kaldırma kuvveti, ileri yönde itme/çekme ve ters yönde geri sürüklenme.

İtme-Çekme (Thrust): Uçağın hareket edebilmesi için kaldırma kuvvetine gereksinim duyar. Kanadın etrafında hızı belli bir seviyenin üzerinde hava akımı geçmesine mütevellit kaldırma kuvveti oluşur. Uçağın hareket etmesini istediği yöne doğru getiren kuvvettir.

Geri sürüklenme (Drag): İtme kuvvetinin zıt doğrultusunda oluşan bir aerodinamik kuvvet olup uçak yüzeylerinin sürtünmesi, havanın yoğunluğu gibi faktörlerin sonucunda meydana gelmektedir (Megep, 2012). Hava taşıtının, hava akımına tepki olarak gösterdiği dirençtir.

Ağırlık (Gravity-Weight): Kaldırma kuvvetine ters yönde uygulanan kuvvettir. Dünyanın merkezine her zaman diktir. Normal yatay uçuşta kaldırma kuvveti ağırlığa eşittir. Fakat yatışlı keskin dönüşlerde ve yere dik yapılan dairesel akrobatik manevralarda (loop) yerçekimi ivmesi: G etkisi ile uçağa binen yük artar. Örneğin üç G'lik bir etki yaratan dönüşte, bir ton ağırlığındaki bir uçağın ağırlığı $3G \times 1 \text{ Ton} = 3 \text{ Ton}$ olur. Bu nedenle keskin dönüşlerde artan ağırlığa karşı kaldırma kuvveti arttırmak için ya hücum açısı arttırılır ya da motorların gücü arttırılır (Şahin, 1999).

Kaldırma kuvveti (Lift): Hava taşıtının havalanmasını sağlayan ve havada tutan kuvvete verilen isimdir. Bütün hava taşıtlarının kaldırma kuvveti kanatlarından sağlanır. Uçağın Bernoulli ilkesine uygun olarak tasarlanan kanatları sayesinde, hızı arttırarak basıncın düşmesini amaç edilmiş şekilde uzatılmış ve düzeltilmiş bir su damlasına benzer. Kanatlardaki dinamik ve statik basınç farkından oluşan bu kuvvet uçuş doğrultusuna 90°lik açıyla yukarı yönlü oluşur. Bir uçağa etki eden kuvvetler Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Uçağa Etki Eden Kuvvetler

1.2.2. Uçaklarda İniş Takımı

İlk iniş takımı Fransız Bleriot XI uçağında kullanılmıştır. Bu uçak ismini aldığı Fransız Lois Bleriot tarafından yapılmış ve 25 Temmuz 1909 yılında havalanarak Fransa'dan İngiltere'ye geçen ilk uçak olma özelliğini taşır. Çanakkale Savaşında Osmanlılar zamanında keşif uçağı olarak kullanılan Bleriot uçağı Şekil 2' de verilmiştir. (URL-1, 2021).



Şekil 2. Bleriot Uçağı

Bir hava taşıtında iniş takımı (landing gears) mekanik özelliklere sahip bir sistemdir. Bu sistem uçağın pistte kendi motor gücünü kullanarak pistte hareket etmesini (taksi yapması), kalkış yapmasını ve iniş hareketini tamamlamasını sağlayan en önemli sistemlerin başında gelir. İniş takımlarının farklı çeşitleri mevcuttur. Hava taşıtının havalanması veya iniş yapması gereken yüzeye göre; kayak, tekerlek veya kızak türleri bulunmaktadır.

Uçağın hangi iniş takımını kullanması gerektiği, üretici firma tarafından uçağın kullanım yeri, kullanılma sebebi, hangi tip pistlerde uçuş gerçekleştireceği gibi faktörlere bağlı olarak belirlenir. Pist, yol, gemi güvertesi gibi zemini katı olan yüzeylerde uçuş gerçekleştirecek hava taşıtları için iniş şok emici sistemlerle donatılmış tekerlekli iniş takımları kullanılır, günümüzdeki hava taşıtlarının birçoğu tekerlekli iniş takımlarına

sahiptir. Zemini karla kaplı veya suya iniş kalkış gerçekleştiren uçaklar da bulunmaktadır. Bu tipteki uçaklar kayaklı, kızaklı iniş takımlarına sahiptirler (URL-1, 2021).

Pervaneli uçaklar için pervanenin çekme kuvvetinden, jet uçaklarında ise doğrudan doğruya motorun tepkisinden faydalanılır. Uçağın zeminde yaptığı hareket kalkış yapacağı yere doğru durduğu yerden harekete geçmesi ve piste inişinden sonra durması gereken yere kadar gelmesinden ibarettir. Hava taşıtının bakım, revizyon gibi gereksinimleri sebebiyle hangar ile meydan arasındaki geliş gidişler için uçak çekiciler kullanılır.

Uçakların hem hafif hem de yerdeki hareketlerde yeteri kadar dengeli olabilmeleri için üç tekerlekli iniş takımı kullanılmaktadır. Bunlardan ikisi sağ ve sol taraflarda olmak üzere ana iniş takımları, biride uçağın burnunda veya kuyruk kısmında olan yardımcı iniş takımıdır. Ana iniş takımları esas yükleri taşımakta, yardımcı iniş takımları ise yerde uçağa yön vermeye yaramaktadır. Ayrıca iniş yüklerini taşımakta olan ana iniş takımına yardım etmektedir (URL-2, 2021).

Uçaklar kalkış esnasında hızlarını arttırırlar. Burunlarını göğe doğru döndürerek tırmanışa başlarlar. Bu tırmanış sırasında uçakta herhangi beklenmeyen duruma karşı iniş takımları bir süre daha açık kalabilir. İniş takımlarının açık kalması uçağın ivmelenmesine negatif etki eder. İniş takımlarının içeri alınma hızı bu nedenle önemlidir.

Uçak inişe geçip yerle temas ettiği anda hem düşey hem de yatay hız bileşenlerinin kinetik enerjisini taşımaktadır.

İnişte uçak pistin başına doğru belirli bir süzülüş açısı ile alçalma yapar; pilot uçağın hızını uçak tipine ve iniş şartlarına uygun olarak, minimum hızın %5 ila %10 kadar üstünde tutar; yere temastan evvel pilot uçağı yere paralel uçuş yapacak şekilde düzeltir ve mümkün olan en düşük düşey hız ile tekerlekleri yere değdirir. Bundan sonra pilot aerodinamik, motor ve tekerlek frenlerini kullanarak uçakla yerde emniyetle taksi yapacağı hıza düşürür ve uçağı durdurur.

Uçak yere temas ettikten durana kadar olan, yatay enerji aerodinamik, motor ve tekerlekler tarafından ısı enerjisine çevrilerek yutulurken, yere temas ettiği andaki düşey

enerji ise iniş takımlarının yayları, amortisörleri ve tekerlek tarafından ısı enerjisine dönüştürülerek yutulur (URL-3, 2021).

1.2.3. İniş Takımı Çeşitleri

Uçaklarda fren sistemleri, uçağı iniş kalkış esnasında gerektiğinde yavaşlatmanın yanında, uçağın park halinde emniyetli şekilde sabit pozisyonunun korunması ve dönüşler esnasında uçağın yönlendirilmesi görevlerini üstlenirler (Çeliktaş, 2009).

Günümüzde hava taşıtlarında 3 tip iniş takımı kullanılır.

- Kuyruk Tekerleği Tipi İniş Takımı (aynı zamanda geleneksel dişli olarak da bilinir)
- Tandem İniş Takımı
- Burundan Tekerli Tipi İniş Takımı

1.2.3.1. Kuyruk Tekerleği Tipi İniş Takımı

Kuyruk tekerleği tipi iniş takımına sahip uçakların kullanılma şekli genellikle zirai ilaçlama, eğitim ve eğlenceden ibarettir. Yapı bakımından hafif ve ekonomik olması nedeniyle tercih edilmektedir.

İniş esnasında taşıtın üç tekerleği de zemine temas ettiği an hücum açısı ve hücum açısına bağlı olarak taşıma kuvveti maksimuma çıkmakta, iniş hızı minimum değerde tutulabilmektedir. Bir motorlu hava taşıtlarının burun kısmında motor ve motor ile alakalı teçhizatlar ve aynı zamanda yakıt deposu olması sebebiyle bu tip uçaklara iniş takımı yerleştirmek zor olacağından kuyruk tekerleği tipi iniş takımı tercih edilmektedir.

Bu tipte olan uçaklarda pilot yeri net göremez bu nedenle emniyetli hareketi zorlaşır. Frenleme esnasında uçağın burun üzerine diklenme tehlikesi nedeniyle en yüksek seviyede frenleme yapılamaz.

1.2.3.2. Tandem Tipi İniş Takımı

İniş esnasında uçağın tekerine uygulanan gücü azaltmak amacıyla tekerlek sayısını fazlaştıırılarak kullanılan bir metottur. Uçağın kanat içine yerleştirilmesi uygun olmayan durumlarda, tekerlek sayısı arttırılarak uçak gövdesi içine arka arkaya yerleştirilir.

Uçağın ağırlığından veya iniş sırasındaki düşey hız etkisi ile tekerleklere gelen kuvvet, lastiklerin yerdeki taban izleri alanı ile lastik basıncının çarpımına eşit olacaktır. Uçak ağırlıkları ve boyutları arttıkça, önce tekerlek (lastik) boyutları, sonra lastik basınçları ve nihayet en son çare olarak da tekerlek adedi arttırılmıştır.

Lastik basıncının çok artırılması lastiğın yaylanım özelliğini azaltacağı gibi, frenleme ve gerekli yer sürtünmesini de ters olarak etkiler. Ayrıca tekerlek boyutları küçüldükçe jantlar ve dolayısı ile fren disk ve balata sürtünme alanları da küçülmekte, efektif frenleme sağlanamamaktadır.

1.2.3.3. Burundan Tekerlekli İniş Takımları

Kuyruktan tekerlekli iniş takımlarının olumsuz özellikleri burun tekerlekli iniş takımlarında düzeltilmiştir. Ayrıca, burun tekerleğinin pilot tarafından kumanda edilebilen bir direksiyonla çevrilebilmesi, uçağı yerde iyi ve emniyetle yön verilebilmesini sağlar URL-3, (2021).

İniş takımlarına ait görsel aşağıda Şekil 3’de belirtilmiştir.



Tandem



Kuyruktan Tekerli



Burundan Tekerli

Şekil 3. Uçak İniş Takımları URL-3, (2021).

1.2.4. Uçaklarda Frenleme Sistemi

Uçakların kullanım amaçlarına göre boyutları ve hızları farklılık gösterir. Günümüzde daha yüksek hızlarda ve daha fazla kapasiteli uçaklar üretilmektedir. Her üretilen uçak için frenleme tasarımları farklılık gösterir.

Frenleme sistemlerinin; zeminde uçağın istenilen alanda durdurulabilmesi, uçağın yönünün değiştirilmesi, yerle temastan (touch down) sonra hızının düşürülmesi ve havada tekerlek hareketlerinin denetlenebilmesi gibi görevleri vardır.

Genel manada frenleme sistemi; fren üniteleri, fren pedalları, kontrol valflerinden oluşmaktadır. Fren üniteleri frenleme sisteminin en önemli parçasıdır. Fren ünitelerini meydana getiren rotor ve stator diskleri ısıya dayanıklı farklı malzemelerden imal edilir. Sıcaklık değerlerinin istenilen limitlerde tutulması için sisteme göstergeler ve soğutma fanları eklenmiştir.

Uçaklarda tekli, çiftli ve karışık diskli, parçalı rotorlu veya genişleyen tüp tipli şekilleri bulunur. Bu diskler, hidrolik pistonlar ve geri dönüş yayları ile çalıştırılır. Çalışma sırasında diskler aşınır. Bu aşınmalar Şekil 4'te görülen aşınma indikatörü (wear indikatör) sayesinde belirlenir aşınma oluşukça indikatöründe boyu kısalır.



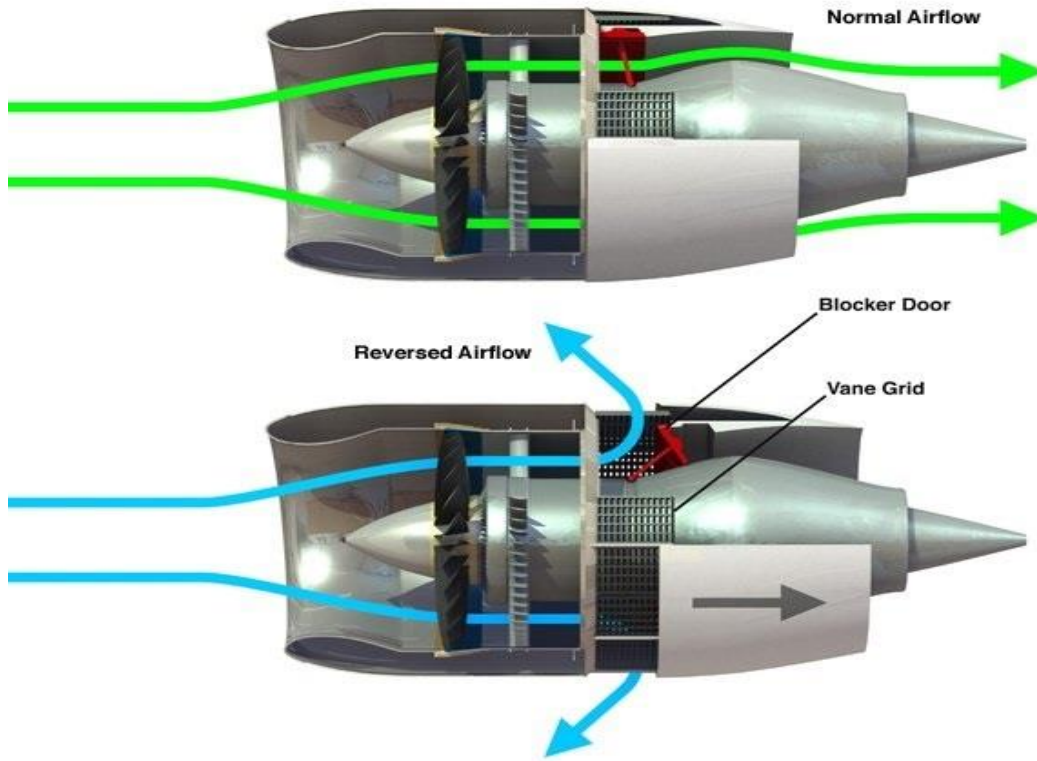
Şekil 4. Fren Diski Aşınma (Wear) Indikatörü

Fren kontrol valfinin amacı, uygulanan güç ile hidrolik sistem basıncının yönlendirilmesidir. Bu valfler genellikle kayar tiptir ve frenlemede modülasyon sağlar. Genel olarak uçaklarda kullanılan fren tipleri; normal fren (normal brake), elektriksel fren, thrust reversers (uçuş motorlarının itiş yönün tersine çevirme), kayma önleme freni

(anti skid brake), otomatik fren (auto brake), park freni (park brake), uçuş freni (in flight brake) ve acil frendir (emergency brake) (Megep, 2012).

1.2.4.1. İtme Ters Çeviricileri (Thrust Reversers)

Uçağının motorunun oluşturduğu itme gücünü iniş sırasında tersi istikamette çevirerek hızını azaltıcı etki yaparlar. Sürtünme katsayısının düşük olduğu anlarda (karlı ve buzlu havalarda) daha çok tercih edilirler. Frenleme mesafesini azaltıcı etkisi vardır. İtme ters çeviricileri (thrust reversers), uçağın hareketine karşı bir sürtünme kuvveti oluşturmak için egzoz gazlarının yönünün tersine çevrilmesi veya pervane eğiminin değiştirilmesi prensibi üzerinde çalışır. Şekil 5’de Thrust Reversers düzeneği, Şekil 6’da ise Pivoting Door ve Bucket Door Uçak Üzerindeki Gösterimi verilmiştir.



Şekil 5. Thrust Reversers Düzeneği



Şekil 6. Pivoting Door ve Bucket Door Uçak Üzerindeki Gösterimi

1.2.4.2. Hava Freni (Spoilers and Airbrake)

Uçaklar üzerindeki kaldırma kuvvetini hafifletmek amacıyla kullanılan kontrol yüzeyine spoiler denir. Genellikle kanadın üst yüzeyine yerleştirilen, dikey ekseninde hareket ederek kanadın ilgili kısmındaki hava akınını engelleyen cihazlardır. Uçağın ağırlığı kanatlardan alt şasiye iletir. Böylece fren kolaylığı sağlanır. Şekil 7’de uçak kanadındaki spoiler görülmektedir.

Pilotun uçak yerde iken hareketini kolaylaştırmak içinde spoiler kullanılır. Pilot kontrol tekerleğini sağa hareket ettirdiğinde, sağ kanat spoileri uzar ve sağ kanadın yukarı yönde hareketi engellenir. Uçak daha sonra sağa döner. Aynı olayı tam tersi içinde uygulandığında uçak sola döner. Spoiler yani bazı teknik arızalardan veya herhangi bir nedenden ötürü bir uçağın kalkışının iptalinde de kullanılır.



Şekil 7. Spoiler

1.2.4.3. Normal Frenleme Sistemi

Pilotun kokpitte bulunan pedallara basması sonucu hidrolik sistemin devreye girmesiyle birlikte, tekerlerdeki disklerin sıkıştırılması sistemidir. Hidrolik sıvısı pistonların ileriye doğru itişini gerçekleştirir. Pistonlar rotor içerisindeki birden fazla diski baskılayarak sürtünme sonucu frenleme işlemini gerçekleştirir (Açın, 2019).

Normal frenleme sisteminde kullanılan fren diskleri karbon alaşımlı malzemelerden olmalıdır. Frenleme esnasında kısa sürede çok büyük bir yükü durdurması beklenen bu diskler, bir anda çok yüksek sıcaklıklara çıkar. Normal metallere göre hem aşınma hem de dayanım yönünden bu sıcaklıklara karşı koyabilmesi için karbon miktarının artırılması gerekir.

1.2.4.4. Kayma Önleyici (Anti Skid) Fren Sistemi

Frenleme esnasında tekerlerin kilitlenmesini engelleyen sistemdir. Otomobildeki abs fren sistemine de benzetilebilir. Frenleme esnasında tekerlerin kilitlenmesi

durumunda, tekerlekler bir tek kinetik sürtünme katsayısının etkisinde kalacağından dolayı yeteri kadar fren kuvveti uygulanamaz. Uçağın n taraftaki iniş takımlarında bulunan sensörler sayesinde hızı ölçülür. Ölçülen hız ana iniş takımının hızıyla karşılaştırılır. İkiisi arasındaki fark belli bir orandan daha aşağıda olursa fren yapan tekerlerdeki fren basıncı belirlenen fren katsayısına ulaşacak şekilde azaltılır.

1.2.4.5. Park ve Uçuş Frenleri

Uçağın park pozisyonundayken tekerleri kilitleyip hareketini engelleyen fren sistemine park freni denir. Bu yönden otomobillerdeki el frenine benzetebiliriz. Motor çalışır vaziyette uçağın hafıf ve ağır bakımları ile testleri yapılırken park freni kullanılır.

Uçağın havalanması ile içeri alınan iniş takımlarındaki tekerlerin kilitlenmesini sağlayan frenleme sistemine uçuş freni adı verilir. Uçuş esnasında istenmeyen bir durumla karşılaşmamak adına iniş takımları aılana kadar bu frenleme sistemiyle tekerlerin hareketi önlenir.

1.2.4.6. Elektriksel Fren Sistemi

Hidrolik frenleme sisteminde yağların sızıntısından kaynaklanan olumsuzluklar nedeniyle elektrikli fren sistemleri geliştirilmiştir. Bu frenleme sisteminde hidrolik sistemler yerine elektromekanik sistemler kullanılmaktadır. Pilotun kokpitten gönderdiği elektromekanik sinyaller ile ana iniş takımlarının olduğu bölgede bulunan kontrol kutusu bu sinyalleri toplayarak, fren disklerinin bağlı olduğu elektrik motorlarına gönderir. Elektrik motorlarının, fren diskleri üzerine uyguladığı kuvvet disklerin birbirine temas ederek sürtünmesini sağlar ve frenleme işlemi gerçekleşir.

1.2.5. Hassas Döküm

Döküm tarihinin büyük çoğunluğunda olduğu gibi öncelikle kum kalıplama ile başlamıştır. Bakır alaşımlarının erken üretiminin öncülüğünde, döküm endüstrisinin gelişimi de göze çarpan büyük bir gelişmeye sahip olmuştur. 19. yüzyılın ortalarına kadar dökme demir imalatı alternatifler kazanmış ve bu çeşitlenme modern döküm teknolojisine atılan adımların ilk tuğlalarını koymuştur. Yeni alaşımların dökümüne ihtiyaç duyuldukça kum dökümde kısıtlı kalmanın yetersizliğiyle beraber tarihin ilk zamanlarından beri daha ilkel yöntemlerle de olsa kullanılan kayıp mum tekniği bu günkü modern haline evrilmeye başlamıştır. Basınçlı dökümün gelişi her ne kadar hassas ölçü ve kompleks şekillerdeki döküm ihtiyacını karşılasa da aşınan metalik kalıplar ve her alaşımın bu yöntemle dökülememesi sebebiyle hassas dökümün modası geçmiş bir üretim metodu olmasının önüne geçmiş oldu (Beeley, P.R., and Smart, R.F. (1995).

Bu yöntemde harcanan bir mum modelin etrafı, oda sıcaklığında sertleşen ve süspansiyon durumunda bulunan seramik tozlardan oluşan sıvı çamur içerisine daldırma gerçekleştirilir. Akışkan yatak vasıtasıyla seramik kaplı ıslak yüzeye kuru refrakter taneleri püskürtülerek tutundurulur. Bu işlem yeterli kabuk kalınlığı elde edilinceye kadar ince taneli kumdan kaba taneli kuma olacak şekilde sırasıyla devam ettirilir. Aralardaki kuruma süresi de düşünüldüğünde oldukça zahmetli ve vakit harcatan bir prosestir. Kabuk kalınlığı genellikle 10 ile 15 mm arasında değişir. Model ise günümüz mühendislik uygulamalarında genellikle metal bir kalıp içerisine parafin mumu kullanılarak enjeksiyon presinde basılır. Bu mum model yolluklarla montelendikten sonra salkım oluşur.



Şekil 8. Hassas Döküm Seramiğine Döküm Anı

Bu salkım etrafı seramik ile kaplandıktan sonra genellikle otoklav adındaki basınç ve yüksek sıcaklık ile çalışan bir basınçlı kapta bekletilerek içindeki mum boşaltılır. Mum boşaltıldıktan sonra seramik kabuğun içerisinde bulunan kalıntılar dökümden sonra empüritelere sebep olacağından ötürü yakma işleminde yok edilir. Genellikle talaşlı imalatı zor ve maliyetli olan parçalar bu yöntemle üretilir, aynı zamanda diğer döküm yöntemlerine göre çok daha kaliteli yüzey pürüzlülüğü (1,6-3,2 Ra) elde edilerek sadece zımparalama işlemi yapılarak nete yakın biçimde döküm yapılmış olur. Büyük parçaların üretimi için ciddi yatırımlar gerektirmektedir. Şekil 8’de döküm anı görülmektedir.

Hassas döküm yöntemi modern döküm teknolojisinde anahtar rol oynar, kompleks geometrideki mühendislik parçalarının her türlü alaşımdan yüzdelik döküm toleransları ve kum döküme nazaran daha uygun yüzey pürüzlülükleri ham döküm haliyle imal edilebilmektedir (Sopcak, J.E.,1986).

Şekil 9’da da görüldüğü gibi hassas dökümde hassasiyet oluşabilmesi için şekil detayları, düşük tolerans ve yüzey pürüzlülüğünün minimum safhada olması gerekmektedir.



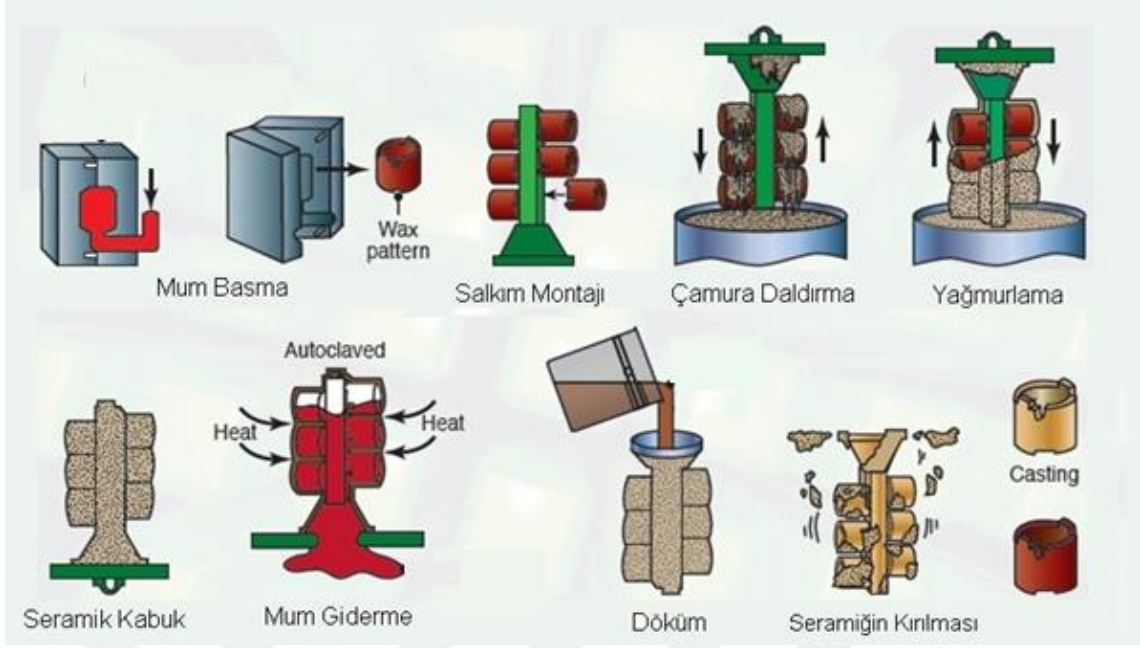
Şekil 9. Hassas Dökümün Stratejik Özellikleri

Öte yandan mala yüzeyi olmaması ve talaşlı imalat gereksiniminin diğer döküm yöntemlerine göre daha az olması sebebiyle döküm sonrası işlemlerdeki bu düşüş kompleks parça imalatında hassas dökümü daha ekonomik bir üretim yöntemi yapmaktadır. Aynı zamanda kalıbın geç soğuma hızı sebebiyle tane yapısındaki büyüme malzemeyi yüksek sıcaklıklarda daha mukavemetli kılmaktadır. Bunun bir sonucu olarak yüksek sıcaklıklarda çalışmasıyla ünlü olan Fe-Ni-Co bazlı süper alaşımların ve yüksek sıcaklıkta çalışan çeliklerin dökümü bu döküm prosesinde özellikle tercih edilmektedir (Fredriksson H., Akerlind U., 2006).

Tarihin en eski imalat yöntemlerinden biri olan hassas dökümün diğer bir adı da kayıp mum tekniğidir. Bu tekniğin adının kayıp mum yöntemi olmasının başlıca sebebi enjeksiyon kalıplarına enjeksiyon pres yöntemiyle mum basılmasının ardından yolluk-meme sistemine montajının ardından mum çevresine ince çamur ve kum kaplanarak seramik bir kabuk elde edilmesinin ardından bu mumun otoklav ya da ısıtılma işlemi fırını yardımıyla boşaltılmasıdır. Hassas dökümün en büyük dezavantajı yüksek yatırım maliyeti ve prosesin kapsamı gereği yüksek işçilik maliyetidir fakat daha önce de bahsedildiği üzere talaşlı imalatla harcanan adam-saat ve tezgâh maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda talaşlı imalata duyulan ihtiyacın azalması sebebiyle bu döküm metodu çok daha ekonomik olabilmektedir. Hassas döküm günümüzde kuyumculukta sıklıkla kullanılmakta olup havacılık, enerji ve sağlık (diş ve kalça implantları ağırlıklı olmak üzere) sektörlerinde de yoğunlukla kullanılmaktadır (Url-4, 2021).

Hassas döküm oldukça uzun ve işçilik maliyeti yüksek bir döküm yöntemi olduğu gibi gerekli ekipmanın sağlanması için belli bir yatırım maliyeti gerekmektedir. Proses aşamalarını Şekil 10’da belirtilmiş olup sırasıyla yazmak gerekirse;

1. Kalıp İmalatı
2. Mum enjeksiyon,
3. Salkım asemblesi,
4. Seramik kabuk oluşturma,
5. Yağmurlama,
6. Mum giderme,
7. Yakma ve sinter,
8. Döküm,
9. Seramiğin kırılması ve parçaların yolluktan ayrılması
10. Isıl işlem,
11. Temizleme,
12. Kalite Kontrol.



Şekil 10. Hassas Dökümün Aşamaları

1.2.5.1. Kalıp İmalatı

Hassas döküm yönteminde diğer döküm yöntemlerinden farklı olarak kalıp içerisine metal yerine döküm boşluğunu vermek üzere kaybolacak olan mum basılır. Bu mumun basılması esnasında kullanılacak kalıp, ortaya çıkacak işe ve alaşımına göre verilecek çekme payı ile birlikte nihai ölçülerini vermektedir. Bu sebeple hassas dökümde kullanılacak olan kalıbın işlenmesi esnasında genellikle 5 eksenli CNC tezgahlar kullanılmaktadır ya da dizayna göre çoklu memeler bulunur. Şekil 11’de 5 eksenli CNC tezgahında imal edilmekte olan kalıp, Şekil 12’de ise bu kalıba mum enjeksiyon presi makinesi gösterilmiştir. Enjeksiyon presinde kalıba mumu gönderecek çelik uca nozul ismi verilir. Ayrıca kalıptaki nozul girişinin devamında mumun kalıp boşluğuna doğru ilerlemesini sağlayan yolluk ve boşluğa gireceği hızı (dolayısıyla kalıp dolum hızını) belirleyen meme nozulun gireceği delik nozul çapının gireceği çapta olmakla beraber kalıbın yolluk ve meme kısımları mumun devamlı bir akış yaparak kalıbı en kısa sürede hatasız şekilde doldurmasına uygun olarak Bernoulli yasalarına uygun şekilde tasarlanmalıdır.



Şekil 11. 5 Eksenli CNC Tezgahta İşlenen Mum Enjeksiyon Kalıbı

1.2.5.2. Mum Enjeksiyon

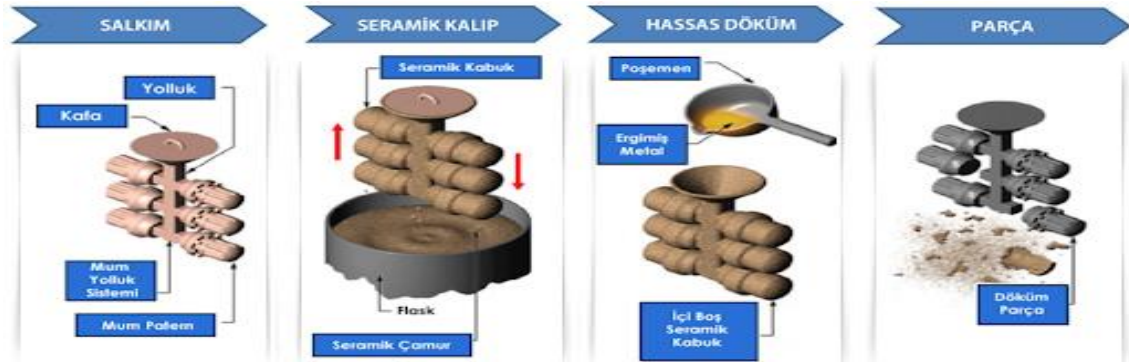
İmal edilen kalıbın ayırma yüzeyinde nozulun gireceği bir delik bulunur ve enjeksiyon pres kalıbın mum basımı sırasında oynamaması için tezgâhın yatay ya da dikey oluşuna göre yukarıdan ya da yandan kalıba basınç uygulanır. Kalıp prese bağlanıp ayrılmaması için yük verildikten sonra nozuldan ortalama 40 bar basınç ve 100-150°C sıcaklıkta mum gelecek şekilde saatler yardımıyla enjeksiyon presinin ayarları yapılır. Basılan mum sıcak olduğu için kalıp açıldıktan sonra suya atılır çünkü sıcak mumu deforme etmek oldukça kolaydır ve hassas dökümde genellikle ölçü hassasiyeti basınçlı döküm istisna olmak üzere diğer döküm yöntemlerinden yüksek olan işler dökülür. Sudan çıkarılan mumların, kalıp ayırma yüzeyi sebebiyle oluşan çapaklar sert bir cisim yardımıyla muma zarar vermektan kaçınılacak şekilde alınır. Ayrıca yolluk enjeksiyon presinde basılabildiği gibi, ölçülerinin üretilen parça kadar hassas olmaması sebebiyle kalıp içerisine dökülerek de üretilebilir.



