

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

**OTOMOTİV PRES KALIPLARININ  
BİMETAL DÖKÜM TEKNİĞİ İLE TASARIMI VE  
ÜRETİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Met. Müh. Orhan ÇAKIR**

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜH.**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ahmet ÖZEL**

**Şubat 2010**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OTOMOTİV PRES KALIPLARININ  
BİMETAL DÖKÜM TEKNİĞİ İLE TASARIMI VE  
ÜRETİMİ**


**YÜKSEK LİSANS TEZİ**


**Met. Müh. Orhan ÇAKIR**

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

Bu tez 05 / 02 / 2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
Doç. Dr. Ahmet Özel  
Jüri Başkanı

  
Yrd.Doç. Dr. Nil Toplan  
Üye

  
Doç. Dr. Ramazan Kayıkçı  
Üye

## TEŐEKKÜR

Bu tez konusundaki çalışmalar sırasında öncelikle beni yönlendiren, çalışmalarımın gerçekleşmesinde her türlü imkanı sağlayan kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Ahmet ÖZEL'e, sonsuz teőekkürlerimi bir borç bilirim.

Ayrıca destek ve yardımlarından dolayı Arř. Gör. L. Cenk KUMRUOğLU' na, Ufuk ÖZGÜR' e (Akdaş Döküm teknik elemanı), ve son olarak yüksek lisans çalışmalarım boyunca bana çalışmalarımda yardım eden, moral ve desteğini esirgemeyen eşim Gülsüm ÇAKIR' a ve değerli arkadaşım Jülide KUMRUOğLU' na yardımlarından ve sabırlarından dolayı sonsuz teőekkürü borç bilirim.

# İÇİNDEKİLER

|  |      |
|--|------|
| ÖNSÖZ.....   | ii   |
| İÇİNDEKİLER .....  | iii  |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....                           | vi   |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....   | vii  |
| TABLolar.....  | xiii |
| ÖZET.....  | xiv  |
| SUMMARY.....   | xv   |
| BÖLÜM 1.   |      |
| GİRİŞ.....   | 1    |
| BÖLÜM 2.   |      |
| BİMETAL DÖKÜMÜ.....  | 3    |
| BÖLÜM 3.   |      |
| BİMETAL DÖKÜM SİMULASYONU ADIMLARI.....                        | 11   |
| 3.1. Katılma Simulasyonu adımları.....                         | 11   |
| 3.1.1. STL dosyaları almak (3D Import).....                    | 11   |
| 3.1.2. Simulasyon ayarlarını ayarlamak (Initial Settings)..... | 14   |
| 3.1.2.1. Mesh parametrelerini ayarlamak.....                   | 14   |
| 3.1.2.2. Döküm parçanın etrafında kabuk tanımlamak.....        | 17   |
| 3.1.2.3. Değişik kesitlerin görünüşü.....                      | 19   |
| 3.1.2.4. Kalıbın üst tarafını kesmek.....                      | 21   |
| 3.1.2.5. Yolluk girişi.....                                    | 23   |
| 3.1.2.6. Kalıp boyasının ayarlanması.....                      | 25   |
| 3.1.2.7. Çekinti modeli.....                                   | 26   |

|  |    |
|--|----|
| 3.1.3. Simulasyon Modülü.....                                  | 27 |
| 3.1.3.1. Simulasyon parametreleri-zaman adımı ayarı.....       | 27 |
| 3.1.3.2. Simulasyon parametreleri-otomatik kaydetme...         | 27 |
| 3.1.3.3. Simulasyon parametreleri-otomatik durdurma...         | 27 |
| 3.1.3.4. Simulasyon parametreleri-simulasyonu başlatma...      | 28 |
| 3.1.4. Tarayıcı (Browser) bölümünü anlamak.....                | 29 |
| 3.1.4.1. Sıcaklık dağılımı kontrolü (Temperature).....         | 30 |
| 3.1.4.2. Sıvı faz değişimi kontrolü (Liquid phase).....        | 31 |
| 3.1.4.3. Çekinti kontrolü (Shrinkage).....                     | 31 |
| 3.2. Bimetal- Dolum ve Katılaşma Simulasyonu Adımları.....     | 32 |
| 3.2.1. STL dosyalarının Novacast' e aktarımı (3D Import).....  | 32 |
| 3.2.2. İlk Ayarlar (Initial settings).....                     | 34 |
| 3.2.2.1. Mesh parametrelerinin ayarlanması.....                | 34 |
| 3.2.2.2. Döküm etrafına kaplama tanımlama (Shell).....         | 36 |
| 3.2.2.3. Farklı kesitleri görmek.....                          | 38 |
| 3.2.2.4. Kalıbın üst tarafını kesme.....                       | 42 |
| 3.2.2.5. Kalıp malzemelerinin seçilmesi ve değiştirilmesi..    | 43 |
| 3.2.2.6. İkinci döküm malzemesini ekleme.....                  | 48 |
| 3.2.2.7. Yolluk girişi tanımlama.....                          | 50 |
| 3.2.2.8. Refrakter kaplama tanımlama.....                      | 52 |
| 3.2.2.9. Çekinti modeli tanımlama.....                         | 53 |
| 3.2.2.10. İlk ayarların kaydedilmesi.....                      | 54 |
| 3.3. Dolum ve Katılaşma Simulasyonu.....                       | 54 |
| 3.3.1. Dolum parametrelerinin ayarlanması.....                 | 54 |
| 3.3.2. Zaman adımları parametresinin ayarlanması.....          | 58 |
| 3.3.3. Otomatik kayıt parametresi ayarlama.....                | 58 |
| 3.3.4. Simulasyonu otomatik durdurma parametresini ayarlama... | 59 |
| 3.3.5. Simulasyona başlama.....                                | 59 |
| 3.4. Tarayıcı (Browser).....                                   | 60 |
| 3.4.1. Sıcaklık (Browser).....                                 | 62 |
| 3.4.2. Hız (Velocity).....                                     | 63 |
| 3.4.3. Sıvı faz (Liquid phase).....                            | 63 |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 3.4.4. Çekinti (Shrinkage)..... | 64 |
|---------------------------------|----|

## BÖLÜM 4.

### KÖPÜK KALIBA UYGULANAN BİMETAL DÖKÜM METODU KRİTERLERİ

|   |    |
|---|----|
| 4.1. Amaç.....  | 65 |
| 4.2. Model Tasarımı.....  | 66 |
| 4.3. Döküm Metodu ve Yöntemi.....                                   | 71 |
| 4.3.1. Yolluk tasarımı ve simulasyon.....                           | 72 |
| 4.3.2. Bimetal döküm zamanını hesaplama.....                        | 73 |
| 4.3.3. Çelik için yolluk sistemi tasarımı.....                      | 74 |
| 4.3.4. Çelik seviyesinin kontrolü için seviye sabitleme odası (SSO) | 78 |
| 4.3.5. Çelik kısmının ağırlık ve döküm zamanının belirlenmesi....   | 80 |
| 4.3.6. Dökme demir yolluk sistemi tasarımı ve simulasyonu.....      | 80 |
| 4.3.7. Çıkıcı tasarımı .....  | 82 |
| 4.3.8. Dökme demir kısmının ağırlıklarının hesaplanması.....        | 82 |

## BÖLÜM 5.

### DENEYSEL SONUÇLAR

|  |    |
|--|----|
| 5.1. Bimetal Döküm Tasarım Aşamaları .....                       | 83 |
| 5.2. Bimetal Döküm İçin Köpük Model Hazırlanması ve Kalıplanması | 90 |
| 5.3. Mekanik ve Mikroyapı Testleri Sonuçları.....                | 95 |
| 5.3.1. Mikrosertlik.....   | 95 |
| 5.3.2. Bimetal arayüzeyi SEM görüntüsü.....                      | 95 |
| 5.3.3. Bimetale uygulanan çekme testi sonuçları.....             | 96 |
| 5.3.4. Bimetal mikroyapı görüntüleri.....                        | 96 |

## BÖLÜM 6.

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... | 97  |
| KAYNAKLAR.....            | 99  |
| ÖZGEÇMİŞ.....             | 102 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

|         |   |
|---------|---|
| AISI    | : Amerika demir ve çelik enstitüsü                |
| ASTM    | : Amerika malzemeler ve testler derneği           |
| CAD     | : Bilgisayar destekli tasarım                     |
| °C      | : Sıcaklık birimi Santigrat derece                |
| EPS     | : Genişletilmiş polistyrene köpük                 |
| GG      | : Lamel grafitli dökme demir                      |
| Kg      | : Kilogram  |
| Mm      | : Milimetre                                       |
| MPa     | : Megapaskal                                      |
| SEM     | : Taramalı electron mikroskobu                    |
| Sn, (s) | : Saniye  |
| SSO     | : Seviye sabitleme odası                          |
| STL     | : Modelleme ve prototip dosyası-stereolithography |
| 3D      | : Üç boyut  |
| %       | : Yüzde   |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Şekil 2.1.  | Kabuk kumdan üretilmiş kalıp içine yerleştirilen paslanmaz çelik etrafına 30CrNiMo8 çeliği dökümü tasarımı.....          | 3  |
| Şekil 2.2.  | Dış tarafı 30CrNiMo8 çeliği iç tarafı 316L paslanmaz çelik takviyeli bimetal çekme çubuğu.....                           | 4  |
| Şekil 2.3.a | Bimetal arayüzeyi.....   | 5  |
| Şekil 2.3.b | Bimetal arayüzey spekturumu.....   | 5  |
| Şekil 2.3.c | Bimetal arayüzeyinde alaşım elementlerinin % ağırlık değişimi...   | 5  |
| Şekil 2.4.  | Bimetal flight parçasının döküm tasarımı.....  | 6  |
| Şekil 2.5.  | Sıvı-katı bimetal döküm prosesine ait şematik diyagram.....  | 7  |
| Şekil 2.6.  | Dökme demir matris içerisine yerleştirilen çeliklere ait şematik çizim(tüm ölçüler mm).....                              | 8  |
| Şekil 2.7.  | Hacimsel oranı % 0,04 olan kompozite ait mikroyapı, Bölge 1: Gri dökme demir, Bölge 2 Arayüzey, Bölge 3 Çelik plaka..... | 8  |
| Şekil 2.7.a | Döküm halde.....   | 8  |
| Şekil 2.7.b | 800 C normalize halde.....   | 8  |
| Şekil 2.7.c | 850 C de normalize ve dağlanmamış halde.....   | 8  |
| Şekil 2.7.d | Döküm halde.....   | 8  |
| Şekil 2.7.e | 800 C normalize halde.....   | 8  |
| Şekil 2.7.f | 850 C de normalize ve dağlanmış halde.....   | 8  |
| Şekil 2.8.  | Kromlu dökme demir ve düşük alaşımlı çelikten oluşan bimetal kırıcı çekiç için mikroyapı ve malzemeler arası .....       | 9  |
| Şekil 2.9.  | Çift yolluklu sistemle bimetal dökümü gerçekleştirilen kalıba ait şematik çizim.....                                     | 10 |
| Şekil 2.9.a | Çelik alaşımın yolluk girişi.....  | 10 |
| Şekil 2.9.b | Çelik alaşım döküm seviyesi.....   | 10 |
| Şekil 2.9.c | Dökme demir dökümü.....  | 10 |



|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Şekil 2.9.d | Bimetal kalıp.....  | 10 |
| Şekil 3.1.  | İlk olarak çelik olarak tanımlanacak parçanın çağrılması.....                             | 12 |
| Şekil 3.2.  | Katı Model Ekleme (Add) seçeneği ile diğer komponentin çağrılması.....                    | 12 |
| Şekil 3.3.  | Parçanın döküm pozisyonuna çevrilmiş hali.....  | 13 |
| Şekil 3.4.  | İlk ayarlar kısmında açılan modelin görüntüsü.....  | 14 |
| Şekil 3.5.  | Mesh parametreleri penceresi.....   | 15 |
| Şekil 3.6.  | Kalıp ölçülerini ayarlama penceresi.....  | 15 |
| Şekil 3.7.  | Malzeme kutusunda malzemelerin seçilmesi.....   | 16 |
| Şekil 3.8.  | İki ayrı malzemenin (dökme demir ve çelik) görünümü.....                                  | 16 |
| Şekil 3.9.  | Kabuk ayarlama penceresi.....   | 17 |
| Şekil 3.10. | Kabuk oluşturma menüsü.....   | 18 |
| Şekil 3.11. | Kabuk tanımlandığı zaman gözüken kabuk malzemesi.....                                     | 18 |
| Şekil 3.12. | Tanımlanan kabuğun görünüşü.....  | 19 |
| Şekil 3.13. | XZ Düzleminde kesit görünüşlerin elde edilmesi.....                                       | 20 |
| Şekil 3.14. | Mesh kontrol penceresi.....   | 21 |
| Şekil 3.15. | Kesit görüntüsünün ayarlandığı bar.....   | 21 |
| Şekil 3.16. | Döküm malzemeleri ayar penceresinin görünümü.....   | 22 |
| Şekil 3.17. | Döküm malzemesi, yolluk girişleri ve kalıp malzemesinin görünümü ve ayar pencereleri..... | 23 |
| Şekil 3.18. | Yolluk en üst kesit görüntüsünün elde edilmesi.....                                       | 24 |
| Şekil 3.19. | Yolluk giriş noktasını ayarlamak için kullanılacak kesit.....                             | 24 |
| Şekil 3.20. | Yolluk girişini tanımlama.....  | 25 |
| Şekil 3.21. | Kaplama malzemesi ve kaplama malzemesinin kalınlığının ayarlandığı pencere.....           | 26 |
| Şekil 3.22. | Çekinti hesaplama modeli.....   | 26 |
| Şekil 3.23. | Zaman adımı kurulumu penceresi.....   | 27 |
| Şekil 3.24. | Simülasyonu otomatik kaydetme penceresi.....  | 27 |
| Şekil 3.25. | Simülasyonun otomatik durdurma kriteri olarak %0 sıvı fazın ayarlanması.....              | 28 |
| Şekil 3.26. | Dökümün sonuçları gösteren pencere.....   | 29 |
| Şekil 3.27. | Sol tarafta bulunan simülasyon izleme paneli.....   | 29 |
| Şekil 3.28. | Simülasyon sonuçlarını taramak için kullanılan panel.....                                 | 30 |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Şekil 3.29. | Simülasyon sonucunda sıcaklık dağılımının kontrolü.....   | 30 |
| Şekil 3.30. | %85 sıvı faz görünümü.....  | 31 |
| Şekil 3.31. | Katılaşma simülasyonu sonucu çekinti görünümü.....  | 32 |
| Şekil 3.32. | Katılaşma ve dolum simülasyonu için import etmek.....   | 33 |
| Şekil 3.33. | Rotasyon işlemi ile parçanın döndürülerek istenilen konuma getirilmesi.....                                       | 33 |
| Şekil 3.34. | Mesh parametresini ayarlama.....  | 35 |
| Şekil 3.35. | Kalıp duvar kalınlığını ayarlamak için kullanılan box dimension penceresi.....                                    | 35 |
| Şekil 3.36. | Mesh ayarı yapılan modelin izometrik olarak görüntüsü.....  | 36 |
| Şekil 3.37. | Kabuk malzemesi seçimi ayar penceresi.....  | 37 |
| Şekil 3.38. | Kabuk malzeme seçimi.....   | 37 |
| Şekil 3.39. | Kabuk malzemesi seçilen parçanın görünümü.....  | 38 |
| Şekil 3.40. | XZ düzleminde kesit görüntüsünün elde edilmesi.....   | 39 |
| Şekil 3.41. | Kesit taramak için sol tuşla seçilen düzlemin mavi renkle görülmesi.....  | 39 |
| Şekil 3.42. | Mouse sürüklenerek istenen kesit görüntüsü elde edilmesi.....   | 40 |
| Şekil 3.43. | İstenen kesit görüntüsü elde edildikten sonra sağ tuşa basılıp kesitin görülmesi.....                             | 40 |
| Şekil 3.44. | Zoom konutu ile kısmi bölgelerin büyütülmesi.....   | 41 |
| Şekil 3.45. | Büyütülen bölgedeki hücre sayısı görüntüsü ile en küçük kesitte hücre sayısının 3x3 den az olmadığı kontrolü..... | 41 |
| Şekil 3.46. | 3 ten az hücre sayısını kontrol etme.....   | 42 |
| Şekil 3.47. | Z eksenine değer girilerek yolluk girişlerinin atmosfere açık hale getirilmesi.....                               | 43 |
| .           |   |    |
| Şekil 3.48. | Malzeme seçim penceresinden çeliği seçmek.....  | 43 |
| Şekil 3.49. | Seçilen çelik parçanın mavi renkle görülmesi.....   | 44 |
| Şekil 3.50. | Malzeme seçim penceresinden kabuk malzemesinin seçilmesi....  | 45 |
| Şekil 3.51. | Parça ve kabuğun görünümü.....  | 45 |
| Şekil 3.52. | Alaşım ve kalıp malzemeleri kutusundan malzemelerin tanımlanması.....   | 46 |
| Şekil 3.53. | Kalıp malzemesinin seçilmesi ve belirlenmesi.....   | 47 |

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Şekil 3.54. | Diğer kalıp malzemesinin seçilmesi ve belirlenmesi.....  | 47 |
| Şekil 3.55. | İkinci Malzemeyi belirlemek için öce Add butonuna basılması<br>daha sonra malzemenin tanımlanması..... | 48 |
| Şekil 3.56. | Fiziksel olarak ikinci malzemeyi tanımlama.....  | 49 |
| Şekil 3.57. | İkinci alaşımı fiziksel olarak tanımlama.....  | 50 |
| Şekil 3.58. | Yolluk girişlerinin seçilmesi.....   | 51 |
| Şekil 3.59. | Açılan set gating points penceresinde seçilen yolluk girişlerinin<br>görünüşü.....                     | 52 |
| Şekil 3.60. | Refrakter kaplama tanımlama.....   | 53 |
| Şekil 3.61. | Çekinti derinliğini belirleme.....   | 53 |
| Şekil 3.62. | Yetersiz mekanik veri uyarısı.....   | 54 |
| Şekil 3.63. | Dolum parametreleri penceresi ve dolum kriterlerinin<br>ayarlanması.....                               | 55 |
| Şekil 3.64. | Çeliğin üst yüzeyinin dolum simülasyonu sonrası yatay hale<br>gelmesi.....                             | 56 |
| Şekil 3.65. | Birinci çelik yolluk için dolum parametrelerinin ayarlanması.....                                      | 57 |
| Şekil 3.66. | İkinci dökme demirin yolluğu için dolum parametrelerinin<br>ayarlanması.....                           | 57 |
| Şekil 3.67. | Belirlenen zaman adımlarının ayarlanması.....  | 58 |
| Şekil 3.68. | Dolum simülasyonunun adımlarını otomatik kaydetme için ayar<br>penceresi.....                          | 58 |
| Şekil 3.69. | Simülasyonu otomatik durdurma kriterlerinin ayarlanması<br>ayarlaması.....                             | 59 |
| Şekil 3.70. | Simülasyonun devam ettiğini gösteren bar.....  | 59 |
| Şekil 3.71. | Dolum ve katılaşma simülasyonu sonucunda görülebilen veriler..   | 60 |
| Şekil 3.72. | Standart görünüşler.....   | 60 |
| Şekil 3.73. | Browser seçeneğinde sonuçların görüntülenmesi için açılan<br>pencere.....                              | 61 |
| Şekil 3.74. | Simülasyon sonuçlarının kesintisiz olarak oynatılması için<br>kullanılan bar.....                      | 61 |
| Şekil 3.75. | Simülasyon sonuçlarının adım adım taranması.....   | 62 |
| Şekil 3.76. | Sıcaklık seçilerek parçanın kesit görünüşünde sıcaklık<br>dağılımının kontrolü.....                    | 63 |