Şekil 12. Mum Enjeksiyon Presi

1.2.5.3. Salkım Asemblisi

Basılan mumlar, 200 ile 500°C sıcaklık sağlayan ve lehim yapımından aşına olduğumuz havyalar yardımıyla meme ve yolluklara kaynatılır. Bu kaynatma işlemi bittiğinde ortaya çıkan ürün, Şekil 13'te gösterildiği gibi salkım olarak adlandırılır.



Şekil 13. Salkım ve Seramik Kalıp

1.2.5.4.Seramik Kabuk Oluşturma

Seramik kabuk oluşturma esnasında ilk adım yıkamadır. Yıkama yapılmasının en büyük nedeni mum yüzeyine seramik çamurunun tutunmasını kolaylaştırmaktır. Yıkamada tri klor etilen (C_2HCl_3) ve izopropil alkol (C_3H_7OH) kullanılmaktadır. Ardından salkım su ile durulanıp kuruyana kadar asılı olarak tutulur. Seramik kabuk oluşturma esnasında birincil seramik çamuru, ikincil seramik çamuru, ince kum ve kaba kum kullanılmaktadır. Yıkamadan sonra gelecek ilk adım birincil seramik çamuruna daldırma işlemidir. Birincil seramik çamurunun ikincil seramik çamurundan farkı kullanılan malzemenin daha ince taneli olmasıdır. Ölçü hassasiyeti, yüzey pürüzlülüğü ve seramik mukavemeti açısından seramik kalıp oluşturulurken seramik çamurunda kullanılan kum inceden kabaya doğru gitmelidir. Seramik çamuru dökülecek alaşımın türüne göre kum ve bağlayıcıdan oluşur. Bağlayıcı olarak genellikle çevreye ve insan sağlığına zararı olmaması sebebiyle kolloidal silika ve çelikler için zirkon kumu kullanılır (Bidwell, H.T., 1997).

Tablo 1. Kum Çeşitleri ve Özellikleri (Özel, A., 2015).

Bileşim %	Silis	Olivin	Kromit	Zirkon
SiO ₂	98.82	41.2	1.34	33.5
MgO	0.031	49.4	8.75	-
Cr ₂ O ₃	-	-	45.8	-
ZrO ₂	-	-	-	65
Al ₂ O ₃	0.049	1.8	21.34	1
Fe ₂ O ₃	0.019	7.1	19.50	0.03
CaO	0.0016	0.2	0.94	-
TiO ₂	0.012	-	0.03	0.19
Ergime Noktası	1710	1875	2093	2358
Özellikler	Silis	Olivin	Kromit	Zirkon
Renk	Beyaz/Kahve	Yeşil	Siyah	Beyaz
Özkütle	2.65-2.67	3.27-3.37	4.3-4.5	4.6-4.7
Bulk Density	95-97	96-103	156-165	152-183
Termal Genleşme	0.018	0.0083	0.0045	0.0037
Temp Reaction (pH)	Asidik	Bazik	Basık/Nötr	Biraz Asidik
Şekil	Çeşitli	Angular	Angular	Rounded

Tablo 1’de verildiği üzere gerek termal genleşmesi gerek yüksek ergime noktasına dayalı yüksek refrakterlik özelliği ve nötre yakın pH derecesi sayesinde tüm alaşımların dökülebilir oluşu sayesinde zirkon kumu hassas dökümde sıkça kullanılır. Çelik dökümde ergime sıcaklıkları sebebiyle zirkon kumu tercih edilir. Öte yandan bu yüksek sıcaklıklarda kalıpta ölçü değişimlerinin az olması gerektiğinden düşük termal genleşme katsayısı zirkonu hassas döküm için en iyi seramik kılmaktadır.

Demir alaşımları için zirkon çamuru kullanılır, ideal bir çamur içeriğinde ortalama 9-10 litre kolloidal silika, 3,5-4 litre saf su, 45 kg 200 mesh zirkon, 0,34 Fl oz ısıtıcı ve ihtiyaç duyulması halinde 6-12 ons köpük giderici. Bu şartlar altında çamur tankta

bekletilecekse günlük olarak yoğunluk, viskozite gibi testlerin düzenli yapılması gerekmektedir. Ortalama yoğunluk 2,7-2,75 g/cm³ olup, 4 numaralı Zahn kaptā viskozite testi 8-10 sn olmalıdır.

Demir dışı alaşımlar için genellikle molohit çamuru kullanılır, ideal bir çamur içeriğinde ortalama 3,5-4 litre kolloidal silika, 7,3 kg 200 mesh molohit, ihtiyaç duyulması halinde 6 köpük giderici. Bu şartlar altında çamur tankta bekletilecekse günlük olarak yoğunluk, viskozite gibi testlerin düzenli yapılması gerekmektedir. 4 numaralı Zahn kaptā viskozite testi 15-16 sn. olmalıdır.

Seramik kaplama işlemi sırasında hazırlanan salkımlar ilk kaplamaya ait hazırlanan uygun seramik çamurun içine yavaş ve kontrollü bir şekilde daldırılır ve hava kabarcıklarının gitmesi için çamur içinde döndürülür, eğer kabarcıklar gitmediyse hava üflenerek kabarcıklar patlatılmalıdır. Aksi takdirde kabarcık olan bölgelere çamur tutunmayacağından seramikteki devamsızlıklar kalıbın içerisine seramik düşmesi ve/veya kalıbın çatlaması gibi döküm hatalarına sebebiyet verebilmektedir. Özellikle döküm yüzeyini oluşturan ilk kat sırasında bu hususa önem gösterilmelidir. Salkım çamura daldırıldıktan sonra yavaşça kaldırılarak yukarı doğru tutulur ve çamurun tek bir yönde akarak szldğine emin olunmalıdır. İşlemden sonra eğer kabuk yüzeyinde düzensiz çıkıntılar var ise su ile yıkanıp durulandıktan sonra işlem tekrar edilmelidir. Salkımın daldırıldığı çamurun viskozitesi, yoğunluğu gibi özelliklerin stabil kalabilmesi amacıyla çamur merkez kaç kuvveti ve yer çekimi sebebiyle topaklanmayacağı bir devirde (tank çapına göre değişir) karıştırılmalıdır. şekil-14’de bu karıştırmanın PLC kontrollü ortamda sağlandığı bir seramik çamur tankı verilmiştir.



Şekil 14. Seramik Çamur Tankı

Seramik çamur kaplandıktan sonra akışkan yatak yardımıyla salkım etrafında boşluk kalmayacak şekilde kum ile kaplandığından emin olunmalıdır. Her bir kaplamadan sonra salkım özel bir odada asılarak bekletilmelidir. Bu odada düşük hava sirkülasyonu olmalı, 21-23°C oda sıcaklığı, %45-60 RH relatif nem miktarı bulunmalıdır. Aksi takdirde seramik çatlaması, geç kuruması ve çamurun bozulması gibi problemler meydana gelebilir. Tablo 2’de verildiği üzere primer çamurdan sonra ilk yağmurlamada çeliklere zirkon, demir dışı alaşımlara molohit kumu kullanılır ve tane boyutları tabloda verildiği gibidir.

Tablo 2. Yağmurlama Kum ve Tane Boyutları

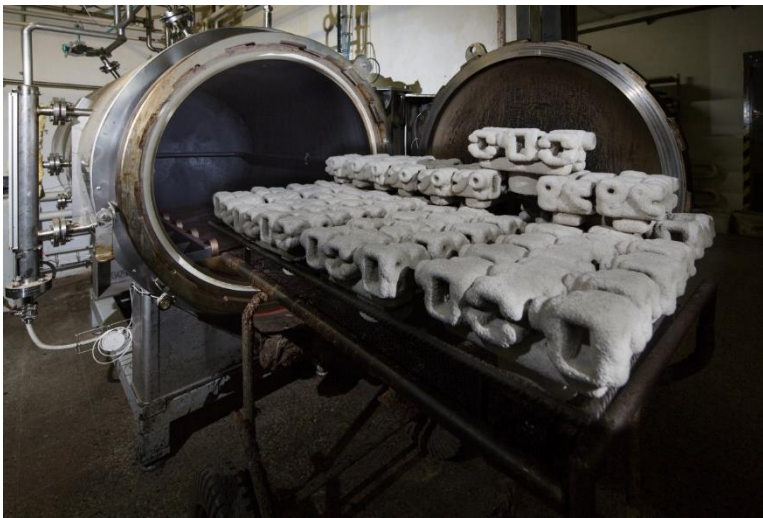
Sıra	Malzeme	Tane Boyutu
İlk yağmurlama		
a)Demir Alaşımları	Zirkon	30/50
b)Demir Dışı	Molohit	50/80
İkinci Kumlama	Molohit	30/80
Üçüncü Kumlama	Molohit	30/80 veya 16/30
Sonraki Katlar	Molohit	16/30

İlk kaplamadan ve yağmurlamadan sonra özel odada kalıp asılarak parça durumuna göre 8-24 saat düzgün ortam şartlarında kurutma yapılır, kuruduktan sonra 2. kat atılır ve 4-10 saat bekletilir. Bu bekletme 2 ve daha sonrasında gelen tüm katlar için 4-10 saattir. En son katta tekrar çamur atılarak sealing işlemi yapılır. Seramikte çatlak, kırık vb. küçük hatalar varsa çamura daha fazla molohit katılarak viskozitesi düşürülerek dolgu malzemesi hatalı bölgeye sürülür.

1.2.5.5. Mum Giderme

Otoklav, kendi kendini kilitleyen cihaz anlamına gelmektedir. İlk defa 1681 yılında Denis Papin tarafından üretimi gerçekleştirilen bu cihaz, mikrobiyoloji alanında kullanımı için 1880 yılında Charles Chamberland tarafından icat edilmiştir. Otoklav adı verilen cihaz, basınçlı buhar ile sterilizasyon işlemi uygulamaktadır.

Hassas dökümde mum giderme işlemi genellikle otoklavlar aracılığıyla yapılmaktadır. Hassas dökümde kullanılan otoklav, düdüklü tencerelerde olduğu gibi yüksek basınçlı buhar yardımıyla mumun daha kolay eriyerek seramiğin içinin boşaltılmasını sağlamaktadır.

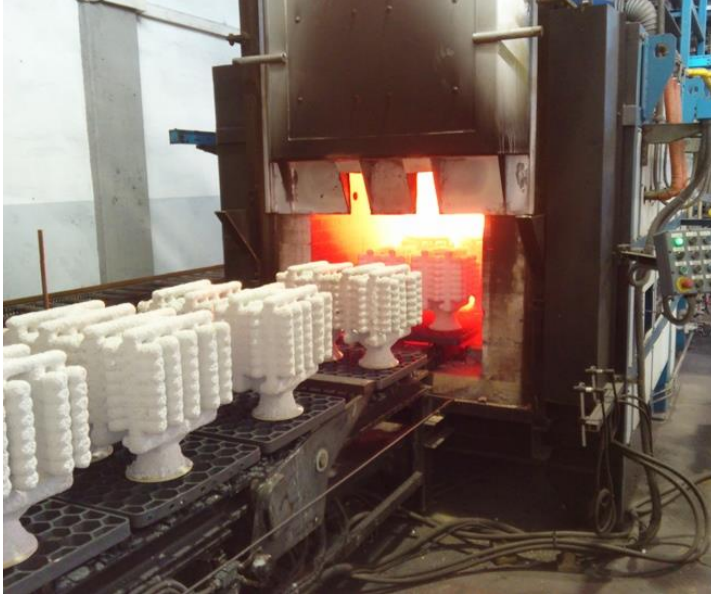


Şekil 15. Hassas Dökümde Kullanılan Bir Otoklav

Şekil 15’te de gösterildiği üzere bir sepet içerisine konulan seramikler yüksek buhar basıncının etkisiyle birbirine çarpıp çatlatmayacak şekilde yerleştirildikten sonra ortam 100-150°C sıcaklık ve 75-120 PSI basınca çıkartılır ve mum seramiğin yüzeyinden eritilerek kaldırılarak bir hazne aracılığıyla tekrar yollukta kullanılmak üzere biriktirilir. Bu işlem yapılırken seramikler mumun akıp gitmesi için sepet içerisine ters yüz yerleştirilir. Parça geometrisine göre bazı seramik kabuklar çatlamaya daha müsaittir. Bu sebeple termal gerilmelerden kaçınmak amacıyla daha sonra kapatılmak şartıyla seramik kabuklar üzerine gerilim azaltıcı bir etki olarak matkap yardımıyla delikler açılabilmektedir.

1.2.5.6. Yakma ve Sinter

Otoklav işleminden sonra seramikler ısıtma işlemi için Şekil 16’da gösterildiği gibi yakma ve sinter işlemleri yapılır. Bunun sebebi seramiğin içerisinde bulunan nem miktarının azaltılarak gaz hatalarının döküm boşluğu olarak karşımıza çıkmaması ve seramik kabuk içerisinde otoklavda giderilemeyen mum artıklarını yakmaktır. Seramik, çelik döküm için 800-1100°C sıcaklıkta 30 dakika ile 2 saat arasında tutulur. Bu işlem yapılırken seramik kalıplar ters çevrilerek kademeli olarak ısıtılır. Seramik kalıpların ters çevrilmesinin sebebi yakma sırasında oluşan küllerin seramik kalıp içerisinde kalarak dökümde empürite oluşmasının önüne geçilmesidir. Ayrıca kalıplar kademeli olarak ısıtılır çünkü seramikler termal gerilmelerden kaynaklı olarak çatlamaya çok müsait malzemelerdir. Bunun önüne geçilmesi için seramik kabuklar lineer olacak şekilde kademeli olarak ısıtılır.



Şekil 16. Yakma ve Sinter Fırını

1.2.5.7. Döküm

Seramik kabuklar, sıvı metalin uğratacağı termal gerilmelerden dolayı çatlamaması için sıcak bir şekilde fırından alınıp kum zemin üzerine dengeli duracak şekilde yerleştirildikten sonra sıcak seramik kabuk içerisine döküm yapılır. Döküm yapmak için metalin indüksiyon ocağında ergitilerek katı halden sıvı hale geçmesi için büyük bir enerji verilmesi gerekir. Bu ergitme işlemi günümüzde dökümhanelerde genellikle indüksiyon ocaklarında gerçekleştirilir. İndüksiyon ocağının çalışma prensibi ocak astarının etrafını saran büyük bobinler aracılığıyla manyetik alan oluşturarak girdap akımlarının da etkisiyle metal üzerinde direnç oluşturarak metalin ısınması ve bu manyetik alan sayesinde sıvı metal içerisinde oluşan girdaplar sayesinde sıcaklık ve kimyasal analiz bakımından homojen bir karışım elde edilmesine dayanır. Parçanın et kalınlığına ve alaşım elementi miktarına göre döküm sıcaklığı belirlenir. Döküm sıcaklığının belirlenmesinde kullanılan ve Şekil 17’de görülen termokuplların çalışma prensibi birbirinden farklı malzemelerden oluşan tellerin aynı metale daldırıldığında sıcaklıktan kaynaklı olarak oluşan uzama farkının ölçülmesi ve bu farktan yola çıkarak sıvı metalin sıcaklığının tayin edilmesine dayanır.

Ocaktaki sıvı metal optik emisyon spektrometresinde ölçülen numune sonucu uygun analize gelene kadar ölçüm yapılır. Optik emisyon spektrometreleri numunenin argon tüpü vasıtasıyla kontrollü bir ortamda numunenin oksijen gibi gazlarla etkileşime girmesinin önlenerek yakıldığı ve yakmalar sonucunda sensörlerin metalin içeriğinde yüzde olarak hangi elementten ne kadar olduğunu ölçüldüğü cihazlardır.



Şekil 17. Optik Emisyon Spektrometresi ve Dökümde Kullanılan Termokupl

Ölçüm esnasında spektrometrenin kalibre olması büyük önem teşkil eder. Kalibrasyon için demir matrisli numune blokları kullanılarak yakma işlemi gerçekleştirilir. Bu yakmalar sonucunda okunan değerlere göre spektrometrenin kullandığı yazılım cihazı ölçüm sonuçlarına göre kalibre eder. Cihaz kalibre edildikten sonra çıkan sonuçlara göre gerekli ferro alyajlar (FeX) aynı şekilde sıcaklık ölçümü yapılacak olan termokupl da kalibre olmalıdır. Çelikler için ortalama döküm sıcaklığı parçanın kesatine ve analizine bağlı olarak 1580-1650°C'dir. Çeliklerde gaz giderici olarak pota tabanına alüminyum ve CaSi (Kalsiyum Silisyum) konularak gaz giderme işlemi uygulanır. Döküm esnasında akışın devamlı olmaması soğuk birleşme, gaz, cüruf gibi hatalara sebep olacağından ötürü döküm hızının kesiksiz olmayacak ve kalıbı en hızlı şekilde dolduracağı şekilde ayarlanması gerekir. Şekil 18'de bir döküm anı verilmiştir.



Şekil 18. Hassas Dökümde Döküm Anı

1.2.5.8.Seramiğin Kırılması ve Parçaların Yolluktan Ayrılması

Döküm yapıldıktan sonra metal kontrollü bir şekilde soğutulur ve seramik kabuklar kırılarak dökülen metal formu kabuktan ayrıştırılır. Seramik kabuğun kırılması esnasında kabuğa yük ve darbeler uygulanmalıdır, bu sebeple sıcak metalin plastik deformasyona uğraması daha kolay olduğundan dökümün tamamen ya da kısmi olarak (çelik döküm için 100 °C) soğuması gerekmektedir. Hassas dökümde genellikle ince kesitli ve hassas ölçülü parçalar döküldüğünden bu husus daha büyük önem taşır. Seramik kırıldıktan sonra dökülen salkımın yollukları ve meme kısımları parçadan ayrılmalıdır, bu sebeple parçaya zarar vermeden kesilmesi gerekmektedir (Aran, A., 2005).

1.2.5.9.İsil İşlem

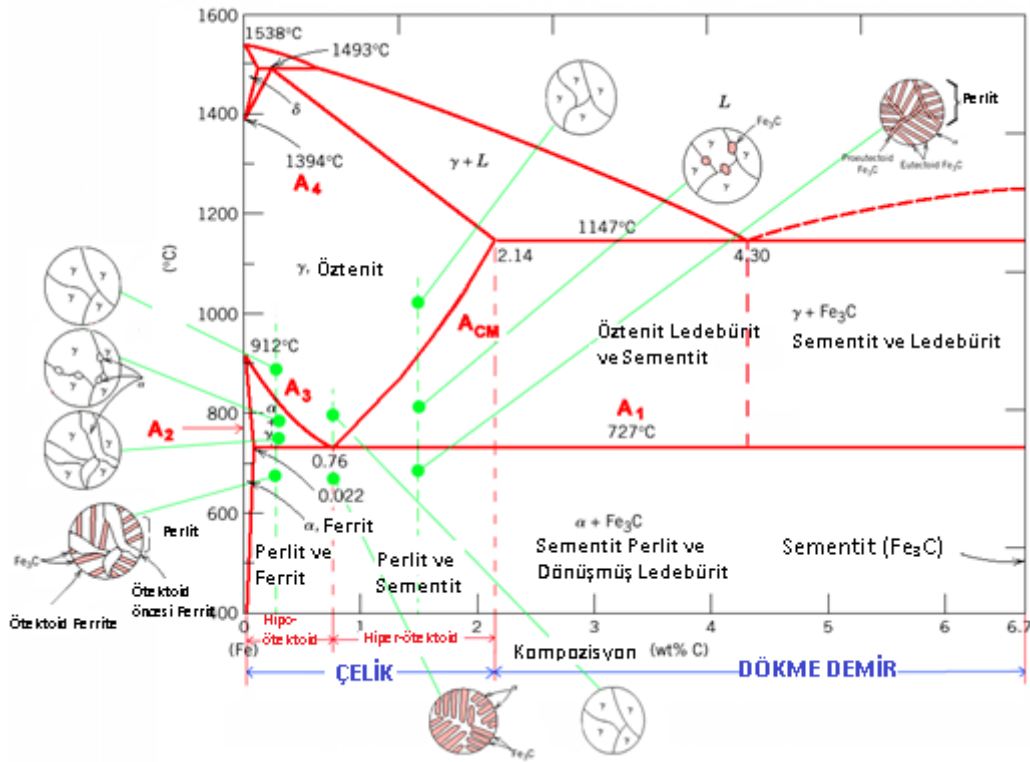
Parçalar ihtiyaç duyulan mekanik özellikleri ve kimyasal analizine göre uygun ısıt işlemlere tabi tutulur. Çelikler için yapılan ısıt işlemleri özetlemek gerekirse;

1. Gerilim Giderme Tavı (Stress Relieving)
2. Normalize Tavı (Normalizing)
3. Su Verme İşlemi (Quenching)
4. Menevişleme (Tempering)
5. Sementasyon (Yüzey Sertleştirme)
6. Tavlama.

Isıl işlem yapılacak parça TTT (Zaman-Sıcaklık-Faz değişimi), CCT (Devamlı Soğuma Faz Değişimi), demir-karbon diyagramlarından yararlanarak elde edilecek faza göre sertlik, akma, çekme dayanımı ve tokluk değerlerini alır. Yani kısacası mekanik özellikleri etkileyen parametreler malzemenin soğuma hızına göre değişen tane yapısı ve faz miktarıdır. Çeliklere sertlik ve mukavemet vermek amacıyla yapılan ısıl işlemlerde öncelikle östenit fazının görüldüğü sıcaklıklara çıkılarak daha sonra elde edilmesi istenilen faz ve faz yüzdesine göre soğuma hızı belirlenir. Malzeme ne kadar hızlı soğursa o kadar sert ve gevrek, ne kadar yavaş soğursa o kadar yumuşak ama sünek olur.

Çelikte temel olarak stabil halde bulunan fazlar yüksek mukavemetliden düşük mukavemetliye doğru aşağıda verilmiştir;

- a.) Martensit
- b.) Beynit
- c.) Perlit (Ferrit+Sementit)
- d.) Sementit
- e.) Ferrit



Şekil 19. Demir Karbon Denge Diyagramı, Denge Koşullarında Çelik ve Dökme Demirlerde Oluşan Fazlar

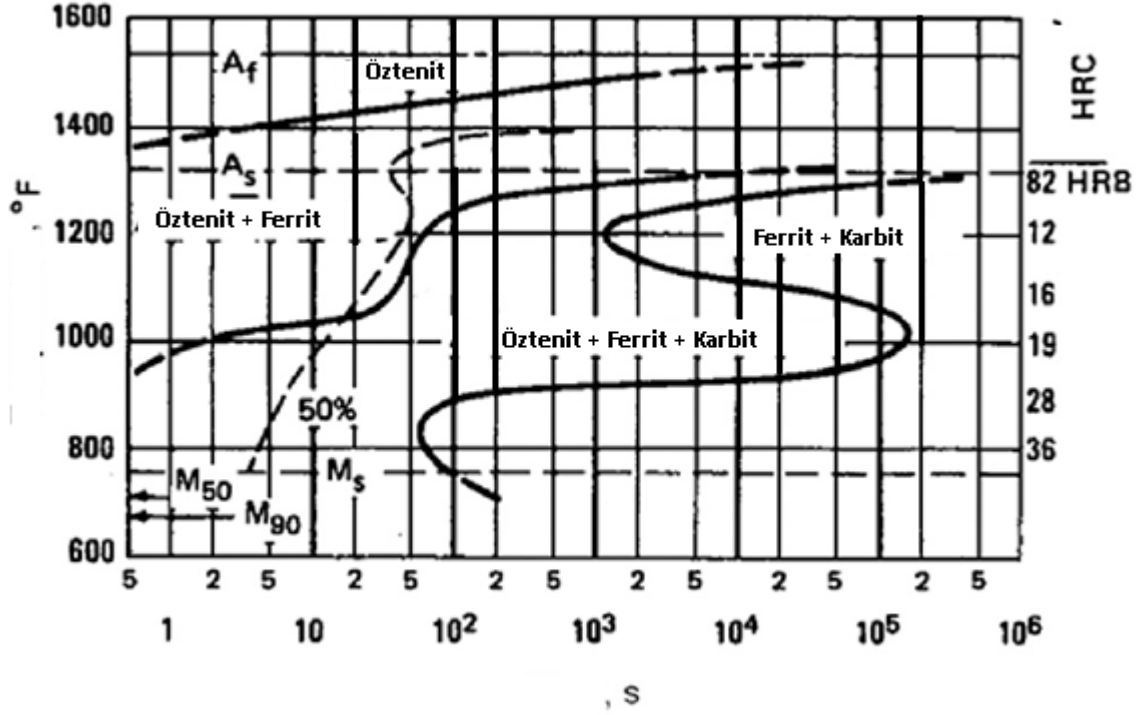
Şekil 19’da verilen diyagram demir karbon denge diyagramıdır ve oldukça yavaş bir soğuma eğrisini temsil eder. Aynı zamanda normal şartlarda çeliğin içerisinde bulunan diğer alaşım elementleri %C eşdeğer adı verilen bir eşitlikle temsil edilir. İlk olarak dökme demir için verilen denklem (1) ile hesaplanmıştır. Çelikler için yapılan hesaplama ise denklem (2) de verilmiştir.

$$\text{Dökme Demirler} \quad \%C_{(\text{Eşdeğer})} = \%C + \frac{(\%Si + \%P)}{3} \quad (1)$$

$$\text{Çelikler} \quad \%C_{(\text{Eşdeğer})} = \%C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr+Mo+V)}{5} + \frac{(Ni+Cu)}{15} \quad (2)$$

Yukarıda verilen karbon eşdeğerleri neticesinde Şekil 19’da verilen karbon değeri ve sıcaklığı için demir-çelik alaşımlarında denge koşullarında oluşan fazlar, erime sıcaklıkları ötektik ve ötektoid bölge tayin edilebilmektedir. Kısacası bu durum kum

döküm, hassas döküm, fırında soğutma gibi sadece soğumanın çok yavaş olduğu durumlarda geçerli olmaktadır. Daha hızlı soğuma eğrileri için Şekil 20’ de görülen CCT ve TTT diyagramları kullanılmaktadır (Savaşkan T., 2009).



Şekil 20. AISI 8620 Çeliklerine Ait CCT Diyagramı (N. I., Aronov, M. A., Ferguson, B. L., and Li, Z., 2012).

Yukarıda verilen AISI 8620 çeliklerine ait CCT diyagramında östenit sıcaklığına çıkarıldıktan sonra alaşımın soğuma hızına göre hangi faza dönüşeceğine ve ona göre ne kadar sertlik alacağı verilmiştir.

1.2.5.10. Temizleme

Döküm ve ısıtım sırasında yüksek sıcaklık sebebiyle malzeme yüzeyinde ince bir tufal tabakası oluşmaktadır. Bu tufal tabakasını kaldırmak için kumlama adı verilen parça üzerine sert cisimler püskürtme prensibine dayalı bir işlem uygulanır. Bu işlemin yapılması için askılı kumlama makineleri, elle kumlama makineleri, seyyar kumlama

makineleri gibi değişik tipte tezgahlar ve makineler bulunmaktadır. Günümüzde döküm teknolojisinde en çok kullanılan kumlama tezgâhları askılı tamburlu kumlama tezgahlarıdır ve genellikle çelikler için püskürtülen malzeme çelik bilye olmaktadır.

Yolluklar parçadan ayrıldıktan ve gerekiyorsa ısıtıl işlem yapıldıktan sonra memeden arta kalan kısımların zımparalanması gerekmektedir. Hassas dökümde zımpara kullanılmasının nedeni zımparanın taşlamaya göre çok daha ince bir yüzeyi olması ve bu sayede dar ölçü toleranslarında üretim yapılan hassas döküm yönteminde ölçü kontrol hatalarının önüne geçilmesidir. Ayrıca parça üzerindeki pozitif yönlü döküm hataları da zımpara ile giderilebilmektedir.

Gerekliyse en son olarak parça üzerinde hassas döküm toleranslarından daha fazla hassasiyet gerektiren ölçülerin, daha düşük pürüzlülük gerektiren yüzeylerin ve dökümden çıkması imkânsız ya da zor olan deliklerin açılması için talaşlı imalat kullanılmaktadır.

1.2.6. Hassas Döküm Hataları

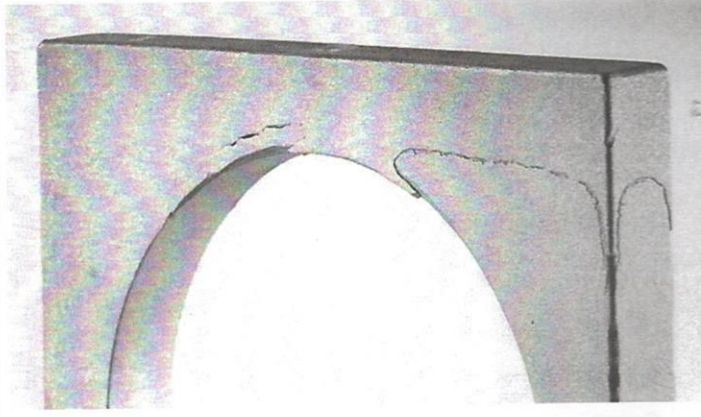
Döküm işlemlerinde kalite kontrol, döküm hatalarının önlenmesi faaliyetlerini ifade eder. Elbette döküm hatalarının önlenmesi hususunda makbul olanı döküm yapılmadan önce oluşabilecek hataların düşünülerek ona göre döküm metodu yapılarak daha önceden giderildiği durumlardır. Döküm hatası denildiği zaman anlaşılması gereken tek şey parçanın reddedilmesi değil üretim verimliliğini düşüren yani tekrar işleme gerektiren, fazla taşlama ya da temizleme getirmesi sebebiyle maliyeti arttıran her türlü döküm imalatı olmalıdır. Sorunları ortadan kaldırabilmek için problemi iyi teşhis edip çözüm önerilerinde bulunmak gerekmektedir. Önemle dikkat edilmesi gereken husus teşhis aşamasında kök nedenin doğruluk ve ivedilikle bulunması olmaktadır. Bunun sebebi kalite kontrol faaliyetlerinin en önemli noktasının kök neden analizi olmasıdır. Mantıken düşünüldüğünde hatanın asıl sebebi bilinmeden ona çözüm bulmaya çalışmak hiçbir netice vermemekte ya da sarf edilen efor ve iş gücü düşünüldüğünde verimli olmamaktadır. Problemin bulunması esnasında izlenilmesi gereken doğru metotta ilk olarak problem tanımlanır, ikinci olarak ise kanıtlar toplanır. Bu kanıtların toplanmasında kalite yönetim sistemlerinin temel gereklilikleri olan üretim takip formları çok önemli rol

oynar. Bu formlar sayesinde üretimin hangi şartlar altında gerçekleştiği dökümün yapıldığı günkü formdan rahatlıkla takip edilebilmektedir. Örneğin dökümün yapıldığı gündeki döküm sıcaklığı diğer günlere göre daha fazla olduğunda daha sonra değinilecek olan döküm hatalarından herhangi birine rastlanılabilmektedir. İstenilen şekil, doku ve ölçüde olmayan parçaya hatalı parça adı verilir. En sık görülen döküm hataları aşağıda sıralanmıştır:

1. Döküm Süreksizliği
2. Kesme
3. Gaz
4. Gaz (Hava Sıkışması)
5. Curuf
6. Sıcak Yırtılma(çatlak)
7. İnküzyon
8. Seramik İnküzyon
9. Seramik Kabuk Çatlamasından Kaynaklanan Metal Sızması
10. Kalıp Çatlaması, Finning
11. Metal Yürümemesi / Kalıp Dolmaması
12. İlk Kabuk Çatlağı
13. Fare Kuyruğu /Oksidasyon Çatlağı
14. Seramik Kabuk Çatlaması
15. Yollukta Çekme
16. Yüzeyde Çekme
17. Mum Akış Çizgisi

1.2.6.1.Döküm Süreksizliği

Hatanın Tanımı: İki veya daha fazla yöndeki metal akışının eş zamansız ve farklı yönlerde olmasından dolayı genelde yüzeyde oluşan Şekil 21’de de görünen doğru şeklindeki çizgi.



Şekil 21. Döküm Süreksizliği (Soğuk Döküm)

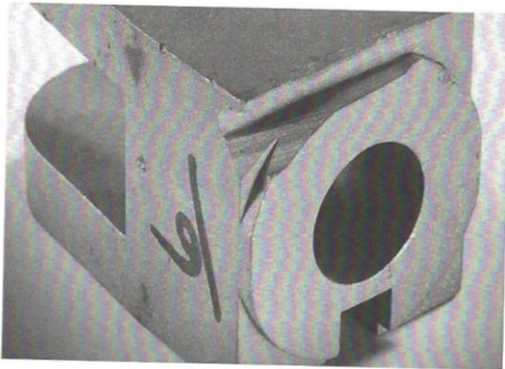
Döküm süreksizliğinin sebepleri ve süreksizliğin giderilmesi için önerilen yöntemler Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Döküm Süreksizliği Sebepleri ve Önerilen Yöntemler

SEBEPLERİ:	ÖNERİLEN YÖNTEMLER:
1. Düşük döküm sıcaklığı	1. Metal ve/veya kalıp sıcaklığını arttırılması
2. Yetersiz döküm pratiği	2. Basınç yüksekliğini ve/veya döküm hızının arttırılması (sıçramalardan kaçınılmalı)
3. Uygun olmayan yolluk sistemi	3. Kalıp doluluğunu arttırmak için yolluk sistemini geliştirilmesi
4. Düşük kabuk geçirgenliği	4. Kabuk geçirgenliği ve/veya vent (hava boşaltma) arttırılması
5. Artan yüzey gerilimlerinin büyük oksidasyonu	5. Vakum veya atmosfer altında kontrollü ergitme
6. Düşük metal akıcılığı	6. Akıcılığı arttırmak için alaşım kompozisyonun değiştirilmesi

1.2.6.2. Kesme

Hatanın Tanımı: Yolluk sistemi çıkartılırken aşındırma çarkının veya testerenin döküm parçadan metal koparması. Şekil 22’de görülmektedir.



Şekil 22. Kesme Hatası

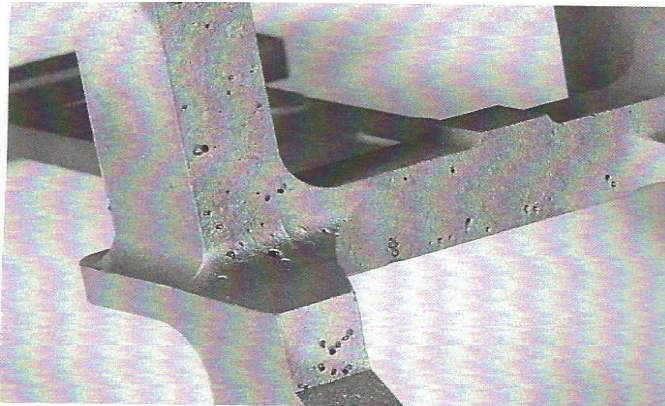
Kesme hatası sebepleri ve kesme hatalarının giderilmesi için önerilen yöntemler Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Kesme Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler

SEBEPLERİ:	ÖNERİLEN YÖNTEMLER:
1. Uygun olmayan salkım tasarımı	1. Döküm parçalar salkımdan, uzun yolluktan çıkartılırken, gerekli bıçak kalınlığı için yeterli boşluğun verildiğinden emin olunması
2. Aşınmış veya körleşmiş testere bıçakları (Testere ileri geri hareket edemez)	2. Aşındırma çarkları ve bıçaklardaki kesici uçların bakımının yapılması
3. Operatörün uygun sabitlememesi	3. Hata payının azaltılması ve iş güvenliğinin artması için sabitleme işlemini geliştirmek

1.2.6.3. Gaz

Hatanın Tanımı: Oksitlenme içeren veya içermeyen, genellikle spiral veya damla şeklinde oluşan boşluklar. Şekil 23’de bu hataya ait görsel verilmiştir.



Şekil 23. Gaz Hatası

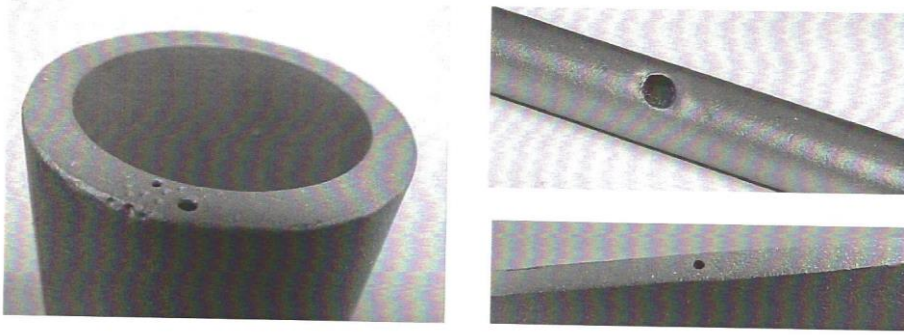
Gaz hatası sebepleri ve gaz hatalarının giderilmesi için önerilen yöntemler Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. Gaz Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler

SEBEPLERİ:	ÖNERİLEN YÖNTEMLER:
1. Uygun olmayan veya yetersiz deoksidasyon	1. Deoksidasyon tekniklerini arttırmak veya revize edilmesi
2. Uzun süre metalin yüksek sıcaklıklarda tutulması	2. Sıcaklıkla beraber zaman kontrolünün yapılması ve mümkün olduğu kadar düşük sıcaklıkta dökülmesi
3. Kirli, sulu, paslı malzeme şarjı, nemli kepçeler ve fırın astarları	3. Temiz malzeme şarjı. Nemin refrakter malzemelerden uzaklaştırıldığından emin olunması
4. Düşük kabuk geçirgenliği	4. Daha az kaplama yapılarak ve refrakter partiküllerin boyutları artırılarak gaz geçirgenliğinin artırılması
5. Uygun olmayan mum boşaltma (burnout)	5. Mum boşaltma süresinin uzatılması, otoklavda oksitleyici atmosferin artırılması, mum boşaltma sıcaklığının artırılması.

1.2.6.4. Gaz (Hava) Sıkışması

Hatanın Tanımı: Yuvarlak düz cidarlı boşluklar (Yüzeyde azca oksit şeklinde gözlenebilir). Şekil 24’te bu hata verilmiştir.



Şekil 24. Gaz Sıkışması

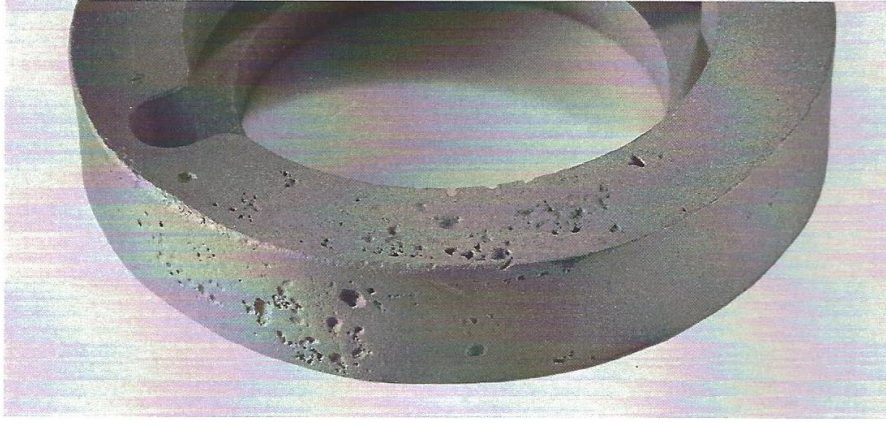
Gaz sıkışması hatası sebepleri ve gaz sıkışma hatalarının giderilmesi için önerilen yöntemler Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Gaz Sıkışması Sebepleri ve Önerilen Yöntemler

SEBEPLERİ:		ÖNERİLEN YÖNTEMLER:
1. Türbülanslı metal akışı		1. Pota ve kalıp arasındaki döküm yüksekliğinin azaltılması, türbülans azaltan yolluk tasarımının yapılması (kendi hava boşluğunu besleyen (ventilasyon) ve alt besleme sistemine sahip tasarımın yapılması)
2. Düşük kabuk geçirgenliği		2. Kaba taneli refrakter partiküllerinin kullanılması, daha az seramik kabuk ile kaplanması, döküm esnasında vakum kullanılması, düşey yolluk yüksekliğinin arttırılması

1.2.6.5. Cüruf

Hatanın Tanımı: Düzensiz ve asimetrik şeklinde kavite (boşluklar) topluluğu ve/veya düzensiz şekiller üreten refrakter partikülleri ve simetrik şekiller üreten gazlar. Şekil 25’de cüruf hatası gösterilmiştir.



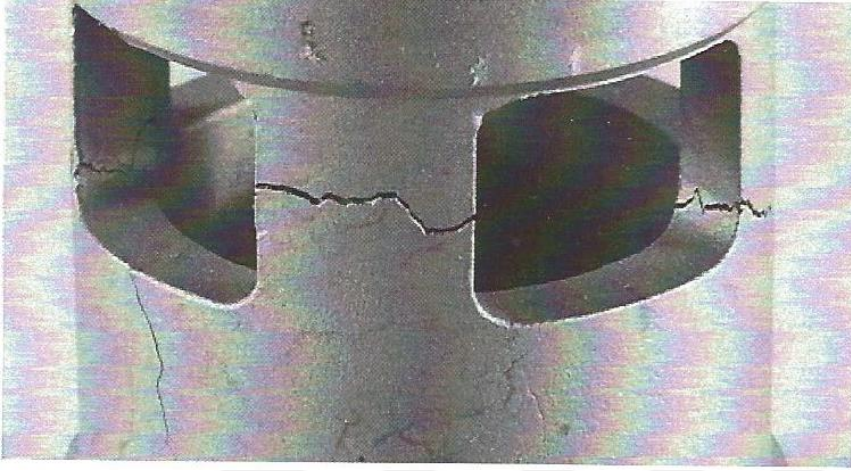
Şekil 25. Cüruf Hatası

Tablo 7. Cüruf Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler

SEBEPLERİ:	ÖNERİLEN YÖNTEMLER:
1. Uygun olmayan oksijen giderme	1. Deoksidasyon tekniğini revize etmek
2. Uzun süre metalin yüksek sıcaklıklarda tutulması	2. Zamanı azaltmak, mümkün olan en düşük sıcaklıkta döküm yapmak
3. Kirli, sulu, paslı malzeme şarjı, nemli kepçeler ve fırın astarları	3. Temiz malzeme şarjı, nemin refrakter malzemelerden uzaklaştırıldığından emin olunması
4. Ergitilen metal içindeki impüriteler (curuf, refrakterler, yüzeydeki pas)	4. Temiz ergimiş külçe kullanılmalı
5. Ocak kepçesinden, ocak ağzından ve kepçe ağzından oluşan refrakter partiküller	5. Kullanmadan önce ocak ve kepçede refrakter partiküllerin olmadığından emin olunması
6. Uygun olmayan curuf alma pratiği	6. Curuf çubuklarının yeterli miktarda sağlanması, eğitilmiş ocakçı, inklüzyonların azaltılması için seramik astar/filtrelerin kullanılması
7. Doğru olmayan deoksidasyon pratiği	7. Ergitme sıcaklığını ve yüksek sıcaklığı optimum seviyeye getirmek/azaltmak

1.2.6.6. Sıcak Yırtılma

Hatanın Tanımı: Oksitlenmiş ara yüzeyde gözlenen taneler arası çatlak. Şekil 26’da belirtilmiştir.



Şekil 26. Sıcak Yırtılma

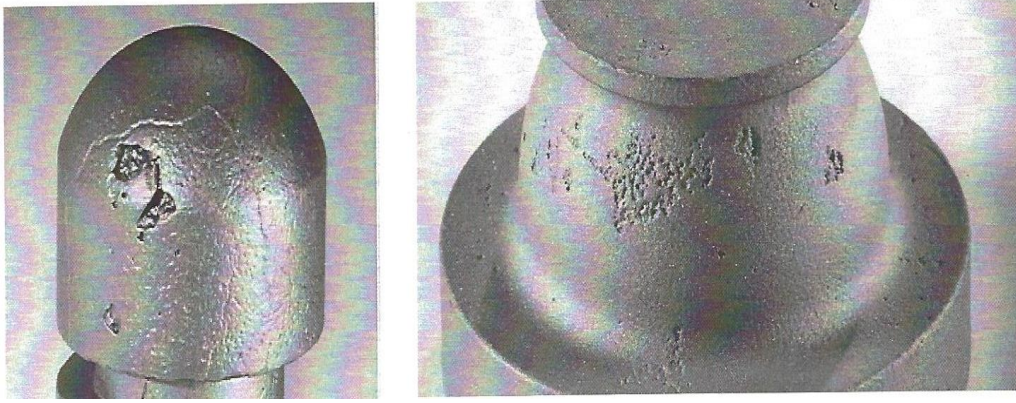
Sıcak Yırtılma hatası sebepleri ve sıcak yırtılma hatalarının giderilmesi için önerilen yöntemler Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Sıcak Yırtılma Sebepleri ve Önerilen Yöntemler

SEBEPLERİ:	ÖNERİLEN YÖNTEMLER:
1. Sınırlı yolluk	1. Değiştirilmiş yolluk sistemi
2. Aşırı yüksek dayanımlı kabuk	2. Kabuk dayanımının azaltılması (Katılaşma anında düşük direnç)
3. Keskin iç köşe	3. Bütün yarıçaplar çokça arttırılmalı
4. Kötü döküm tasarımı	4. İnce, kalın kesitler yok elimine edilmeli
5. Alaşımın katılaşmasından önce kabuğun hareketi	5. Seramik kalıbın hareket etmesinden önce katılaşma için yeterli zamanın verilmesi
6. Uygun olmayan metal veya kabuk sıcaklığı	6. Uygun sıcaklık belirlenmeli ve kontrol edilmeli
7. Dökümden sonra (katılaşma sırasında) hızlı soğutma	7. Yalıtıcı kalıplar ile soğutma oranının azaltılması
8. Uygun olmayan alaşım kompozisyonu	8. Alaşımın kompozisyonun değiştirilmesi

1.2.6.7. İnklüzyon

Hatanın Tanımı: Curuf veya refrakter kalıntıları içeren metalle karışmış yabancı maddelerin neden olduğu düzensiz boşluklardır. Şekil 27’de verilmiştir.



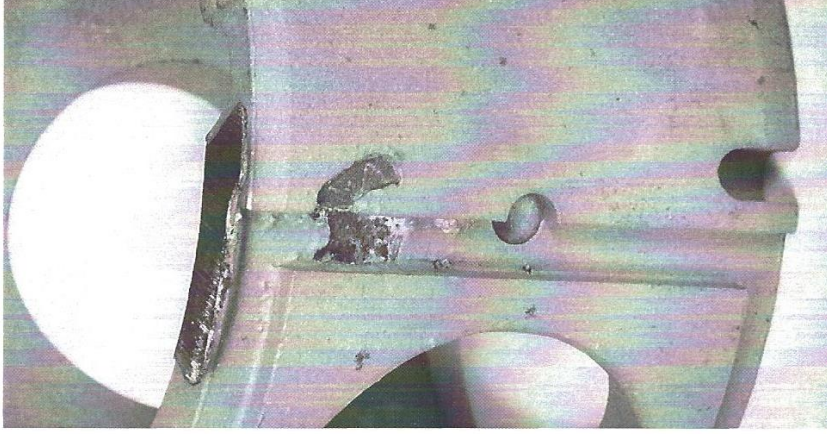
Şekil 27. İnküzyon Hatası

İnküzyon hatası sebepleri ve inküzyon hatalarının giderilmesi için önerilen yöntemler Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. İnküzyon Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler

SEBEPLERİ:	ÖNERİLEN YÖNTEMLER:
1. Kabuktaki kum/refrakter partiküller	1. Kabuğu dökümden önce temizlenmesi (vakumlama veya ters çevrilip boşaltılması)
2. Kirli ergimiş metal	2. Yüzeydeki kirliliklerin ve pasların alınması, yüzeydeki curuf ve kum kümelerinin kontrol edilmesi
3. Pota veya kepçedeki yabancı malzeme	3. Uygun refrakter kullanılması, kirliliklerden uzak tutulması (örn; iyi curuf alma pratiği)
4. Mum montaj aşamasında mum ve yolluk montajlarının kötü yapılması	4. Yanma ve çapak oluşumunu engellemek için mum montajlarının iyi yapılması
5. Ergimiş metalde kirli refrakter	5. Temiz ergitilmiş metal kullanılması
6. Döküm sırasında sıkışmış cüruf	6. Yeterli deoksidasyonun kullanılması ve curuf alma pratiği, türbülansı azaltan yolluk sisteminin tasarlanması, kepçe ağzında teopat kullanılması
Not: İnküzyon ile ilgili hataları azaltmak için seramik filtre kullanılmalı	

1.2.6.8. Seramik İnküzyon



Şekil 28. Seramik İnküzyon Hatası

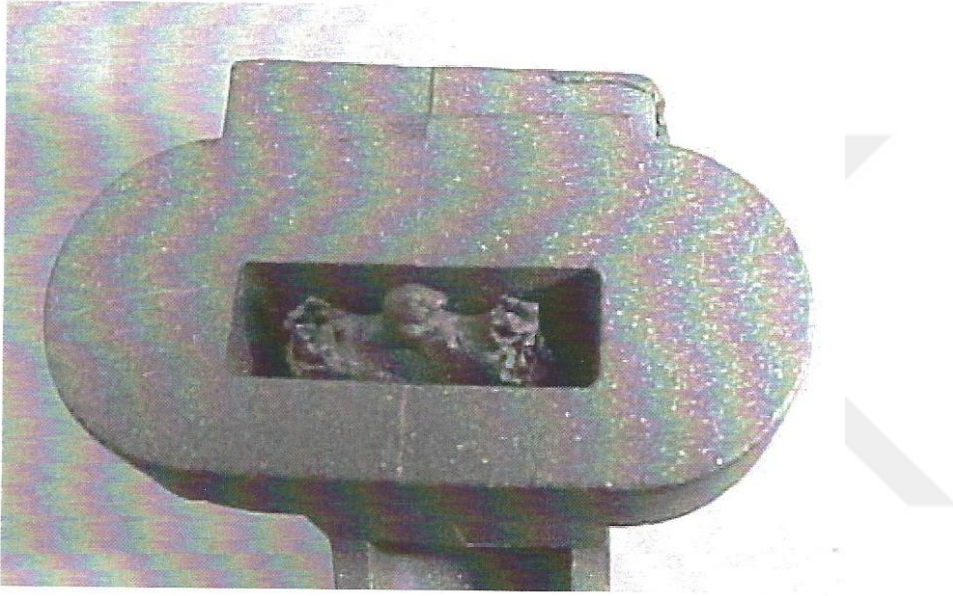
Seramik inküzyon hatası sebepleri ve seramik inküzyon hatalarının giderilmesi için önerilen yöntemler Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 10. Seramik İnküzyon Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler

SEBEPLERİ:	ÖNERİLEN YÖNTEMLER:
1. Kalıp, kabukta katman (genellikle ikincil katlar) refrakterler, kontrol edilmeyen kalıp proses koşulları	1. Uygun talimat ve kontrol ile uygun olmayan kalıp oluşturma tekniğinin doğrulanması ve gözlemlenmesi
2. Ergimiş metaldeki kirli refrakter	2. Ergimiş metalde refrakter olmadığından emin olunması
3. Ocağın sinterleme işleminin uygun olmaması ve kepçe ile refrakter aktarımı	3. Ergitmeden veya metal aktarımından önce ocakta veya kepçede refrakter olmadığından emin olunması

1.2.6.9. Seramik Kabuk Çatlamasından Kaynaklanan Metal Sızması

Hatanın Tanımı: Şekil 29’da da görüldüğü üzere genellikle düz kenarlarda seramik malzeme kalıntıları içeren tanımlanamayacak boyuttaki düzensiz şekiller ile kabuk çatlağının etrafında köşeli düzensiz şekiller.



Şekil 29. Seramik Kabuk Çatlamasından Kaynaklanan Metal Sızması

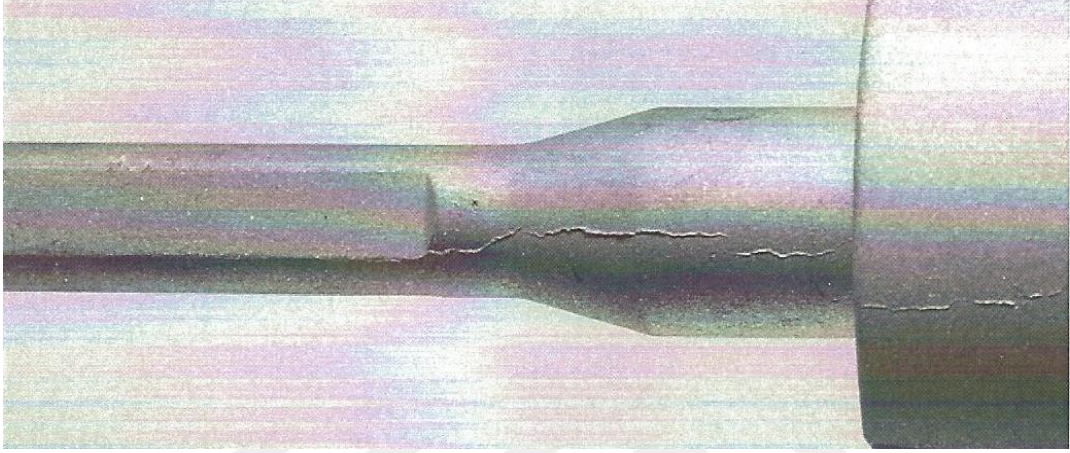
Seramik kabuk çatlamasından kaynaklanan metal sızması hatası sebepleri ve hatalarının giderilmesi için önerilen yöntemler Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11. Seramik Kabuk Çatlaması Sebepleri ve Önerilen Yöntemler

SEBEPLERİ:	ÖNERİLEN YÖNTEMLER:
1. Kalıp, kabuk katman refrakterler, kontrol edilmeyen kalıp proses koşulları	1. Uygun talimat ve önlemlerle uygun olmayan kalıp oluşturma tekniklerinin doğrulanması ve gözlemlenmesi

1.2.6.10. Kabuk Çatlağı, Finning (Fin=Dikey Kuyruk)

Hatanın Tanımı: Seramik kalıp çatlağının etrafındaki çizgiyi takip eden fazla metal Şekil 30’da da belirtilmiştir.



Şekil 30. Kabuk Çatlağı (Dikey Kuyruk) Hatası

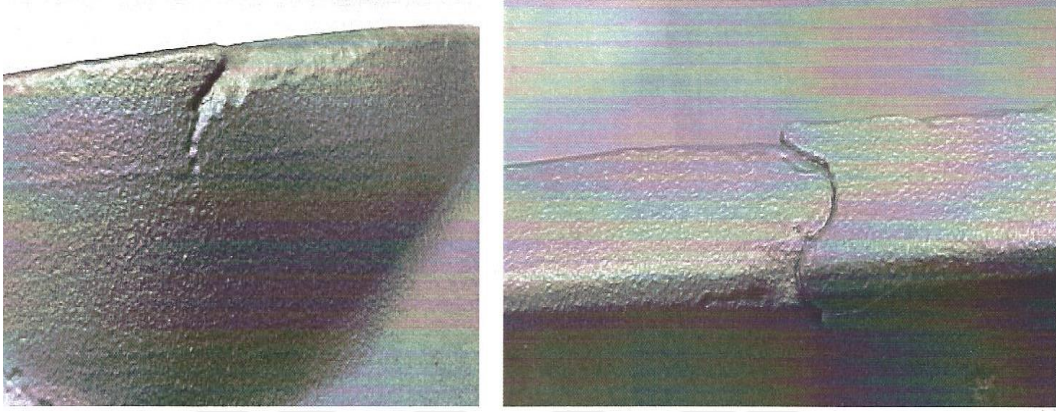
Dikey kuyruk hatası sebepleri ve hatalarının giderilmesi için önerilen yöntemler Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. Kabuk Çatlağı (dikey kuyruk) Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler

SEBEPLERİ:	ÖNERİLEN YÖNTEMLER:
1. Mum boşaltma prosesinde oluşan çatlaklar	1. Mum boşaltma metodunun geliştirilmesi
2. İlk kaplamanın kurutulması esnasında aşırı kurutulması	2. Kurutma oranının azaltılması (Seramik kabuk hataları atlasının referans alınması)
3. İlk ve daha sonraki kabuk kaplamalar arasındaki genleşme katsayısının farklı olması	3. Uyumlu refrakterlerin kullanılması
4. Düşük kabuk mukavemeti	4. Pişmemiş seramik kabuğunun mukavemetinin artırılması

1.2.6.11. Metal Yürümemesi / Kalıp Dolmaması

Hatanın Tanımı: Yuvarlak kenarlarda eksik döküm oluşması. Şekil 31’de gösterilmiştir.



Şekil 31. Metal Yürümemesi, Kalıp Dolmama Hatası

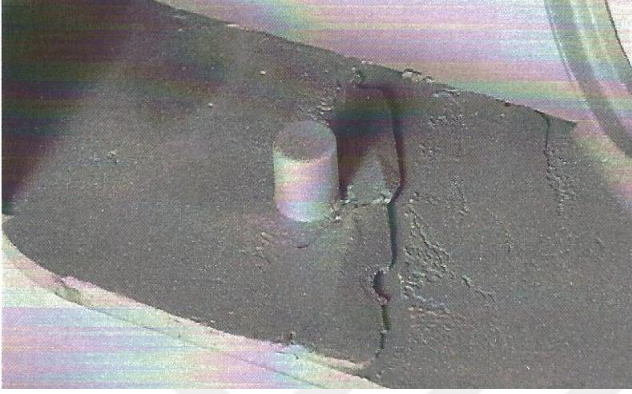
Metal yürümemesi, kalıp dolmama hatası sebepleri ve hatalarının giderilmesi için önerilen yöntemler Tablo 13’de verilmiştir.

Tablo 13. Metal Yürümemesi, Kalıp Dolmama Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler

SEBEPLERİ:	ÖNERİLEN YÖNTEMLER:
1. Düşük kabuk veya düşük döküm sıcaklığı	1. Düşey yolluk boyutunun ve yüksekliğinin artırılması
2. Düşük akışkanlık	2. Kabuk ve/veya alaşım sıcaklığının artırılması, akışkanlığı arttırmak amacıyla kimyasal kompozisyonun değiştirilmesi
3. Kesikli döküm	3. Kesiksiz dökümün yapılması
4. Çok yavaş döküm	4. Döküm hızının artırılması
5. İnce kesitler	5. Metal kesitlerinin artırılması,
6. Düşük kabuk geçirgenliği ve ventlerin olmaması	6. Kaba taneli refrakter malzeme, daha az kaplama veya ventilasyon kanalları ile geçirgenliğin artırılması

1.2.6.12. İlk Kat Çıkıntısı (Şekil Değişikliği)

Hatanın Tanımı: Döküm parça yüzeyindeki fazla metal, sıklıkla döküm parça köşelerindeki çapaklardan kaynaklanır. Şekil 32’de bu hata gösterilmiştir.



Şekil 32. İlk Kat Çıkıntısı (Şekil Değişikliği) Hatası

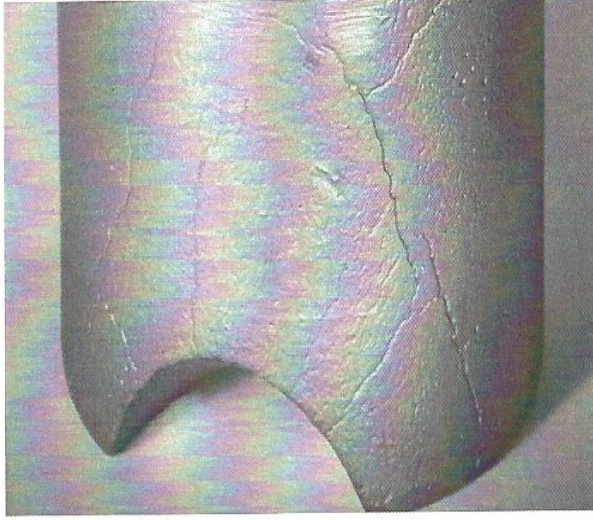
İlk kat çıkıntısı hatası sebepleri ve hatalarının giderilmesi için önerilen yöntemler Tablo 14’de verilmiştir.

Tablo 14. İlk Kat Çıkıntısı (Şekil Değişikliği) Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler

SEBEPLERİ:	ÖNERİLEN YÖNTEMLER:
1. Mum model ile ilk kat yüzeyleri arasında penetrasyon sağlayan ilk kat çamurun çatlaması. Bu olayın muhtemel sebebi; düzgün olmayan ilk kat kalınlığı, kurutmanın değişik hızlarda olması	1. İlk katın iyi ıslatma özelliğine sahip olduğundan ve numunelerin yeterince yıkandığından emin olunması. Refrakter partiküllerin ilk katın kaplama alanına giriş yapmaları için refrakterlerin yapıştığından emin olunmalı, herhangi bir artı kalan refrakter miktarı tamamen kopar.
2. Yağmurlama işlemi uygulanmadan önce ilk katın kurumaması	2. Seramik kabuk üretim prosesi boyunca sıcaklığın ve nemin kontrol edilmesi
3. Kalınlık değişimine eğilimli olan yerlerde ilk çamur katının çok hızlı boşaltılması	3. Üniorm kaplama ve boşaltma ile uygun çamur viskozitesinden emin olunması
4. İlk çamur (slurry) katının fazla viskoz olması	4. Viskozitenin azaltılması
5. Çamur karışımının eski olması	5. Çamur karışımının pH ı kontrol edilmesi

1.2.6.13. Fare Kuyruğu / Oksidasyon Çatlağı

Hatanın Tanımı: Radyal model ile döküm yüzeyinde oluşan dar yuvarlak kanallar Şekil 33’de belirtilmiştir. (Temizlemeden önce kanallardaki oksitler kanıt olabilir.)



Şekil 33. Fare Kuyruğu (Oksidasyon Çatlağı) Hatası

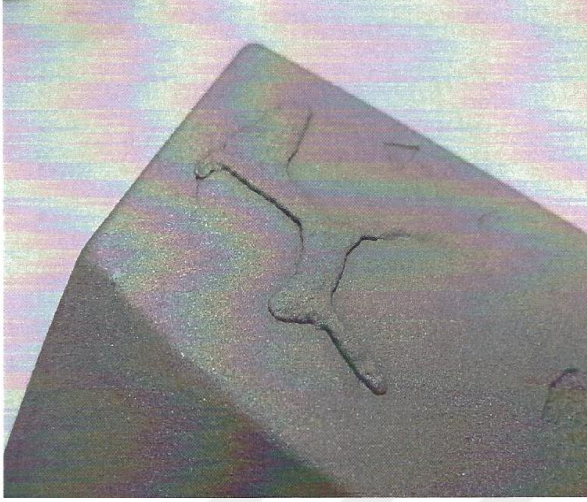
Fare kuyruğu hatası sebepleri ve hatalarının giderilmesi için önerilen yöntemler Tablo 15’de verilmiştir.

Tablo 15. Fare Kuyruğu (Oksidasyon Çatlağı) Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler

SEBEPLERİ:	ÖNERİLEN YÖNTEMLER:
1. Yüksek kabuk sıcaklığı	1. Kabuk sıcaklığının azaltılması
2. Soğutma sırasında oksitlenme	2. Dökümden sonra hemen seramik kabuğu örtmek, örtme işlemine başvurmadan önce karbonlu malzemelerin eklenmesi (şeker, kurutulmuş odun talaşı, mum)

1.2.6.14. Kabuk

Hatanın Tanımı: Dökümden önce kalıp çatlamasıyla maça bölgesine metal penetrasyonun oluşumu Şekil 34’de verilmiştir. (Not: Küçük fin)



Şekil 34. Kabuk Hatası

Kabuk hatası sebepleri ve hatalarının giderilmesi için önerilen yöntemler Tablo 16’de verilmiştir.

Tablo 16. Kabuk Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler

SEBEPLERİ:	ÖNERİLEN YÖNTEMLER:
1. Modelin, daldırma ve refrakter kaplama işlemlerini destekleyecek kadar yeterli rijitlikte olmaması	1. Yolluğa destek model yapılması
2. Seramik kalıp yapılmasında veya kurutulmasında mum genleşmesi	2. Kalıp yapma veya kurutma aşamasında sıcaklık değişikliklerinden kaçınılması, ilk kaplamanın kurutulmasının aşırı hızda olmasından kaçınılmalı, mum boşaltma metodunun uygun olduğundan emin olunması
3. Yetersiz kalıp dayanımı	3. Kaplama veya bağlayıcı ile kabuk dayanımının artırılması
4. Büyük düz yüzey	4. Rib (çubuk,feder,kafes) ve çukur ile düzlüğün giderilmesi
Not: Seramik hataları atlasını referans al	

1.2.6.15. Yollukta Çekme

Hatanın Tanımı: Genellikle yolluk sisteminin çıkartılması sırasında ortaya çıkan büyük iç düzensiz boşluklar. Şekil 35’de bu hatanın bir resmi gösterilmektedir.