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| Şekil 3.77.  | Parçanın % 85 sıvı halde görünümü.....  | 64 |
| Şekil 3.78.  | Şeffaf görünümde kırmızı olarak görülen çekinti bölgeleri.....  | 65 |
| Şekil 4.1.   | Bimetal dökümü sonucunda olması istenen arayüzey geçiş düzgünlüğü.....  | 67 |
| Şekil 4.2.   | Arayüzey geçişinin düzgün bir şekilde elde edilmesi için çelik modele verilen ilave çekme payı.....   | 67 |
| Şekil 4.3.a  | Bimetalin çelik tarafının EPS modeli.....   | 68 |
| Şekil 4.3.b  | EPS modellerin 3Dmontaj görünümü.....   | 68 |
| Şekil 4.3.c  | Dökme demir ve çeliğin montajlı olarak EPS modeli.....  | 68 |
| Şekil 4.4.   | Çelik kısmında birden çok bağımsız kalıp elemanı olan bimetal baskı kalıbı.....   | 69 |
| Şekil 4.5.a  | Modeller arasındaki çekme paylarının montaj işlemi sonrası zımparalama işlemi.....  | 69 |
| Şekil 4.5.b  | Modeller arasındaki çekme paylarının montaj işlemi sonrası zımparalama işlemi.....  | 69 |
| Şekil 4.6.   | Arayüzey çizgisi boyunca köpük modellerin şerit bant ile yapıştırması.....  | 70 |
| Şekil 4.7    | Bimetal döküm parçasının üretim akış şeması.....  | 71 |
| Şekil 4.8    | İki farklı bileşenden oluşan baskı presinin model çizimi.....   | 72 |
| Şekil 4.9    | Bimetal baskı kalıbının alt yüzeyindeki çelik bölgenin döküm sırasında çabuk soğuyan bölgelerine sıvı metalin giriş kapılarının yerlerinin simüle ve optimizasyonu..... | 73 |
| Şekil 4.10   | Çelik üzerindeki sıcaklık dağılımları.....  | 74 |
| Şekil 4.11.a | Bimetal döküm tekniğine göre tasarlanmış döküm metodu.....  | 75 |
| Şekil 4.11.b | Geleneksel yöntemle göre tasarlanmış döküm metodu.....  | 75 |
| Şekil 4.12   | Yolluk hesaplama programına ait ön değer girdileri ve çıktıları...  | 76 |
| Şekil 4.13.a | Çelik bölgedeki bazı kalıp çıkıntıları.....   | 77 |
| Şekil 4.13.b | Kalıp çıkıntılarının birlerine bağlanmasına ait örnek.....  | 77 |
| Şekil 4.13.c | Çelik bölgesinde metal akışını zorlaştırabilecek yükselti farkları.   | 77 |
| Şekil 4.13.d | Yükselti farkları, metal akışı sağlamak için kullanılan köprüler...   | 77 |
| Şekil 4.14.a | Metal çıkıntıları arasındaki et kalınlıklarının çok farklı olmasına bağlı olarak hatalı tasarlanmış bir kalıp.....  | 77 |
| Şekil 4.14.b | Hatalı yüzeylerin et kalınlıklarının homojenleştirilmesi.....   | 77 |

|              |  |    |
|--------------|--|----|
| Şekil 4.15.  | Kalıp kısmında sıcaklık simülasyonuna bağlı olarak katılaşmada hataya sebebiyet verecek ince uzantıların tespit edilmesi ve ikincil tasarımla güncellenmesi..... | 78 |
| Şekil 4.16.  | Standart bir seviye sabitleme odasının (SSO) bimetal üretiminde çelik ile dökme demirin arayüzeyine uygulaması.....  | 78 |
| Şekil 4.17.  | Bimetal üretiminde çelik ile dökme demirin ara yüzey çizgisi ve seviye payının şematik çizimi.....   | 79 |
| Şekil 4.18.  | SSO'nun bimetal kalıba yerleştirilmesi.....  | 79 |
| Şekil 4.19.  | SSO'ların doğru ve hatalı yerleşimlerini gösteren şematik çizim..  | 80 |
| Şekil 4.20.  | Dökme demir için yolluk sistemi ve akış dataları hesaplamaları arayüzü.....  | 81 |
| Şekil 4.21.  | Dökme demir yatay gidicileri ile teorik arayüzey çizgisi arası optimum seviye şeması.....  | 82 |
| Şekil 4.22.a | Bimetale ait çelik ve dökme demir bileşenlerini gösterene yolluklu sistem.....   | 82 |
| Şekil 4.22.b | Dökme demir için hızlı akış simülasyonu için ideal olan hesaplama tasarımı.....  | 82 |
| Şekil 4.23.  | Çıkıcı tasarımı.....   | 83 |
| Şekil 4.24.  | Kalıp üzerine yerleştirilen polystrene çıkıcılar.....  | 83 |
| Şekil 5.1.   | Bi metal döküm için 3 boyutlu modelin oluşturulması.....   | 84 |
| Şekil 5.2.   | 3 boyutlu katı model çizimde dökme demir kısma besleyicilerin yerleştirilmesi.....   | 85 |
| Şekil 5.3.   | Bimetal iş parçasındaki çelik bölge.....   | 85 |
| Şekil 5.4.   | Çelik kısım için yolluk tasarımı.....  | 86 |
| Şekil 5.5.   | Bimetal iş parçasındaki dökme demir bölge.....   | 86 |
| Şekil 5.6.   | Bimetal iş parçasındaki dökme demir bölgeye ait yolluk sistemi.  | 86 |
| Şekil 5.7    | Sıvı çeliğin yükseklik seviyesini sabit tutmak için kullanılan seviye sabitleme odası (SSO).....   | 86 |

## TABLolar LİSTESİ

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Tablo 4.1. | Bimetal döküm tekniğinde kullanılan yolluk yükseklikleri ve metal akış hızları ..... | 75 |
| Tablo 5.1. | 1,2333 çeliğinin spektrometrik analizi.....  | 90 |
| Tablo 5.2. | GG 25 Lamel grafitli dökme demirin spektrometrik analizi.....                        | 90 |
| Tablo 5.3  | Arayüzeyden yapılan çekme testi sonuçları.....                                       | 96 |
| Tablo 5.4  | Çelik kısımdan yapılan çekme testi sonuçları.....                                    | 96 |

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Dolu kalıba döküm, bimetel, tasarım, döküm simülasyonu, CAD katı modelleme, SEM, mikroyapı, optik mikroskop

Bimetel üretim tekniklerinin gelişmesi ile farklı mekanik ve fiziksel özelliklere sahip malzemelerin iyi bir arayüzey-bağ kombinasyonu ile birleştirilmesi sağlanmıştır. Günümüzde bimetel uygulamaları radyatörlerde, mil yataklarında, motor başları contalarında, kağıt sanayi kesme takımlarında, metal, ağaç, tekstil, yiyecek endüstrilerinde, mutfak eşyalarında, ısı değiştiricilerde, maden sanayinde kullanılan kırıcılarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Farklı malzemelerin birleştirilmesi için kullanılan işleme, kaynak, montaj, perçin, v.b yöntemler çoğu zaman karmaşık şekilli ve birbirinden metalurjik özellikler bakımından çok farklı malzemelerin birleştirilmesini mümkün kılmamaktadır. Maliyet açısından düşünüldüğünde ise iki veya daha fazla malzemenin tek bir yöntemle tek seferde birleştirilmesi pek çok operasyonun yapılma gereksinimini ve zorluğunu ortadan kaldırması açısından büyük kazançlar sağlamaktadır.

Bu çalışmada, son yıllarda çok yaygın olarak özellikle otomotiv sektöründe kullanılan sac şekillendirme pres kalıplarının klasik yöntemde farklı zamanlarda dökülerek daha sonra montajı yapılan çelik ve dökme demir parçalarının, köpük model ile dolu kalıba döküm tekniği kullanılarak, bimetel olarak tek parça halinde üretilmesi amaçlanmıştır. Bu yöntemin uygulanmasında ve tasarımında döküm simülasyon programı ve CAD katı model programları kullanılmıştır. Yapılan bimetel döküm sonucunda bimetel arayüzeyinin mikroyapısı SEM, ve optik mikroskopla incelenmiş mekanik testler ile de mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda dökme demir ve çelik malzemelerinin bimetel döküm yöntemi iyi bir metalurjik bağ ile arayüzeyde birleştiği görülmüş ve işleme, montaj gibi ilave operasyonları ortadan kaldırdığı için otomotiv pres kalıbı üretim maliyetlerinde % 30 oranında azalma sağlanmıştır.

# **DESIGN AND PRODUCTION OF AUTOMOTIVE PRESS MOLDS WITH BIMETAL CASTING TECHNIQUE**

## **SUMMARY**

Keywords: Full mold casting, bimetal, design, casting simulation, CAD solid model, SEM, optic microscop

Joining of the materials that have different mechanical and physical properties, with a good interface – bond combination, has been achieved by the development of the bimetal production techniques. Nowadays, bimetal applications are being used frequently in the radiators, mill bearings, engine head gaskets, cutting tools of paper industry, metal, wood, textile, food industries, kitchen tools, heat exchangers, crushers of the mining industries. Methods of joining different materials like machining, welding, assembling, rivets, etc. are generally make it possible to join the complex shapes or materials that have completely different metallurgical properties. In the view of economy, joining of two or more materials in one method at one step has very big profit because they had eliminated many operations and their difficulties.

The aim of the Project is to produce the sheet metal press molds, which are used in automotive industry, as a bimetal casting in one part using the full mold technique that had been used to produce by assembling the two steel and gray cast iron parts that were casted in different times. In the application and design of this method casting simulation and CAD solid model programs have been used. Interface microstructure of the bimetal had been investigated by SEM and optic microscopes and the mechanical properties had been tested too. As a result of this process, it has been seen that steel and cast iron materials have been successfully bonded in the interface and automotive press mold production costs has been reduced up to 30% by eliminating the additional processes like machining and assembling.



## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Bimetal, farklı mühendislik özelliklerine sahip iki metalik malzemenin metalürjik bağ prensibine göre birleştirilmesi ile elde edilen malzemedir [1-4]. Bimetal malzemelerde kullanılabilirliği öne çıkaran başlıca özelliklerden birincisi homojen ve sağlam bir birleşme ara yüzeyine sahip olması, diğeri ise bimetal oluşturulan her bir metalin kendi özelliğini koruyan bir kombinasyon şeklinde nihai ürün oluşturmasıdır. Bimetal oluşturulan her bir metal farklı bir mühendislik rol oynar [1-3]. Bimetal meydana getiren her bir metalin seçiminde, korozyon direnci, aşınma dayanımı, termal iletkenliği ve genişmesi, yapısal özellikler gibi fiziksel ve mekanik özelliklerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Bimetaller radyatörlerde, mil yataklarında, motor başları contalarında, kağıt sanayi kesme takımlarında, metal, ağaç, tekstil, yiyecek endüstrilerinde, mutfak eşyalarında, ısı değiştiricilerde [5-12], maden sanayinde kullanılan kırıcılarda [2-14], yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Son zamanlarda ise otomotiv sanayinde, otomobil gövdesine ait muhtelif ince sacların şekillendirmesi amaçlı kullanılan preslerin kalıplarında ve kesme kalıplarında kullanılmaya başlanmıştır [14,15].

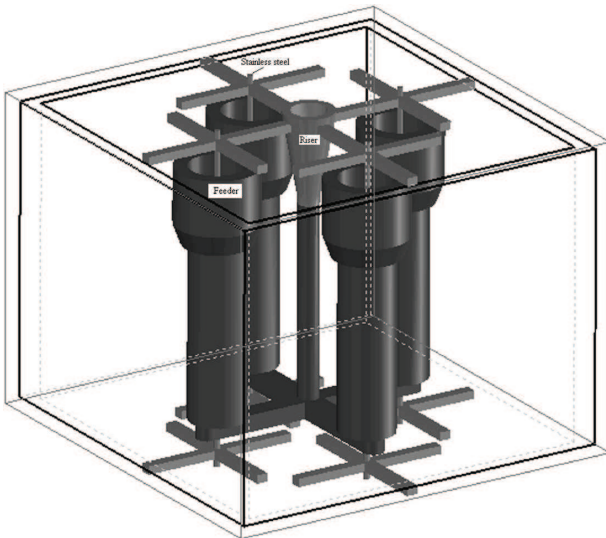
Bimetal üretiminde en önemli prensip iki ayrı metal arasında oluşturulacak olan metalürjik bağ ile metallerin birleştirilmesi olup, ekstrüzyon, cladlama, toz metalürjisi, sürtünme kaynağı, döküm gibi yöntemlerle üretilebilmektedirler [3,16]. Bimetal üretim teknikleri ve literatür incelemesi bölüm 2'de verilmiştir. Son yıllarda döküm simülasyon yazılımlarının yaygın bir şekilde kullanılmasının ve bu yazılımların yaptığı tahminlerin gerçeğe yakın sonuç vermesinin [17] de göz önüne alınması ile döküm yöntemi ile karmaşık şekilli bimetal iş parçalarının üretimine çalışılmıştır [15], döküm simülasyonu hakkında detaylı inceleme bölüm 3 de verilmiştir.

Bu tez çalışmasında, otomotiv sektöründe otomobil gövde sacı şekillendirme pres

kalıpları, bimetel döküm tekniği kullanılmak sureti ile bilgisayar destekli döküm simülasyonları ve deneysel dökümler yapılarak üretilmeye çalışılmıştır. Bimetel bileşenleri olarak kalıp gövde malzemesi GG 25 dökme demir, kalıp kesme ve form verme malzemesi olarak da 1.2333 standartları ile anılan takım çeliği seçilmiştir. Her iki metal eş zamanlı olarak farklı indüksiyon fırınlarında ergitilmiş ve takım çeliğinin dökümünü takiben, belirli bir süre sonra dökme demir ardışık zamanlı olacak şekilde aynı kalıbın içine dökülmüştür. Yüksek sıcaklıkta aynı kalıba dökülen iki metal arasında metalürjik bağ oluşturularak sağlam bir birleşme sağlanarak tekparça halinde bimetel baskı kalıbı üretilmiştir. Köpük model yöntemi ile bimetel dökümün prensipleri hakkında detaylı inceleme bölüm 4 de verilmiştir. Deneysel dökümler köpük model (full mold) kalıplama ile gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde geleneksel yöntemlerle kalıp üretimine nazaran zaman, maliyet ve süreç açısından bariz bir fayda sağlanmıştır. Tez çalışmasına ait sonuçlar bölüm 5 de, tartışma ve öneriler ise bölüm 6 da verilmiştir.

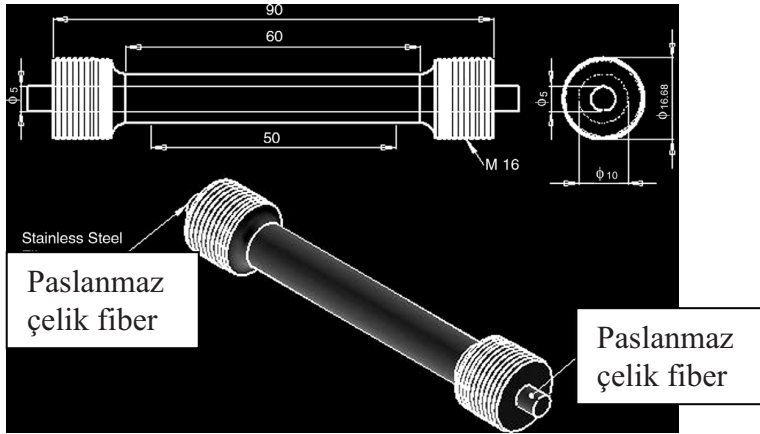
## BÖLÜM 2. BİMETAL DÖKÜMÜ

Bimetal malzeme esas olarak iki farklı metalin farklı birleştirme yöntemleri kullanılarak birleştirilmesi suretiyle oluşturulan makrokompozit malzemedir. İki farklı metalin birleştirilmesi için, difüzyon kaynağı, ekstrüzyon, haddeleme, giydirme gibi birçok mühendislik birleştirme tekniği kullanılmaktadır [3, 16, 18-23,]. Bu yöntemler birleştirilmek istenilen parça boyutu, maliyeti, döküm süreci, mühendislik özellikleri bakımından birbirlerine avantaj ve dezavantaj sağlamaktadırlar. Birleştirilen iki metalin farklı mekanik ve fiziksel özellikte olması bimetal üretim tekniğini zorlaştıran başlıca unsurdur. Bimetal üretiminde kullanılan bir diğer üretim yöntemi ise dökümdür. Döküm tekniği ile bimetal üretiminde, iki metalin aynı anda ergitilip birbirlerine takiben dökülmesi (sıvı-sıvı) ve katı bir metal üzerine, içine veya kenarına farklı başka bir malzemedan ergitilen sıvı metalin dökülmesi (sıvı-katı) şeklinde iki temel yöntem vardır. Döküm yöntemi ile üretilen bimetallerdeki başlıca ilgi alanı, iki metal arasındaki birleşme arayüzeyi ve döküm tasarımıdır.



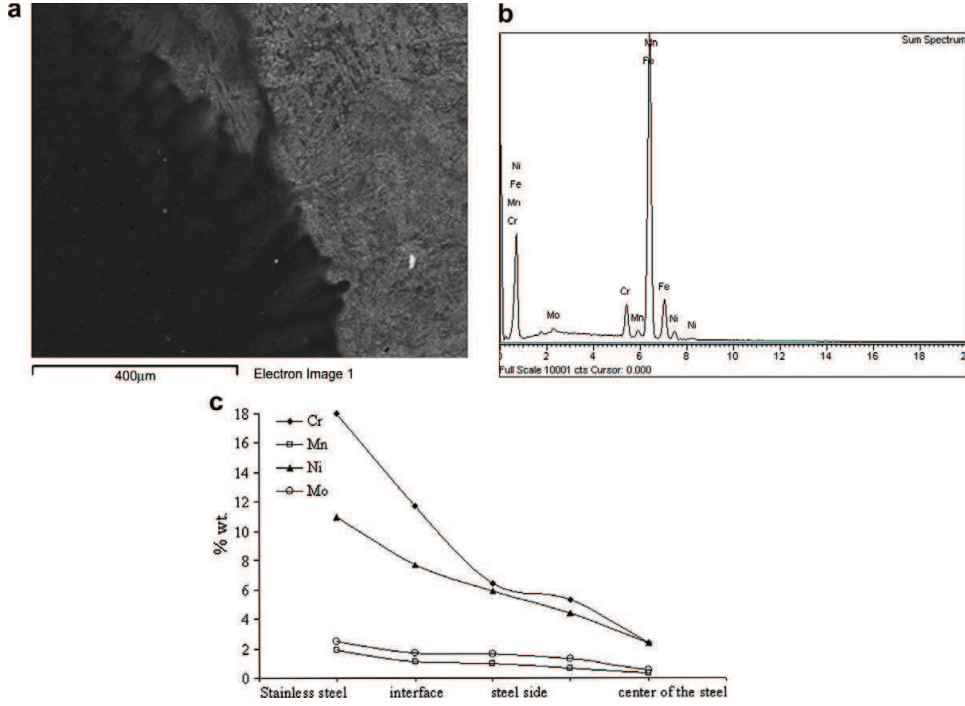
Şekil 2.1. Kabuk kumdan üretilmiş kalıp içine yerleştirilen paslanmaz çelik etrafına 30CrNiMo8 çeliği dökümü tasarımı [2].

Şekil 2.1’ de, 316 L paslanmaz çelik çubuklar shell kumundan üretilmiş maça boşluklarına yerleştirilmiş, daha sonra döküm ağzı, yolluk, yatay gidiciler düzenlenmiştir. Akabinde paslanmaz çelik çubuklar + şeklindeki desteklere kaynatılıp döküm esnasında oluşabilecek devrilme, düşme ve sürüklenmeler önlenmiştir. Döküm malzemesi olan 30CrNiMo8 çelik 1550 °C de ergitilerek, 400 °C ye ön ısıtılmış paslanmaz çeliklerin etrafını dolduracak şekilde yolluktan dökülmüştür.



Şekil 2.2. Dış tarafı 30CrNiMo8 çeliği iç tarafı 316L paslanmaz çelik takviyeli bimetal çekme çubuğu [2].

Dökülen çelik, oda sıcaklığına kadar soğuduktan sonra kalıp bozulmuş, çıkan silindirik döküm parçaları önce normalizasyon işlemine tabi tutulmuş daha sonra çekme çubuğu elde etmek amacı ile Şekil 2.2’deki gibi işlenmiştir. Çekme deneyi sonucunda üretilen bi metalin akma ve çekme dayanım değerleri sırası ile 619 MPa ve 758 MPa bulunmuştur. Bu değerler her iki bimetal malzemesinin çekme ve akma değerlerinin arasında kalan bir değer olarak saptanmıştır. Arayüzey olarak tanımlanan, iki metalin birleşme çizgisinden SEM görüntüleri çekilmiş ve elementsel analizler yapılmıştır. Bu çalışmalara ait veriler Şekil 2.3’de verilmiştir.

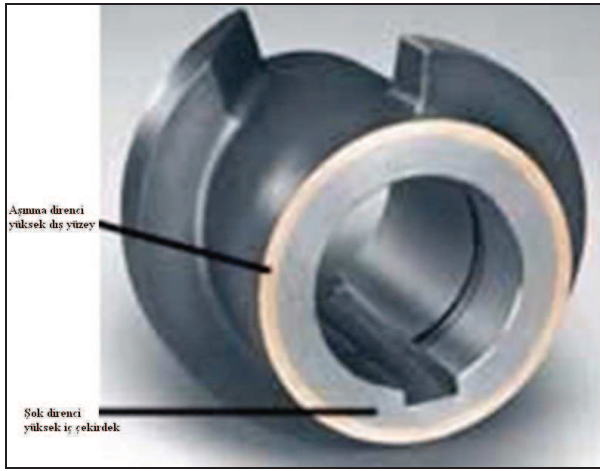


Şekil 2.3. a) Bimetal arayüzeyi b) Bimetal arayüzey spekturumu c) Bimetal arayüzeyinde alaşım elementlerinin % ağırlık değişimi [2].