Şekil 35. Yollukta Çekme Hatası

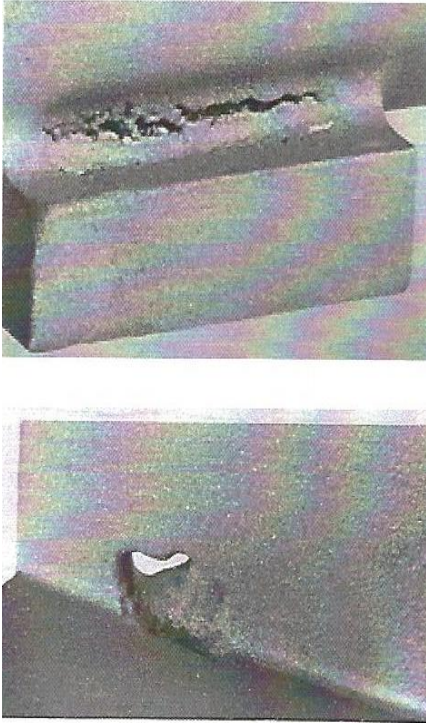
Yollukta Çekme hatası sebepleri ve hatalarının giderilmesi için önerilen yöntemler Tablo 17’de verilmiştir.

Tablo 17. Yollukta Çekme Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler

SEBEPLERİ:	ÖNERİLEN YÖNTEMLER:
1. Uygun olmayan yolluk tasarımı	1. Yolluk boyutu ayarlanması ve/veya bütün kısımlarda koniklik verilmesi
2. Yetersiz besleme	2. Yönlendirilmiş katılaşmayı arttırmak için büyük besleme çubukları ve büyük baş basıncı kullanılmalı, yolluk ağacının wrapping korunmalı, döküm potası da ekzotermik kullanılmalı
3. Yüksek döküm sıcaklığı ve gaz içeriği	3. Döküm sıcaklığı ve gaz içeriğinin azaltılması

1.2.6.16. Çekme (Yüzeyde)

Hatanın Tanımı: Oksitlenen yüzeylerde gözlenen yüzeydeki çukurlar veya düzensiz boşluklar. Şekil 36’da yüzeyde meydana gelen bir çekme hatası gösterilmektedir.



Şekil 36. Yüzeyde Çekme Hatası

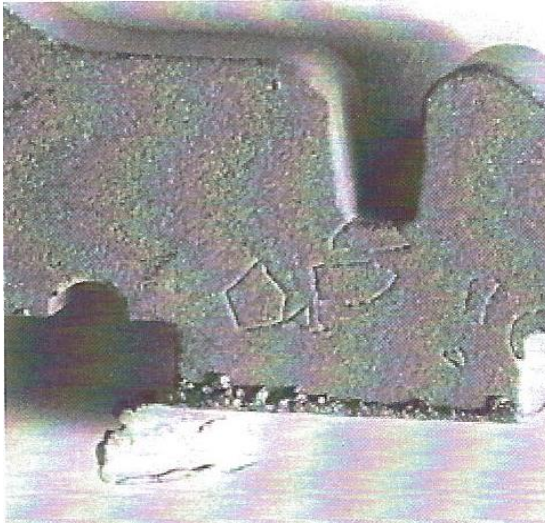
Yüzeyde Çekme hatası sebepleri ve hatalarının giderilmesi için önerilen yöntemler Tablo 18’de verilmiştir.

Tablo 18. Yüzeyde Çekme Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler (Kurul A., (1991)).

SEBEPLERİ:	ÖNERİLEN YÖNTEMLER:
1. Kalıpta bölgesel sıcak noktalar	1. Modeller arası mesafenin geliştirilmesi ve seramik kalıp tamamlandığında refrakter oluşumundan kaçınılması
2. Metal ve/veya kabuk sıcaklığının oldukça yüksek olması	2. Metal veya kalıp sıcaklığının yeterince kontrol edilmesi ve/veya azaltılması

1.2.6.17. Mum Akış Çizgisi

Hatanın Tanımı: Mum model çizgilerini gösteren düzensiz pürüzsüz dar çizgiler Şekil 37’de belirtilmiştir.



Şekil 37. Mum Akış Çizgisi Hatası

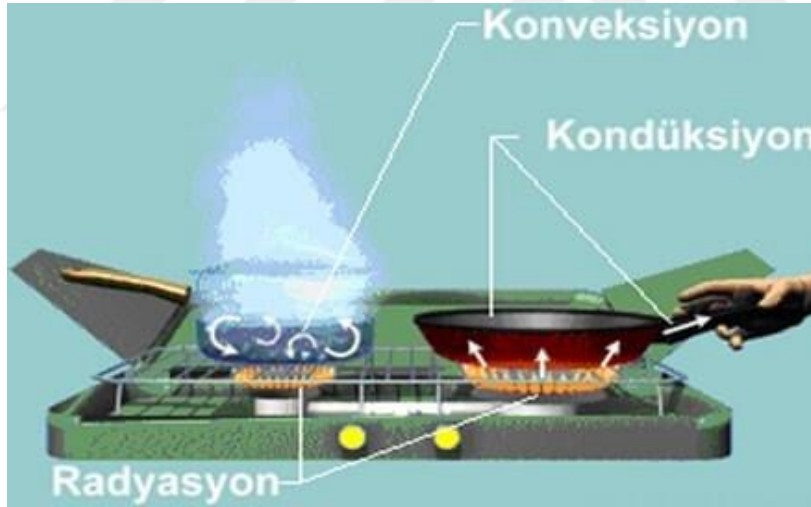
Mum akış çizgisi hatası sebepleri ve hatalarının giderilmesi için önerilen yöntemler Tablo 19’da verilmiştir.

Tablo 19. Mum Akış Çizgisi Hatası Sebepleri ve Önerilen Yöntemler (Megep,2011).

SEBEPLERİ:	ÖNERİLEN YÖNTEMLER:
Mum enjeksiyon esnasında kalıp yağının fazla kullanılması	Kullanılan yağın kalitesinin, miktarının ve çeşidinin kontrol edilmesi

1.2.7. Isı Transferi

Isı transferi gündelik hayatımızda dahi her zaman karşımıza çıkan bir terimdir. Mühendislik uygulamalarında sıklıkla karşımıza çıkan bu konu mühendislik alanında olmazsa olmazlar arasında yerini almaktadır. Isı transferinin sağlanabilmesi için üç yol vardır, bunlar iletim, taşınım ve ışıdır. Şekil 38’de ısı transferi prensiplerinin nasıl işlediği verilmiştir.



Şekil 38. Isı Transferi Tipleri

1.2.7.1. İletim (Kondüksiyon)

Bir ortam içinde bulunan bölgeler arasında veya doğrudan fiziki temas durumunda bulunan farklı ortamlar arasında, atom ve moleküllerin fark edilebilir bir yer değiştirmesi olmaksızın meydana gelen ısı geçiş işlemidir. Isı, sıcaklığı yüksek olan bölgeden düşük

sıcaklıkta olan bölgeye doğru hareket eder. Bu akış katı maddelerde kafes sistemlerinin titreşimi, metallerde elektronların serbest akışı, sıvı ve gazlarda ise atomlar veya moleküllerin elastik çarpışmaları ile meydana gelir.

Parçacıklar arasındaki etkileşimin sonucunda maddenin daha yüksek enerjili parçacıklarından bitişiklerindeki daha düşük enerjili olanlara enerjinin aktarılması prensibidir. İletim katılarda olduğu gibi sıvı ve gazlarda da olabilmektedir. Gazlarda sıcaklık farkı başına olan ısı transfer hızı olarak tanımlanabilir. Bir malzemenin ısı iletkenliği, malzemenin ısıyı iletme kabiliyetinin bir ölçüsüdür. Düşük ısı iletkenlik değeri ise malzemenin kötü bir ısı iletken veya ısı yalıtkan olduğunu gösterir. Bakır ve gümüş gibi metaller yaptıkları metalik bağlar sayesinde yüksek ısı iletkenlik katsayılarıyla iyi iletkenler olurken kauçuk, ağaç gibi kovalent bağa sahip malzemeler daha düşük ısı iletkenlik katsayıları sebebiyle kötü iletkenlerdir.

Bir malzemenin kalınlık ve alan gibi belirli bir tabakası, bir tarafından gücü bilinen elektrik dirençli ısıtıcı ile ısıtıldığında eğer ısıtıcının dış yüzeyi iyi yalıtılıyorsa direncin üreteceği tüm ısı tamamen iletkenliğini ölçmek istediğimiz malzemeye aktarılacaktır. Eğer sürekli ısı transferi sağlanıyorsa diğer bilinen değerler ile birlikte iki yüzeyin sıcaklık ölçümler denklem (3) deki eşitliğe konulduğunda çıkan sonuç ısı iletkenliği verecektir.

$$k = \frac{L}{A(T_1 - T_2)} Q \quad (3)$$

k = ısı iletim katsayısı (W/mK veya W/m°C),

L = uzaklık (m),

$T_{1,2}$ = ısı transferinin ölçüleceği yerdeki iki farklı sıcaklık (°C),

A = alan (m²),

Q = Isı (W)

1.2.7.2.Taşınım (Konveksiyon)

Bir katı yüzey ile ona bitişik hareket halindeki sıvı veya gaz arasındaki enerji aktarım türüdür. İletim ve akışkan hareketinin birleşik etkilerini kapsar Akışkan hareketi ne kadar hızlı olursa, taşınım ile ısı geçişi o kadar fazla olur. Yığın akışkan hareketinin ortadan kalkması halinde katı yüzeyle bitişiklikteki akışkan arasındaki ısı transferi saf iletimle olur. Yığın akışkan hareketinin varlığı katı yüzeyle akışkan arasındaki ısı transferini artırır.

Akışkan; yüzeyin üzerinden rüzgar, pompa veya fan ile akmaya zorlanıyorsa bu çeşit taşınım zorlanmış taşınım denir. Akışkan, akışkan içerisindeki sıcaklık değişiminin ortaya çıkardığı yoğunluk farkından dolayı kaldırma kuvveti etkisiyle oluşuyorsa bu çeşit taşınım doğal taşınım denir.

Bir akışkanın faz değişimini içeren ısı transfer işlemleri işlem esnasında oluşan akışkan hareketleri nedeniyle taşınım olarak düşünülür. Denklem (4) de verilmiştir.

$$\dot{Q}t = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (4)$$

Olarak ifade edilir. $W/m^2 \cdot ^\circ C$ birimiyle h taşınım ısı transfer katsayısı, A_s taşınımın olduğu yüzey alanı, T_s yüzey sıcaklığı ve T_∞ yüzeyden belirli bir uzaklıktaki akışkanın sıcaklığıdır.

Taşınım katsayısı h sadece akışkanın bir özelliği değildir. Bu katsayı deneysel olarak bulunan ve değeri yüzey geometrisine, akışkan hareketinin tabiatına, akışkanın özellikleri ve akışkanın yığın hızına bağlı olarak değişen bir parametredir.

1.2.7.3. Işınım (Radyasyon)

Işınım, atom ve moleküllerin elektronik düzenlerindeki değişimlerin sonucunda maddeden elektromanyetik dalgalar şeklinde yayılan enerjidir. İletim ve taşınımından farklı olarak ışınlama ısı transferi için bir aracı ortam gerekmez. Gerçekte, ışınlama ısı transferi hızı en hızlı ve ışık hızında olanıdır. Güneş enerjisi ışınlama yoluyla yer küreye ulaşır. ısı transferi çalışmalarında, cisimlerin sıcaklıkları sebebiyle yaydıkları ışınlama ile ilgilenilir. Işınım, sıcaklıkla ilişkisi olmayan x ışınları, gama ışınları, mikrodalgalar, radyo dalgaları ve televizyon dalgaları gibi elektromanyetik ışınlamının diğer biçimlerinden farklıdır. Mutlak sıfırın üstündeki sıcaklıklarda bütün cisimler ısı ışınlama yayar.

Işınım hacimsel bir olaydır. Bütün katılar, sıvılar ve gazlar ışınlamayı değişen seviyelerde yayar, soğurur veya geçirirler. Bununla beraber, metal, ağaç ve kayalar gibi ısı ışınlama karşı geçirgen olmayan malzemelerin iç bölgelerinden yayılan ışınlama asla yüzeye ulaşmadığı ve böylesi cisimlerde genellikle yüzeyin birkaç mikron içerisinde soğrulduğu için, böylesi katılar için ışınlama genellikle bir yüzey olayı olarak göz önüne alınır.

T_s termodinamik sıcaklığına sahip bir yüzeyden yayılabilecek maksimum ışınlama hızı denklem (5) de verilmiş olup Stefan-Boltzmann kanunu ile,

$$\dot{Q}_{\text{yayılan maksimum}} = \sigma A_s T_s \quad (5)$$

Olarak verilmiştir. Burada $\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ olup maksimum hızla ışınlama yapan ideal yüzeye karacisim denir ve karacisimin yaydığı ışınlama karacisim ışınlamı olarak adlandırılır. Bütün gerçek yüzeylerden yayılan ışınlama, aynı sıcaklıktaki karacisim tarafından yayılan ışınlamadan azdır ve denklem (6)da ki gibi yazılır.

$$\dot{Q}_{\text{yayılan}} = \epsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (6)$$

Burada ε yüzeyin yayıcılığıdır. Değeri $0 \leq \varepsilon \leq 1$ aralığında değişen yayıcılık özelliği, bir yüzeyin yayıcılığı $\varepsilon = 1$ olan karacisime ne kadar yakın olduğunun ölçüsüdür.

Bir yüzeyin diğer önemli özelliği, yüzeye gelen ışıının enerjisinin soğrulma oranı olan α soğurganlığıdır. Yayıcılıkta olduğu gibi soğurganlık değeri de 0 ile 1 aralığında değişir. Bir karacisim, üzerine gelen ışıının tamamını soğurur. Yani karacisim mükemmel bir yayıcı olduğu kadar mükemmel bir soğurgandır. $\alpha=1$

Genel olarak bir yüzeyin ε veya α değerleri sıcaklığa ve ışıının dalga boyuna bağlıdır. Kirchhoff ışıının kanunu, verilen bir sıcaklık ve ışıının dalga boyu için bir yüzeyin yayıcılığı ile soğurganlığının eşit olduğunu ifade eder. Çoğu uygulamada yüzey sıcaklığı ve gelen ışıının kaynağının sıcaklıkları, büyüklük olarak aynı mertebededirler ve bir yüzeyin ortalama soğurganlığı, ortalama yayıcılığına eşit alınabilir. Bir yüzeyin ışıının soğurma hızı denklem (7) den bulunur.

$$\dot{Q}_{soğurulan} = a\dot{Q}_{gelen} \quad (7)$$

Burada $\dot{Q}_{gelen}$ yüzeye gelen ışıının, a ise yüzeyin soğurganlığını gösterir. Geçirgen olmayan yüzeylere gelen ışıının yüzey tarafından soğrulmayan kısmı geri yansıtılır.

Bir yüzeyin yaydığı ışıının ile soğurduğu ışıının arasındaki fark, net ışıının ısı transferidir. Soğurulan ışıının hızı yayılan ışıının hızından büyükse yüzey ışıınınla enerji kazanıyor, aksi takdirde yüzey ışıınınla enerji kaybediyor demektir. İki yüzey arasındaki net ışıının ısı transfer hızı; yüzeylerin özelliklerine, birbirlerine göre yerleşme durumlarına ve yüzeyler arasındaki ortamın ışıınınla olan etkileşmesine bağlıdır.

$$\dot{\theta}_s = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{\text{ç}}^4) \quad (8)$$

Yayıcılığı ε , yüzey alanı A_s ve termodinamik sıcaklığı T_s olan bir yüzey $T_{\text{çevre}}$ termodinamik sıcaklığında çok geniş bir yüzeyle tamamen çevrelenmiş ve aralarında

ışınım ile etkileşmeyen hava gibi bir gaz olduğu zaman bu iki yüzey arasında gerçekleşen net ışıma ısı transfer hızı denklem (9) ile verilmektedir.

$$\dot{Q}_{ışıma} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{çevre}^4) \quad (9)$$

Bu özel durumda çevredeki yüzeyin yayıcılığının ve yüzey alanının net ışıma ısı transferi üzerinde herhangi bir etkisi yoktur (Çengel, Y.A., 2012).

Malzemenin ısıyı iletme kabiliyeti ısı transfer katsayısı olarak tanımlanabilir ve ısı transferi ile ilgili mühendislik problemlerinin çözümü için deneysel olarak bulunması gereken bir değerdir (Şahin, S., 2008).

1.2.8. Dökümde Metot Çalışması

Dökümde hatalardan kaçınmak amacıyla literatürde açıklanan on temel kural vardır (Campbell J., 1997). Bu kurallar sırasıyla;

1. Başlangıç sıvı metalin temizliği
2. Türbülansın engellenmesi
3. Kalıbın uygun dolumu
4. Kabarcık oluşumunun engellenmesi
5. Maçalardan kalıp boşluğuna doğru gaz çıkışını engellemek
6. Çekinti boşluğunu engellemek
7. Konveksiyonu engellemek
8. Segregasyonu engellemek
9. Artık gerilimleri gidermek
10. İşleme için konum noktaları

Yukarıda verilen kurallardan neredeyse hepsinin temeli ısı transferi ve akışkanlar mekaniği ilkelerine dayanmakta olup bu ilkeleri kullanarak hazırlanan döküm metodu döküm hatalarının önlenmesinde büyük rol oynar (Campbell J., 1997).

1.2.9. CN-235 Uçağı ve Özellikleri

Yapılan çalışmada incelenen fren diskleri CN-235 uçağına aittir. CN-235 uçağı, iki adet General Electric CT7-9C turboprop motor, 14RF-21 Hamilton Standard model 4 palli 2 adet pervane, açılıp kapanabilen iniş takımları, açılıp kapanabilen rampa kapısı ile metal ve kompozit gövdeden oluşan; personel taşıma ve yük taşıma amaçlı kullanılan hafif nakliye uçağıdır. (Ekinci M.B., 2018).

Bu uçağın tip sertifikası bütün dünyadaki sivil kullanım için genel olarak ICAO Annex 16 kuralları uyarınca sertifikalandırılmasının yanı sıra A.B.D ve Avrupa'daki sivil kullanımları için sırasıyla FAR PART 25 ve JAR 25 havacılık mevzuatları uyarınca da sertifikalandırılmıştır. Türkiye'de Tusaş tarafından üretilmektedir (Karaoğlu, İ., 2015).

Toplam Uzunluk	: 21.40 m
Genel Yükseklik	:8.17 m
Brüt Kanat Alanı	:59,1 m ²
Kanat Açıklığı	:25,81 m
Kanat En Boy Oranı	:10,156
Tekerlek Pisti	:3,9 m
Tekerlek Tabanı	:6,2 m
Kabin Uzunluğu (Rampa hariç)	:9.65 m
Rampa Uzunluğu	:3.04 m
Kargo Ambarı Yüksekliği	:1,90 m
Kargo Ambarı Maks Genişliği	:2,70 m
Brüt Kargo Ambarı Hacmi	:45,22 m ³

Maksimum Kalkış Ağırlığı	:16.500 kg
Maksimum İniş Ağırlığı	:16.500 kg
Maksimum Sıfır Yakıt Ağırlığı	:15.400 kg
Maksimum Taşıma Yüğü	:5.950 kg
Yakıt Kapasitesi	:5220 litre
Maksimum Seyir Hızı	:452 km / h
Maksimum Çalışma Yüksekliği	:7620 m
Maksimum yakıtle menzil	:4135 km
Feribot Menzili	:5055 km
Kalkış Koşusu (ISA / SL)	:404 m
İniş Rulosu (ISA / SL)	:378 m (BLM National Aviation Office).

Şekil 39’da CN 235 uçağına ait görsel verilmiştir.



Şekil 39. CN 235 Uçağı

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, AISI 8620 çeliğinin ham malzeme olarak kullanılıp, bu ham malzemeyi özel reçete ile istenilen özellikteki malzemeye getirerek imal edilen CN-235 uçaklarına ait çoklu fren sisteminin bir bileşeni olan fren disklerinin hassas dökümü esnasında oluşan çatlak, çekinti boşluğu ve segregasyon hatalarının önlenmesi amacıyla Nova Cast Döküm Simülasyonu aracılığıyla bilgisayar destekli ortamda katılma kinetiğinin incelenmesi ve hataların giderilmesi amaçlanmıştır. Bilgisayar yardımıyla mükemmel yakın bulunmaya çalışılan döküm yöntemi dökümhanede bilgisayar verileri ışığında dökülerek karşılaştırılması yapılmıştır.

2.1. Materyal

2.1.1. CNC Freze

Enjeksiyon kalıbını işlemek için kullanılan CNC freze tezgahları, üzerlerinde birden fazla miktarda kesici ağız bulunan çakı ile genelde x, y ve z eksenleri (ek eksenler mevcut olabilmektedir) doğrultusunda ilerleme hareketi yaparak dönen takım aracılığıyla talaş kaldırmak suretiyle malzemenin istenilen nihai şekline getirilmesini sağlar.

2.1.2. Enjeksiyon Kalıbı

Elde edilmek istenilen parçaya verilen çekme ve işleme payları sonucunda orijinal parçadan gözle ayırt edilemeyecek ebatlarda hacimce daha büyük olan boşluktan oluşan ayırım yüzeyi ortadan geçen çelik kutudur.

2.1.3. Mum

Mumlar seramik kabuk oluşturmada önce gerekli kalıp boşluğunu vermek için kullanılan malzemedir. Bu malzemeler dolgu mumları, yolluk mumları ve yapışkan mumlar olarak üç ana başlıkta toplanabilir.

2.1.3.1. Dolgu Mumları

Parça için kullanılacak olan mumlar dolgu mumlardır. Bu mumların en önemli özellikleri mukavemeti, boyutsal kararlılığı, daha düşük ısı genleşme ve minimum büzölmeye sahip olmasıdır. Bu mumlarda dolgu maddesi olarak bisfenol-A (BPA), organik dolgu maddeleri, tereftalik asit ve çapraz bağı polistren bulunur.

2.1.3.2. Yolluk Mumları

Yolluk balmumu karışımları her ne kadar yüksek mukavemete sahip olsa dahi parça için kullanılan dolgu mumları kadar yüksek boyutsal kararlılığa sahip değildirler. Bu sebeple işleme prosesinin elimine edildiği hassas döküm proseslerinde yolluk gibi sonradan salkımdan ayrılacak yerler haricinde bu mumun kullanılması uygun görülmez.

2.1.3.3. Yapışkan Mumlar

Yapışkan mumlar genellikle montaj ve bitirme işlemlerinde kullanılır. Bu mumlar, farklı model mumlarının birbirine bağlanmasına veya bir kanal tertibatı oluşturmaya yardımcı olur. Balmumu, parçalarla güçlü bir yapışma oluşturmaya yardımcı olur, böylece seramik kabuk oluşturulurken kazana daldırılan salkım montaj yerleri daha mukavemetli olduğu için mumda oluşacak kopmaların önüne geçilir.

2.1.4. Mum Enjeksiyon Presi

Mumun kalıba basılabilmesi amacıyla 40 bar ve 100-150°C sıcaklıkta çalışan ergitme tankından erimiş mumun basınçlı bir şekilde nozuldan kalıba gönderildiği tezgahlardır.

2.1.5. Seramik Çamuru

300 mesh tane boyutuna sahip zirkon kumu ve bağlayıcı olarak sıvı halde bulunan kolloidal silikanın karıştırılmasıyla elde edilen süspansiyona seramik çamuru adı verilir.

2.1.6. Seramik Çamur Tankı

Tankın yüzeyi paslanmaz çelik saçtan ve bıçağı dökümden imal edilen paslanmaz çelikten oluşmaktadır. Üzerinde PLC kontroller vardır. Kazanı döndüren aksamda rulman yatağı bulunmaktadır. Elektrikli motoru 230/460V, 3 faz, 60 Hertz özelliklere sahiptir.

2.1.7. Yağmurlama Tezgahı

Seramiğin ilk katı atılırken yağmurlama tezgahı kullanılır. Sert taban standı sayesinde dönen gövdenin ivmesi tezgahın devrilmesini önler, 230/460V, 3 Phase, 60 Hertz elektrik motoruna sahiptir. Astar kısımları paslanmaz çelik saçtan imal edilmiştir. Doğrudan tahrik ve naylon makaralar sayesinde yüksek tork ve stabil hızlanma yapması sayesinde salgıyı neredeyse sıfıra düşürür.

2.1.8. Akışkan Yatak Tezgahı

Kompresöre bağı olan tankın altından yüksek hava basıncı geldikçe kumlar akışkan bir yapıya bürünerek çamur kaplı salkımın etrafı kumla kaplanır.

2.1.9. Zahn Cup

Seramik çamur karışımı oluştuktan sonra elde edilen süspansiyonun kullanılabilir olup olmadığını kontrol etmek için 4 numaralı zahn cup kullanılarak viskozitesi ölçülür. Viskozite hesapları ASTM D4212'ye göre aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 20. Viskozite Hesapları

Cup No	t = saniye cinsinden akış süresi	Boşaltma Süresi (sn)		Kinematik viskozite (cSt)	
	n = mm ² / s cinsinden kinematik viskozite	min	max	min	max
Zahn Kupası (bkz.ASTM D4212)					
1	n = 1,1 (t – 29)	35	80	5	60
2	n = 3,5 (t – 14)	20	80	20	250
3	n = 11,7 (t – 7,5)	20	80	100	800
4	n = 14,8 (t – 5)	20	80	200	1200
5	n = 23t	20	80	400	1800
Kabuk Kap (bkz ASTM D4212)					
1	n = 0.226 (t – 13)	20	80	2	20
2	n = 0,576 (t – 5)	20	80	10	50
2½	n = 0,925 (t – 3)	20	80	20	80
3	n = 1,51 (t – 2)	20	80	30	120
3½	n = 2.17 (t – 1.5)	20	80	40	170
4	n = 3.45 (t – 1)	20	80	70	270
5	n = 6.5 (t – 1)	20	80	125	520
6	n = 16,2 (t – 0,5)	20	80	320	1300
Ford Kupası (bkz. ASTM D1200)					
1	n = 0,49 (t – 35,0)	55	100	10	35
2	n = 1,44 (t – 18,0)	40	100	25	120
3	n = 2,31 (t – 6,58)	20	100	49	220
4	n = 3,85 (t – 4,49)	20	100	70	370
5	n = 12,1 (t – 2,00)	20	100	200	1200

2.1.10. İklimlendirme

Seramikhanenin düşük hava sirkülasyonu olacak şekilde, 21-23°C oda sıcaklığı, %45-60 bağıl nem miktarı ile muhafazasını sağlayan cihazdır.

2.1.11. Otoklav

100-150°C arasına 75-120 PSI basınçta çalışan basınçlı bir kaptır. Bu basınçlı kapta seramikler raylı bir sisteme konularak kasanın içerisine konulur ve mumun giderilmesi esnasında mumun akacağı bir hazne bulunmaktadır.

2.1.12. Isıl İşlem Fırını

Mumu giderilen seramiklerin mukavemet kazanması için sinterlendiği fırındır. Isıl işlem fırını bobinler sayesinde oluşan direncin yarattığı ısıyla elde edilen yüksek sıcaklığı refrakter ateş tuğlaları sayesinde fırın içerisinde kalacak şekilde yalıtır. Sıcaklık kontrolü için K-tipi termokupllar kullanılır.

2.1.13. İndüksiyon Ocağı

Ocak içerisine yüklenen şarj malzemesini eritmek amacıyla manyetik alan oluşturan büyük bir bobinden oluşur. Bobinin iç çapı refrakter bir astar malzemesiyle kapatılarak bobinlere sıvı metalin teması önlenir. 500 kVA kapasiteye sahip ocakta tek seferde 500 kg sıvı çelik 1650°C'ye çıkacak şekilde ergitilebilmektedir.

2.1.14. Termokupl

Termokupl içerisinde iki adet farklı malzemeden oluşan tel bulunmaktadır. Bu tel çiftinde sıcaklık neticesinde oluşan termal genleşme farkından yararlanılarak içerisine daldırıldığı sıvı metalin sıcaklığı saptanır.

2.1.15. Optik Emisyon Spektrometresi

Optik emisyon spektrometrelerinde bir metal ısıtılarak spektrumları çıkarılır. Bu spektrumun çıkarılması için metal yüksek sıcaklıkta yakılır. Yakım için gönderilen ışınım tungsten malzeme bir uçtan gönderilir çünkü bu ucun kıvılcımlardan etkilenmeyen refrakter bir metal olması gerekmektedir. Optik emisyon spektrometrelerinde metalin ortamla reaksiyona girmemesi için inert bir gaz olarak genellikle argon gazı kullanılır. Oluşan spektrumlar sensörler tarafından algılanarak metalin içerisindeki elementlerin miktarı saptanır.

2.1.16. Nova Cast Döküm Simülasyonu

Nova Cast Döküm Simülasyonu içerisinde katılaşma ve akış olmak üzere iki adet ana uzantı vardır. Akış simülasyonu hesaplanırken Bernoulli'nin akış yasası kullanılarak devamlı bir şekilde hızlanan ya da yavaşlayan bir akış sağlanarak akış esnasındaki düzensizliklerin önüne geçilir. Ayrıca kalıbın, yüksek hızda kalıbı dolduran metal tarafından deforme edilmeyeceği en hızlı şekilde doldurularak en ideal dökümün amaçlandığı döküm metodunun bilgisayar destekli ortamda ortaya çıkarılmasında yardımcı olur.

Öte yandan katılaşma uzantısında işler tamamen ısı ve kütle transferi yasalarına dayanırken kullanılan en temel denklem-yasalar, Avrami kinetikleri ve Chvorinov'un kurallarıdır.

Döküm simülasyonları enerji ve kütle akışını tanımlayan eşlenik diferansiyel denklemleri hesaplamak için CVM (Kontrol Hacmi Yöntemi) gibi modern sayısal yöntemleri kullanmaktadır. Hesaplama işleminde programın kütüphanesinde bulunan veriler sayesinde alaşımın sıcaklığa bağlı olarak katı-sıvı, sıvı-sıvı, sıvı-gaz ara yüzeylerinde bulunan ısı transferlerini ortaya çıkarmak için bu fiziksel ve kimyasal malzeme özellikleri kütüphanede muhafaza edilerek, gerekli işlem sırasında seçilen malzeme girdilerine göre ısı transferini etkileyebilecek faktörler spesifik olarak girilmiş olur.

Simülasyonun katılaşma analizi esnasında genel olarak iki adet modül kullanılmaktadır. Bu modüller geometrik ve termal modül olmak üzere ikiye ayrılır. Modüller ile ilgili teoriden bahsetmek gerekirse; termal modül parametresi, yolluk ve besleyici sisteminin verimliliğini tahmin etmede önemli bir rol oynar. Bir katının geometrik modülü Chvorinov'un Kuralı içerisinde kullanılan bir parametre olup malzemeye ait sabit sayılar haricinde toplam katılaşma süresini belirleyen tek faktördür. Toplam katılaşma süresi geometrik modülün (hacmin yüzey alanına bölünmesi, V/A) kalıp sabiti ile çarpılması sonucunda denklem (10) de gösterildiği gibi bulunur.

$$TST = C_m \left(\frac{v}{A} \right)^n \quad (10)$$

TST= Kalıp tamamen dolduktan sonra geçen katılaşma süresi(dk)

C_m = Kalıp sabiti

V = Hacim (cm^3)

$\frac{v}{A}$ = Geometrik Modül (cm^2)

A = Yüzey Alanı (cm)

n = İdeal şartlarda değeri 2 olarak alınan sabit sayı

Özellikle itibari sıraları raslantısal (arbitrary) şekillerin dökümü için termal modülü hesaplamak neredeyse imkansızdır. Bununla birlikte, bazı yaklaşımlarda modül değerinin kristalleşme süresinin kökü ile doğru orantılı olduğu düşünülebilir.

Modülü hesaplanışı denklem (11) de verilmiştir.

$$m = k\sqrt{(t)} \quad (11)$$

m = modül (cm^2)

k = orantılılık katsayısı

t = kristalleşme zamanı (dk)

Bu eşitlikteki orantılılık katsayısını (k) belirlemek için, modülü 1 cm olan bir küre için tek boyutlu bir kristalleşme süresi hesaplaması çözülür. Küre malzemesi, kalıp malzemesi ve bunların başlangıç sıcaklıkları, gerçek simülasyon için Simülasyon kurulumundakiyle aynıdır. Hava boşluğu yoktur. Bu nedenle, kristalizasyon süresinin karşılaştırılması hava boşluğu olmadan yapılmalıdır. Küre ekranda gösterilmez, sadece referans değer olarak kullanılır.

Dökümü simüle etmek için bir ayar sadece bir çevreleyen malzeme içeriyorsa, küre kristalizasyonunun simülasyonunu çözmek için bu kalıp malzemesinin parametreleri kullanılır. Daha fazla malzeme içeriyorsa, küre kristalizasyonu, döküm ile maksimum arayüze sahip kalıp malzemesi ile hesaplanır. Küre kristalleşmesinin zamanı t_0 'a ulaştığında,

$$k = 1 / \sqrt{(t_0)} \quad (12)$$

Denklem (12) ait t_0 daki k sabiti belirlenir.

Termal modül alanı, hesaplanan alanlar listesinde yer alır. Tamamlanan katılma simülasyonundan sonra göz atmak mümkündür. Gösterge olasılıkları ise 2D veya 3D haritalama ile gösterilir.

Bu prensiplere dayanarak parçada en son katılma yerler saptanarak çekinti, mikro çekinti gibi makro hataların nerelerde saptanacağı rahatlıkla anlaşılabilmektedir. Ayrıca yönlü katılmanın olmadığı durumların önüne geçilerek termal çatlaklar, segregasyon oluşumu gibi hataların da önüne geçebilmek mümkün hale gelmektedir.

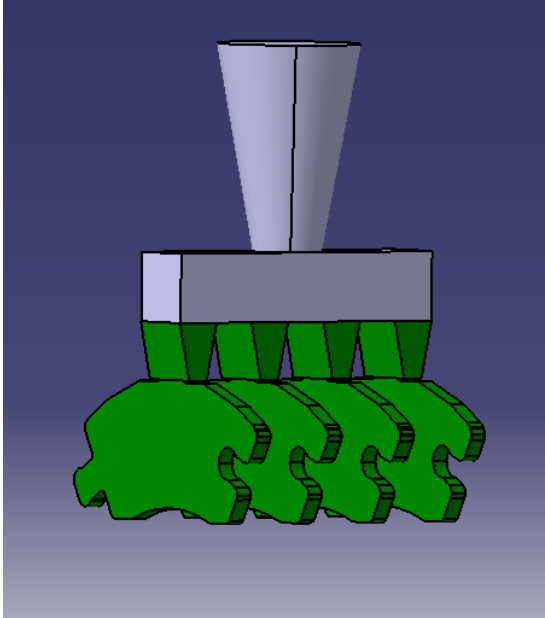
İnceleme kriterleri içerisinde aşağıdaki modüller bulunmaktadır;

- Shrinkage (Çekinti): Makro boyutta sıvı halden katı hale geçerken hacim küçülmesi sebebiyle meydana gelen sıvı metal çekmesiyle oluşacak döküm boşluklarını saptayan modüldür.
- Niyama Kriteri: Niyama demir bazlı metallerde dendritler arası katılma esnasında oluşabilecek mikro çekinti ihtimali bulunan alanı ortaya çıkartan bir modüldür.
- Solidification Time (Katılma Zamanı): Parça üzerinde lokal olarak katılma sürelerinin verildiği modüldür.
- Thermal Modulus (Termal Modül): Termal modül lokasyona ait katı-sıvı, sıvı-sıvı ve sıvı-gaz arayüzlerini tayin ederek parçanın katılma zamanına etki eden parametrelerin sonucunu ortaya koyan bir modüldür.

2.2. Yöntem

Yapılan çalışmada CN-235 uçaklarının frenleme sisteminde ana eleman görevini gören fren disklerinin hassas döküm ile imalatı esnasında oluşan hatalar değerlendirilmiş, kök nedeni belirlenmiş ve gerekli aksiyonun alınması amacıyla bilgisayar destekli ortamda döküm simülasyonunun yapılarak en ideal şartlarda döküm yapılmasını amaçlanmıştır. Döküm sonrasında elde edilen sonuçlar ve simülasyon arasında korelasyon saptanmıştır.

Hassas döküm yönteminde ilk olarak kalıp imalatı yapılmış ve kalıp CNC freze ile işlenerek mumun dolduracağı alan verilmiştir. Mumun kalıba basılması esnasında çift nozullu yatay enjeksiyon presi kullanılmıştır. Yolluk ve kafa mumları kalıp içerisine eriyik mumun dökülmesiyle imal edilmiştir. Basılan parçalar dökülen kafa ve yolluk ile birleştirilmek için havya yardımıyla ısıtılarak ve araya bal mumu dolgu malzemesi konulmak suretiyle birleştirilmiş olup salkım montajı gerçekleştirilmiştir. Şekil 40'da bilgisayar ortamında hazırlanan salkımın görüntüsü verilmiştir.



Şekil 40. Hazırlanan Salkım

1 nolu numunenin üretim aşamalarından geçişi sırasında oluşan salkım, seramik ve disk Şekil 41’de verilmiştir.



Şekil 41. 1 Nolu Numunenin Mum, Salkım, Seramik Hali ve İşlendikten Sonraki Durumu

Oluşan salkım önce izopropil alkol ve su ile yıkanmış, kurutulduktan sonra seramik kabuk oluşturmak amacıyla ilk daldırmada 200 mesh zircon ve koloidal silikadan oluşan süspansiyon çamuru içerisine daldırılmıştır. Bu süspansiyonda 20 litre koloidal silika, 7 litre saf su, 90 kg 200 mesh zircon homojen oluncaya yani topaklanma kalmayıncaya kadar sabit bir devirde karıştırılmıştır. Daha sonra 0,68 Fl oz ıslatıcı katılmış, köpürme olduğu için 16 ons köpük giderici atılmıştır. 4 numaralı Zahn cup ile ölçüm yapılmış ve 8-10 sn arası boşalma süresi olana kadar süspansiyon karıştırılmıştır. Yeterli viskozite sağlandığı için ekstra saf su ilavesine gerek kalmamıştır. Daha sonra hazırlanan salkımlar bu seramik çamur içerisine daldırılmış ve süzülükten sonra yağmurlama tezgahına tutularak üzerine 30/50 mikron tane boyutunda zircon kumu yağdırılarak her tarafının kumla kaplanması sağlanmıştır. Bu işlemde kullanılan çamur primer çamur olarak adlandırılmaktadır. Primer çamurun kuruması için 1 gün beklenmiştir. Seramik kabuk oluşturma amacıyla yapılan daldırma işleminden bir görüntü Şekil 42’de verilmiştir.



Şekil 42. Seramik Kabuk Oluşturma

Seramik kaplama işlemi sırasında hazırlanan salkımlar, seramik çamura yavaş ve kontrollü bir şekilde daldırılmış ve hava kabarcıklarının giderilmesi için çamur içinde döndürülmüştür. Kabarcıkların giderilemediği durumlarda hava üflenerek kabarcıklar patlatılmıştır. Aksi takdirde kabarcık olan bölgelere çamur tutunamayacağından özellikle seramikteki döküm yüzeyini oluşturan ilk katın atılması sırasında bu hususa önem gösterilmiştir. Salkım çamura daldırıldıktan sonra yavaşça kaldırılarak yukarı doğru tutularak çamurun tek bir yönde akarak süzülmesi sağlanmıştır. Seramik çamurun salkımın her tarafını kapladığına emin olduktan sonra akışkan yatak yardımıyla salkım etrafında boşluk kalmayacak şekilde kum ile kaplanmıştır. Her bir kaplamadan sonra salkım özel bir odada asılarak bekletilmiştir. Odanın düşük hava sirkülasyonu içerisinde 21-23°C sıcaklık ve %45-60 bağıl nem miktarında sabit tutulması sağlanmıştır.

İkinci ve üçüncü katın atılması işlemi sırasında zirkon yerine 30/80 molohit kumu kullanılarak kat atılarak 6 saat beklenilmiştir. Yağmurlama işlemi Şekil 43'te verilmiştir.



Şekil 43. Yağmurlama İşlemi

Dördüncü kaplamadan son kaplamaya kadar 16/30 molohit kumu kullanılarak son katta seramik çamuruna daldırılarak kumla kaplama yapılmamıştır. Seramik kabuk oluşturma prosesi tamamlandığında toplam 11 kat atılmıştır. Her kat atıldığında kuruma süreleri ve ortalama sıcaklık, nem parametreleri korelasyon yapılması amacıyla kaydedilmiştir.

Seramikler 135°C sıcaklıkta 100 PSI basınca ayarlanan otoklava yerleştirilerek 1 saat mum giderme işlemi uygulanmıştır. Mum giderme işlemi yapılan kabuklar, 800-1000°C arasındaki fırında 1 saat tutulmuştur. Fırından alınarak yakma işlemi yapılmıştır. Yakma işlemi Şekil 44’de gösterildiği gibidir.



Şekil 44. Yakma İşlemi

Sinterlenmiş seramik, sinterlenmeye uğramamış seramiğe oranla iç yapısı daha pürüzsüz ve temiz görünür, mukavemeti artırılmış durumdadır. Yakılmış, sinterlenmiş seramik Şekil 45’de yakılmamış seramik ise Şekil 46’da verilmiştir.



Şekil 45. Yakılma İşlemine Uğramış Seramiğin İç Yüzeyi



Şekil 46. Yakma İşlemine Uğramamış Seramiğin İç Yüzeyi



Şekil 47. Döküm İşlemi

Hazırlanan seramiklere döküm işleminin yapılması Şekil 47’de görülmektedir. Döküm sonrasındaki hali Şekil 48’de verilmiştir.

Ocak sıcaklığı 1680°C ’yi bulana kadar ocaktaki akım kesilmemiştir. Pota dibine ferrosilis ve alüminyum eklenerek gaz giderme işlemi uygulanmıştır. Sıvı metal potaya verildikten sonra termokupla sıcaklık ölçümü yapılmış ve sıcaklık 1653°C olarak

okunmuştur. Fırından alınan sıcak salkımlar döküm alanına konularak dökümü yapılmıştır.



Şekil 48. Döküm Sonrası Soğumaya Bırakılan Seramikler

Kum içerisinde ve oda sıcaklığında soğuyan seramikler kırılarak metal salkımlar elde edilmiştir. Dökümden sonra soğuyan kalıplar Şekil 49’da, kırılma işlemi ise Şekil 50’de gösterilmiştir.



Şekil 49. Döküm Sonrası Soğumuş Kalıpların Görünümü



Şekil 50. Seramiği Kırılan Salkımlar

Salkımlardaki parçalar jet taşı yardımıyla yolluklarından ayrılarak döküm sırasına göre ayrı ayrı istiflenmiştir. Parçaların yolluktan ayrılma işlemi Şekil 51’de gösterildiği üzere yapılmaktadır.



Şekil 51. Parçaların Yolluktan Ayrılması

İşleme öncesinde döküm parçaya gerilim giderme işlemi uygulanmıştır. Parçalar CNC freze tezgahında nihai ölçülerine getirilmiştir. Dökülen parçalar 900°C de 1 saat süre geçecek şekilde fırına atıldıktan sonra yağa atılarak su verme (quenching) işlemi gerçekleştirilmiştir.

NDT (Non Destructive Testing) metodu olarak manyetik parçacık test metodu kullanılmıştır (Astm E 1444 Standard Practice For Magnetic Particle Testing). Bu test metodunda parçalar solüsyonla temizlendikten sonra üzerine metalik toz partikülleri bulunan çözelti dökülerek parçaya bobin yardımıyla manyetik alan verilir. Paramanyetik özellikte olan çelik yüzeyindeki süreksizliklere doğru manyetiklenebilen partiküllerce doymuş çözeltinin yönleneceği neticesinde floresan ortamda hata olan bölgelerdeki partikül

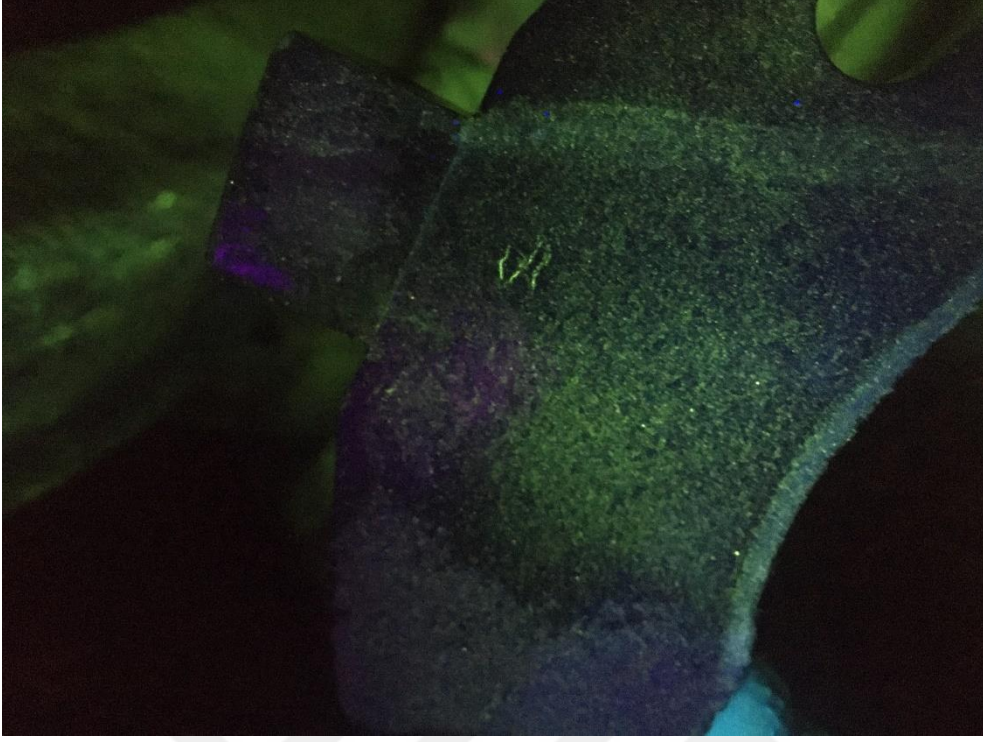
birikimi gözlemlenmiştir. Özet olarak döküm hatalarının olduğu lokasyonlara florasan altında bakıldığında yeşil alanlar tespit edilmiştir.

NDT (tahribatsız muayene yöntemi) olan manyetik parçacık test yöntemiyle parça yüzeyinde çatlak kontrolü yapılmıştır. Yapılan 1 adet numunenin resmi Şekil 52’de gösterilmiştir. Üretimi yapılan 100 parçadan 13 adetinde çatlak, 15 adetinde çekinti boşluğu, 12 adetinde hem çatlak hem de çekinti boşluğu, 4 adet seramik düşmesi gözlenmiştir. NDT’den geçen parçalar fosfat kaplama yapılarak nihai haline getirilmiştir.

Birinci numunenin dökümden sonra soğuma süreci oda sıcaklığında bırakılan kum havuzu içerisinde yapıp istenilen verim elde edilemeyince soğuma şekli değiştirilmiştir. Bir adet numune-1 kademeli soğuma şekline tabi tutularak soğutulmuştur. Döküm yapıldığı andan itibaren numune, 900°C de hazır bekleyen fırının içerisine yerleştirilmiştir. Fırının 1 er saat aralıklarla sıcaklığı 100°C soğutulmuştur. Fırının nihai sıcaklığı 400°C’ye gelince fırın kapatılarak, numune fırın içerisinde 1 gün fırının kapalı olduğu şekilde bekletilerek soğuması gerçekleştirilmiştir. Oluşan bu numuneden gerekli işlemler ve kontroller yapıldıktan sonra 4 adet disk elde edilmiş olup 1 tanesinde çatlak gözlenmiştir. Bu soğuma yönteminin istenilen verimi sağlayamaması ve maliyetli olması açısından kullanılmaması uygun görülmüş olup başka numune dizaynı arayışına öncelik verilmiştir.

Soğuma hızını ideal olan oda sıcaklığından daha hızlı bir şekilde gerçekleştirdiğimizde gözlemleyeceğiz; dökümün katılma /soğuma hızı nedeniyle tane yapısı oldukça incedir. Bu nedenle düşük alaşımlı çelik döküm olması nedeniyle katılma sonrası parçada oldukça yüksek sertlik olur. Bu yöntem tercih edilmeyen bir uygulamadır.

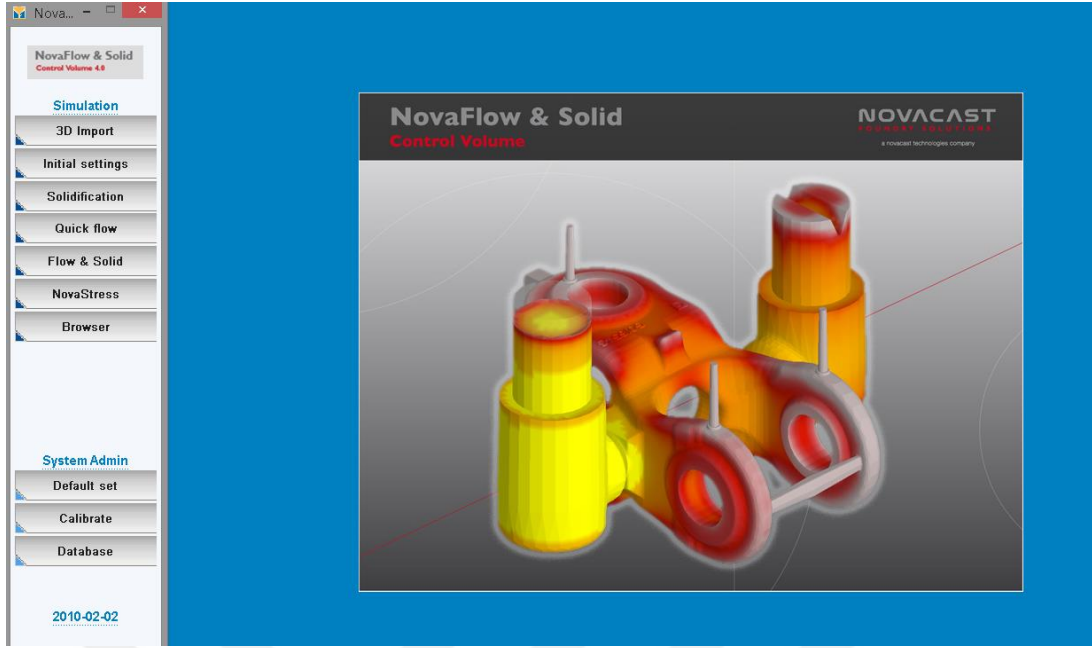
Fırında yavaş soğuttuğumuzda ise; döküm katılma/soğuma hızı nedeniyle tane yapısı iri tanelidir. Soğuma hızının düşük olması nedeniyle iri taneli yumuşak sertlikteki bir yapı elde edilir. İdeal soğuma hızı ortam şartlarında soğumaya bırakılan dökümdür. Parçaya katılma sonrası genel olarak bir gerilim giderme uygulanır.



Şekil 52. Kademeli Soğutulan Numunede Oluşan Çatlak

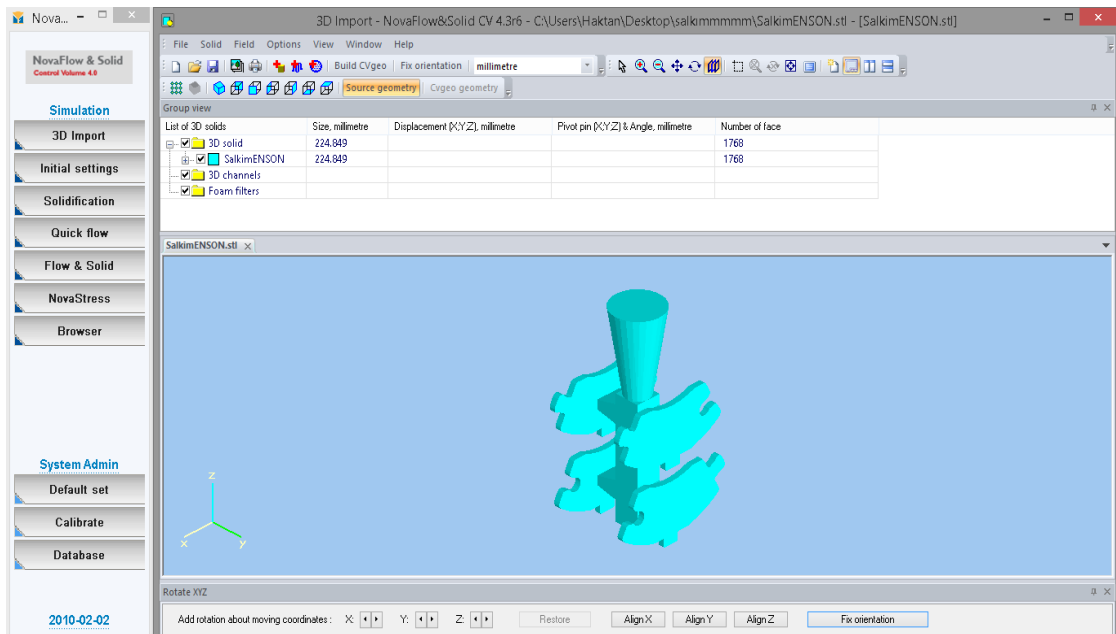
NovaCast döküm simülasyonu ile mevcut yolluk sisteminin katılaşma simülasyonu yapılmış olup simülasyon sonucunda döküm hataları ile karşılaşılmıştır. Bu nedenle döküm metodunun yanlış olduğu kanısına varılmıştır. Simülasyonun uygulama basamakları aşağıdaki gibidir:

1. Nova Cast döküm simülasyonu akış ve katılaşma olmak üzere temel olarak iki farklı modülden oluşur. Bu simülasyonu oluşturmak için öncelikle gerekli katı model herhangi bir 3 boyutlu çizim programında oluşturularak “stl” formatında kaydedilmelidir.
2. Program açıldıktan sonra ilk adım olarak “3D Import (3 Boyutlu Data Girdisi)” sekmesine Şekil 53 de gösterildiği gibi tıklanır.



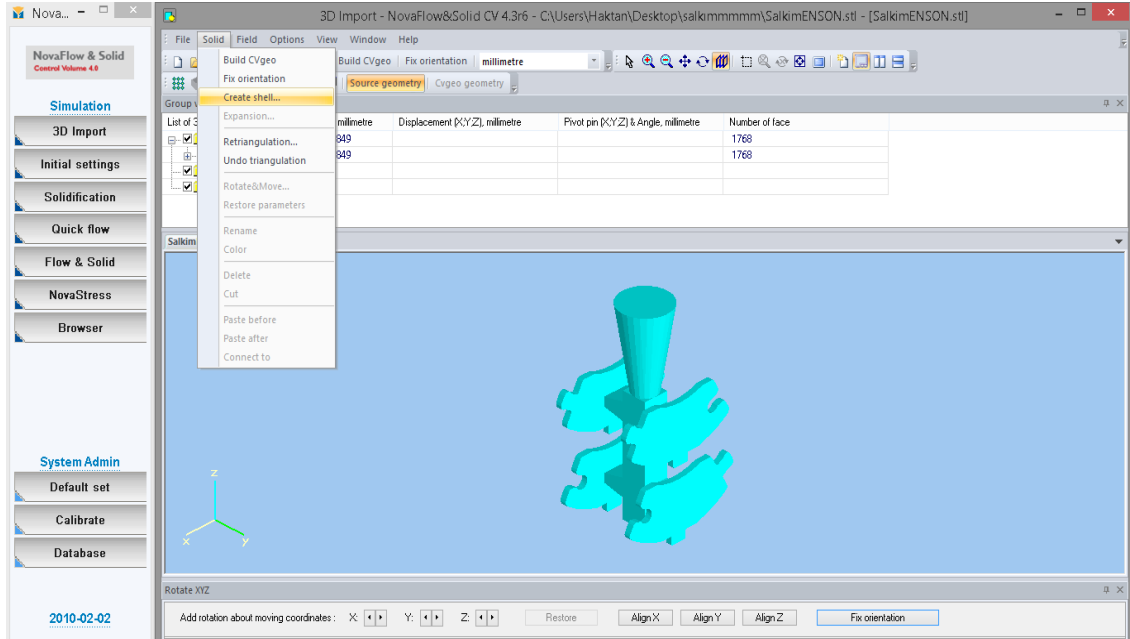
Şekil 53. Program Başlangıç Ekranı

3. “3D Import” ekranında “Align X,Y,Z (Döndürme)” komutuna tıklatılıp katı model istenilen konumda yönlendirilerek en son “Fix Orientation” komutuna tıklatılarak Şekil 54’deki gibi eksene oturtulur.

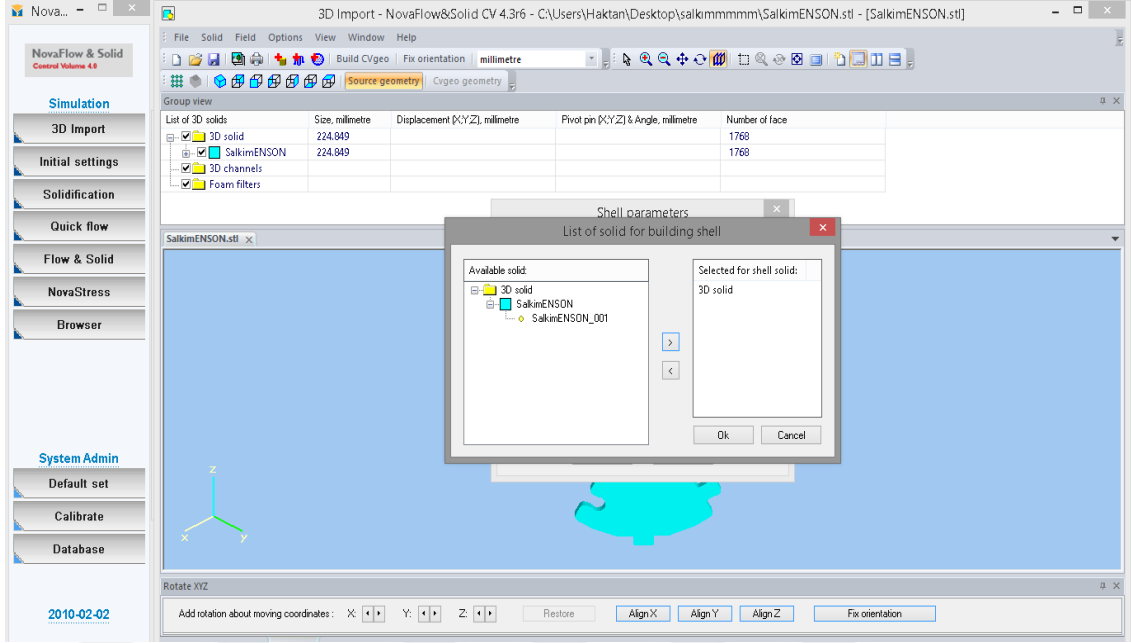


Şekil 54. Çizimin Ekrana Alınması

4. Üst taraftaki sekmelerden Şekil 55’de görüldüğü üzere “Solid (Katı)” ya tıklanarak “Create Shell (Kabuk Yarat)” komutu seçilerek “3 nokta simgesi (...)” ne tıklatılır ve Şekil 56’da olduğu gibi kabukla kaplanacak katı model sağa kaydırılır.

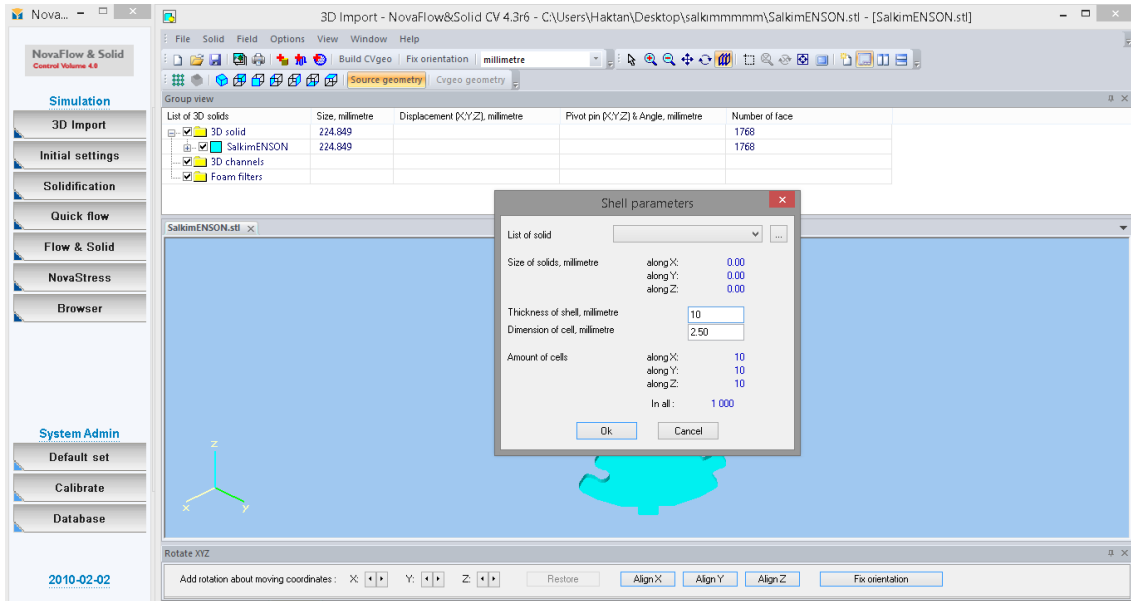


Şekil 55. Kabuk Oluşturma

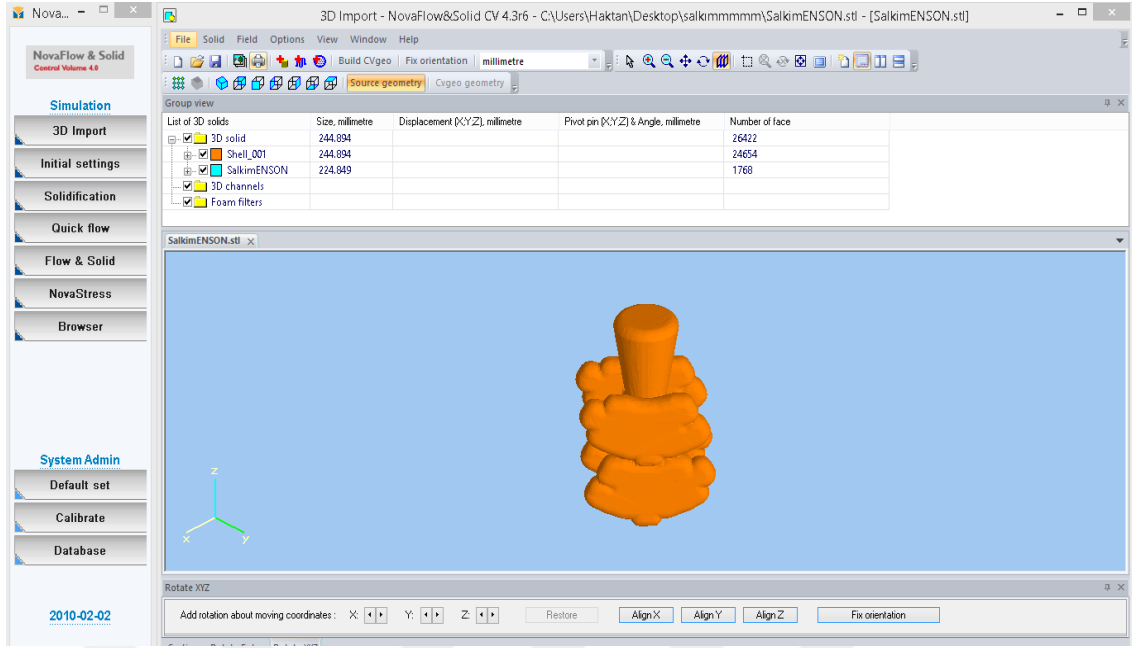


Şekil 56. Kabuk Oluşturma Devamı

5. Gelen “Shell Parameters (Kabuk Parametreleri)” ekranından atılan seramik katına göre “Thickness of shell, milimeter (Seramik Kalınlığı, mm)” kutucuğu doldurulur. Kabuk oluşturularak kaydedilir. Bu işlemlerin görüntüsü Şekil 57 ve 58’de verilmiştir.