Yapılan incelemeler neticesinde katı 316L paslanmaz çelik çubukların etrafına 30CrNiMo8 çeliğinin ergitilerek dökülmesi ile ara yüzeyde Ni, Cr, C gibi elementlerin katılaşma sürecindeki difüzyonundan dolayı sağlam bir metalurjik bağ elde edilmiştir. [3].

Bir diğer araştırmada ise, [1] bimetal döküm prosesi hassas döküm yöntemi ile incelenmiştir. İncelemede, ergitilmiş bir alaşımı, diğer bir alaşımın etrafına dökmek sureti ile bimetal üretmiştir. Üretilen bimetaldeki iki farklı alaşım farklı amaçlara hizmet etmektedir. Aynı zamanda fonksiyonellik ve maliyet bimetal üretimi için temel seçim nedeni olmaktadır. Uygulamalarda bimetalde ana metal ve eklenti metal kullanılmaktadır. Eklenti metal nihai bimetalin iç yüzeylerinde veya dış yüzeylerinde olabilmektedir. Levha şeklindeki bimetal parçalarda iç kısım anti-korozif, dış kısım ise iyi işlenebilirlik özelliğine sahip olabilmektedir. Sağlam bir bimetal döküm parçası elde etmek için dökülen ana sıvı metal ile kalıp içine yerleştirilen eklenti metalin, spesifik ısı, yoğunluk, termal iletkenlik, viskozite, ergime gizli ısısı, ara yüzey ısı transfer katsayısı gibi termal özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Aynı zamanda;

döküm sıcaklığı, eklenti metalin ön ısıtılma sıcaklığı, döküm hızı, kalıp sınır özellikleri gibi birincil döküm koşulları da çok önemli olmaktadır. Yukarıda bahsi edilen parametrelerin kontrolü, son yıllarda kullanılan döküm simülasyon yazılımları ile son derece hassas bir şekilde sağlanabilmektedir[1]. Yapılan bir çalışmada simülasyon yazılımları kullanarak Şekil 2.4’ de gösterilen, Bimetal Flight orijinal adı ile anılan boru etrafına helezon şeklinde ilerleyen spiral parçadan oluşan bimetal parçayı üretmiştir. Anılan parça yüksek sıcaklık ve korozif ortamda çalışmaktadır.

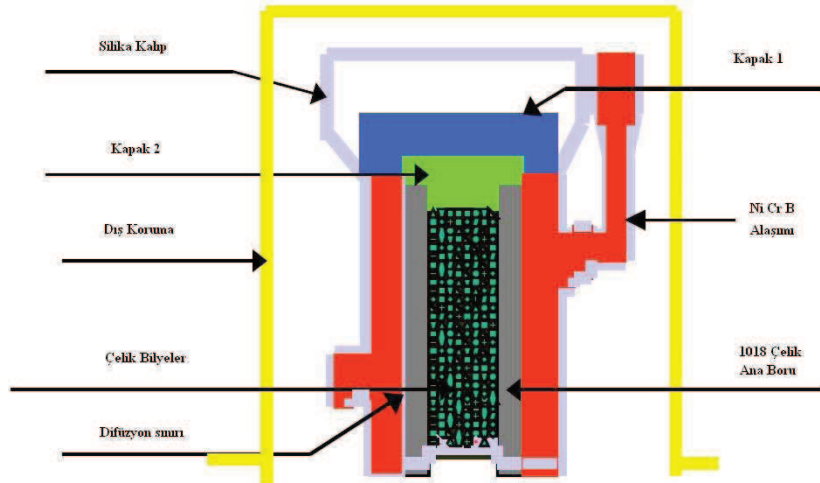


Şekil 2.4. Bimetal Flight parçasının döküm tasarımı [1]

Bimetal helezonun dış tarafı yüksek aşınma direnci, anti korozif ve yüksek sertlik değerlerine sahip Ni-Cr-B super alaşımından imal edilmiştir. Ni-Cr-B super alaşımının yüksek maliyetinden dolayı tüm parça bu alaşımdan imal edilmemiş iç kısmı oluşturan ana malzeme ise çelikten üretilmiştir. Geleneksel bimetal helezon üretim prosesinde ise aşınma direnci yüksek olan spiral kısım ana gövdeyi oluşturan boruya kaynatılmak sureti ile üretilmekteydi. Bimetal döküm tekniği ile üretilen yeni parçanın, kaynak yönetimine göre %50 daha uzun çalışma ömrüne sahip olduğu görülmüştür[1].

Bimetal spiralin döküm metodu şematik olarak Şekil 2.5’ de gösterilmiştir. Ni-Cr-B döküm alaşımı 1396 °C de ergitilmiştir, ergitilen alaşım daha önce ön ısıtılma işlemi yapılmış potalara aktarılmıştır. Dökümhaneler için çok yaygın olan bu yöntemin amacı sıvı metalin taşımalar ve döküm sırasındaki sıcaklık kaybını en aza

indirmektir. Ergitme işlemi ile eşzamanlı olarak kalıp içerisine yerleştirilen AISI 1018 çeliği de, 904,4 °C ye ısıtılmıştır. Isıtma işlemi ve daha sonraki döküm işlemi esnasında kalıp içinde bulunan çelik bilyeler ısı transferini kontrol etmek amaçlı kullanılmıştır. Döküm zamanı 20 ile 100 saniye arasında değiştirilmiştir.

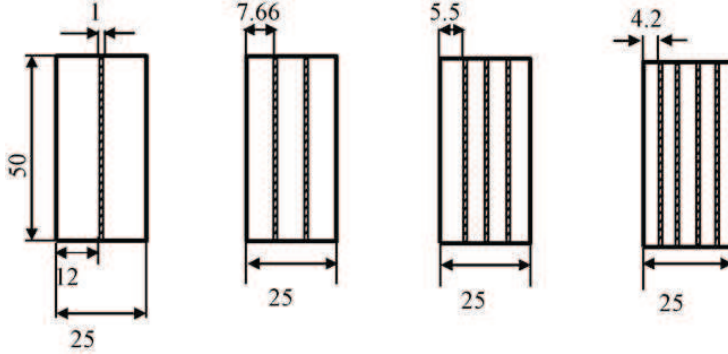


Şekil 2.5. Sıvı-katı bimetel döküm prosesine ait şematik diyagram

Döküm sıcaklıkları 1232 °C ile 1176 °C arasında değişen değerlerde seçilerek döküm sıcaklığının etkisi incelenmiştir. İncelemeler neticesinde optimum deney parametreleri belirlenip sağlıklı dökümler elde edilmiştir[1].

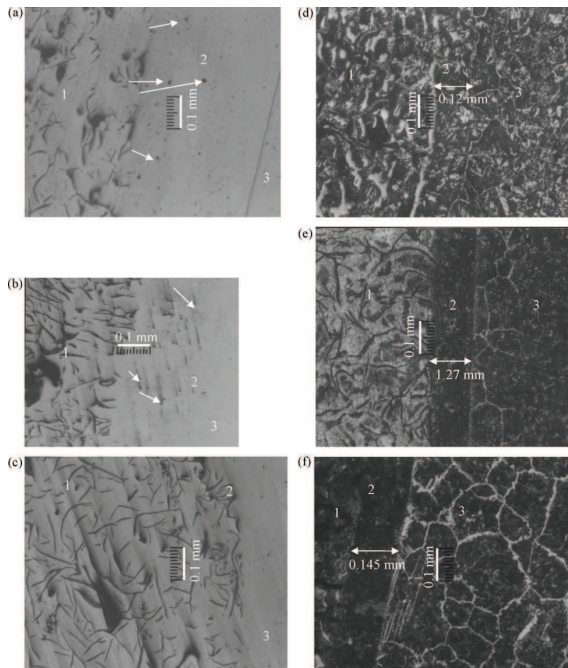
Benzer bir şekilde, 1 mm kalınlıklarındaki St 37 çelik plakaları döküm kalıp boşluğu içerisine Şekil 2.6'daki gibi yerleştirmiş ve plakalar arasına gri dökme demiri matris malzemesi olarak dökmüştür[16]. Kompozit malzeme üretim mantığından hareketle, çelik plakalar takviye ve matrisi kuvvetlendirici malzeme olarak düşünülmüştür. Yerleştirilen çelik plakalar toplam matris içerisindeki çelik hacim kesrinin etkisinin incelenmesi amacı ile farklı adetlerde konulmuştur. Döküm işlemi kum kalıba döküm ile gerçekleştirilmiştir. Gri dökme demiri dökmeden önce çelik plakalar ve kalıp oksiasetlen alevi ile 500 °C ye kadar ısıtılmıştır. Gri dökme demir 1250 °C de dökülmüştür. Döküm sonrasında üretilen bazı kompozit malzemeler gerilim giderme ve normalizasyon işlemlerine tabi tutulmuştur. Döküm hali ile ve normalize edilen lamine çelik plaka takviyeli kompozitler ASTM B-312 standartlarına göre üç nokta

eğme testi için hazırlanmış ve test edilmiştir. Aynı zamanda dökme demir, arayüzey ve çelik bölgelerinin mikroyapı ve sertlik incelemeleri yapılmıştır.



Şekil 2.6. Dökme demir matris içerisine yerleştirilen çeliklere ait şematik çizim (tüm ölçüler mm) [16]

Çelik plakaların hacimsel farklılıklarına göre arayüzey kalınlıkları değişiklik göstermiştir (Şekil 2.7).

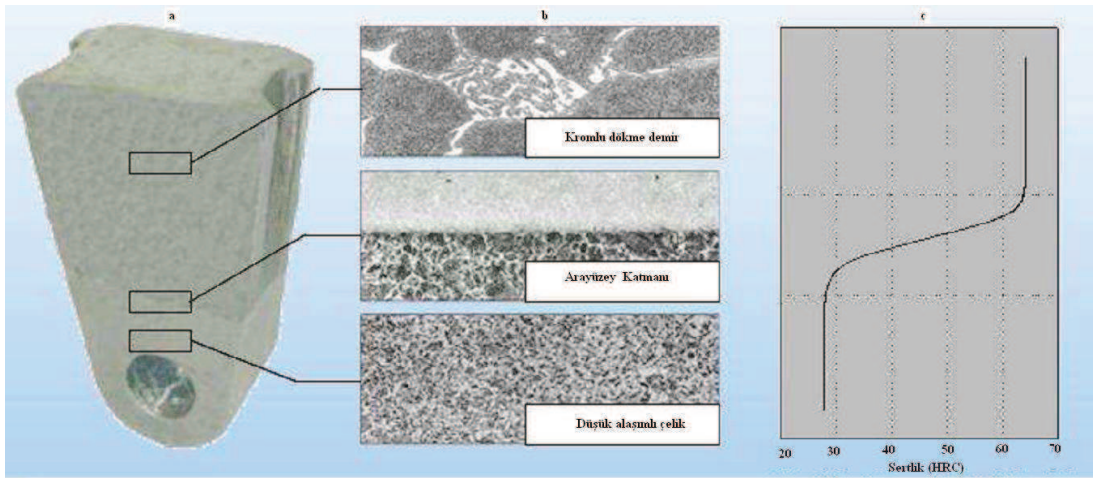


Şekil 2.7. Hacimsel oranı % 0,04 olan kompozite ait mikroyapı, Bölge 1: Gri dökme demir, Bölge 2 Arayüzey, Bölge 3 Çelik plaka, (a) döküm halde, (b) 800 C normalize halde, (c) 850 C de normalize dağlanmamış halde, (d) döküm halde, (e) 800 C normalize halde, (f) 850 C de normalize ve dağlanmış halde



Yapılan araştırma özetlenecek olursa, dökme demir matrise eklenen plakaların hacimsel oranı arttıkça, kompozit yapının eğme mukavemeti artış göstermiştir. Aynı zamanda çelik plakalar toplam sünekliği de arttırmıştır. Aynı şekilde uygulanan normalizasyon işlemide döküm haline kıyasla eğme mukavemetini arttırmıştır. Arayüzeyde, grafitin çözülmesine ve karbon difüzyonuna bağlı olarak sertlikte artış gözlenmiştir. Normalizasyon işlemi karbon difüzyonunu arttırmış ve yine paralel olarak artan normalizasyon sıcaklığı arayüzeydeki difüzyon aralığını arttırmıştır[16].

Bi-metal döküm parçalar birçok malzemeden üretilebilmektedir. Bunlardan en yaygını aşınma dirençli olanlarıdır. Bu tür dökümler genellikle beyaz dökme demir ve düşük alaşımlı çelikler kullanılarak ve başarılı bir döküm metoduyla sağlanmaktadır. Araştırmalar göstermiştir ki, kömür kırıcı olarak kullanılan konvansiyonel yüksek manganlı çeliğe nazaran beyaz dökme demir yüzeyli ve düşük karbonlu altlıklı bimetal 5 kez daha fazla çalışma süresine sahiptir

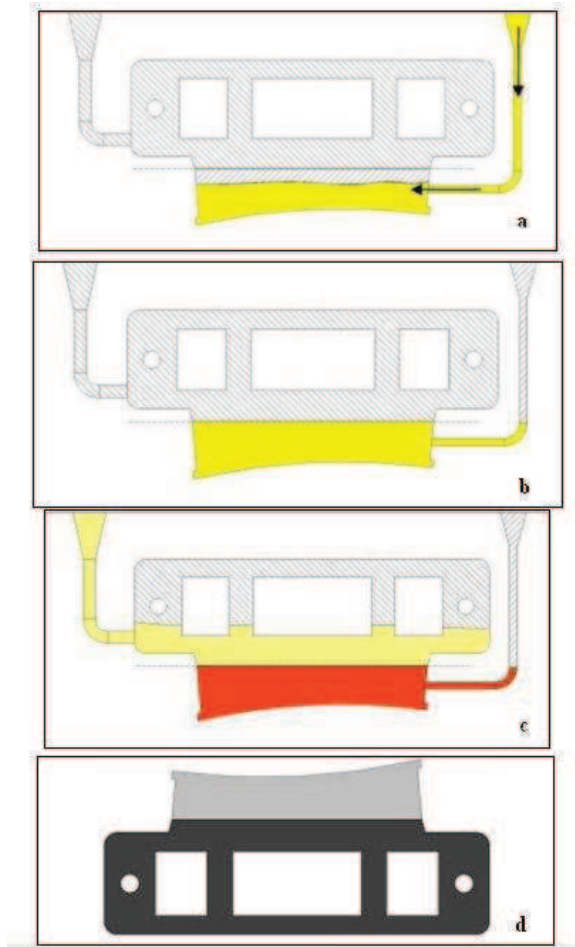


Şekil 2.8. Kromlu dökme demir ve düşük alaşımlı çelikten oluşan bimetal kırıcı çekiç için mikro yapı ve malzemeler arası sertlik geçişi

Şekil 2.8.'de bimetal dökümü ile üretilmiş kırıcı çekice ait ara tabaka mikro yapısı ve sertlik geçiş diyagramı verilmiştir [2].

Son yıllarda iki farklı metalin eşzamanlı olarak ergitilip aynı kalıba dökülmesi ile üretilen bimetal döküm tekniği son derece önemli bir gelişme göstermiştir. Bu

teknikle, otomotiv sektörü için hayati derecede önem taşıyan kalıplar üretilmeye başlanmıştır. Kalıp hazırlama işlemi çok karmaşık bir işlem olup aynı zamanda yüksek maliyetlidir. Bunun için dökme demir ve çeliğin aynı anda ergitilip tek bir kalıba dökülmesi ile yeni nesil kalıplar üretilmektedir. Bu şekilde geleneksel yöntemlere oranla zaman ve ekonomi bazında faydalar sağlanmıştır. Camito firması tarafından uygulanan bu yöntem Şekil 2.9' da açıklanmıştır. Buna göre Şekil 2.9' da ok işareti ile gösterilen yolluktan çelik malzeme dökülmektedir. Bu çelik ayırma çizgisi seviyesine gelene kadar dökülmeye devam edilir, çelik seviyesi ergitilen maden ağırlığı ile kontrol edilir (Şekil 2.9 b). Daha sonra sol taraftaki yolluktan dökme demir dökülür, çelik döküldükten sonra dökme demirin dökülme zamanı Camito-time olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.9 c). Dökme demir ile parçanın kalıp üzerinde kalan boşluğu doldurulduktan sonra döküm tamamlanır (Şekil 2.9 d).



Şekil 2.9. Çift yolluklu sistemle bimetal dökümü gerçekleştirilen kalıba ait şematik çizim a) çelik alaşımın yolluk girişi b) Çelik alaşım döküm seviyesi c) Dökme demir dökümü d) Bimetal kalıp[15]

## BÖLÜM 3. BİMETAL DÖKÜMÜ SİMULASYONU ADIMLARI

### 3.1. Katılma Simülasyonu Adımları


Burada NovaCast döküm simülasyonu programı kullanılarak katılma simülasyonunun adımları anlatılmıştır.

Bunun için;

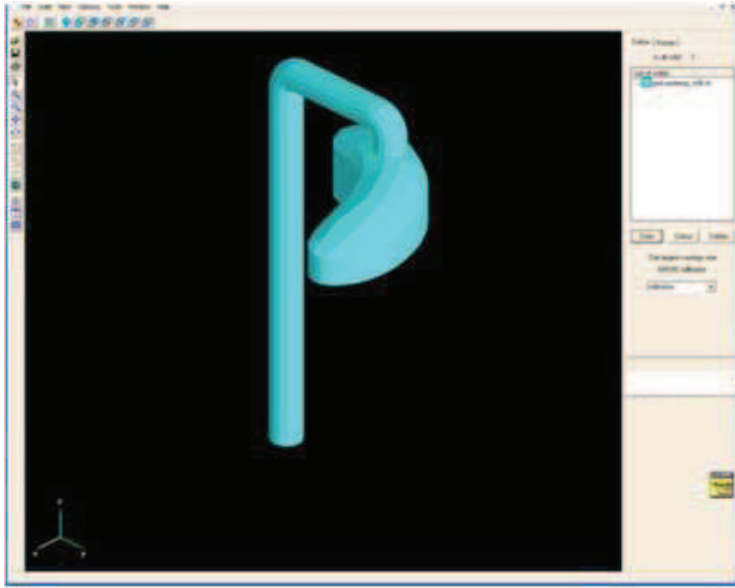
1. Adım simülasyonu yapılacak olan model önce çizim programında çizilip daha sonra NovaCast'e "STL" uzantısı olarak gönderilmiştir.
2. Adım, kalıp malzemeleri ve ısıtıcı ortam seçilecektir. Yolluk noktası ve bilgisayarla hesaplama hassasiyeti girilecektir.
3. Adım, katılma simülasyonu parametrelerini girme ve simülasyonun yapılması anlatılacaktır.
4. Adım, Sonuçları anlama ve yorumlama anlatılacaktır.

#### 3.1.1. STL dosyaları almak (3D Import).


Bu kısımda daha önce katı modeli CAD ortamında oluşturulan katı modellerin Nova Cast döküm simülasyon programı içine aktarılması anlatılacaktır.

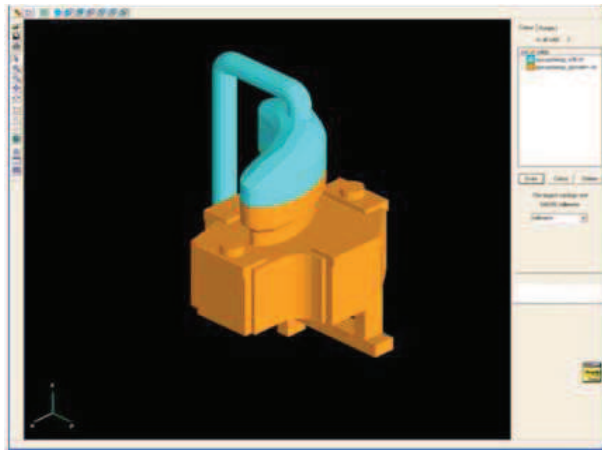
STL Import tuşuna basılır ve File/Open' seçilir veya  tuşuna basılır. Çıkan browserda daha önce kaydedilen "bimetalcelik.stl" dosyası seçilir.

Bu aşama ilk başta çelik parçanın seçilmesi ile başlar. Çelik parça çağrıldığında Şekil 3.1' de ki model görünecektir.