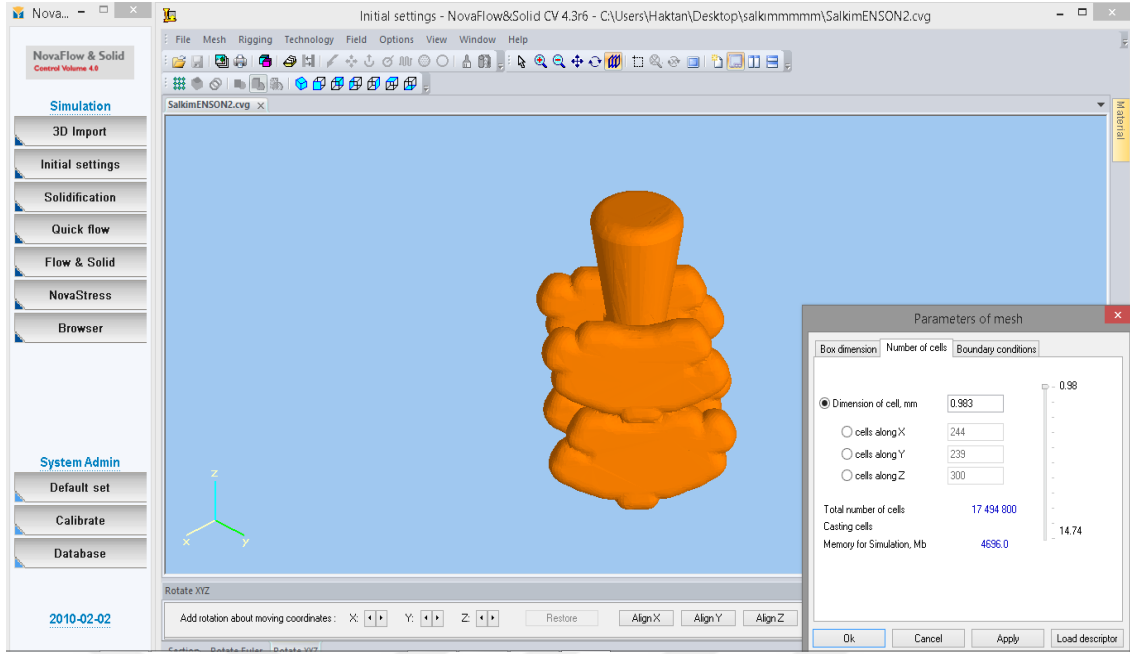


Şekil 57. Seramik Kalınlığının Belirlenmesi

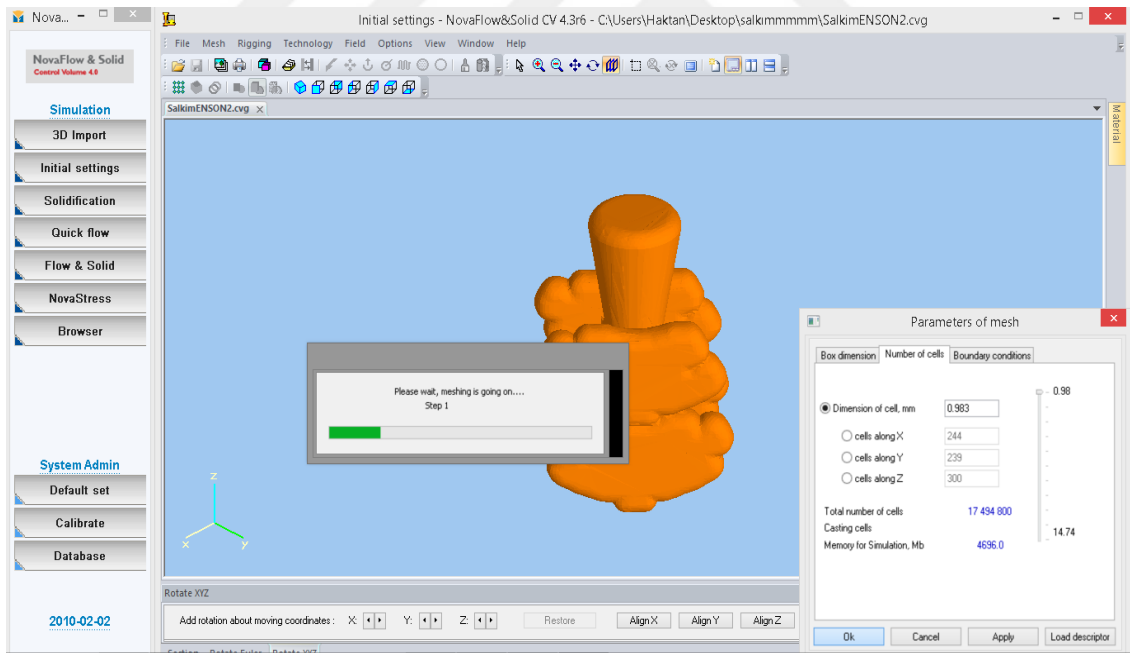


Şekil 58. Seramik Oluşumu

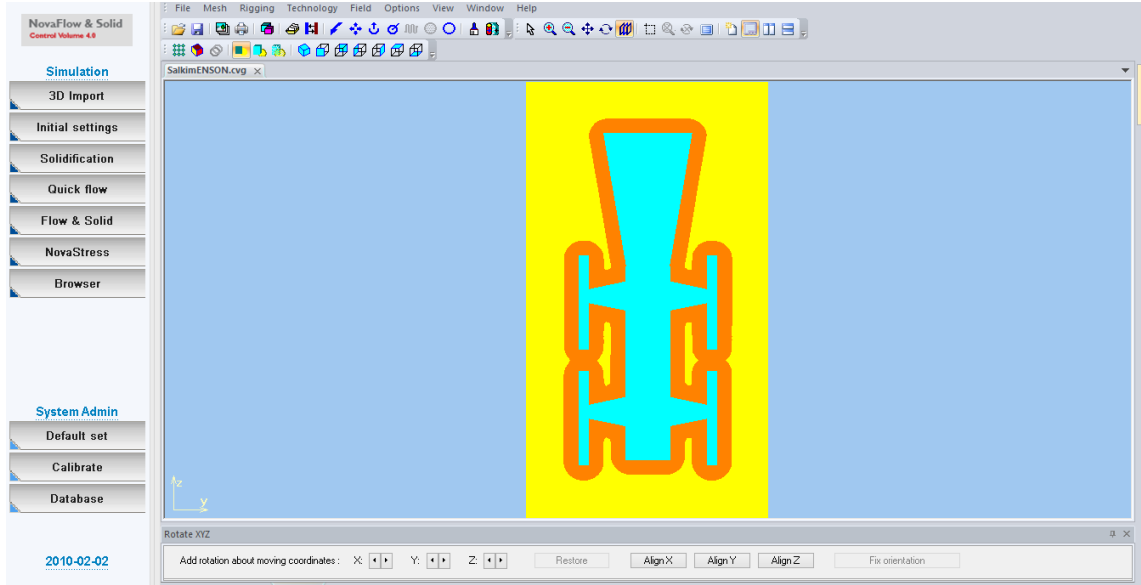
6. “Mesh” sekmesine tıklanarak “Build Mesh (Mesh oluştur)” komutu seçilerek gelen ekranda “Number of Cell (Hücre sayısı)” sekmesindeki “Dimension of Cell, mm (Hücre Boyutu) 0.98” e getirilerek mesh yoğunluğu yüksek tutulur. Bu işlem Şekil 59 ve 60 da gösterilmiştir. Mesh bittikten sonra oluşan ekran ise Şekil 61’de verilmiştir.



Şekil 59. Mesh Kalitesinin Belirlenmesi



Şekil 60. Mesh Oluşturulması



Şekil 61. Mesh Sonrası Oluşan Ekran

7. “Mesh” sekmesinden “Set Material (Malzeme Tanıt)” sekmesine tıklanarak

Turuncu Renk (Seramik)

- Material Class: Mould
- Material Type: Mould Material
- Material: Zircon Sand
- Initial Temperature: 800°C

Mavi Renk (Metal)

- Material Class: Low Alloyed Steels
- Material Type: Alloy
- Material: IC8620
- Initial Temperature: 1650°C

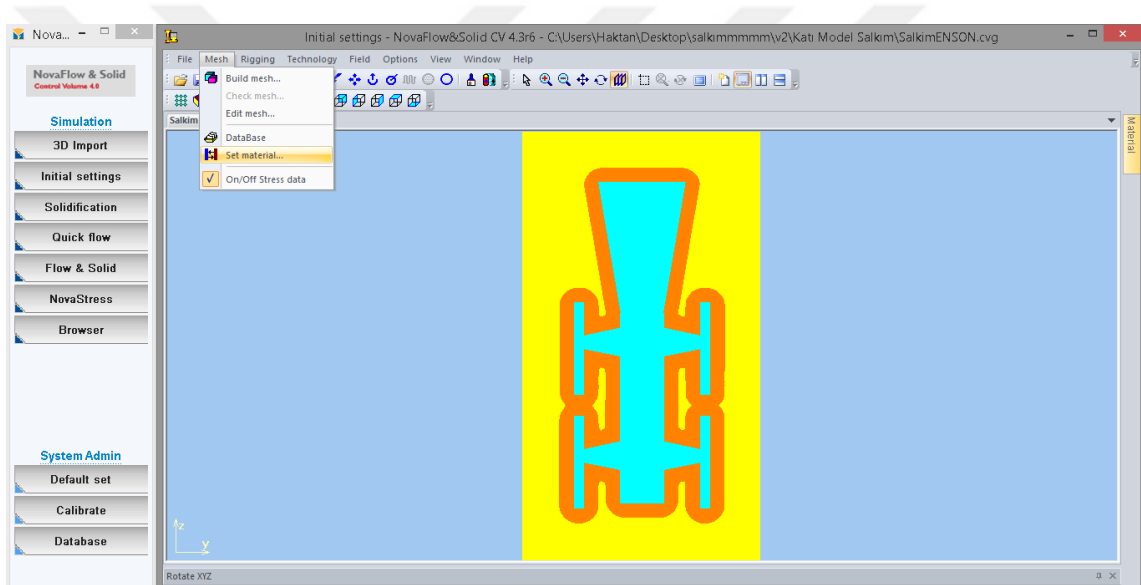
Sarı Renk (Atmosfer)

- Material Class: Mould Materials
- Material Type: Heating Media
- Material: Air_Outside
- Initial Temperature: 25°C

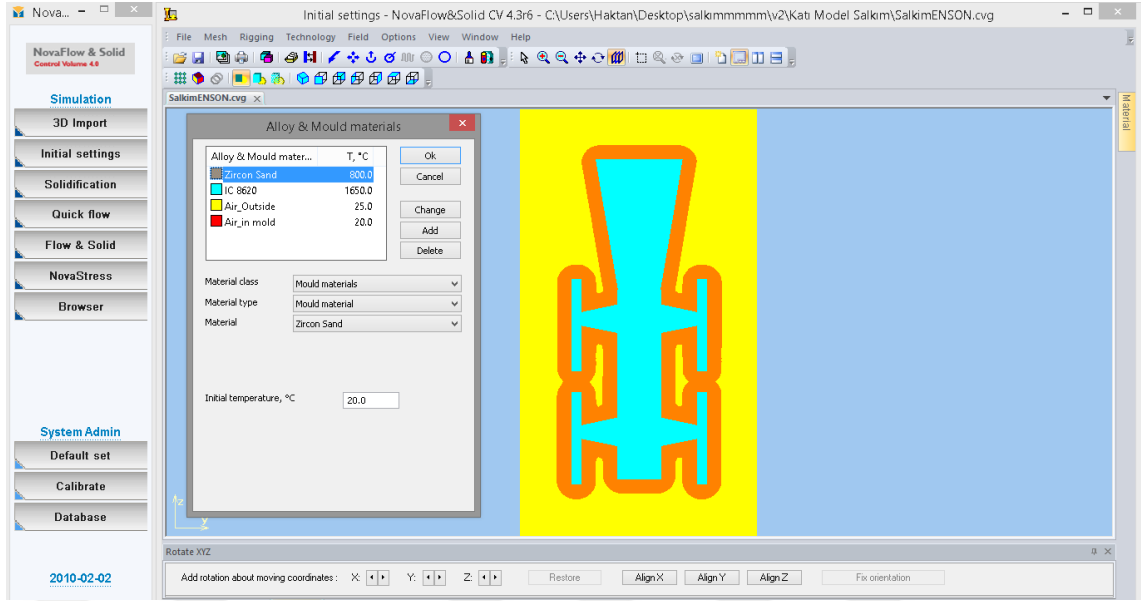
Kırmızı Renk (Kalıp Boşluğundaki Hava)

- Material Class: Mould Materials
- Material Type: Heating Media
- Material: Air_in Mould
- Initial Temperature: 800°C

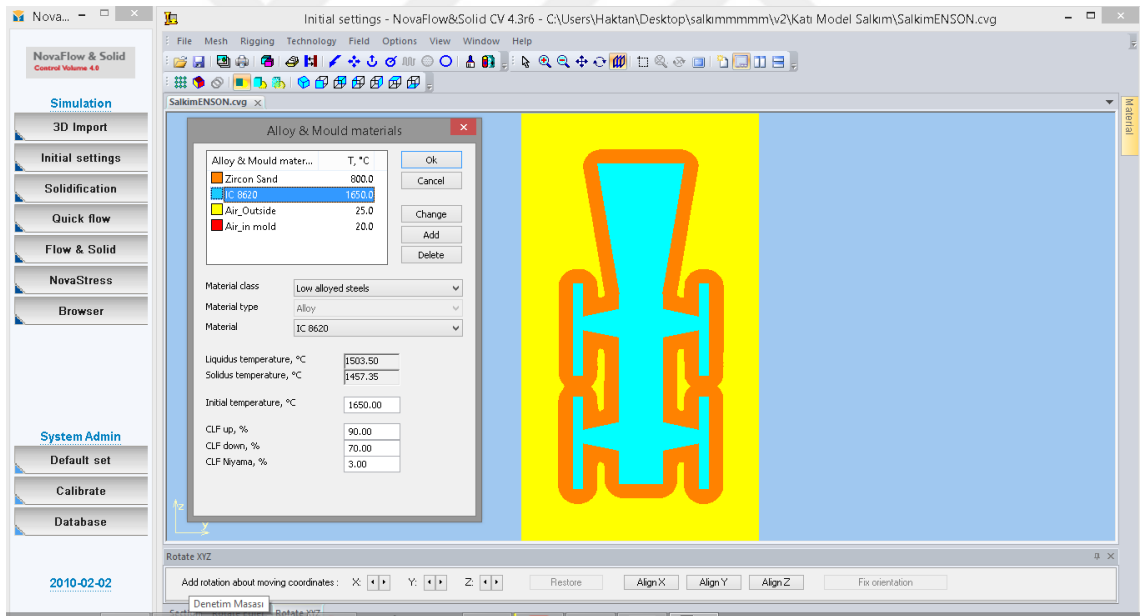
Olarak doldurarak her birinde “Change”’e tıklanarak en sonunda “OK” a tıklanır ve kaydedilerek çıkılır. Bu işlemler aşağıdaki Şekil 62-66 arasındaki ekranlardan yapılmaktadır.



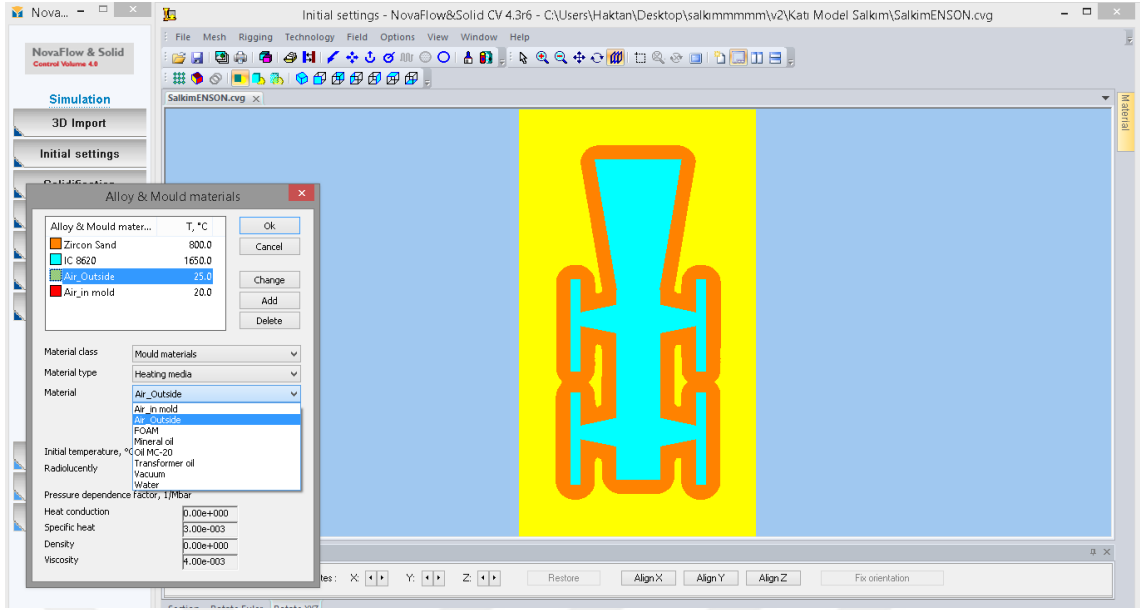
Şekil 62. Malzemenin Belirlenmesi Ekranı



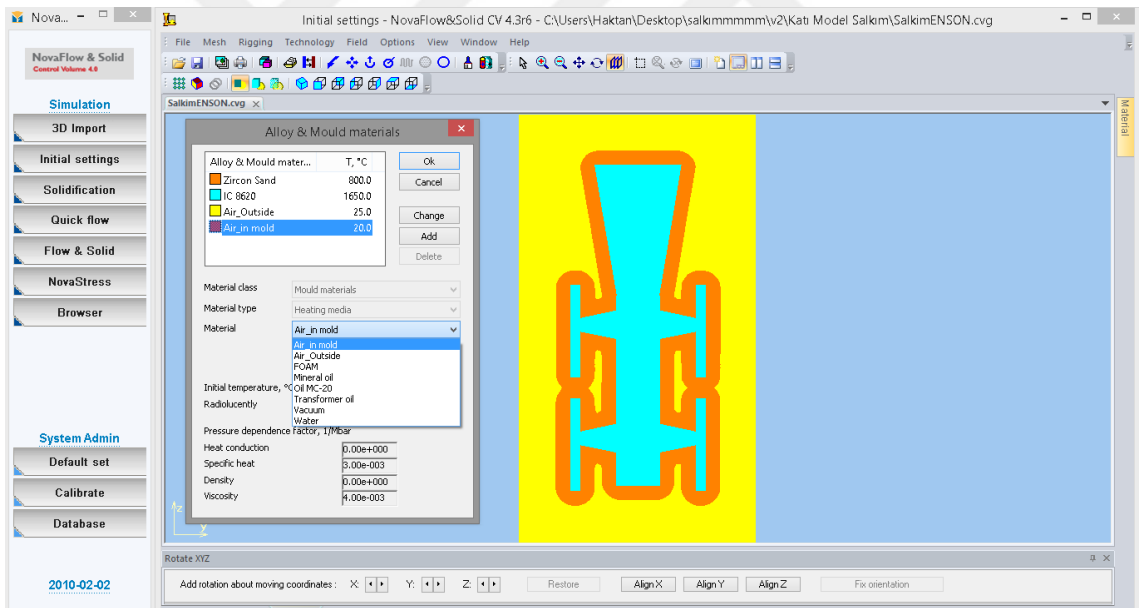
Şekil 63. Seramik Bilgilerinin Girilmesi



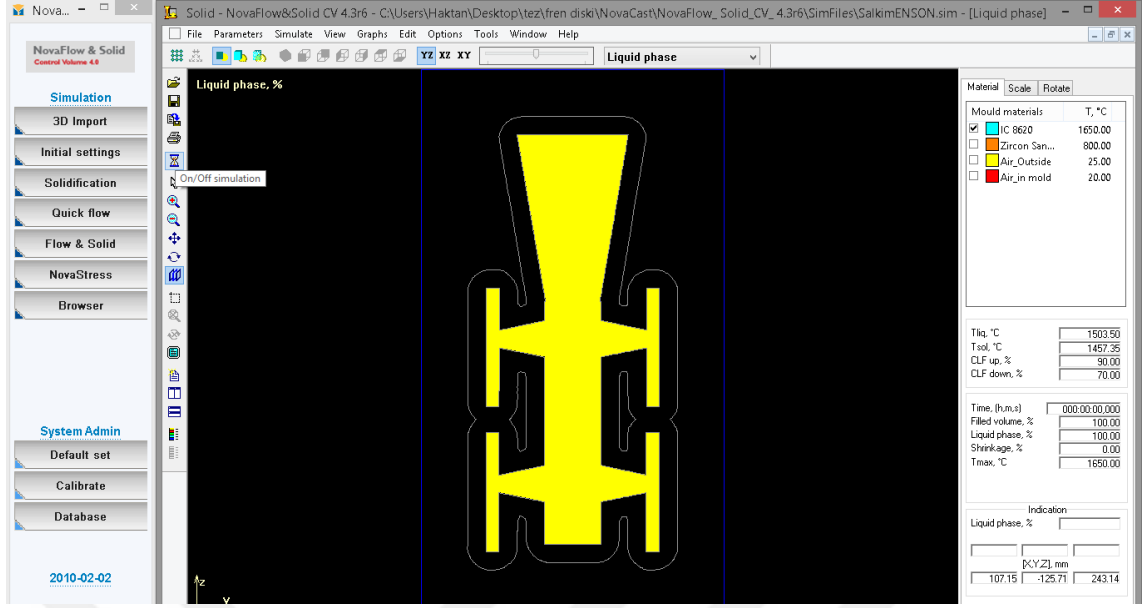
Şekil 64. Metal Bilgilerinin Girilmesi



Şekil 65. Atmosfer Bilgilerinin Girilmesi

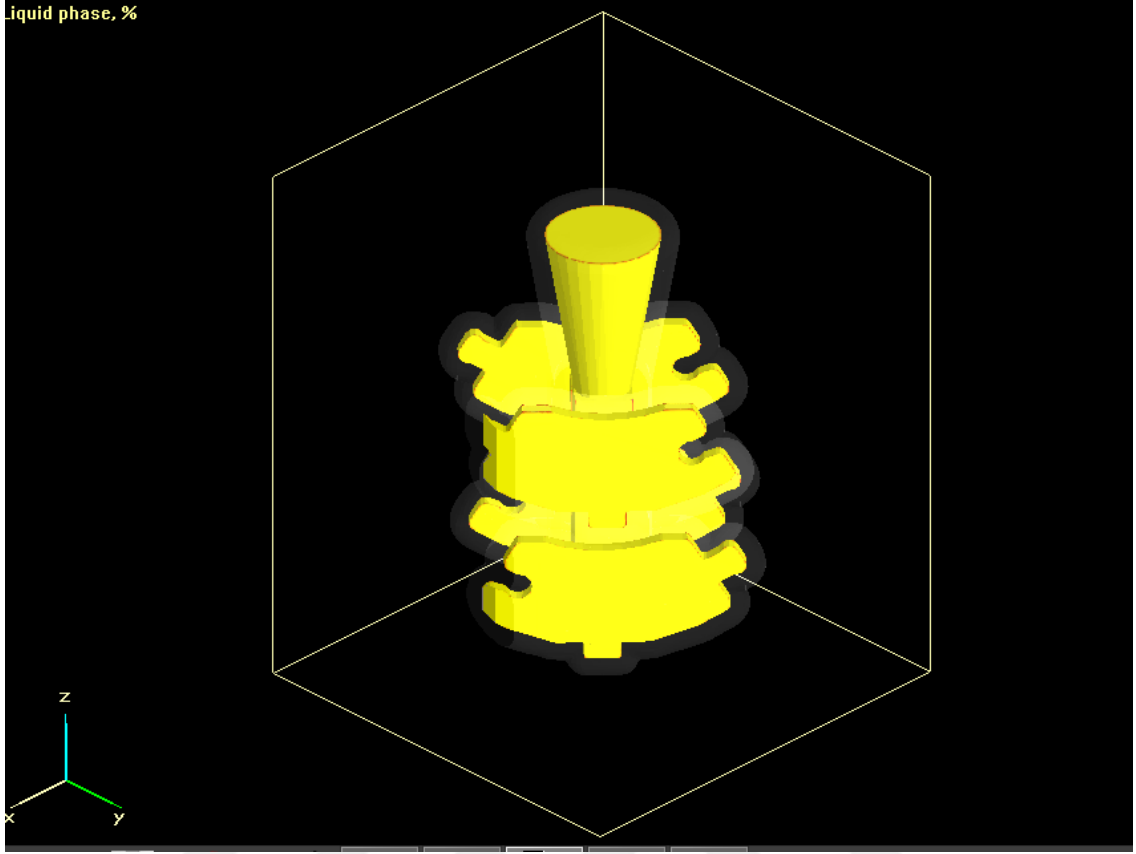


Şekil 66. Kalıp Boşluğu Bilgilerinin Girilmesi



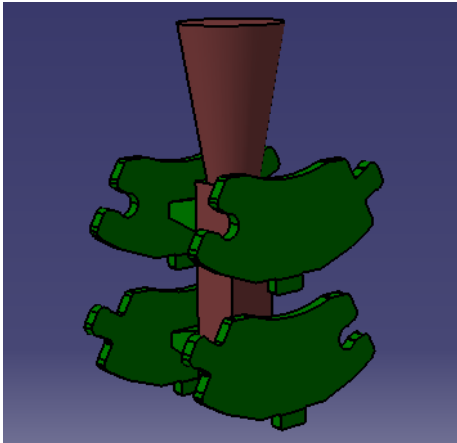
Şekil 67. Analiz Başlangıç Ekranı

Yukarıdaki kutucuk “Liquid Phase” olarak ayarlandıktan sonra “On/Off Simulation (Kum Saati Butonu)” sekmesine tıklanarak Şekil 67’de verildiği üzere simülasyon başlatılır. Analizin başlangıç ekranı ise Şekil 68’de verilmiştir.



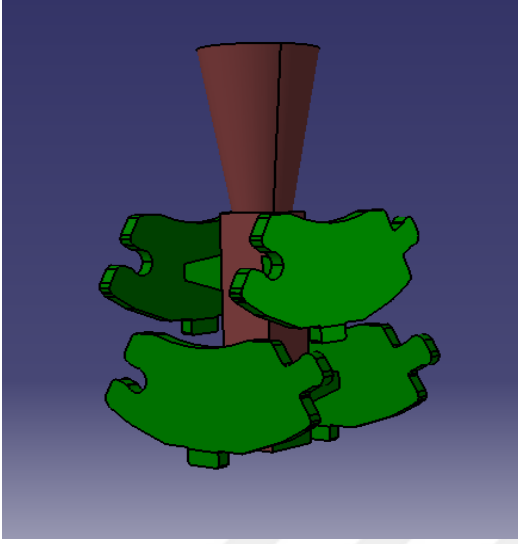
Şekil 68. Analiz Başlangıcı

Daha sonra aşağıda verilen salkım metoduna göre döküm simülasyonu yapılmış ve bu metod çalışması ile dökülen parçalarda bilgisayar ortamında çekinti boşluğu ve çatlak olmadığı gözlenmiştir.



Şekil 69. Numune-2

Yukarıda anlatılan tüm proses aşamaları 3 farklı numune tipi için tekrarlanarak analiz sonuçları karşılaştırıldı. 3 farklı numuneden numune-2 Şekil 69’da numune-3 ise Şekil 70’de verilmiştir.



Şekil 70. Numune-3

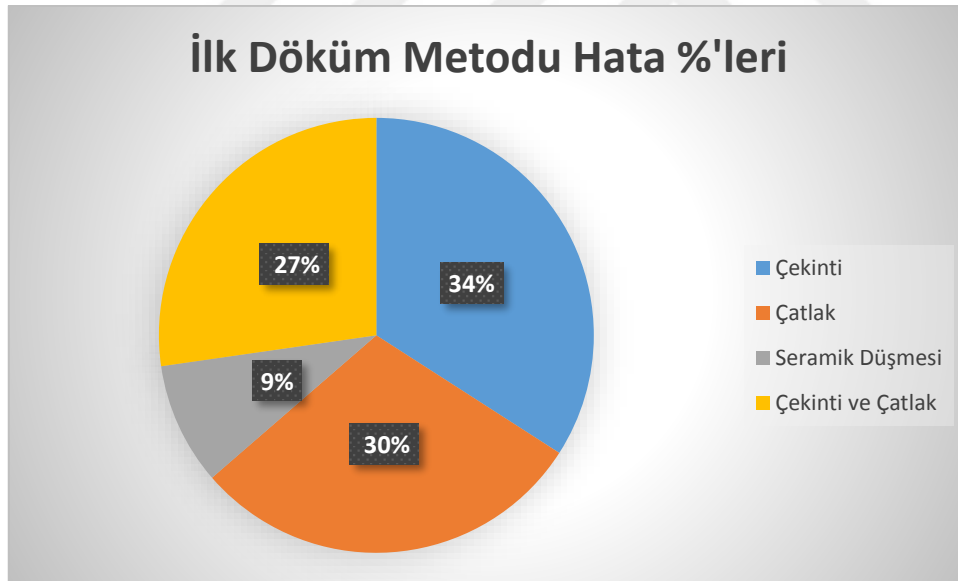
Yukarıda verilen ikinci döküm metoduna ait tüm proses aşamaları; diğer numuneler içinde tekrarlanmıştır. Numune-2’nin geometrisinde yapılan iyileştirmeler ile numune-3 oluşturulmuştur.

3. BULGULAR

Toplamda 100 adet parça dökülen ilk döküm metodunun tahribatsız muayenesi sonucunda çıkan döküm hataları Tablo 21’de ve yüzdeleri Şekil 71’de verilmiştir. Parçalardan bazılarında hem çekinti boşluğu hem de çatlak olduğu için ikisinin birlikte olduğu parçalar için tabloda ayrı bir alan verilmiştir.

Tablo 21. Numune 1 İçin Oluşan Hatalar

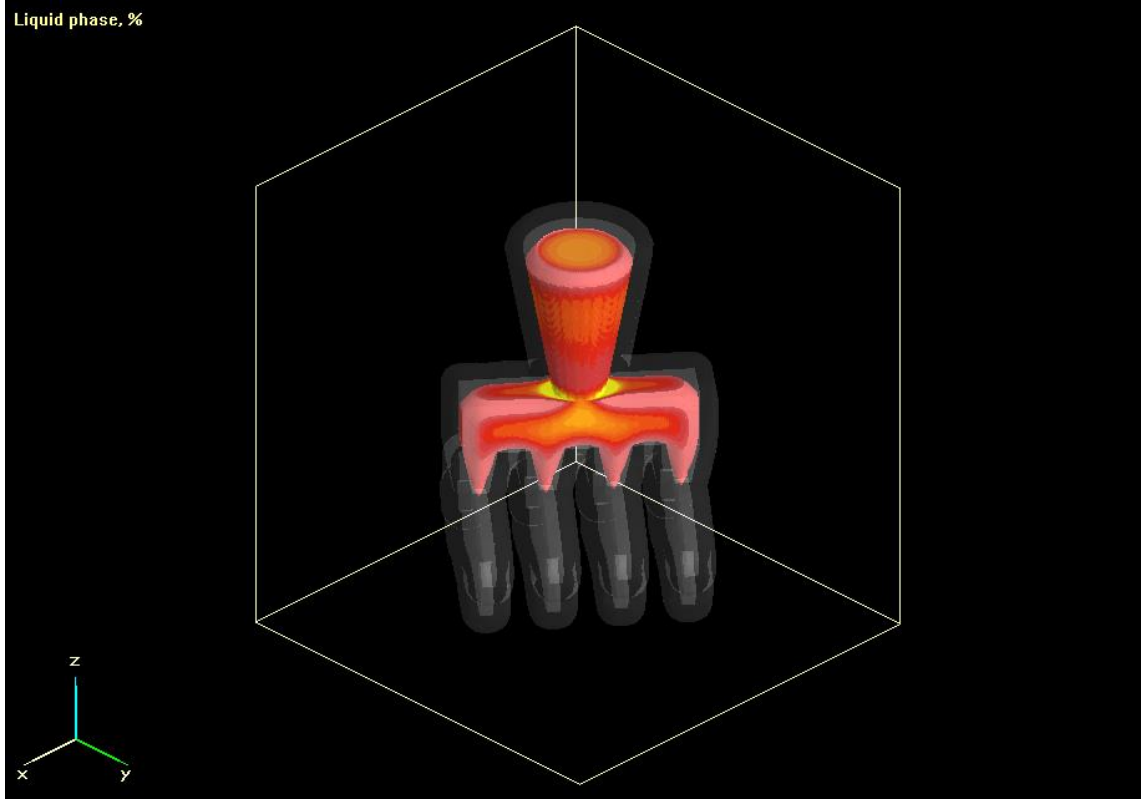
Döküm Hatası	Adet
Çekinti	15
Çatlak	13
Seramik Düşmesi	4
Çekinti ve Çatlak	12



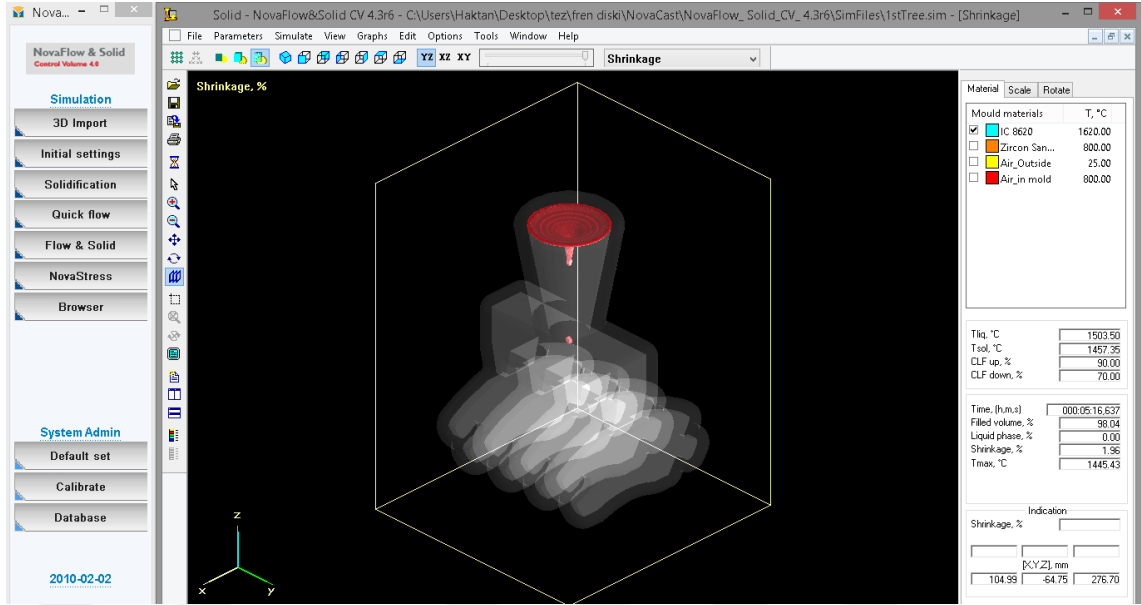
Şekil 71. Numune-1 Hata Yüzdeleri

Yapılan katılaşma simülasyonunda shrinkage (çekinti), solidification time (katılaşma süresi), thermal modulus (termal modül) ve mikroporozite oluşabilecek alanı gösteren Niyama criterion (Niyama kriteri) incelenmiştir. Şekil 72’de katılaşma anındaki simülasyondan bir kesit, Şekil 73 de çekinti oluşumunu gösteren simülasyondan bir kesit,

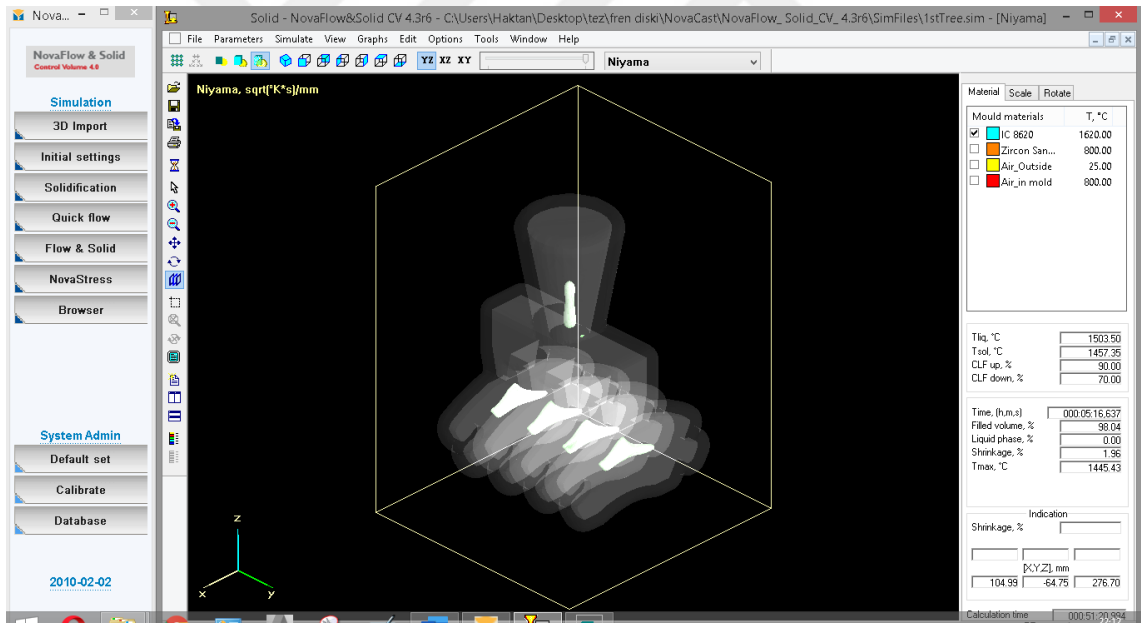
Şekil 74 de niyama kriterini gösteren andan bir kesit ve Şekil 75 de ise dökümü yapılan numunenin belli zaman aralıkları içerisindeki sıcaklık değişimleri verilmiştir.