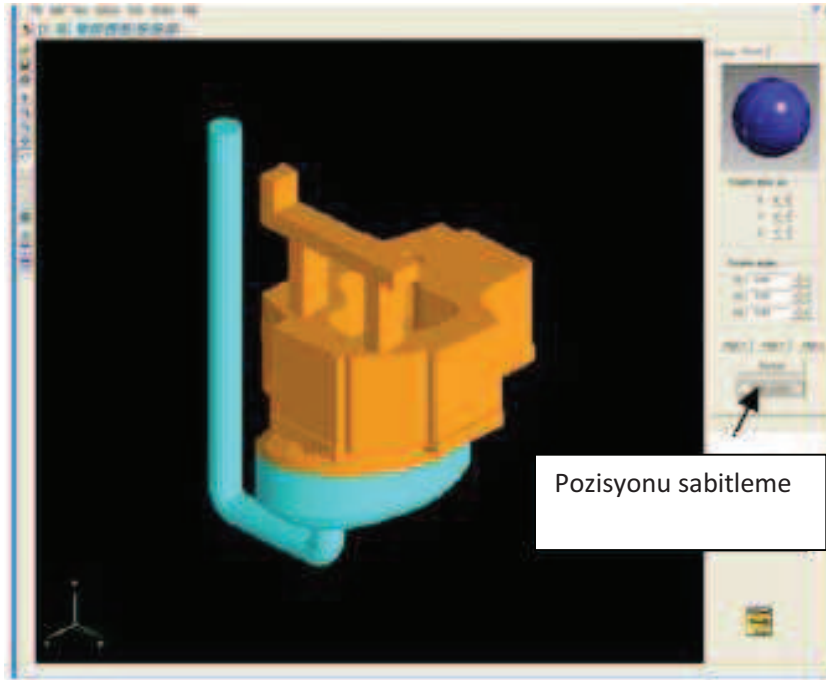
Şekil 3.1 İlk olarak çelik olarak tanımlanacak parçanın çağırılması

Şekil 3.2’ de katı model ekleme (Add Solid) düğmesini  kullanarak ya da menu den katı (Solid) ve katı model ekle (Add Solid) seçenekleri ile farklı malzeme tanımlanacak olan komponentlerin çağırılması gösterilmiştir. Bimetalpik.stl” dosyası bu şekilde katı model ekleme butonuna tıklanarak açılan browserdan çağrılır.



Şekil 3.2. Katı Model Ekleme (Add) seçeneği ile diğer komponentin çağırılması

Parçanın duruş şekli düzgün olmadığı için çevirme özelliğini kullanmamız gerekir (🔄). Şekil 3.3 de işaretçinin (mouse) oku parça üzerindeyken, döndürme düğmesine basılı tutarak parçanın döküm pozisyonuna çevrilmesi gösterilmiştir. Önemli olan bütün dosyaları çağırdıktan sonra çevirmektir.




Şekil 3.3. Parçanın döküm pozisyonuna çevrilmiş hali

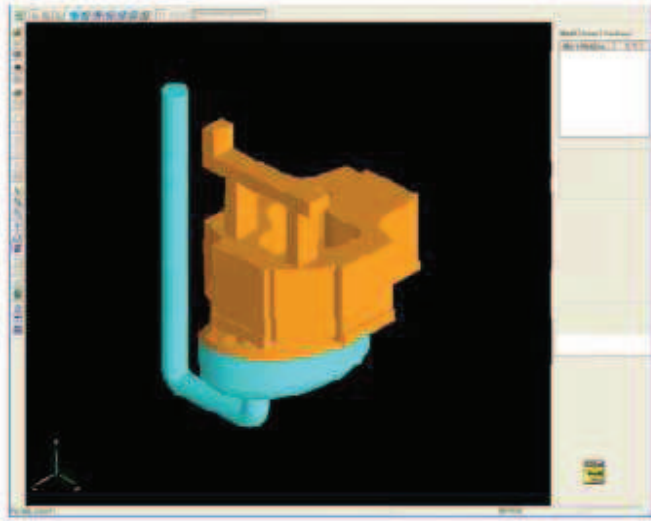
🔄 tuşu ile kabaca döküm pozisyonuna getirildikten sonra modeli X, Y ve Z düzlemlerinde hizalama (Align X,Y,Z) düğmelerine basılır (Sağ tarafta). Bütün açılar 90 derece ve katları olmalıdır. Şimdi pozisyon sabitleme (Fix Position) düğmesine basılarak parçanın döküm pozisyonu tanımlanmış olur.

Parçanın komponentlerini çağırdıktan ve döküm pozisyonunu belirledikten sonra kaydet seçeneğine tıklanır ve uygun bir isim verilerek parça kaydedilir. Örneğimizde dosya ‘bimetalpart’ ismiyle kaydedilmiştir.

### 3.1.2. Simülasyon ayarlarını ayarlamak (Initial Settings)

Stl Import kısmında oluşturulan dosyalar ilk ayarlar (Initial Settings) kısmına aktarılacaktır. Bunun için İnitil Settings düğmesine basılır. Eğer sistem ayarlarında otomatik yükle seçeneği seçilmiş ise kaydettiğimiz dosya direkt olarak ekrana gelecektir.


veya “ File/Open” seçeneği seçilir ya da  düğmesine sol tuşla basılır ve “bimetalpart.flr” dosyası seçilir. Şekil 3.4 deki model ekrana gelecektir.



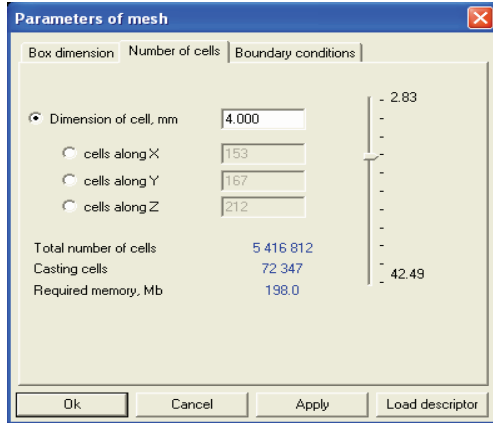
Şekil 3.4 İlk ayarlar kısmında açılan modelin görüntüsü

Daha önce farklı renkteki parçalar ayrı ayrı alınmış ve “Stl Import” kısmında birleştirilmişti. Burada her renk ayrı bir parçayı belirtmektedir. Çelik parçalar her zaman ilk renk mavi olmalıdır.

#### 3.1.2.1. Mesh parametrelerini ayarlamak

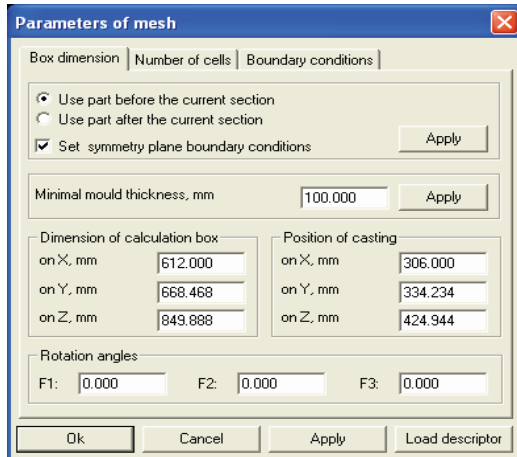
Bu ayarda mesh oluşturma (Build Mesh) seçeneği seçilir veya  tuşuna basılır. Mesh Parametreleri penceresi açılacaktır. Bu parametreler bilgisayarlı hesaplamalar için kullanılacaktır. Model küçük küplere bölünecektir. Bu küplerin boyutları en ince kesite

en az 3 küp sıgacak şekilde ayarlanmalıdır. Bunun için Şekil 3.5 de ki hücre sayısı (Number of cell) seçeneği kullanılır. Bu parça için hücre boyutları (Dimension of cell, mm) kutusuna 4 değeri girilmesi uygundur ama farklı döküm parçaları için kutu sayısı farklı olabilir, en son olarak uygula (Apply) seçeneğine basılır.




Şekil 3.5 Mesh parametreleri penceresi

Bu küplerin boyutları ile oynamak simülasyon sürelerini değiştirir. Küp boyutları ne kadar küçük olursa simülasyon o kadar uzun sürer.



Şekil 3.6 Kalıp ölçülerini ayarlama penceresi

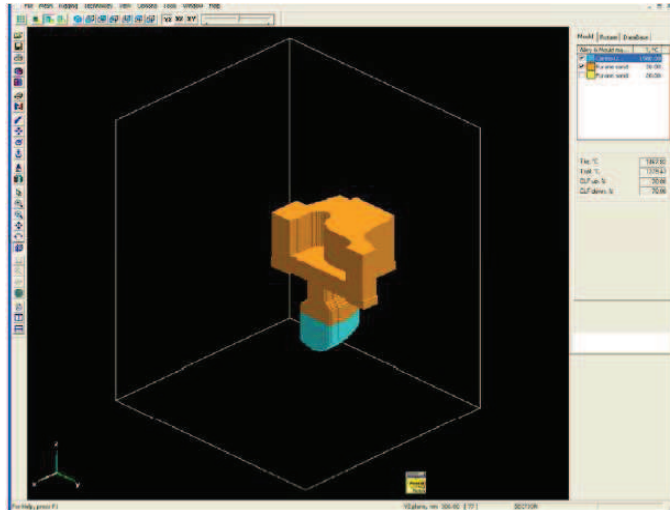
Şekil 3.6. da görüldüğü gibi kalıp ölçülerini ayarlama (box dimension) bölümünde kalıp boyutları ayarlanır. Normal ayarlarda modelin etrafında en az 100 mm kum payı kalacak şekilde kalıp yaratılır. Bu menüden “Ok” tuşlanarak çıkılır.  izometrik görüntüyü elde etmek için ortada görünen tuşa basılır.

Şekil 3.7.’ de gösterildiği gibi görülmek istenen malzemenin kutusuna tik işareti koyulursa malzemeler gözükecektir.

| Alloy & Mould ma...                             | T, °C   |
|---|---------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Carmo U...  | 1580.00 |
| <input checked="" type="checkbox"/> Furane sand | 20.00   |
| <input type="checkbox"/> Furane sand            | 20.00   |

Şekil 3.7. Malzeme kutusunda malzemelerin seçilmesi.

Parçayı Şekil 3.8.’ deki gibi seçtiğimiz iki ayrı malzeme olarak görebiliriz



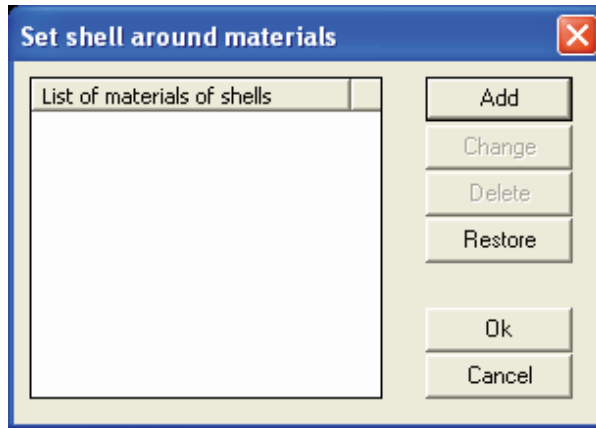
Şekil 3.8 İki ayrı malzemenin (dökme demir ve çelik) görüntüsü.



### 3.1.2.2. Döküm parçanın etrafında kabuk tanımlamak

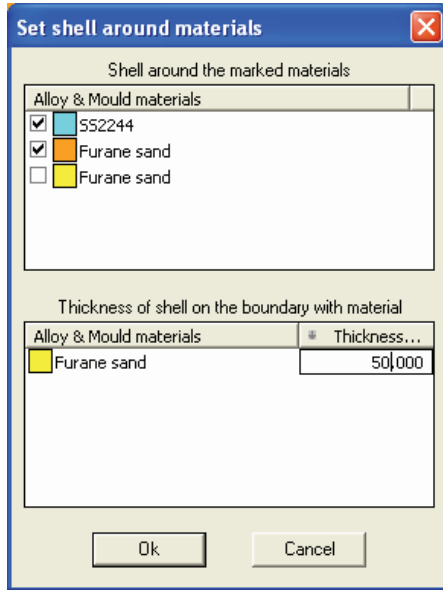
Modelin yüzeyinde kalıplama esnasında kullanılacak malzemeleri tanımlamak için Kabuk (shell) komutu kullanılır. Kabuğu tanımlayabilmek için menüden “shell” komutu seçilir.

Döküm parçanın üstüne yeni bir kabuk (shell) tanımlamak için ekle (Add) tuşuna basılır. Şekil 3.9’ da kabuk ayarlama penceresi görülmektedir.



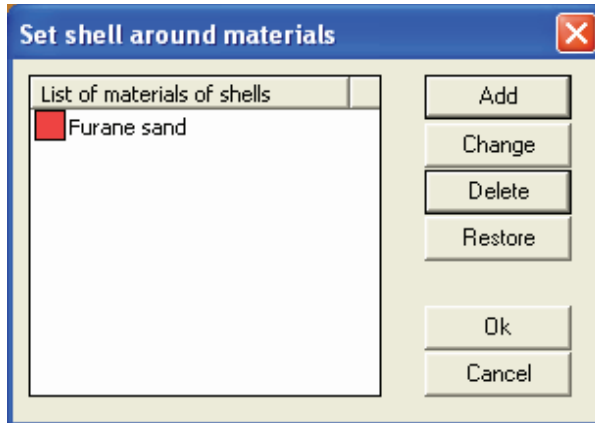
Şekil 3.9. Kabuk ayarlama penceresi

Şekil 3.10.’da Ekle (Add) tuşu kabuk oluşturma menüsünü açar. Açılan pencerede yukarıdaki kısımda kalıplama esnasında etrafında kabuk oluşturulacak malzemeler seçilir. Çıkan pencerede, kabuk malzemelerinin yanındaki tiki aktif hale getirilmesiyle malzemenin etrafında kabuk oluşur. Alt taraftaki kısımda ise kabuk kalınlığı girilebilir. Rakam kutusuna tıklanıp bu malzeme için uygun görülen 50 (mm) yazılır. En son “Ok” tuşuna basılarak pencere kapatılır.





Şekil 3.10. Kabuk oluşturma menüsü

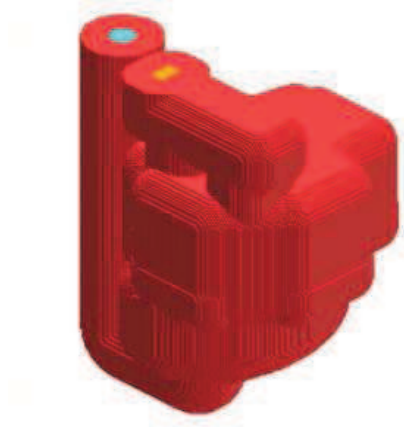
Kabuk malzemesinin ayarları sonradan değiştirilebilir veya silinebilir. Değiştirme işlemi tamamlandıktan sonra “Ok” tuşuna basılarak işlem onaylanır. ( Şekil 3.11 )



Şekil 3.11. Kabuk tanımlandığı zaman gözüken kabuk malzemesi

Şekil 3.12 de tanımlanan kabuğun model üzerinde görüntüsü verilmiştir. Bu görüntüyü elde etmek için dış izometrik görünüş “Output Isometric” tuşuna “” basılır ve malzeme ve başlangıç sıcaklıklarının görüldüğü sağ taraftaki pencerede kabuk

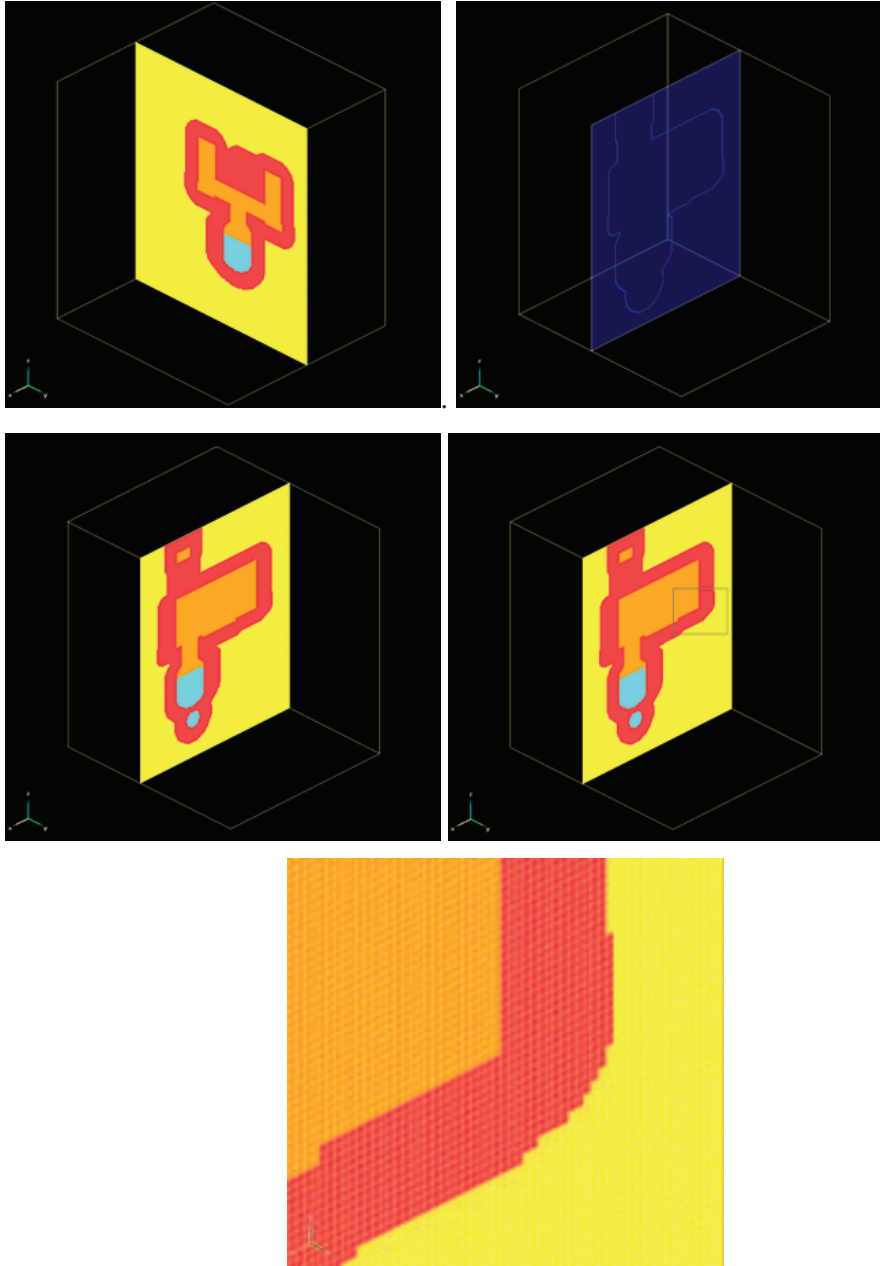
malzemesi seçilir ve kesit kaydırma göstergesi (  ) sağa kaydırılarak parçanın bütünü görülür.




Şekil 3.12. Tanımlanan kabuğun görünüşü

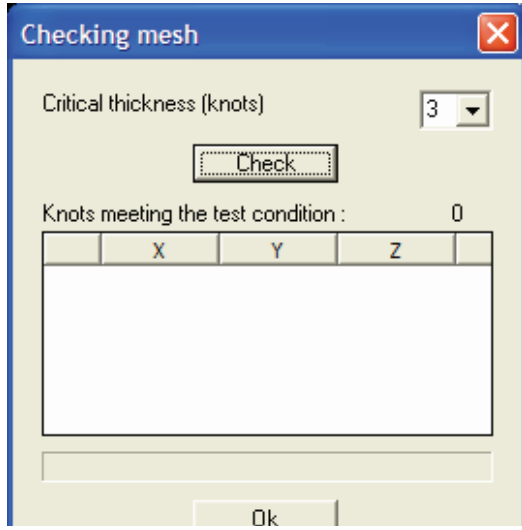
### 3.1.2.3. Değişik kesitlerin görünüşü

Bu bölümde modelden kesit görüntüsünün alınması anlatılmıştır. Kesit görüntüsü alabilmek için istenen düzleme işaretleyicinin “Mouse” sol tuşu ile tıklanır ve sürüklenme işlemi yapılır. Bu işlemler aşağıda adım adım gösterilmiştir (Şekil 3.13.).



Şekil 3.13. XZ düzleminde kesit görünüşlerinin elde edilmesi

Yakınlaştırılmış görüntüden çıkmak için  tuşuna basılır. Mesh kontrolü yapmak için “Edit” menüsü içindeki “Check Mesh” özelliği seçilir.



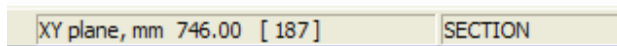
Şekil 3.14. Mesh kontrol penceresi

Seçtiğimiz bu malzemeye uygun kritik mesh kalınlığı olarak 3 yazılarak “Check” tuşuna basılır. Böylece kalıp içinde 3 hücreden az yerleştirilmiş olan bölge varsa tabloda görülür.

Verdiğimiz örnekte herhangi bir kritik bölge bulunmadığından farklı bir işlem yapmaya gerek yoktur. ”Ok” tuşuna basılarak menüden çıkılır.