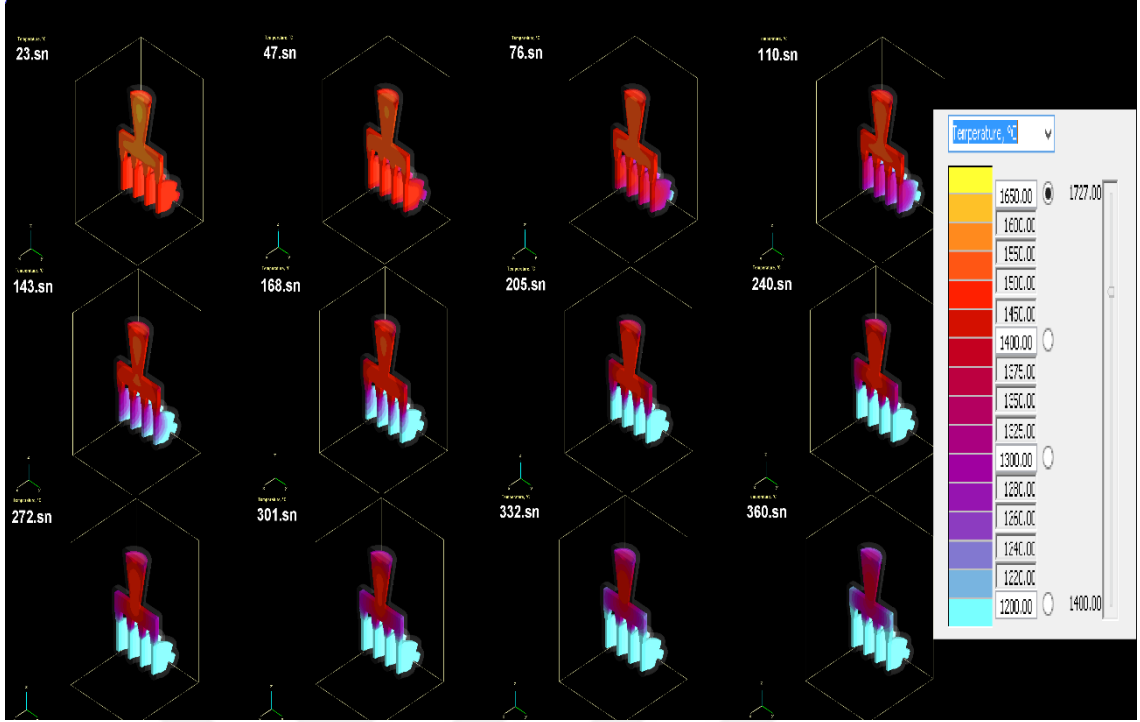
Şekil 72. Katılaşma Anında Simülasyon



Şekil 73. 3D Shrinkage (Çekinti)

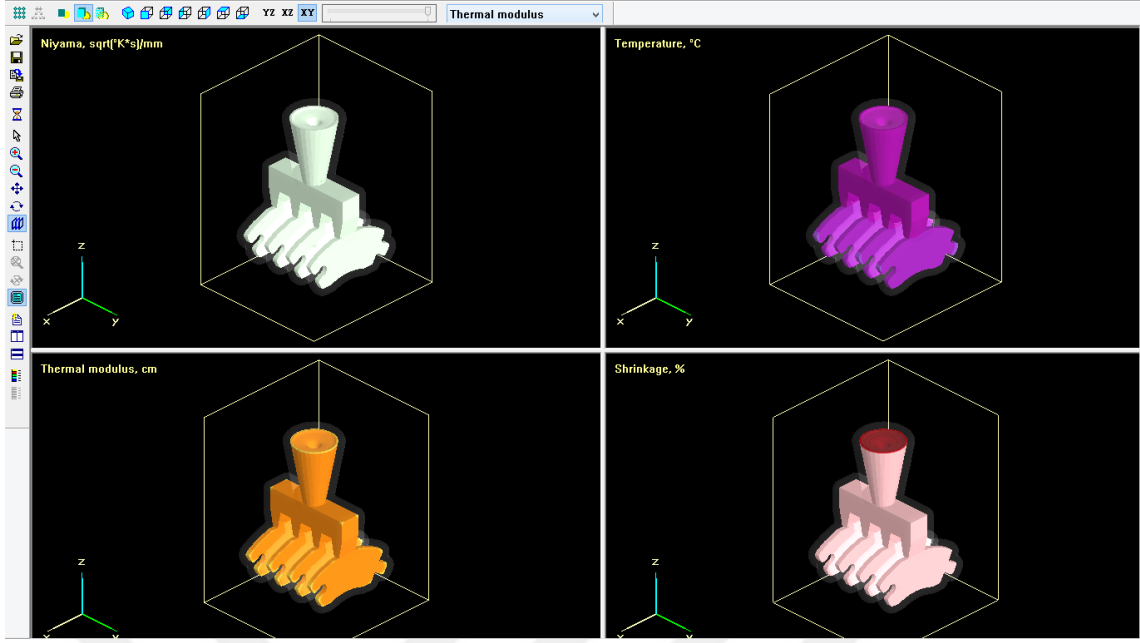


Şekil 74. Niyama



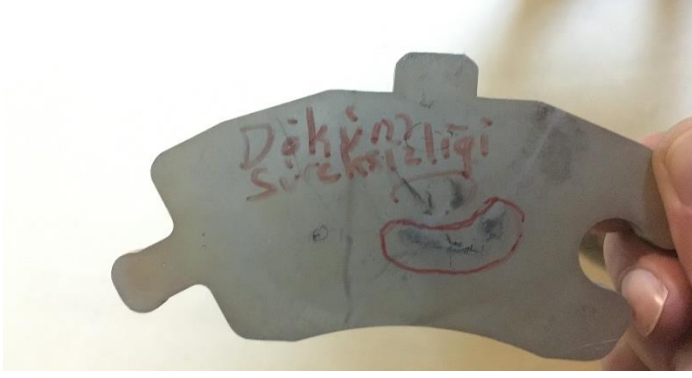
Şekil 75. Dökümü Yapılan Numunenin Sıcaklık-Zaman Değişimi

Yukarıdaki şekilden de anlaşılacağı üzere soğuma numunenin köşelerinden başlayıp besleme noktasına doğru ilerlemektedir. 6 dakika gibi bir süre içerisinde disklerin tamamının aynı sıcaklığa eriştiği gözlenmektedir. Meme kısmında oluşan geç soğumanın etkisiyle numunelerdeki ve simülasyondaki hatalar da göz önünde bulundurularak bu döküm geometrisinin mükemmel olmadığı sonucu ortaya çıkmıştır.



Şekil 76. Niyama, Sıcaklık, Termal Modül ve Çekinti Dörtlüsü

Elde edilen sonuçlar neticesinde parçada makro boyutta çekinti oluşmadığı saptansa dahi Şekil 76’da görüldüğü üzere Niyama kriterinin verdiği sonuca göre parçanın merkezinde kümüle olmak üzere boydan boya mikroporozite riski taşıdığı saptanmıştır. Ayrıca katılaşma süreleri ve termal modüller incelendiğinde parçanın tamamen sağlıklı bir şekilde katılaşmasının ana rolünü oynayan yönlü katılaşma kinetiğinden tamamen sapmış olduğu gözlemlenmiş ve bu döküm metodunun kolaylıkla mikroçekinti, segregasyon ve termal çatlak gibi döküm hatalarına yol açabileceği saptanmıştır. Yapılan işlemler sonucunda gözle ve Ndt yöntemiyle gözlenen çatlaklar Şekil 77 ve Şekil 78 de gösterilmiştir. Manyetik parçacık kontrolü ASTM E1444 (Magnetic Particle Examination) standartına uygun şekilde yapılmıştır.



Şekil 77. Gözle Muayenede Görülen Çatlak

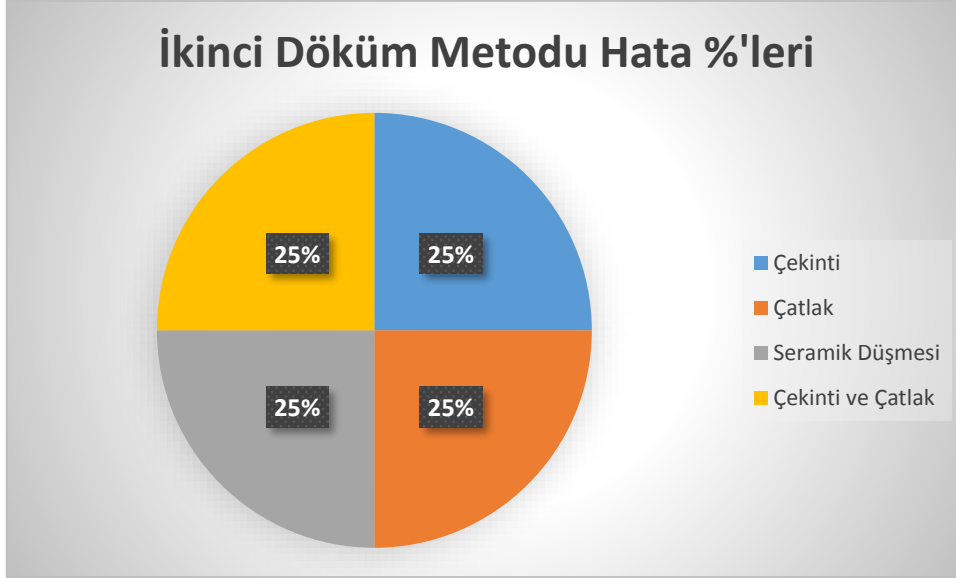


Şekil 78. NDT Aşamasında Görülen Çatlak

Simülasyon sonrası revize edilen döküm metodunun tahribatsız muayenesi sonucunda çıkan döküm hataları Tablo 22’de ve yüzdeleri Şekil 79’da verilmiştir.

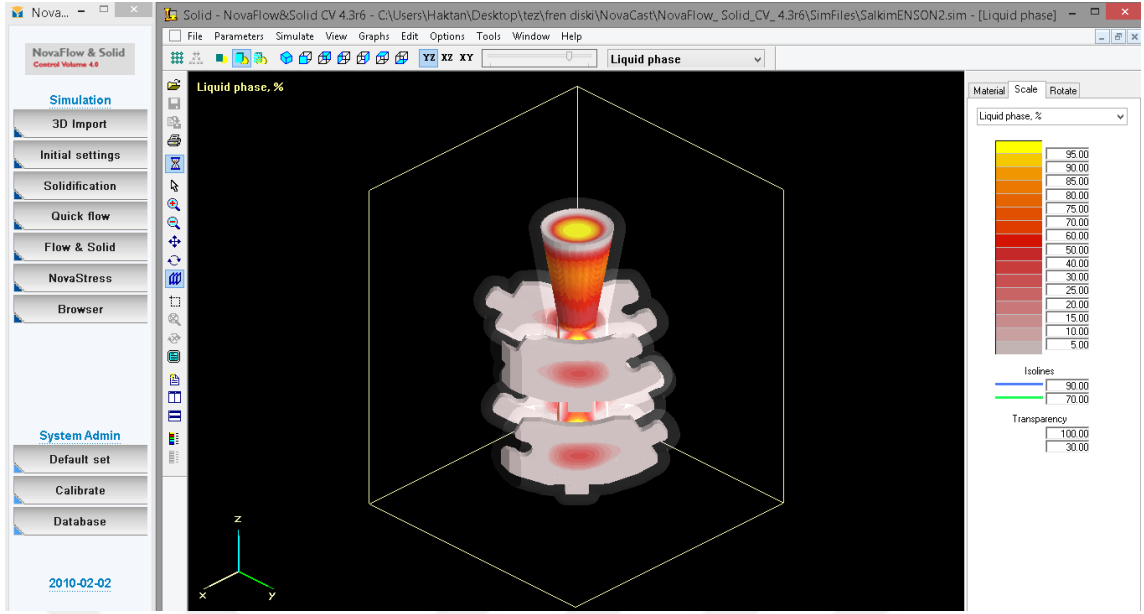
Tablo 22. Numune 2 İçin Oluşan Hatalar

Döküm Hatası	Adet
Çekinti	1
Çatlak	1
Seramik Düşmesi	1
Çekinti ve Çatlak	1

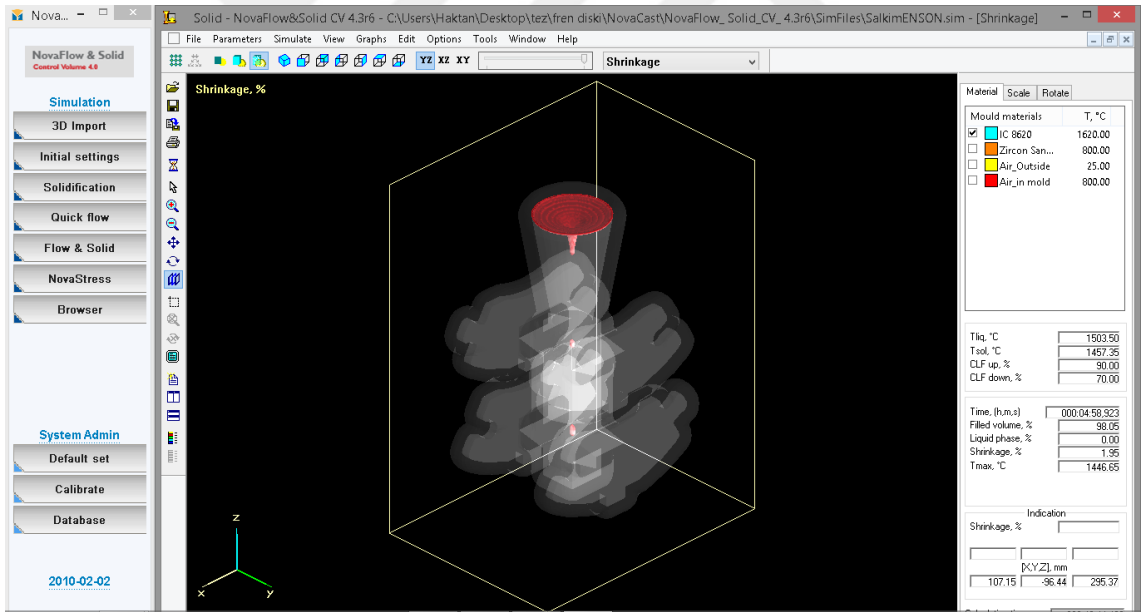


Şekil 79. Numune-2 Hata Yüzdeleri

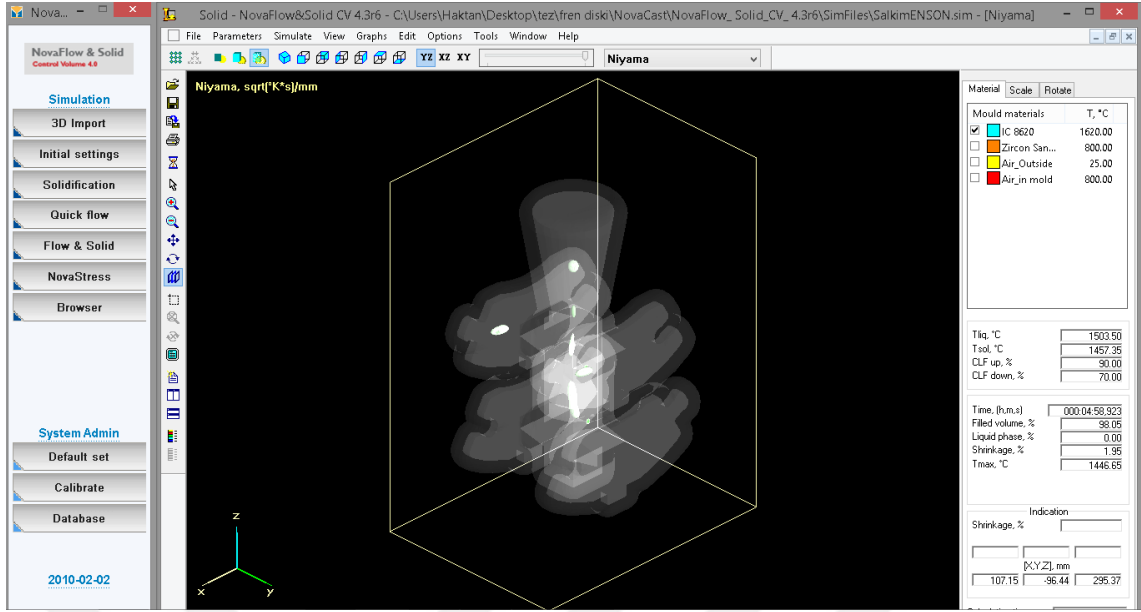
Yeni döküm metoduna göre yapılan katılaşma simülasyonunda shrinkage (çekinti), solidification time (katılaşma süresi), thermal modulus (termal modül) ve mikroporozite oluşabilecek alanı gösteren Niyama criterion (Niyama kriteri) aşağıda verildiği üzere incelenmiştir. Şekil 80 de katılaşma anında simülasyonda gözüken anda bir kesit verilmiştir. Şekil 81 de ise çekinti, Şekil 82 de Niyama kriteri, Şekil 83 de de belli zaman aralıkları içeri sinde döküm yapılan numunenin değişiminin belli sıcaklık değişimi verilmiştir. Şekil 84 de simülasyon 4 ekran haline getirilip aynı anda termal modül, sıcaklık, sıvı faz, çekinti dörtlüsü incelenmesi esnasında bir kesit verilmiştir. Şekil 85 de ise mikroçekintinin nerede gerçekleştiği incelenmiştir.



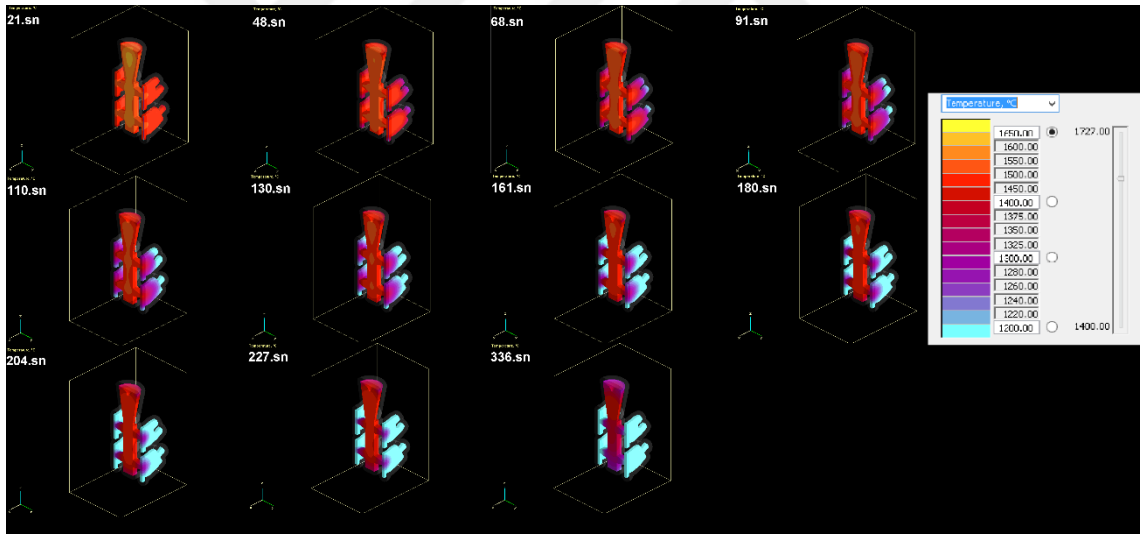
Şekil 80. Katılma Anında Simülasyon



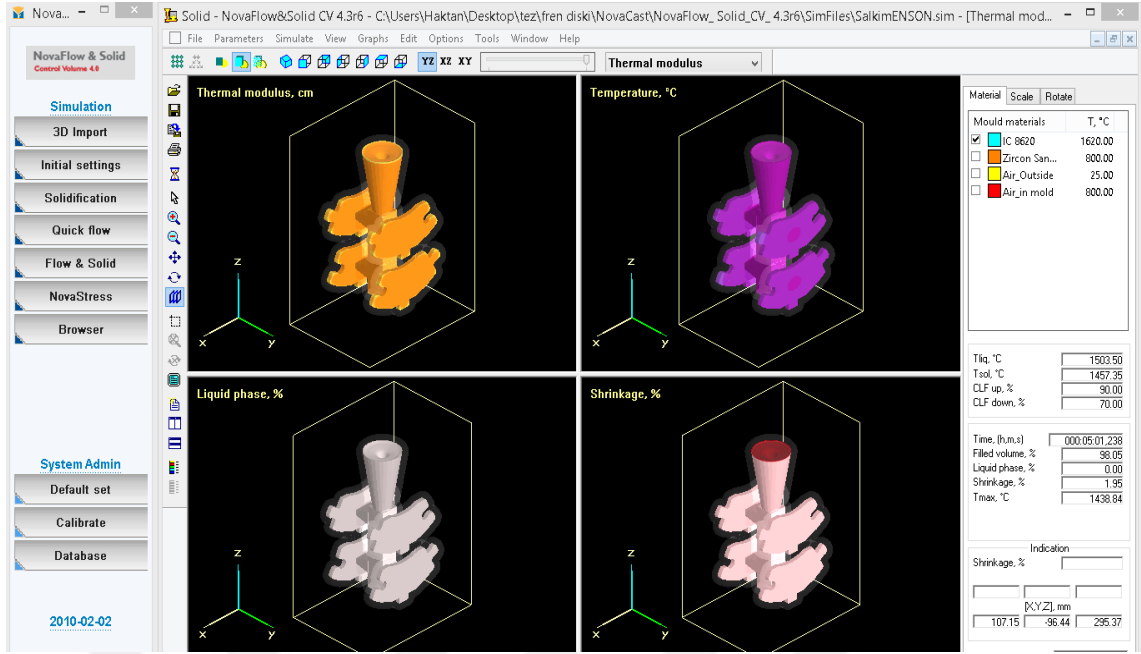
Şekil 81. Shrinkage (Çekinti)



Şekil 82. Niyama

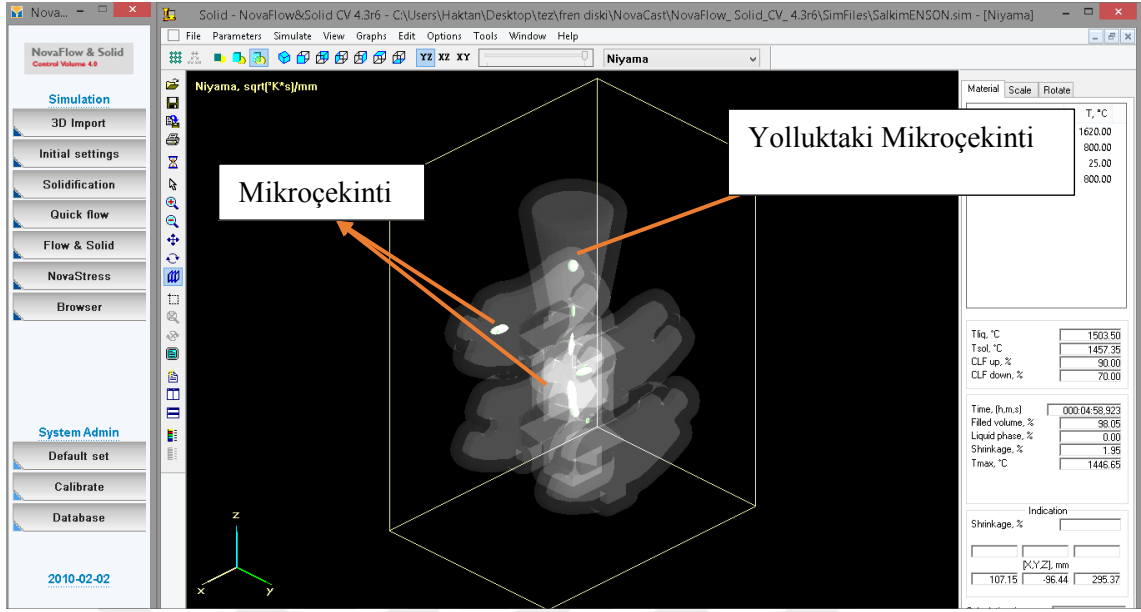


Şekil 83. Dökümü Yapılan Numunenin Sıcaklık-Zaman Değişimi

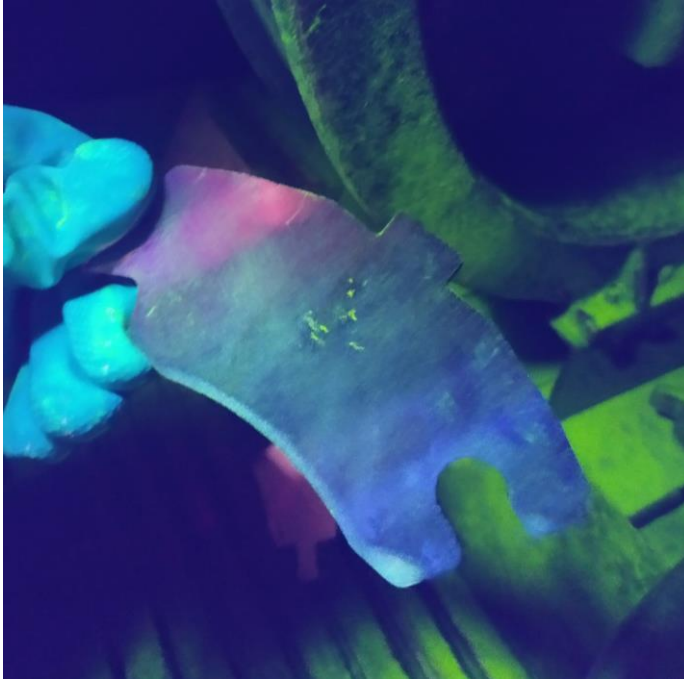


Şekil 84. Termal Modül, Sıcaklık, Sıvı Faz, Çekinti Dörtlüsü

Elde edilen sonuçlar neticesinde parçada makro ve mikro boyutta çekinti oluşmadığı saptanmıştır. Ayrıca katılaşma süreleri ve termal modüller incelendiğinde parçanın tamamen sağlıklı bir şekilde katılaşmasının ana rolünü oynayan yönlü katılaşma ilkesinin sağlanarak mikroçekinti, segregasyon ve termal çatlak gibi döküm hataları minimuma indirilmiştir.



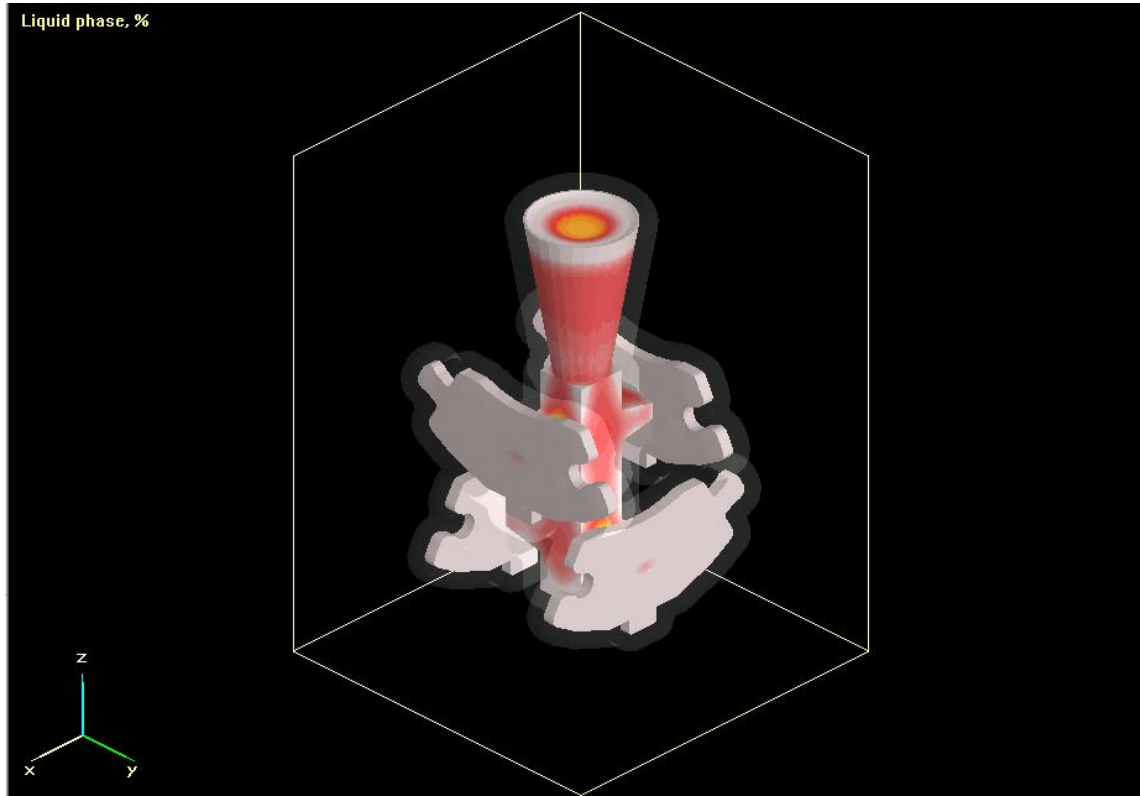
Şekil 85. Mikroçekinti



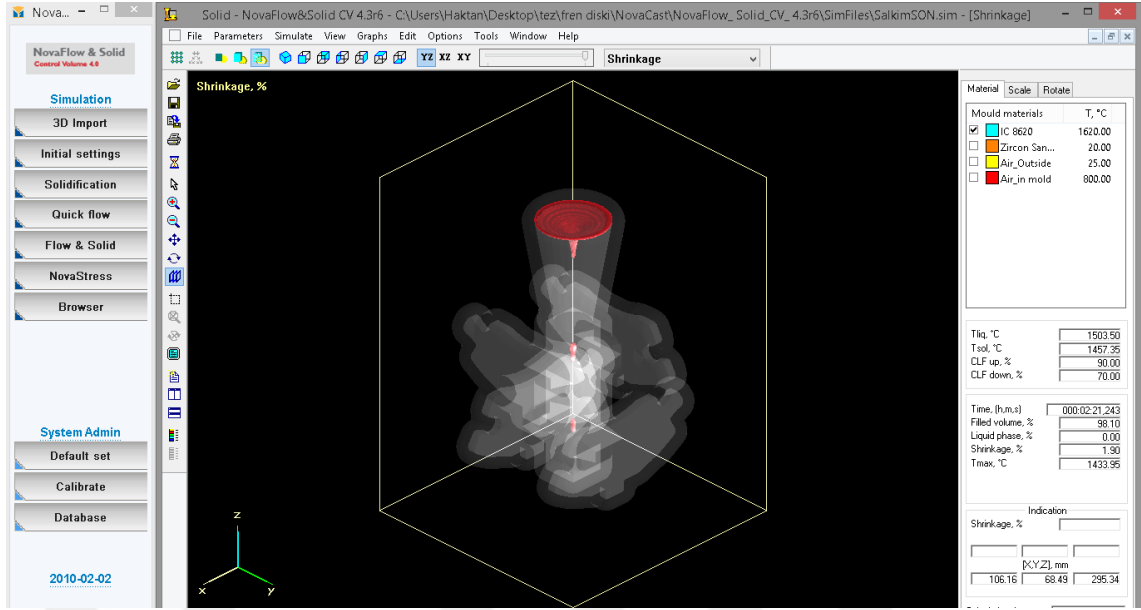
Şekil 86. Mikroçekinti Boşlukları

Simülasyonda verilen alana yakın bir bölgede işleme sonrası ortaya çıkan mikro çekinti boşlukları Şekil 86’da gözlenmiştir.

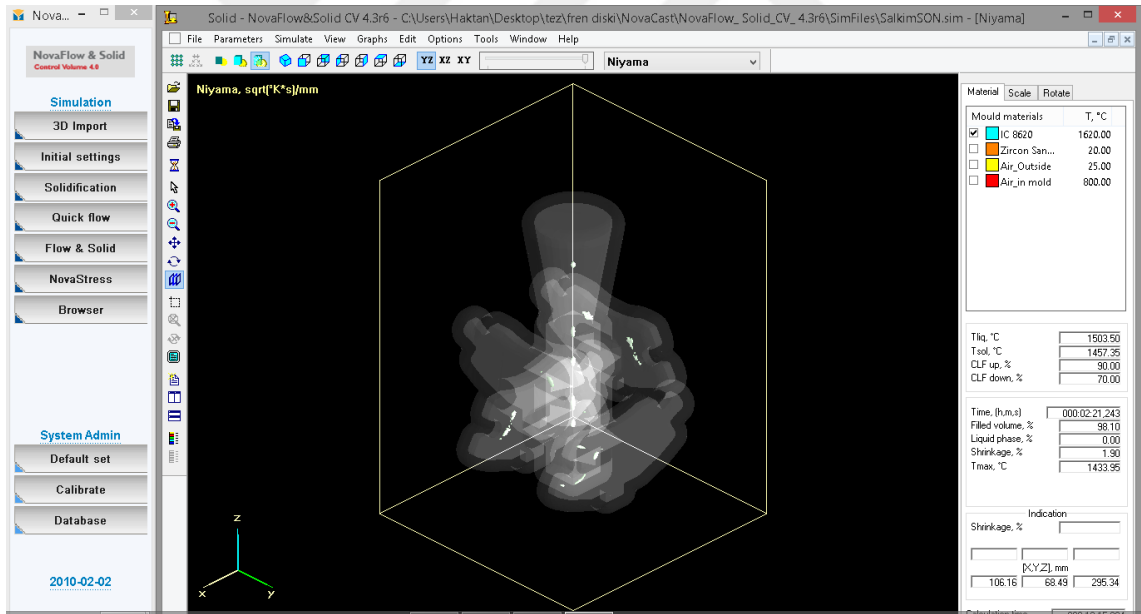
İkinci döküm metodunda parçaların salkımda yakın dizilmesinden dolayı üst tarafta bulunan parçaların alt kısmının daha yavaş soğuduğu, yönlü katılaşmanın makro çekintiye mahal vermeyecek fakat Niyama’da saptandığı üzere küçük bir bölgede mikroçekinti yaratabileceği bulgusu saptanması üzerine Şekil 87’de görülen üçüncü bir döküm metodu uygulanmıştır. Şekil 88 de çekinti, Şekil 89 da niyama kriteri, Şekil 90 dökümü yapılan numunenin zamana bağlı olarak sıcaklık değişimi, Şekil 91 de ise dört farklı ekranda aynı anda mesh, sıcaklık, sıvı faz, çekinti özellikleri incelenirken ki kesitlerinden bir parça verilmiştir.



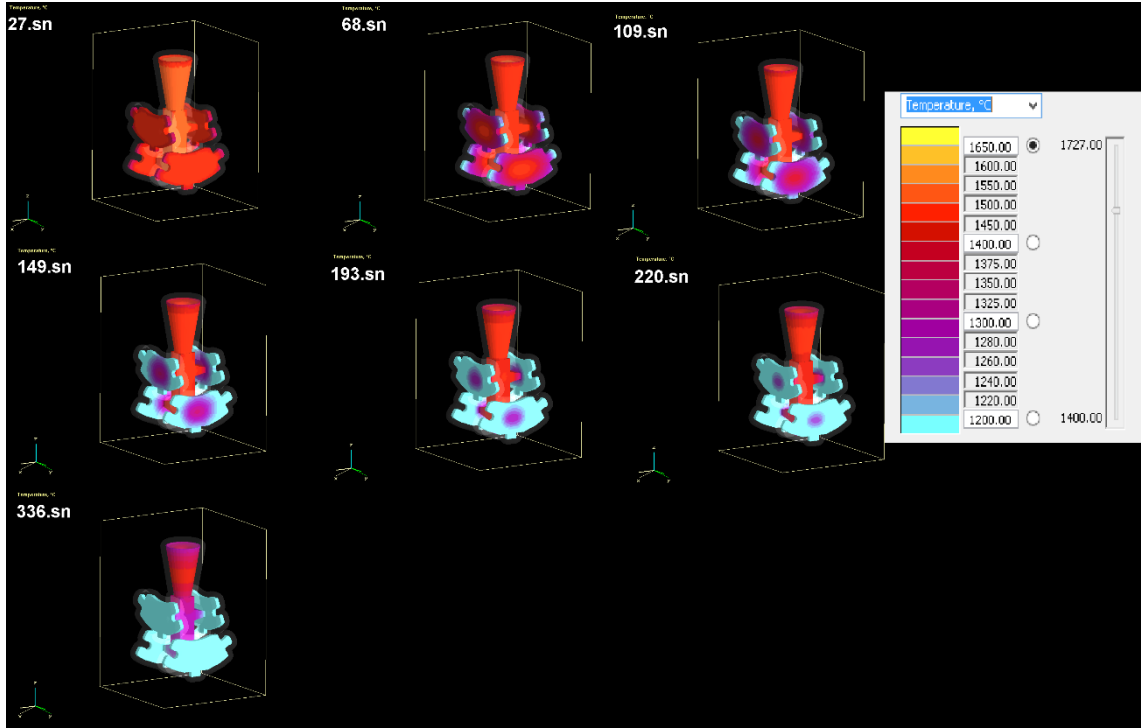
Şekil 87. Katılaşma Anında Simülasyon



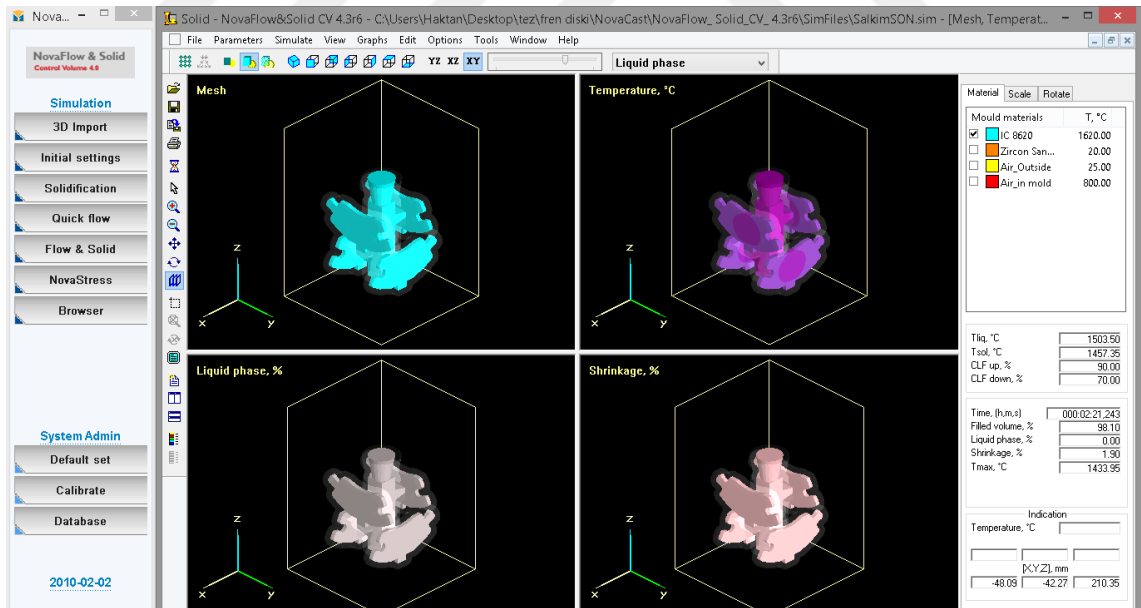
Şekil 88. Shrinkage (Çekinti)



Şekil 89. Niyama



Şekil 90. Dökümü Yapılan Numunenin Sıcaklık-Zaman Değişimi



Şekil 91. Mesh, Sıcaklık, Sıvı Faz, Çekinti Dörtlüsü

Bu simülasyon neticesinde dökülen parçalardan Tablo 23'te görüldüğü gibi yalnızca 1 adetinde çatlak meydana gelmiştir. Diğer döküm hatalarıyla karşılaşılmadığı için hata yüzdesi olarak %100 çatlak gözlenmiştir.

Tablo 23. Numune 3 İçin Oluşan Hatalar

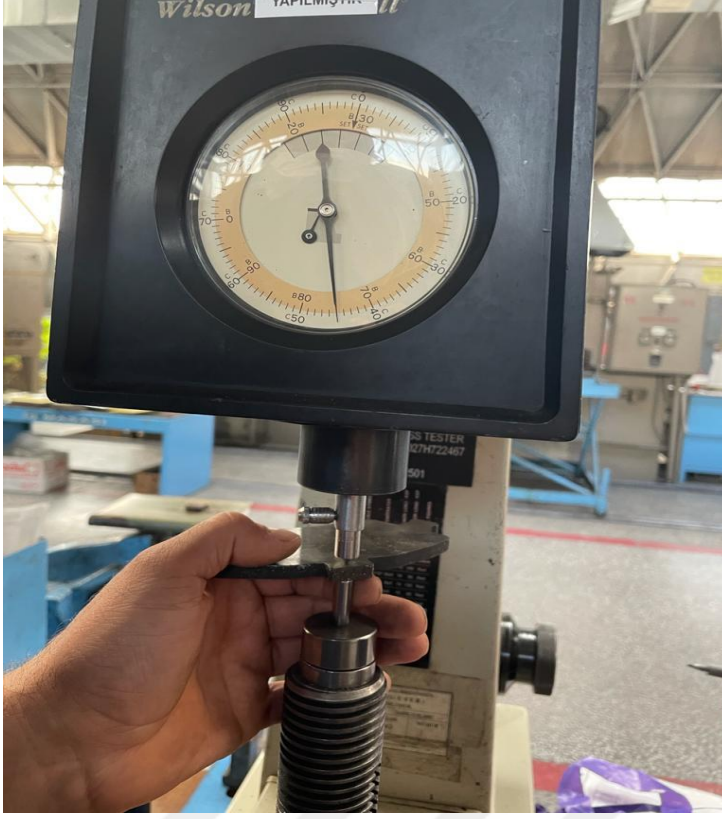
Döküm Hatası	Adet
Çekinti	-
Çatlak	1
Seramik Düşmesi	-
Çekinti ve Çatlak	-



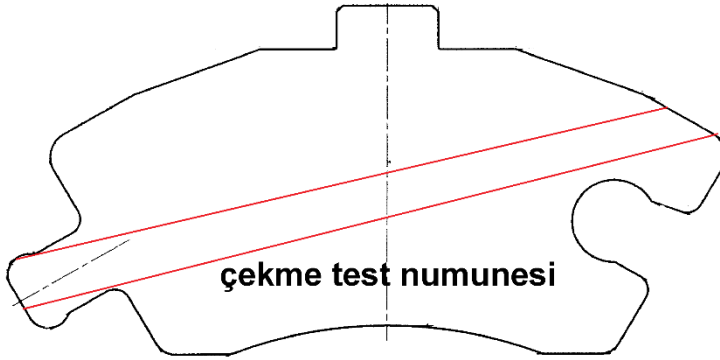
Şekil 92. Kabul Kriterindeki Parçanın NDT'si

Kabul kriterlerini karşılayan parçanın NDT'si Şekil 92'de verilmiştir.

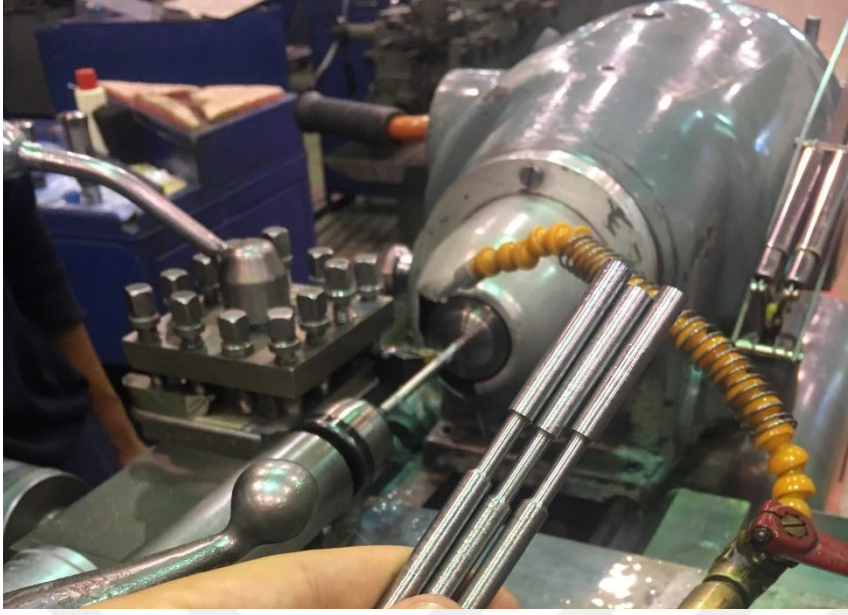
Elde edilen numunelerin iç yapılarında farklılık olup olmadığını gözlemleyebilmek amacıyla hazırlanan numuneler sertlik ve çekme testlerine tabi tutulmuştur. Sertlik testi standartlarda belirtildiği üzere Şekil 93'de görüldüğü gibi yapılmıştır. Çekme testi için Şekil 94'te görülen numune, lazer tezgahında kesilip torna tezgahında işlenerek Şekil 95'teki son haline getirilmiştir.



Şekil 93. TS EN 150 6508 Standartına Göre Yapılan Sertlik Testi



Şekil 94. Üretilen Numunelerin Çekme Testi Standartına Uyması Amacıyla Lazerde Kesilme Şekli



Şekil 95. Tornada İstenilen Ölçülere Getirilen Çekme Testi Numuneleri

Tablo 24. Deney Sonuç Tablosu

	NUMUNE-1	NUMUNE-2	NUMUNE-3	ISIL İŞLEMSİZ NUMUNE
SERTLİK	45 HRC	45 HRC	46 HRC	<15RC
ÇEKME	655 Mpa	735 MPa	1652 Mpa	690 Mpa
AKMA	-	-	1581 Mpa	454 Mpa
MUKAVEMETİ				
% UZAMA	%1,3	%1,2	%4,0	%7,7

Üretilen numuneler çekme ve sertlik testlerine tabi tutulmuş olup elde edilen sonuçlar Tablo 24’te verilmiştir. Çekme testi ASTM E 8’e göre yapılmıştır. Numune-1, Numune-2 ve Numune-3 yukarıda bahsetildiği gibi farklı salkım modellerine göre üretilmiştir. Numune-4 ise Numune-1 gibi dökümü yapıldıktan sonra ısıtıl işleme girmemiştir.

1 nolu parçada ısıtıl işlem uygulanmış hassas döküm, çelik döküm malzemeden üretilmiştir. Döküm kalitesi ile ilgili poroziteler ve merkezdeki çekinti işleme esnasında çentik etkisi yaptığından kırılma yapı nedeniyle akma mukavemeti gözlenmemiştir. Bu

nedenle % uzama değeri çok düşüktür. İç malzeme kusurları nedeniyle sertlik mukavemet ilişkisi uygun olmayıp çok düşük kalmıştır.

2 nolu parça ısıtıl işlem uygulanmış hassas döküm ile çelik döküm malzemedir. Döküm kalitesi ile ilgili poroziteler ve merkezdeki çekinti ile işleme esnasında çentik etkisi yaptığından kırılma yapı nedeniyle akma mukavemeti gözlenmemiştir. Bu nedenle % uzama da çok düşük olmaktadır. İç malzeme kusurları nedeniyle sertlik mukavemet ilişkisi uygun olmayıp çok düşük kalmıştır. 1 ve 2 nolu parça için Ndt manyetik parçacık yöntemiyle yüzey hataları kontrol edilmesine rağmen, yüzeysel ve yüzey altı döküm hatalarının parçanın merkezinde ve son katılma kısmında yoğunlaştığı görülmektedir.

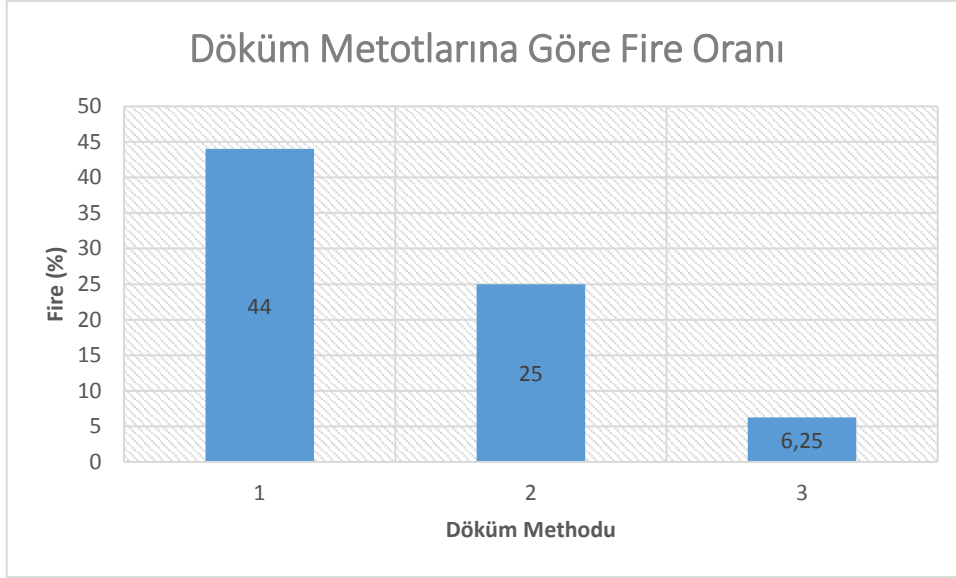
3 nolu parça ısıtıl işlem uygulanmış hassas döküm çelik malzemedir. Döküm kalitesi çok iyi olup porozite ve diğer malzeme kusurları gözlenmemiştir. Sertlik mukavemet ilişkisi en uygun malzemedir.

4 nolu malzeme ısıtıl işlem uygulanmamış hassas döküm çelik malzemedir. Döküm kalitesi iyi olup porozite ve diğer malzeme kusurları gözlenmemiştir. Sertlik mukavemet ilişkisi uygundur.

Yapılan farklı salkım modellerine göre elde edilen fire yüzdeleri Şekil 96'da verilmiştir. Şekle göre ilk salkım modelinde %44 gibi büyük bir fire oranı varken ikinci salkım modelinde bu oran %25'lere düşmüştür. Yapılan son iyileştirme neticesinde %6.25 lik bir fire oranı döküm çatlağından verilmiş olup çekinti boşluğu tamamen giderilmiştir.

İlk salkım modelinde %40'lık döküm metodu kaynaklı fire verilmiş %4 lük kısım seramik düşmesi kaynaklı olmuştur. İkinci salkım modelinde ise %25'lik hata payının %18.75'i metot kaynaklı olup geriye kalan %6.25'lik kısmı seramik düşmesinden kaynaklanmıştır.

Sonuç olarak her ne kadar işçilik kaynaklı hatalarda simülasyonun etkisi olmasa dahi metot kaynaklı hatalarda büyük bir düşüş yaşanmıştır.



Şekil 96. Numunelerin Fire Oranları

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Geleneksel döküm yöntemiyle yapılan dökümlerin fire oranlarının yüksek olması neticesinde ilk salkım modeli simülasyon ortamında hazırlanarak denenmiştir. Bu üretim metoduna göre 100 adet dökülmüş olan parçaların tahribatsız muayenesi sonucunda çıkan döküm hatalarının %15'i çekinti, %13'ü çatlak, %4'ü seramik düşmesi, %12'si hem çatlak hem de çekinti boşluğu olarak gözlenmiştir. Toplam olarak bu üretimde %44'lük bir fire oranı tespit edilmiştir.

Bu simülasyon denemesi sonrasında yönlü katılaşmanın kontrolü katılaşma süresi ve termal modül üzerinden incelenerek çatlakla sebep olabileceği kanısına varılmış ve her ne kadar shrinkage (çekinti) modülünde herhangi bir döküm hatası tespit edilemese dahi Niyama kriterine göre yapılan analizde parçanın boydan boya mikro çekintiye meyilli olduğu gözlemlendiği için salkım modelinde değişikliğe gidilmiştir.

İkinci salkım modelinde göre yapılan döküm neticesinde 16 adet parça içerisinde 1 adedinde seramik düşmesi, 1 adedinde çekinti boşluğu, 1 adedinde çatlak, 1 adedinde hem çekinti boşluğu hem de çatlak meydana gelmiştir. Sonuç olarak ilk salkım modelinde göre bir iyileştirme olsa dahi fire oranı ancak %25'e düşürülebilmıştır. Burada salkım modeli yapılırken parçaların yolluktan ayrılması esnasında kolaylık olması açısından yolluk üzerine aynı eksendeki iki parçanın paralel olarak konulması sebebiyle iki parça arasındaki seramik kütlelerinin az oluşu parçanın alt kısmında fazla ısı bırakarak üst taraftaki parçaların yönlü katılaşmasını bozarak çekinti ve çatlak oluşma ihtimalini arttırmış olup, simülasyonlarda da bu sonucun bariz olarak görüldüğü saptanmıştır. Niyama modülü yalnızca yolluk üzerinde üst taraftan montajlanan parçaların içerisinde mikroçekinti eğilimi olduğunu saptamıştır.

Geliştirilen üçüncü salkım modeli sonunda iyileştirmelerle birlikte yüzde yüze yakın döküm başarısı hedeflenmiş olup meme ve yolluk kesitlerinde oynama olmaksızın sadece memenin yolluğa bağlandığı nokta değiştirilerek parçaların birbirine mümkün olduğunca uzak olması hedeflenmiştir. Bu aşamada parçanın yönlü katılaşmasının bozulmadığı, simülasyon aşamasında katılaşma sürelerinin ve termal modüllerin homojenliğinden yola çıkılarak teyit edilmiştir.

Parçaların merkezinden diagonal şekilde geçecek vaziyette çekme çubuğu alınmış olup bu numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. 1. ve 2. numuneler sırasıyla %1.3 ve %1.2 uzamaya sahip olmakla birlikte akma göstermeyerek gevrek kırılmıştır. Aynı şartlarda ısıtılma işlemine sokulup, kimyasal analizde sonuca etki edecek herhangi bir farklılığı bulunmayan 3. numune ise 1. ve 2. numunelerle çok yakın bir sertliğe sahip olmasına rağmen malzeme %4 uzayarak akma göstermiş olup 1652 MPa çekme mukavemetine sahip olduğu test edilmiştir. 3. Numunenin 1 ve 2. Numunelerden mekanik özelliklerce daha yüksek özelliğe sahip olmasının başlıca nedeni malzeme yapısında çatlak ve çekinti boşluğu gibi hatalar ihtiva etmemesi olup fren diskinin çalışma prensibi düşünüldüğünde alın yüzeyinden maruz kalacağı basma yükleri sebebiyle malzemenin çekme testi esnasında olduğu gibi porozite ve çatlak kaynaklı gevrek kırılacağı, bu sebeple fren diski setinin değişme sıklığının artacağı, dolayısıyla bakım maliyetinin yükseleceği saptanmıştır. Bu sebeple döküm kalitesinin gerek risk yönetimi gerekse bakım maliyeti düşünüldüğünde büyük önem arz ettiği sonucuna varılmıştır.

5. ÖNERİLER

- Döküm hataları incelenirken kök neden analizinin iyi yapılıp ona göre doğru aksiyon alınarak maliyet, israf ve gereksiz efor azaltılabilir.
- Kök neden analizinden sonra getirilebilecek alternatif çözümler sıralanabilir.
- Döküm gibi karmaşık ve çok parametresi olan üretim metotlarında simülasyonun önemi açıkça anlaşılabilir.
- Yapılan simülasyon yakınsak sonuçlar verse dahi simülasyona entegre edilmesi zor olan parametreler sebebiyle (analizdeki eser element miktarı, seramiğin mutlak termal değerlerinin sapabilmesi, ortam sıcaklığının değişken olması) simülasyonda hata payının olması sebebiyle seri üretime başlanmadan önce dökülen parçaların kalite kontrolü yapılarak sağlanması yapılabilir.
- Her ne kadar analiz programlarının haklarının satın alınması veya kiralanması maliyetli olarak gözüксе dahi uzun vadede üretim firelerinden oluşan israfın önüne geçilmesi sebebiyle üretici, analiz programlarına önem vermelidir.
- İmal edilen parçaların durumu ve fire oranı göz önünde bulundurularak sürekli iyileştirme yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Açın, S. (2019). Uçak Fren Balatalarında Karbon Fiber Boyut Ve Şeklinin Tribolojik Özelliklere Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Kocaeli, Türkiye, 43s.
- Aran A., (2007). Döküm Teknolojisi İmal Usülleri Ders Notları. İTÜ Makine Fakültesi 107 s.
- Beeley, P. R., Smart R.F., (1995). Investment Casting, The University Press, Cambridge, UK, 65.
- Bidwell, H.T., (1997). Investment Casting Handbook, ISBN: 75206-1602, 130s, Tümü.
- BLM National Aviation Office,. EADS CASA CN-235, Preliminary Aircraft Evaluation For SASEB, 67s.
- Campbell, J.,(1997). Ten Rules For Good Casting, Modern Castings, 97 (4), s36–39.
- Çeliktaş, E., (2009). Uçak Fren Balatalarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Hava Harp Okulu Komutanlığı, Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 130s.
- Çengel, Y.A. (2012). Isı Ve Kütle Transferi. İzmir Güven Kitapevi, IBSN:978-975-6240-41-0, 879s., Dağtekin, İ. (Ç. Ed.), Tümü.
- Ekinci, M.B., (2018). Cn 235 Uçak Kanadının Uç Kisminda Girdap Oluşumunun Kontrolü, Yüksek Lisans, Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Kayseri, Türkiye, 57s.
- Foster, G., (1994). Flashfire Dewax for Today's Investment Casting Foundry, Investment Casting Institute 42nd Annual Meeting, Atlanta, Georgia; USA; 25-28s.
- Fredriksson, H., Akerlind U., (2006). Materials Processing During Casting, ISBN-13: 978-0-470-01513-1, 435s, Tümü.
- Karaoğlu, İ., (2015). Cn-235 Casa Uçağı Kivrik Kanat Tasariminin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği İle İncelenmesi, Yüksek Lisans, Hava Harp Okulu Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 49s.
- Kurul A., (1991). Hassas Döküm Prosesinin, Kalite Teknik ve Araçları Kullanılarak Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye,,143s.
- Megep, (2011). Metalürji Teknolojisi Döküm Hataları, 521MMI267.
- Megep. (2012) Temel Uçak Sistemleri 525mt0065.

- N. I., Aronov, M. A., Ferguson, B. L., and Li, Z.,(2012). Local Film Boiling and Its Impact on Distortion of Spur Gears During Batch Quenching, *Materials Performance and Characterization*, Vol. 1, No. 1, doi:10.1520/MPC104533. ISSN 2165-3992, 15s.
- Özel, A., (2015). Döküm Teknolojisi Dersi Notları, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 57s.
- Savaşkan, T., (2009). Malzeme Bilgisi Ve Muayenesi, Celepler Matbaacılık, IBSN: 978-9944-0068-1-1, 376s, Tümü.
- Sopcak, J.E. (1986) *Handbook Of Lost Wax Or Investment Casting*, Gem Guides Book Company, ISBN: 0-935182-28-4.
- Şahin, K. (1999). Uçaklar ve Helikopterler. İnkılâp Kitapevi Yayın Sanayi, 2.Baskı, Ibsn 975-10-1424-7, 319, 1-28.
- Şahin, S., (2008). Döküm Ortamında Kalıp Kumu Toplam Isı Transfer Katsayısının DeneySEL ve MatematikSEL Analizi. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 239s.
- URL-1, (2021). [https://Ucaklar.Org/Inis-Takimlari/#:~:Text=%C4%B0lk%20%C4%B0ni%C5%9F%20Tak%C4%B1m%C4%B1%20Kullan%C4%B1lan%20U%C3%A7ak&Text=Bleriot%20\(Bl%C3%A9riot%20XI\)%2C%20Frans%C4%B1z,Olan%20u%C3%A7u%C5%9Fu%2037%20dakika%20s%C3%Bcrm%C3%BC%C5%9Ft%C3%Bcr](https://Ucaklar.Org/Inis-Takimlari/#:~:Text=%C4%B0lk%20%C4%B0ni%C5%9F%20Tak%C4%B1m%C4%B1%20Kullan%C4%B1lan%20U%C3%A7ak&Text=Bleriot%20(Bl%C3%A9riot%20XI)%2C%20Frans%C4%B1z,Olan%20u%C3%A7u%C5%9Fu%2037%20dakika%20s%C3%Bcrm%C3%BC%C5%9Ft%C3%Bcr). (01 Mart.2021).
- URL-2, (2021). <https://slonder.tripod.com/inis/it.htm> (01 Mart 2021).
- URL-3, (2021). <https://sites.google.com/site/ucakinistakimlariladinggears/home?authuser=0> (01 Mart 2021).
- Url-4, (2021). [Http://Www2.İsikun.Edu.Tr/Personel/Ahmet.Aran/Dokum.Pdf](http://Www2.İsikun.Edu.Tr/Personel/Ahmet.Aran/Dokum.Pdf) (12 Nisan 2021).
- Yalçın, O. (2016). Havacılık ve Hava Gücünün Doğuşu ve Birinci Dünya Savaşına Etkisi. *Ankara Üniversitesi Türk İnkılâp Tarihi Enstitüsü Atatürk Yolu Dergisi*, 59, 181-236.

ÖZGEÇMİŞ

Haktan Murat GÜVEN, Liseyi Akçaabat Anadolu Lisesinde tamamladı. 2011 yılında kaydolduğu Gümüşhane Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2015 yılında mezun oldu. Makine Mühendisleri Odası Trabzon Şubesinde teknik mühendis olarak çalıştı. Günümüzde ise aktif olarak MSB bünyesinde bulunan 2'nci Hava Bakım Fabrika Müdürlüğünde görev almaktadır.