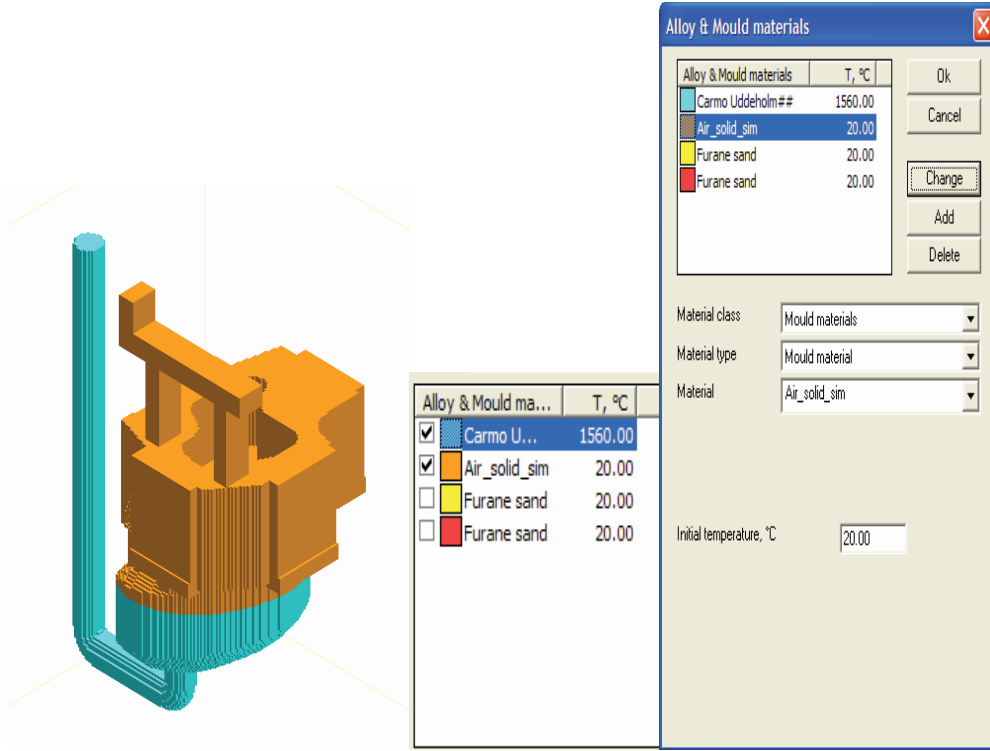
#### 3.1.2.4. Kalıbın üst tarafını kesmek

Kalıbı kesmek istediğimiz uygun kesit seçilir. Bu örnekte kesit XY düzleminde, 746 mm yükseklikte 187 numaralı katmandadır. Bunun kolay yolu kesiti fare ile taşıyıp, sağ taraftaki listeden kontrol edip istenilen yerde bırakmaktır.

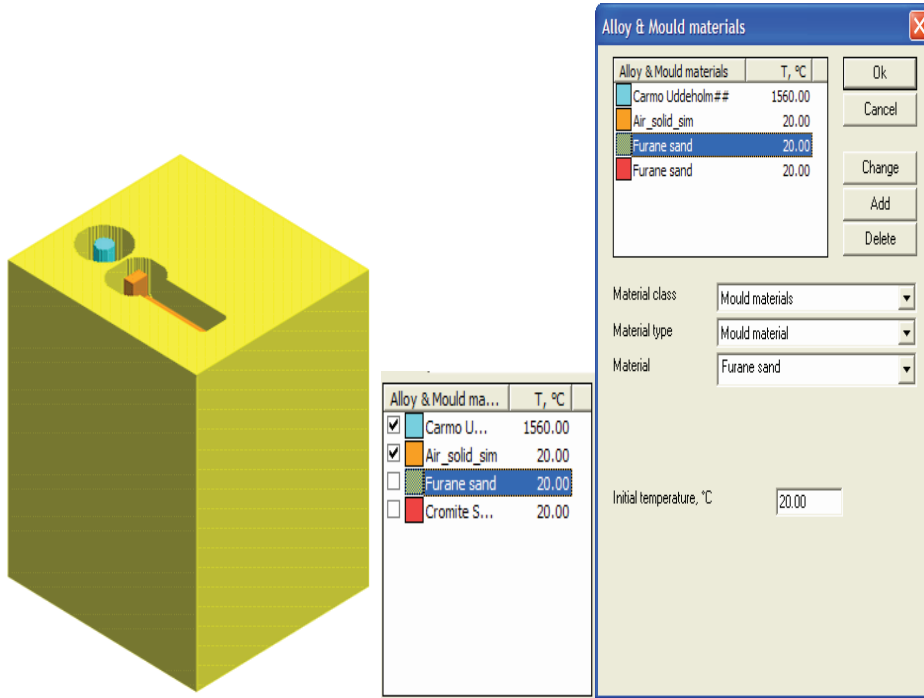


Şekil 3.15 Kesit görüntüsünün ayarlandığı bar

Bu listeyi görmek için “Auto-hide the task bar” seçeneğinin işaretlenmesi gerekir. Her malzeme için tıklama (☑) yapmaya gerek yoktur. Bu sadece hangi parçanın hangisine ait olduğunu görmek içindir. ( Şekil 3.16, Şekil 3.17 )




Şekil 3.16. Döküm malzemeleri ayar pencerelerinin görünümü

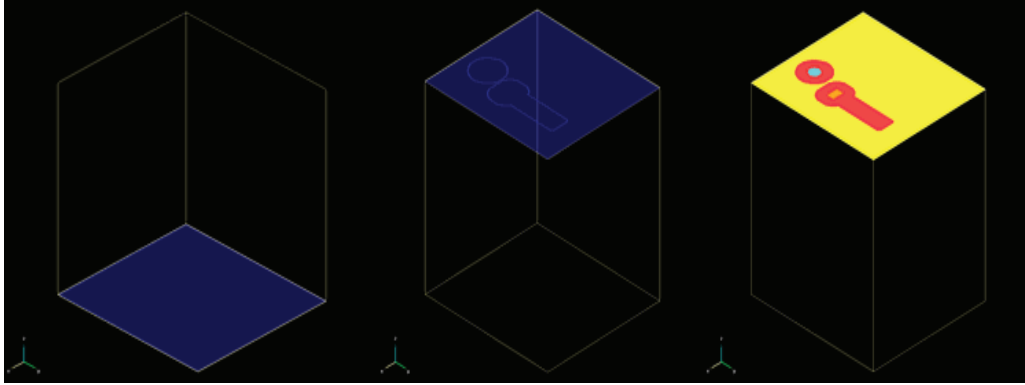


Şekil 3.17 Dokum malzemesi, yolluk girişleri ve kalıp malzemesinin görünümü ve ayar pencereleri


Her malzeme için tik koymaya () gerek yoktur. Bu sadece hangi parçanın hangisine ait olduğunu görmek için yapılan bir işlemdir.

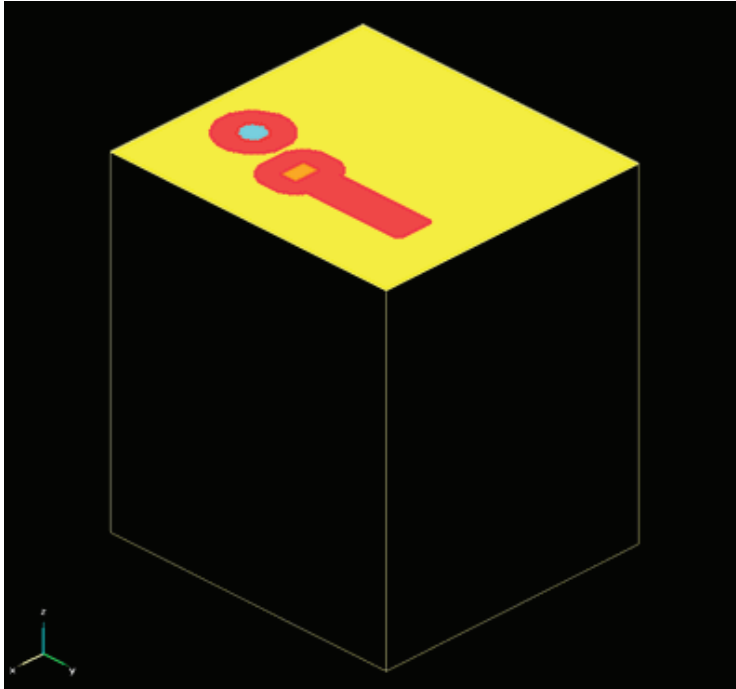
### 3.1.2.5. Yolluk girişi

Kalıbı görmek için Output isometric tuşuna () basılır. XY düzlemine sol tuşla basıp, yolluğun son noktasına gelene kadar fareyi sürükledikten sonra sağ tuşa basılarak Şekil 3.18 deki kesit görüntüsü elde edilir.



Şekil 3.18 Yolluk en üst kesit görüntüsünün elde edilmesi

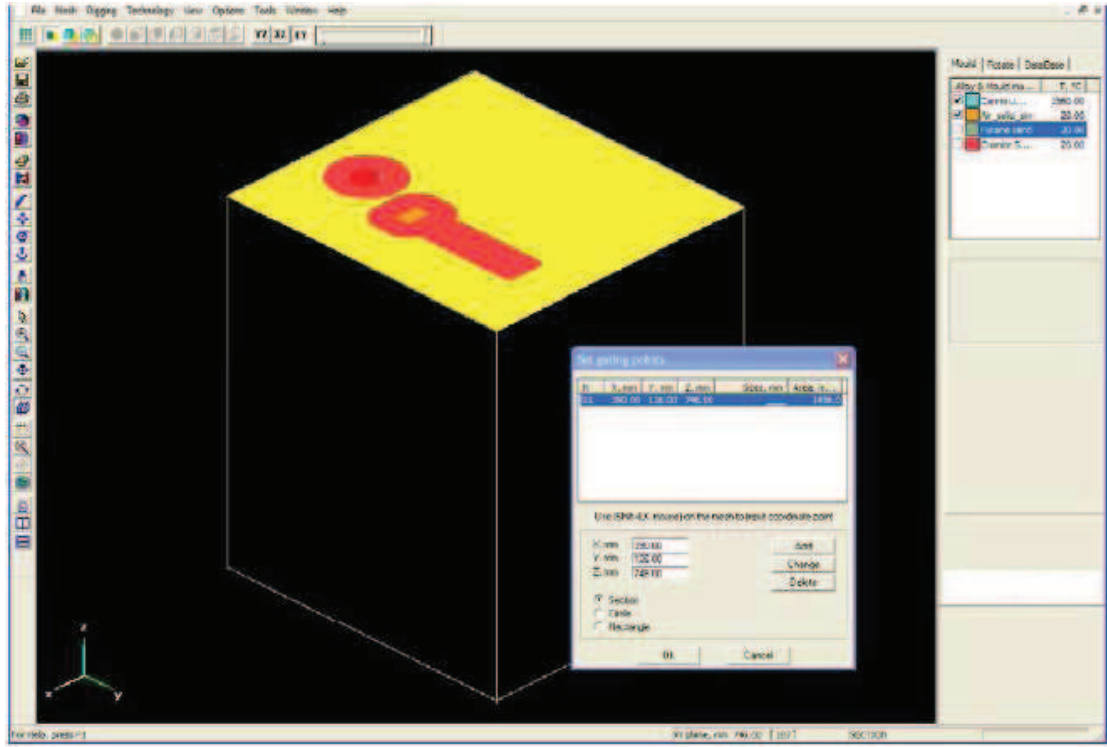
Yolluk noktasını ayarlamak için "Rigging/Gatings" butonuna (  ) basılır Yolluk noktası ayarlama penceresi ekrana gelecektir. Yolluk girişi üzerinde klavye üzerindeki "Shift" tuşuna basılı tutup farenin sol tuşuyla işaretlendiğinde yolluk girişi koordinatları belirlenmiş olur. ( Şekil 3.19, Şekil 3.20 )



Şekil 3.19. Yolluk giriş noktasını ayarlamak için kullanılacak kesit



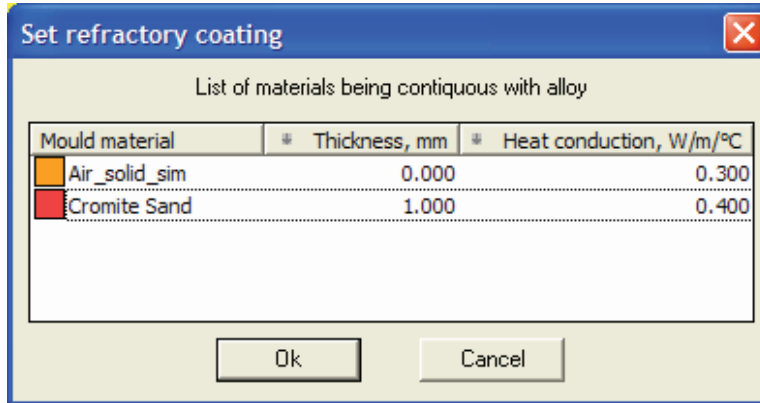
Metal akışının düzenli olması için yolluk giriş noktasını yolluğun tam ortasından vermek gerekir. Son olarak yolluk ayarları (Set gating) menüsünden ayrılmak için “Ok” e basılır.



Şekil 3.20. Yolluk girişini tanımlama

### 3.1.2.6. Kalıp boyasının ayarlaması

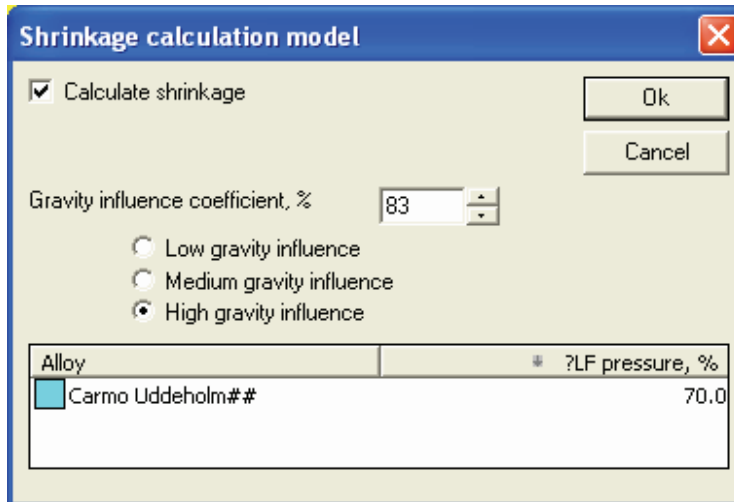
“Rigging” menüsünün içinde Kaplama (Coating) seçilir. Şekil 3.21 de kromit kumuna göre uygun görülen kalınlık (thickness) 1 mm ve ısı iletim katsayısı (heat conduction) 0,4 W/m<sup>0</sup>C olarak ayarlanmıştır. Bu menüden çıkmak için “Ok” tuşuna basılır.



Şekil 3.21. Kaplama malzemesi ve kaplama malzemesinin kalınlığının ayarlandığı pencere

### 3.1.2.7. Çekinti modeli

Mevcut dökümler için düşük yerçekimi etkisi, orta yerçekimi etkisi, yüksek yerçekimi etkisi, olmak üzere 3 farklı çekinti yöntemi tanımlanabilmektedir. Bu yöntemler yer çekimi etkisi göz önüne alınarak ayarlanmalıdır. ( Şekil 3.22 )



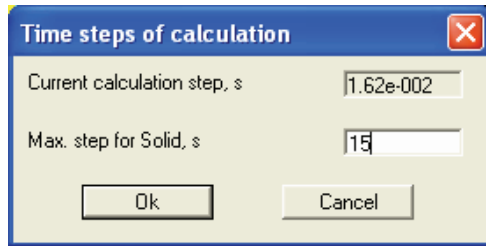
Şekil 3.22. Çekinti hesaplama modeli

### 3.1.3. Simülasyon modülü

Katılaşma simülasyonuna başlamak için "Solidification" butonuna basılır. Daha önceden oluşturulan model ekrana gelecektir, eğer gelmezse open "📁" tuşuna basılarak ".simcam" uzantılı dosya seçilir. Simülasyonu çalıştırmadan önce bütün parametreler sistem tarafından girildiği için fazla değişiklik yapmaya gerek kalmayacaktır.

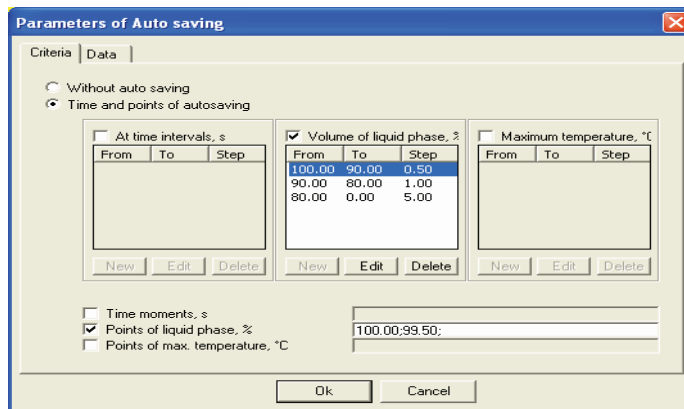
#### 3.1.3.1. Simülasyon parametreleri ve zaman adımı ayarı

Zaman ayarı için "Simulate/Time step" bölümü seçilir Şekil 3.23' de olduğu gibi "max. Step for solid,s" kısmına bu malzemeye uygun olan 15 yazılır.



Şekil 3.23. Zaman adımı kurulumu penceresi

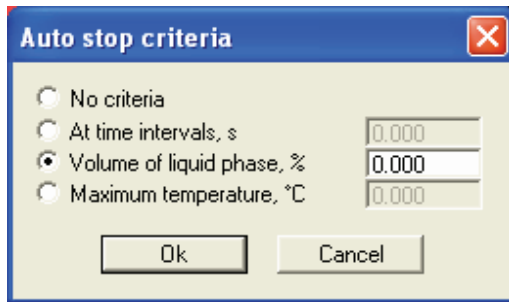
#### 3.1.3.2. Simülasyon parametreleri ve otomatik kaydetme



Şekil 3.24. Simülasyonu otomatik kaydetme penceresi

Simulasyon ayarlarının otomatik olarak kaydedilmesi isteniyorsa “Simulate/Auto Save” bölümü seçilir. Şekil 3.24’ de olduğu gibi “Parameters of Auto Saving” penceresi ekrana gelecektir. Kayıt ayarları bu ekranda yapılacaktır. Bu örnekte kayıtlar “Volume of liquid phase %” bölümünde yani kalan sıvı miktarı bölümünden referans ile yapılacak olup ilgili kutu işaretlenir ve “Ok” tuşuna basılır.



### 3.1.3.3. Simülasyon parametreleri ve otomatik durma ayarları





Şekil 3.25. Simülasyonun otomatik durdurma kriteri olarak %0 sıvı fazın ayarlanması.

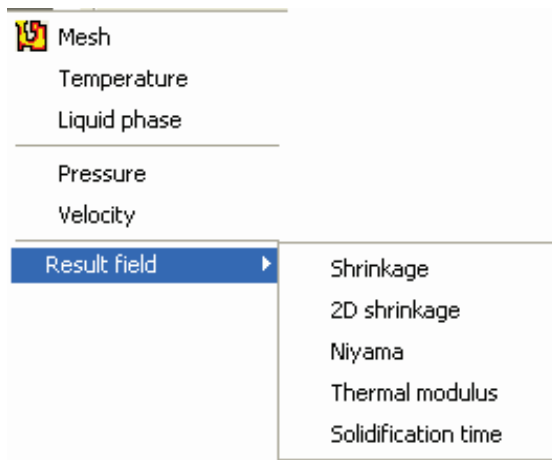
Simulasyonun otomatik olarak durması istenirse ”Simulate/Auto Stop” bölümü seçilir. Ekrana “Auto stop criteria” penceresi gelecektir. Simülasyonun bitiş noktası burada girilen parametrelere göre belirlenecektir. Uygulama yapılan parçada kalan sıvı miktarı “Volume of liquid phase” 0,000 oluncaya dek simülasyon devam edecektir. Bu pencereyi onaylamak için “Ok” tuşuna basılır.

### 3.1.3.4. Simülasyon parametreleri ve simülasyonu başlatma

”Simulate/Start simulation  ” seçilerek simülasyon başlatılır. Simülasyonun bittiğini sağ alt taraftaki işlem bölümünden ya da  tuşunun pasif olmasından anlayabilirsiniz.

### 3.1.4. Tarayıcı (Browser) bölümünü anlamak

”Browser” bölümü seçilir. Belirli bir sonuç dosyasını açmak için “open”  tuşuna basılır ve “.psp” uzantılı dosya açılır. Sıcaklık, sıvı faz, çekinti, hız ve bunun gibi sonuçlar  tuşunun sağ tarafına basılarak görüntülenebilir. Şekil 3.26 da olduğu gibi görüntülenmek istenen parametre seçilebilir.



Şekil 3.26. Dökümün sonuçlarını gösteren pencere

Sonuçlar baştan sona adım adım izlenebilir, İstenilen yerde durdurulabilir. ( Şekil 3.27, Şekil 3.28 )






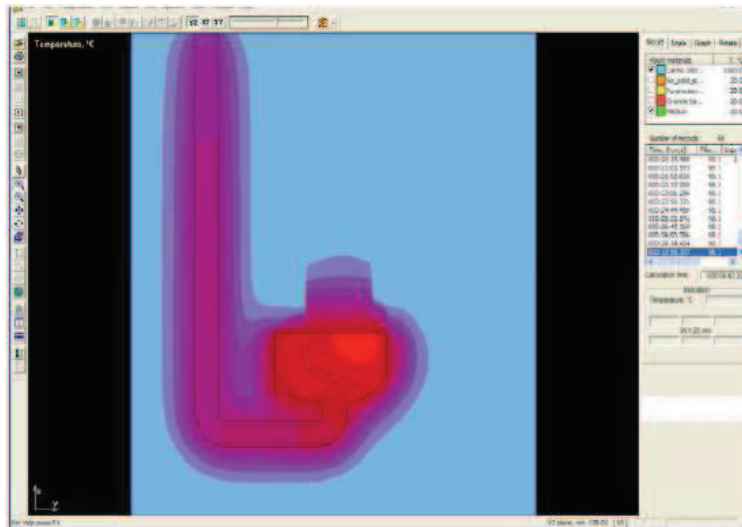
Şekil 3.27. Sol tarafta bulunan simülasyon izleme paneli

| Number of records : 26 |          |      |
|------------------------|----------|------|
| Time, (h,m,s)          | Fille... | Liqu |
| 000:02:39,157          | 98.3     | 5    |
| 000:03:03,700          | 98.2     | 4    |
| 000:03:28,242          | 98.2     | 4    |
| 000:03:52,785          | 98.1     | 3    |
| 000:04:17,327          | 98.1     | 3    |
| 000:04:41,870          | 98.1     | 2    |
| 000:05:06,413          | 98.1     | 2    |
| 000:05:55,498          | 98.0     | 1    |
| 000:06:20,040          | 98.0     | 1    |
| 000:07:09,125          | 98.0     |      |
| 000:08:47,296          | 98.0     |      |
| 000:12:28,179          | 98.0     |      |

Şekil 3.28 Simülasyon sonuçlarını taramak için kullanılan panel


### 3.1.4.1. Sıcaklık dağılımı kontrolü (temperature)


Simülasyonun sonucu olarak sıcaklık görüntülenebilir.  Tuşunun sağ tarafına tıklayarak “Temperature” bölümü seçilir. Parçanın istenilen kesit görüntüsü ayarlanarak izlenilebilmektedir. “Play”  tuşuna basarak simülasyon baştan sona izlenebilir ve sıcaklık dağılımı gözlenebilir, Durmak istenilen yerde “stop”  tuşuna basılır.

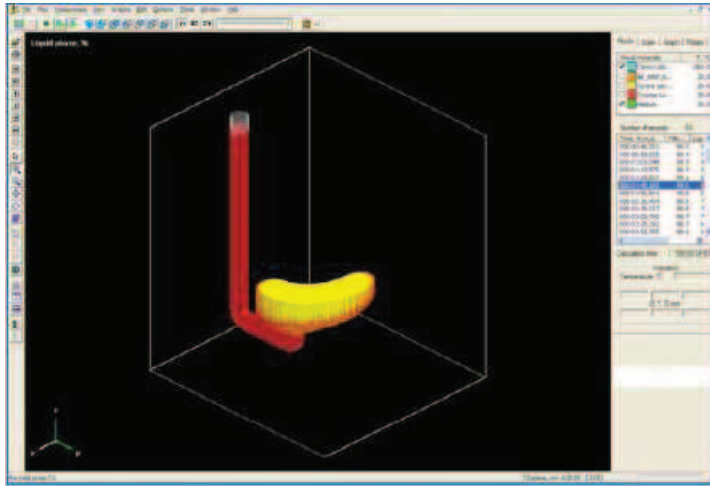


Şekil 3.29. Simülasyon sonucunda sıcaklık dağılımının kontrolü

### 3.1.4.2. Sıvı faz değişimi kontrolü (liquid phase)


Sıcaklıkta olduğu gibi sıvı faz için de sonuçlar görüntülenebilir. Sıcaklıkta kullanılan kontrollerin aynıları sıvı faz içinde kullanılır.  tuşu ile “liquid phase” (sıvı fazı) seçilerek görüntü elde edilir. ( Şekil 3.30 )

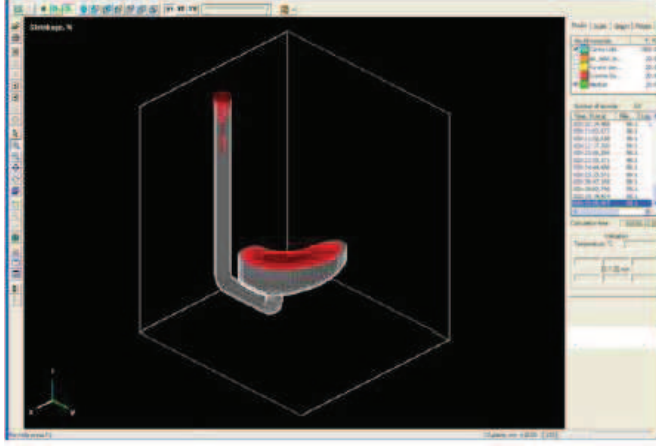
 Tuşu ile 3 boyutlu transparan görüntü seçilir. Bu durumda %85 sıvı faz kaldığı an seçilirse aşağıdaki görüntü elde edilir.



Şekil: 3.30. %85 sıvı faz görünümü.

### 3.1.4.3. Çekinti kontrolü (Shrinkage)

Simulasyon sonucunda parçada oluşan çekintileri görebilmek için  tuşuna basılır ve Sonuç dosyası/Çekinti (Result field/Shrinkage) bölümü seçilir . Bu durumda şekil 3.31 de görüldüğü gibi parça üzerinde oluşan çekintiler kırmızı renkte görünür.



Şekil 3.31. Katılma simülasyonu sonucu çekinti görünümü

### 3.2. Bimetal Dolum ve Katılma Simülasyonun Adımları

Burada amaç Novacast döküm simülasyonu programını kullanarak bimetal dökümün dolum ve katılma simülasyonu ile ilgili temel prosedürleri göstermektir. Normal olarak ilk önce dökümü yapılacak olan parçanın CAD ortamında katı modeli oluşturulur ve daha sonra .STL-dosyası olarak kaydetme işlemi yapılır. Daha sonraki adım ise, katı modeli CAD ortamında çizilen ve STL olarak kaydedilen parçanın alaşım malzemesi, kalıp malzemesi ve ısıtma ortamı seçilecektir. Ayrıca yolluk giriş noktaları programa tanıtılacaktır. Alaşımın görünüşü ve oryantasyonu daha önce Bölüm 3.1’ de anlatıldığı gibidir.

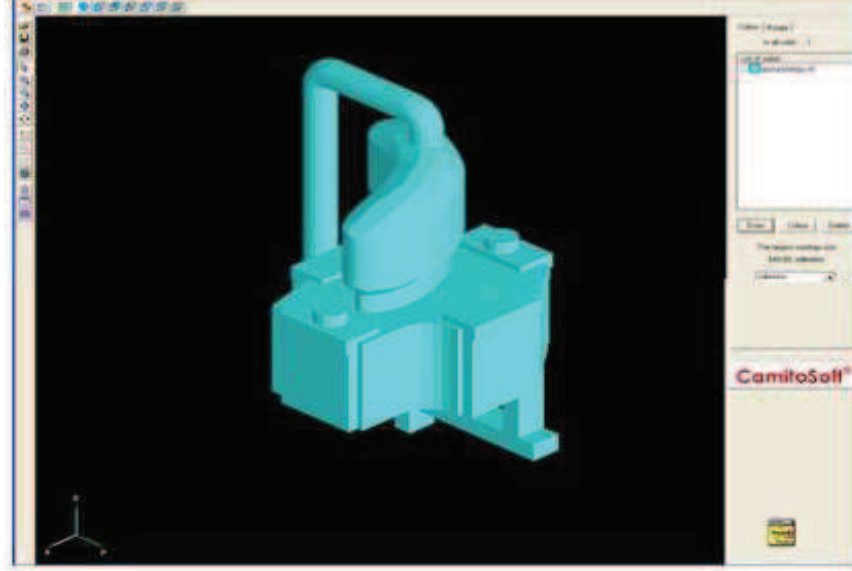
#### 3.2.1. STL dosyalarının Novacast’ e aktarımı (3D Import)

3D Import’a başlanır ve File/Open seçilir veya sol üst köşede bulunan dosya simgesine sol tıklanarak browser dosyasından simülasyonu yapılacak olan ve STL olarak kaydedilen modele ait dosya seçilir.

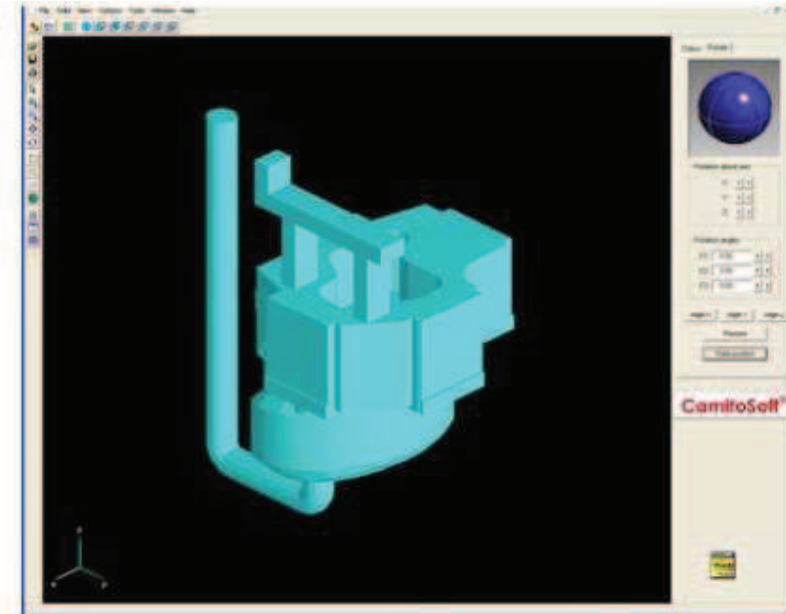
Model ekranda görülür. Ancak modelin ekran üzerinde ki konumu doğru değildir. Bu nedenle rotasyon simgesine tıklanır sonra mouse’un sol tuşuna basılı halde simülasyon



ekranı üzerinde parçanın istenilen konumda durması için Mouse hareket ettirilerek rotasyon işlemi yapılır ve parça kaba olarak istenilen konuma getirilir.



Şekil 3.32. Katılma ve dolum simülasyonu için import etmek



Şekil 3.33 Rotasyon işlemi ile parçanın döndürülerek istenilen konuma getirilmesi

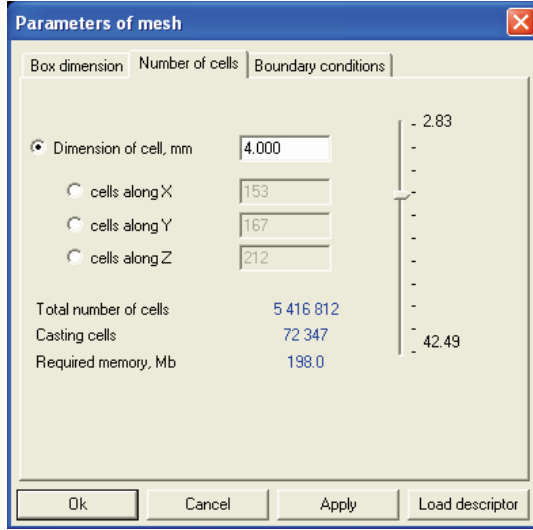
Parça döküm simülasyonu ile kaba olarak istenilen konuma getirildikten sonra sağ orta kısımda bulunan X,Y ve Z butonlarına sırası ile sağ tıklanır ve ardından Align butonuna sağ tıklanarak bütün açılar 90 derece olması sağlanır. Eğer tasarlanan dökümde farklı malzeme olarak tanımlanacak komponentler varsa örneğin soğutucu, kromit kum, insulating besleyici v.b bunlar Add butonuna tıklanarak ayrı ayrı programa çağrılır. Rotasyon ve X, Y, Z pozisyonlarında hizalama işlemlerinden sonra bu pozisyonda save butonuna tıklanarak parça uygun bir isimle kaydedilir.

### **3.2.2. İlk ayarlar (Initial Settings)**

3D Import işleminden sonra dökümü yapılacak parçaya ait, malzemeleri, yolluk ve besleyici girişlerini tanımlamak ve mesh ayarlaması yapmak için Initial Settings tıklanır. Dökülecek parça daima açık mavi olarak tek bir renkte görülecektir. Diğer komponentler ise her biri farklı renklerle görülecektir. Burada parçamız komple tek parça halinde katı olarak tanımlanacak ve dolum belirli bir seviyeye kadar yapılacaktır. Bunun anlamı çelik ve gri dökme demir parçalar birleştirilmiş STL dosyasıdır.

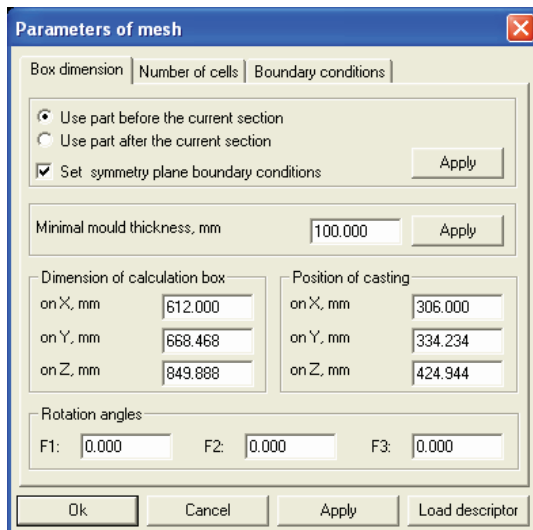
#### **3.2.2.1. Mesh parametresinin ayarlanması**

Build Mesh kutucuğu tıklanarak Parameters of Mesh penceresi açılır. Burada Model matematiksel yaklaşım sonucunda küçük küp hücrelere bölünerek orijinal modele yaklaşılır. Hücrelerin boyutları belirlenmelidir. Number of cells kutusu seçilir. Dimension of cell, mm kutusuna 4 yazılır ve ardından apply' a sol tıklanır.



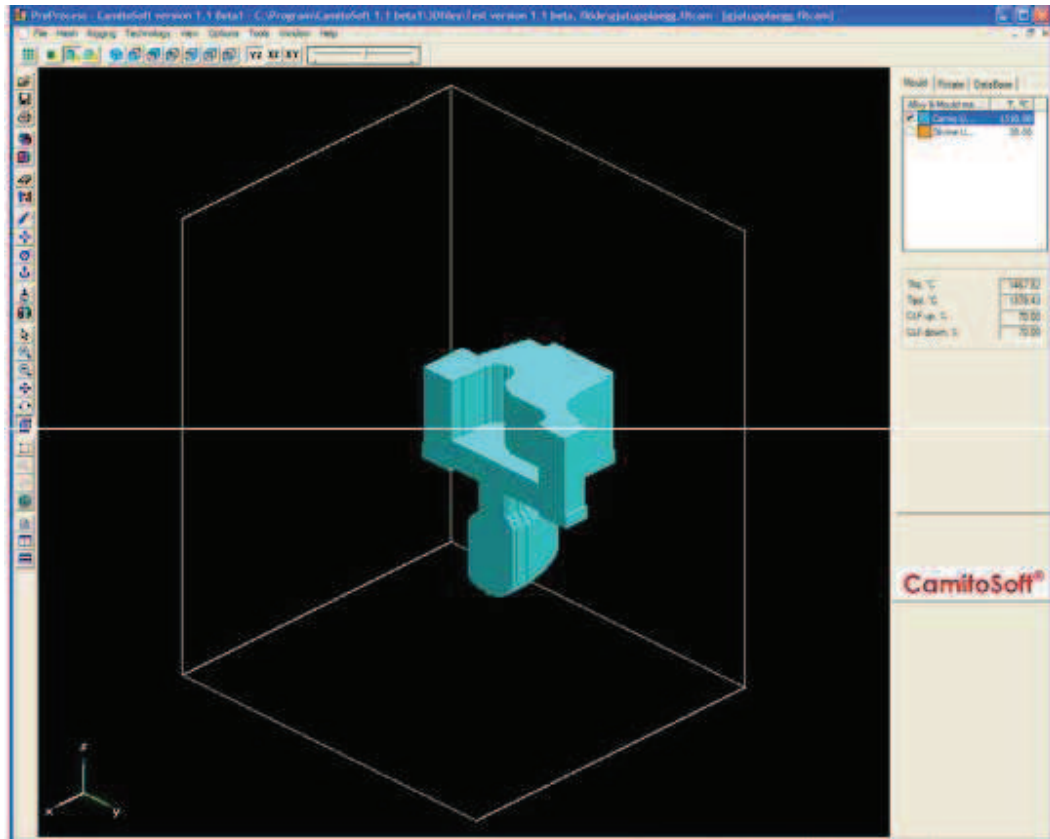
Şekil 3.34: Mesh parametresini ayarlama.

Şimdi ne kadar metal hücresi oluşturulduğu görülmektedir. Burada 4 yerine başka bir değer yazılıp Apply tuşuna tıklandığında hücre sayısının değiştiği görülebilir. Hücre sayısı parça üzerindeki en küçük kesitte 3 den az olmamalıdır. Box Dimension kutucuğundan kalıp duvar kalınlığını ayarlayabiliriz.



Şekil 3.35. Kalıp duvar kalınlığını ayarlamak için kullanılan box dimension penceresi

Burada birde iki veya daha fazla döküm için eğer simetrik döküm düzeni var ise simetri ayarlaması (set symmetry) kullanılabilir. Bu fonksiyon döküm parçanın simülasyonunun aynı doğrulukta fakat daha kısa zamanda yapılmasına olanak sağlar. Yani parçanın yarısının simülasyonu yapılsa dahi sonuçta parçanın tamamı için simülasyon sonuçlarını görmeye olanak sağlamaktadır. Bu fonksiyonu çalıştırmak için sistem ayarlarındaki aynalama (mirroring) fonksiyonunu açmak gerekmektedir. Mesh ayarlamaları yapıldıktan sonra Ok butonuna basılarak çıkılır. Output isometric görünümü seçildiğinde kübik mesh tanımlanmış döküm parçanın şekli aşağıdaki gibi görülebilir.

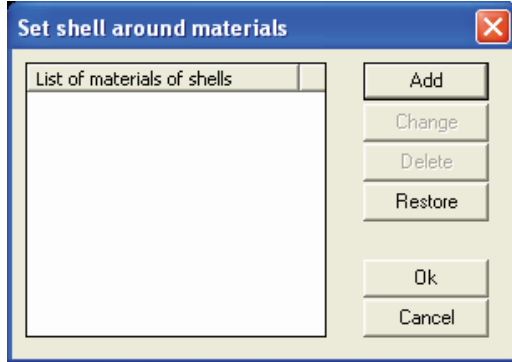


Şekil 3.36. Mesh ayarı yapılan modelin izometrik görüntüsü

### 3.2.2.2. Döküm etrafına kaplama tanımlama (Shell)

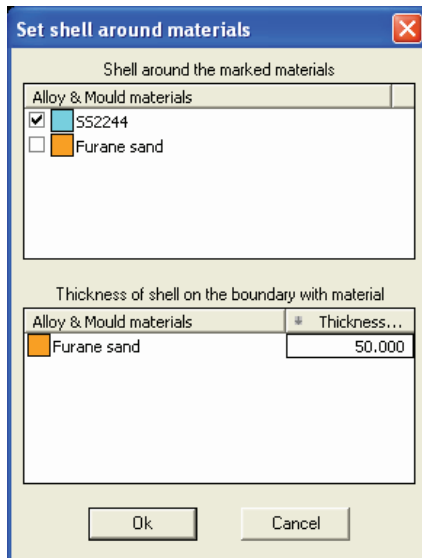
Bunun için ana menüde Mesh seçilir. Bu menüden Shell seçilir. Döküm etrafına yeni bir

kaplama eklemek için, Ekle (Add) butonuna tıklanır.



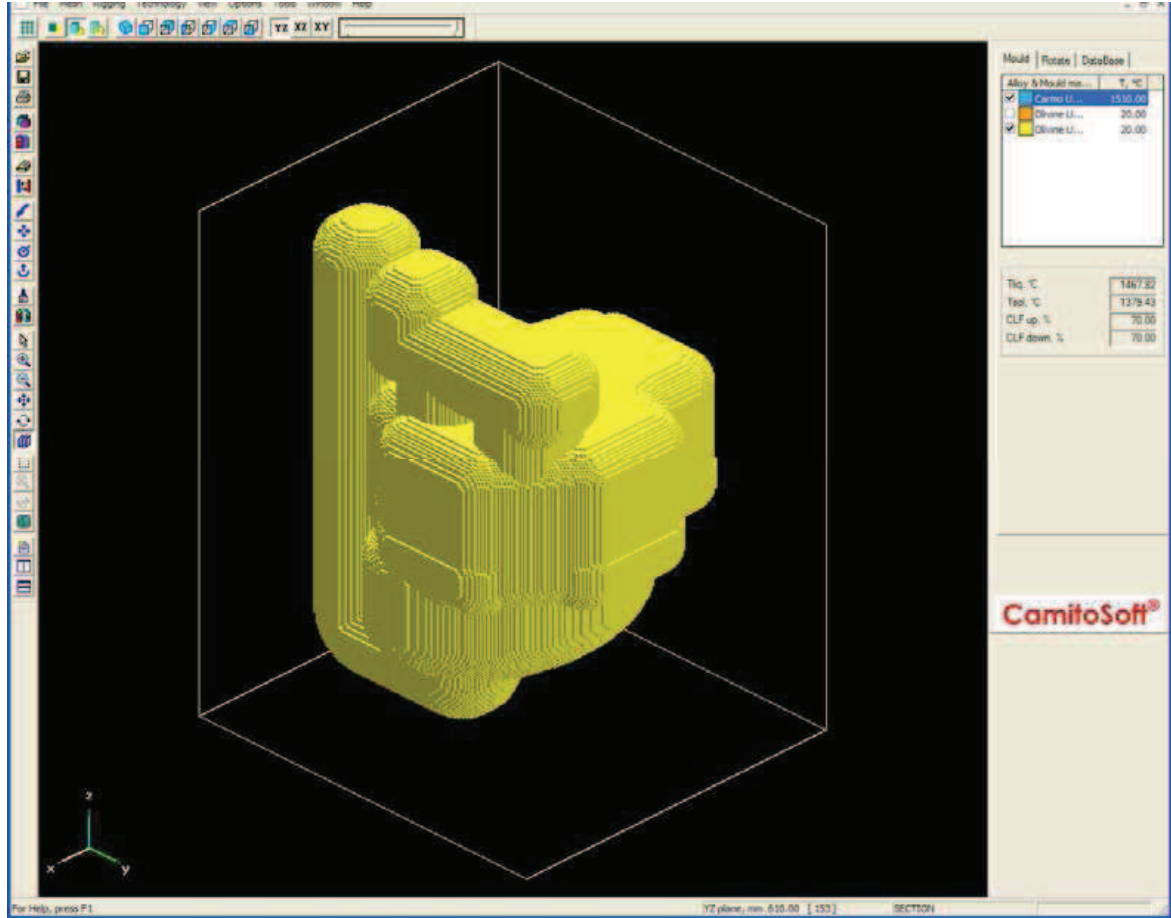
Şekil 3.37 Kabuk malzemesi seçimi ayar penceresi

Ekle (Add) butonu ile kaplama tanımlama menüsü açılır. Menünün üst tarafında bir kaplama malzemesi ayarlamak için gerekli malzemeler görülmektedir. Bunlardan biri seçildiğinde model bu malzeme ile kaplanmış olacaktır. Menünün alt tarafında ise kaplama kalınlığı tanımlanabilmektedir. Buraya tıklanarak kaplama kalınlığı 50 mm olarak tanımlanmıştır. Kaplama malzemesi olarak ise Furan Kumu seçilmiştir.



Şekil 3.38. Kabuk malzemesi seçimi

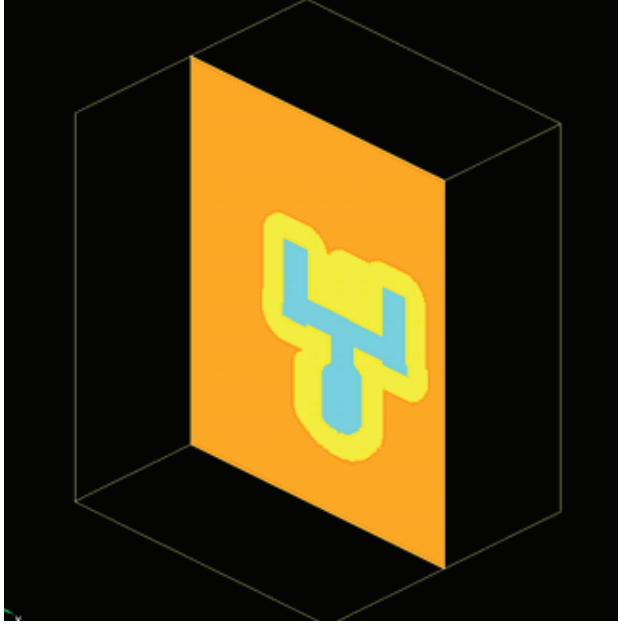
Bu işlemden sonra kaplama tanımlanmış olup daha sonra istenildiğinde bu kaplama değiştirilebilir veya silinebilir. Ok butonuna basılarak çıkılır. 'Output isometrik' görünüşe tıklanarak ve sağ taraftaki malzeme listesinden kaplama malzemesi seçilerek kaplama malzemesi görülebilir.



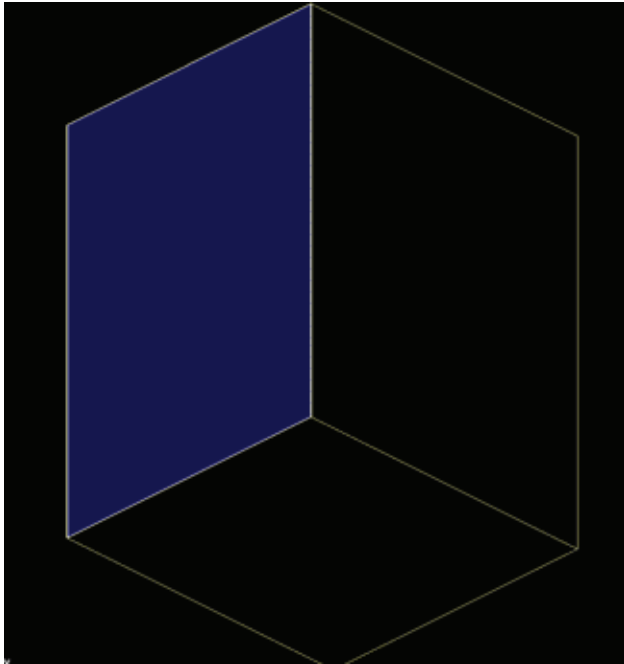
Şekil 3.39 Kabuk malzemesi seçilen parçanın görünümü

### 3.2.2.3. Farklı kesitleri görmek

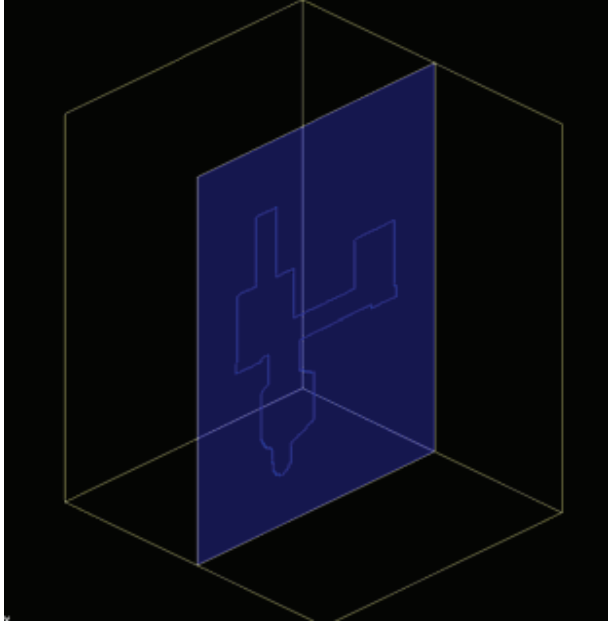
Model içindeki kesitleri taramak mümkündür. Bunun için simülasyon ekranında tanımlanan kalıp içinde görülmek istenen kesit düzlemine sol tıklayarak mouse' u sürüklemek yeterlidir.



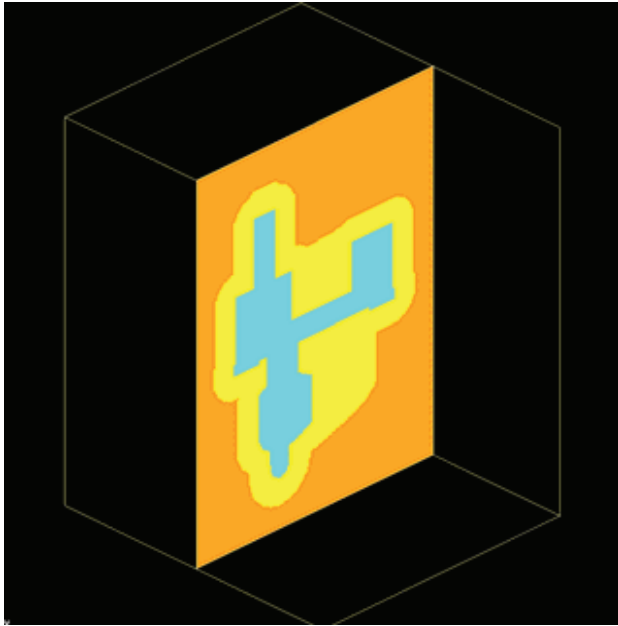
Şekil 3.40. XZ düzleminde kesit görüntüsünün elde edilmesi



Şekil 3.41 Kesit taramak için sol tuşla seçilen düzlemin mavi renkle görülmesi

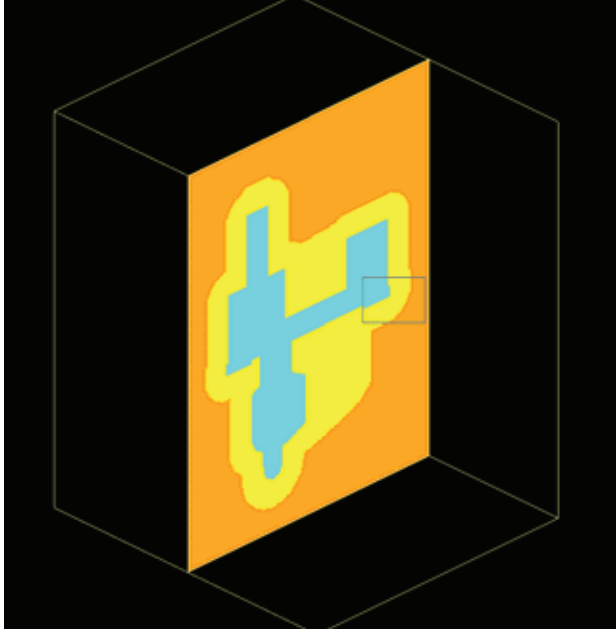


Şekil 3.42. Mouse sürülerek istenen kesit görüntüsünün elde edilmesi



Şekil 3.43. İstenen kesit görüntüsü elde edildikten sonra sağ tuşa basılıp kesitin görülmesi



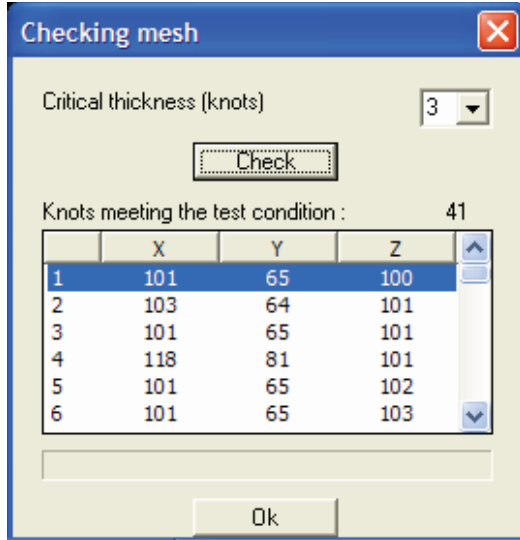


Şekil 3.44. Zoom komutu ile kısmi bölgelerin büyütülmesi



Şekil 3.45 Büyütülen bölgedeki hücre sayısı görüntüsü ile en küçük kesitte hücre sayısının 3x3 den az olmadığını kontrolü

Mesh'i kontrol etmek için 'Edit' Menüsü altındaki Mesh kontrol (Check Mesh) fonksiyonu kullanılabilir. Burada kritik kalınlık (critical thickness) kutucuğuna 3 yazılıp kontrol (check) butonuna tıkladığında aşağıdaki tabloda görüldüğü gibi bütün eksenlerde 3 ten daha küçük kalınlıktaki hücre sayısı görülmektedir.

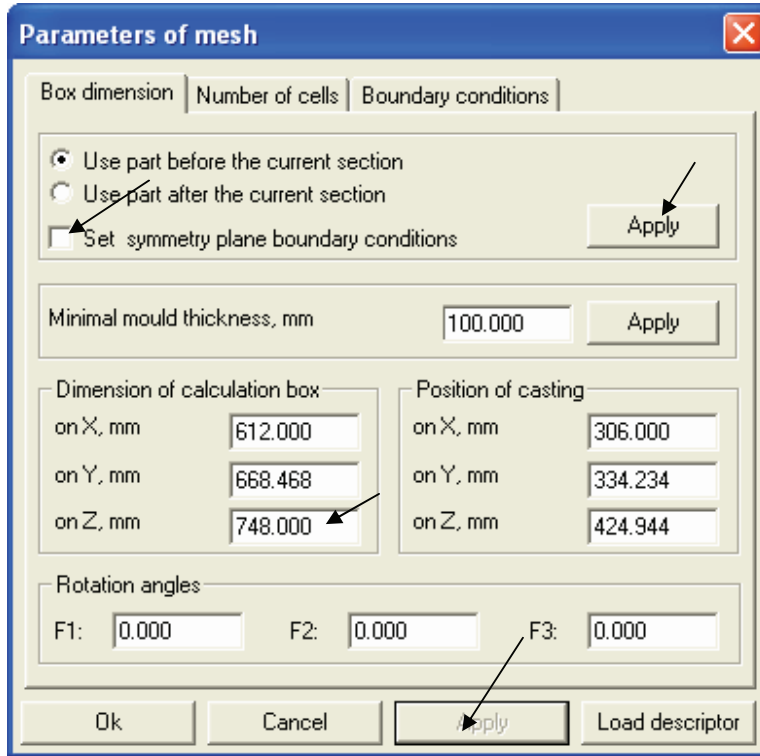


Şekil 3.46: 3 ten az hücre sayısını kontrol etme.

#### 3.2.2.4. Kalıbın üst tarafını kesme

Kalıpta yapılacak olan dolum simülasyonu için yolluk girişlerinin atmosfere açık olması gerekmektedir. Bunun içinde kalıbın üst tarafında düşey yolluğun giriş kısmını bulana kadar üstten kesme yapılmalıdır. Örnekteki parçada XY düzleminde kesit sürüklemesi yapılarak veya Mesh Parametreleri kutucuğunda Box Dimension kısmına tıklanarak Z eksenine 748 mm yükseklik verilerek Yolluk ağızlarının dolum simülasyonuna uygun olarak açık olması sağlanır.

Bu parça bütün olarak döküleceği için set symmetry butonuna tıklanarak boş olması sağlanır ve apply tuşuna basılır.



Şekil 3.47. Z eksenine değer girilerek yolluk girişlerinin atmosfere açık hale getirilmesi

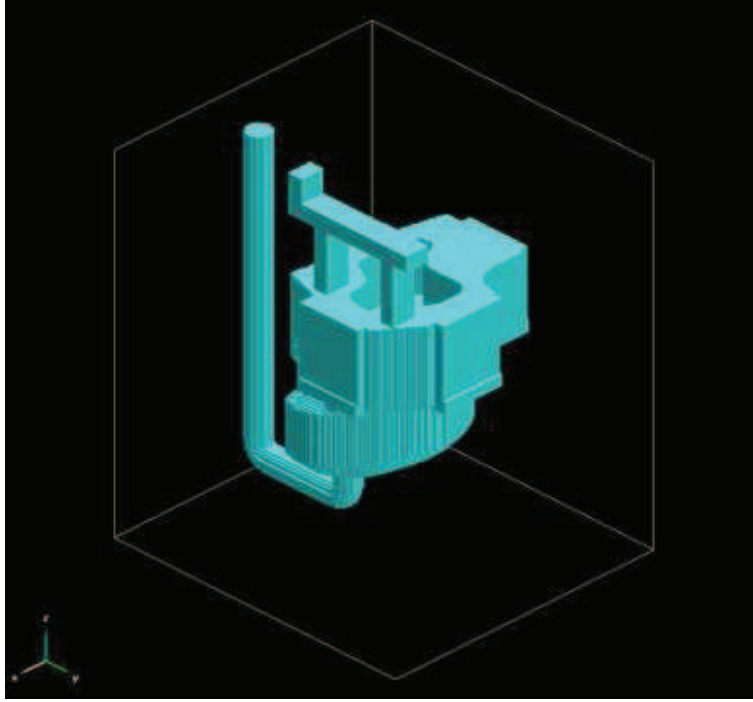
### 3.2.2.5 Kalıp malzemelerinin seçilmesi ve değiştirilmesi

Bu adımda kalıp malzemesi ve döküm alaşımı seçilecektir.

| Alloy & Mould ma...                        | T, °C   |
|--|---------|
| <input checked="" type="checkbox"/> SS2244 | 1580.00 |
| <input type="checkbox"/> Furane sand       | 20.00   |
| <input type="checkbox"/> Furane sand       | 20.00   |

Şekil 3.48. Malzeme penceresinde çeliği seçmek

Simülasyon programında sağ tarafta ekranda görülen kutucukta alaşım ve kalıp malzemeleri görülmektedir. Bu malzemelerin sağ taraflarındaki kutulara tıkladığında ekranda bu renklere ait malzemeler görülebilir. Örneğin SS2244 alaşımı tıkladığında aşağıdaki görünüm elde edilir.

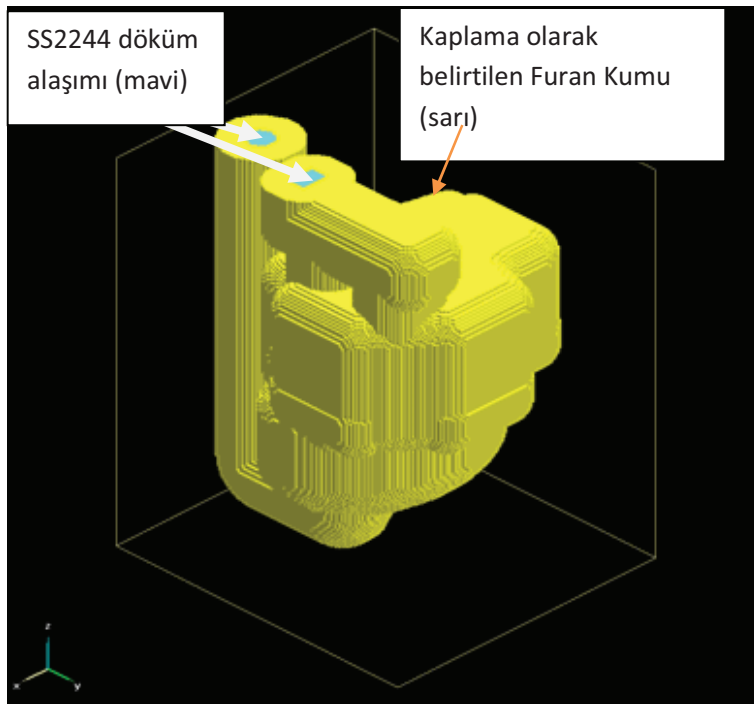


Şekil 3.49. Seçilen çelik parçanın mavi renkle görülmesi

Veya aşağıdaki örnekte olduğu gibi mavi ve sarı kutucuklara tıkladığında ekranda aşağıdaki görüntü görülür.

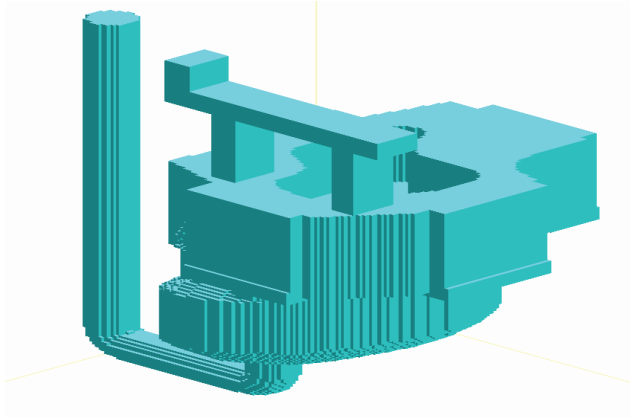
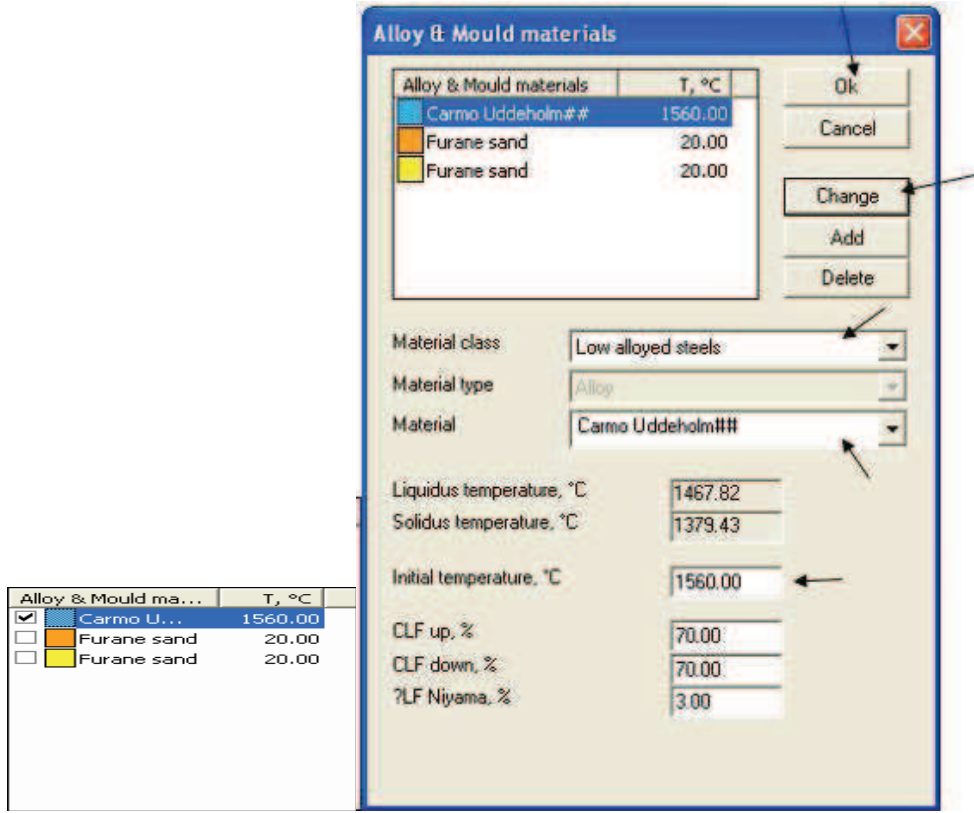
| Alloy & Mould ma...                             | T, °C   |
|---|---------|
| <input checked="" type="checkbox"/> SS2244      | 1580.00 |
| <input type="checkbox"/> Furane sand            | 20.00   |
| <input checked="" type="checkbox"/> Furane sand | 20.00   |

Şekil 3.50. Malzeme seçim penceresinden kabuk malzemesinin seçilmesi



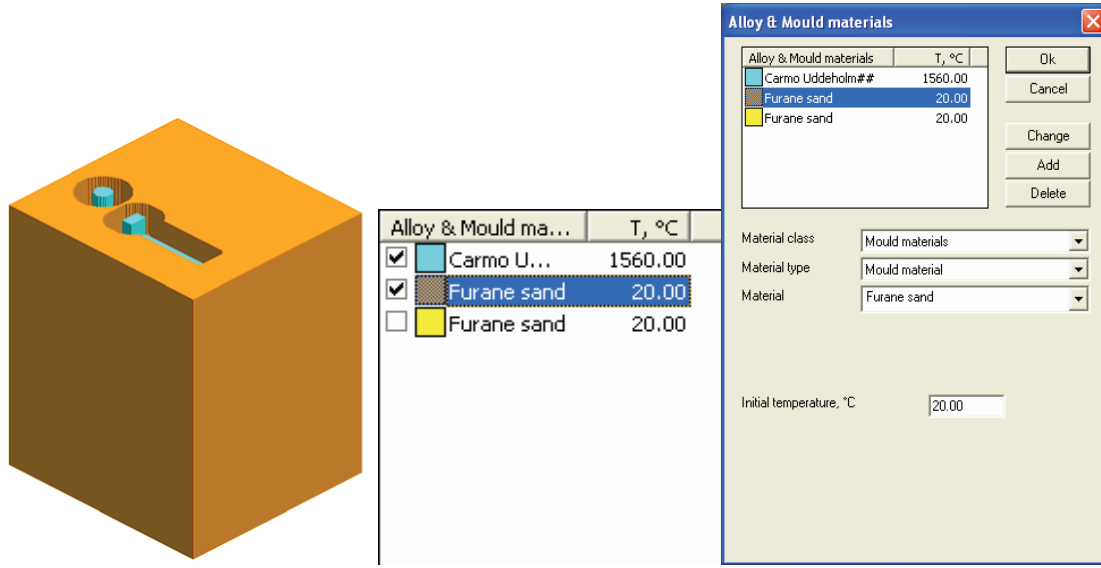
Şekil 3.51 Parça ve kabuğun görünümü

Ekranda görülen alaşım ve kalıp malzemeleri kutucuğunda, renklendirilmiş kutucuklara çift tıkladığında malzeme ve sıcaklık ayarları penceresi açılır. Buradan dökümü yapılacak alaşım ve döküm sıcaklığı girilerek ve change butonuna tıklanır.

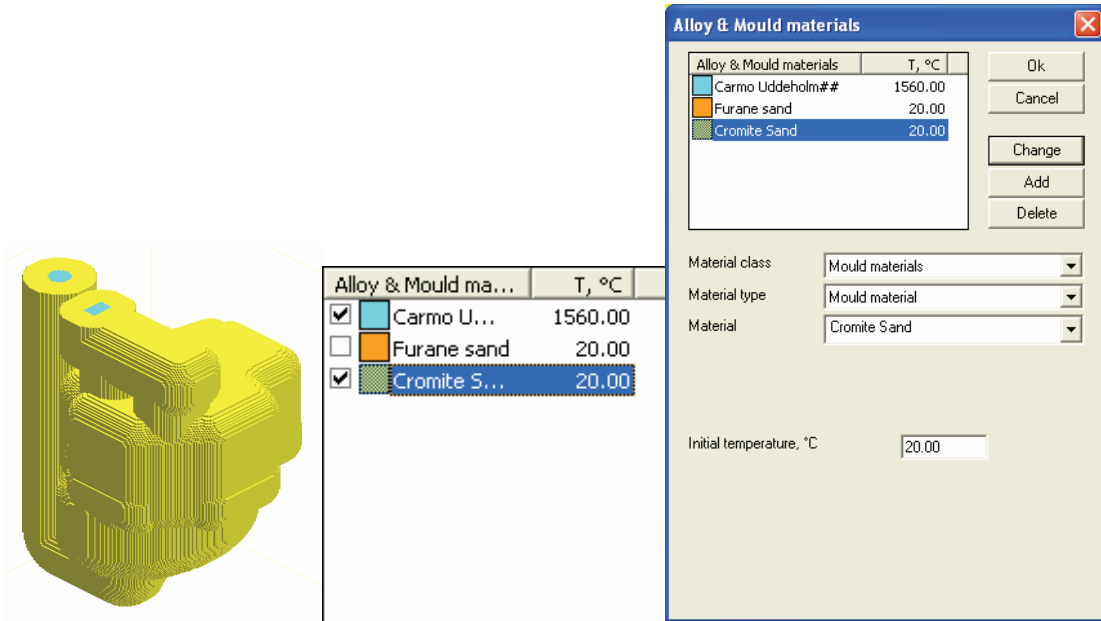


Şekil 3.52. Alaşım ve kalıp malzemeleri kutusundan malzemelerin tanımlanması

Kalan malzemelerde aynı şekilde seçilir ve malzemeleri belirtilir. Kalıp malzemesi değiştirildikten sonra change ve Ok butonlarına tıklanır.



Şekil 3.53. Kalıp malzemesinin seçilmesi ve belirlenmesi.



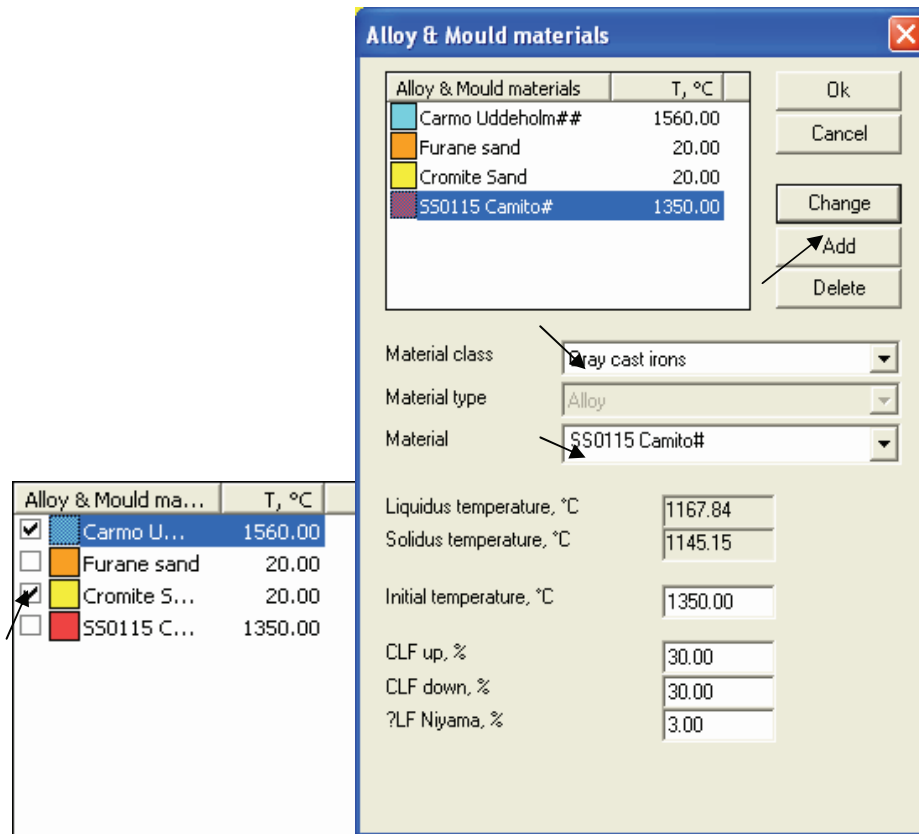
Şekil 3.54. Diğer kalıp malzemesinin seçilmesi ve belirlenmesi

Yukarıda anlatıldığı gibi malzemeler ayarlandıktan sonra ikinci döküm malzemesini ekleme işlemine geçilir.

### 3.2.2.6. İkinci döküm malzemesini ekleme

İki farklı döküm malzemesinin dolum simülasyonunu aynı anda yapabilmek için, bazı özel adımları gerçekleştirmek gerekmektedir.

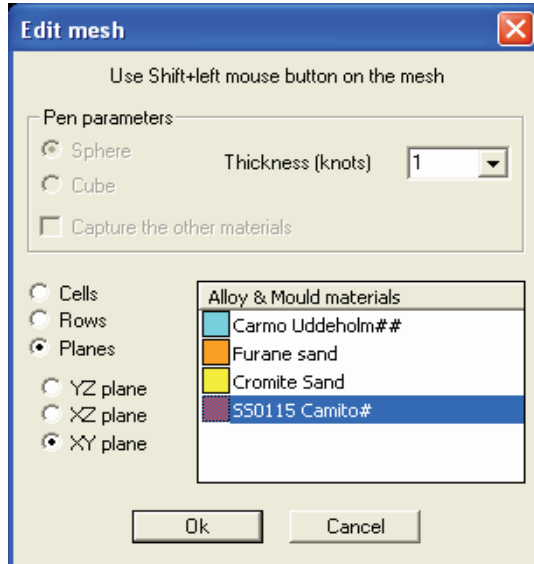
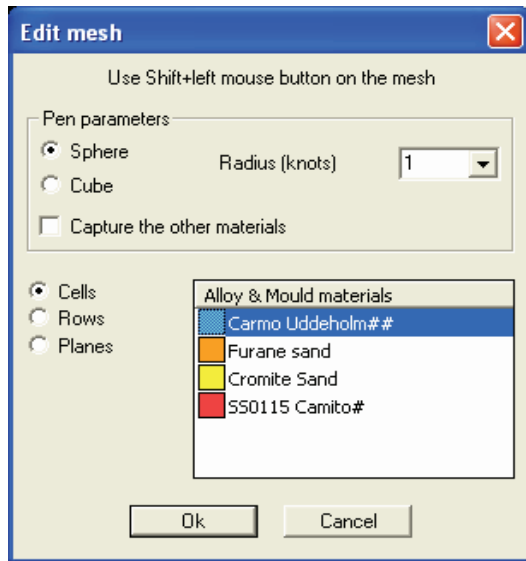
Alaşım ve kalıp malzemeleri penceresi açık iken Ekle (Add) butonuna tıklanarak ikinci alaşım eklenir ve hangi alaşım olduğu seçilir. Buradaki örnekte ikinci malzeme olarak bir gri dökme demir alaşımı (SS0115) seçilmiştir ve döküm sıcaklığı olarak 1350 C belirlenmiştir. İkinci alaşımı belirledikten sonra Değiştir (Change) butonuna ve ardından Ok butonuna tıklanarak ikinci alaşımı belirleme adımı bitirilir.



Şekil 3.55. İkinci Malzeme tanımlamak için önce Add butonuna basılması daha sonra malzemenin tanımlanması

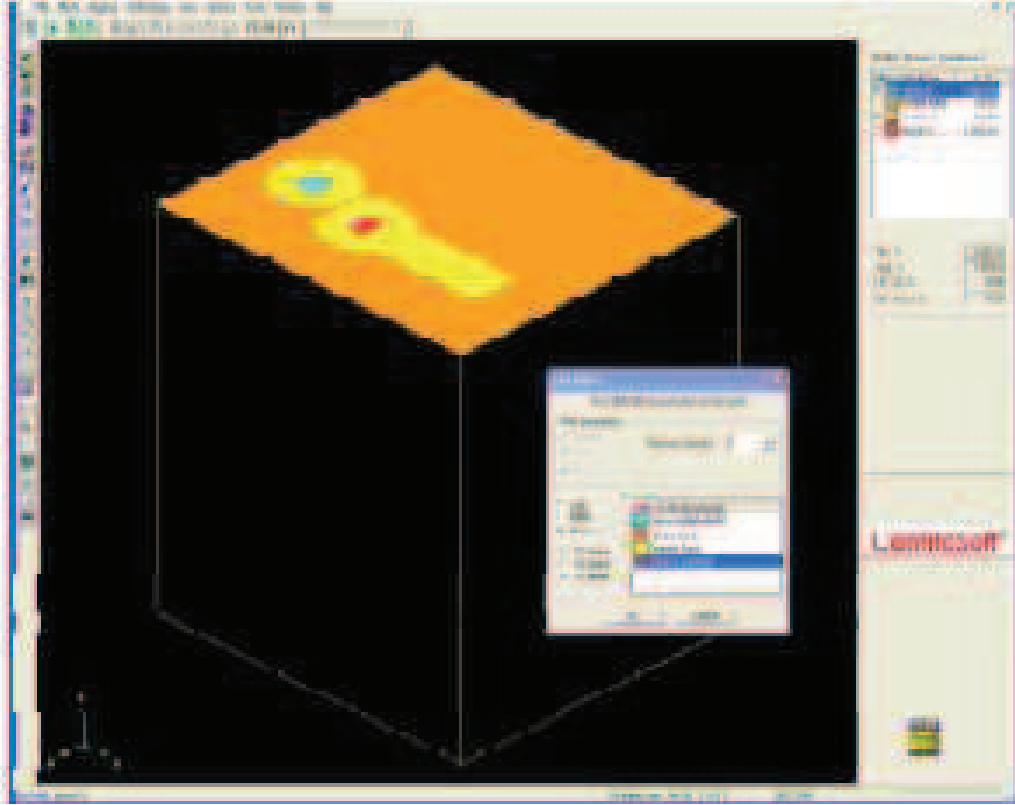


Ana menu içinde Mesh menuyu seçilerek Mesh Düzenle (Edit Mesh) seçeneği seçilir. Daha önce oluşturulan ikinci malzeme seçilir (SS0115). Düzlem olarak XY düzlemi seçilir. Burada döküm kesit (section) modunda görülmelidir. Bu durumda ikinci alaşımın yolluk girişini belirlemek için klavyeden shift+sol mouse tuşu kullanılarak ikinci alaşımın yolluk girişi tıklanır.



Şekil 3.56. Fiziksel olarak ikinci malzemeyi tanımlama

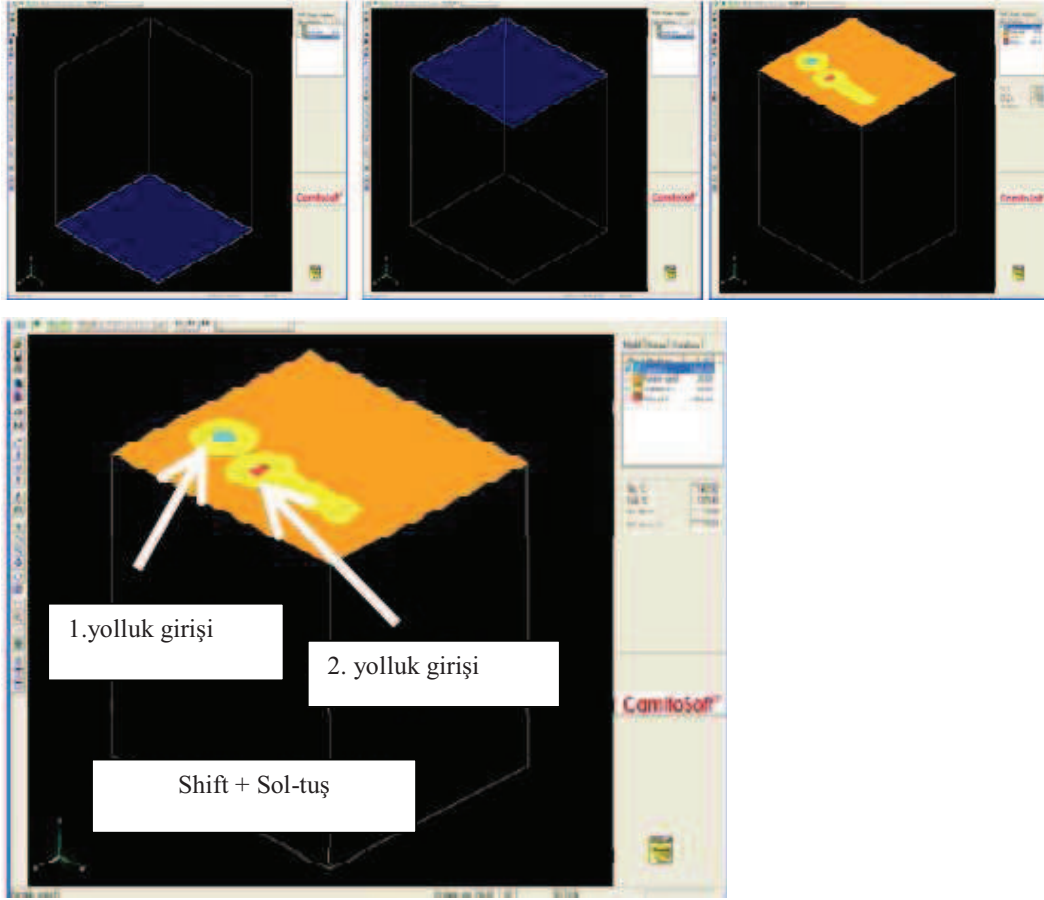
İkinci yolluk sisteminin en üstü artık seçtiğimiz dökme demir alaşımı olarak tanımlanmıştır ve renk olarak kırmızı renkle görülmektedir.



Şekil 3.57. İkinci alaşımı fiziksel olarak tanımlama

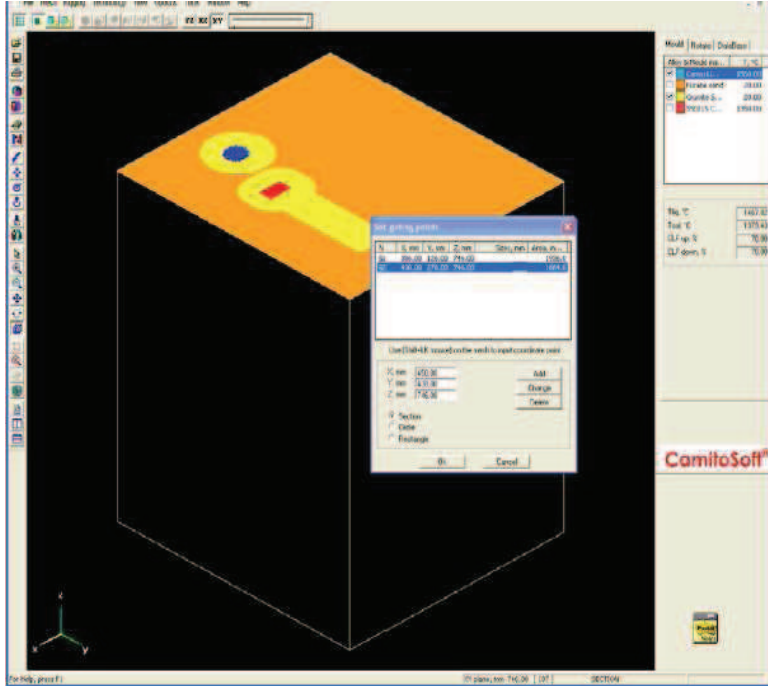
### 3.2.2.7. Yolluk girişi tanımlama

Parçaya dolum simülasyonu yapabilmek için yolluk giriş noktalarının tanımlanması gerekmektedir. Bunun için XY düzleminde yolluk girişleri görülecek şekilde kesit alınır. Bunun için program arayüzünden Rigging/Gating seçilir. Set gating points penceresi açılır. Shift+sol Mouse ile sırasıyla kalıbın en üstünde açık olarak görülen çelik alaşıma ait yolluk ve ardından dökme demir olarak tanımlanan yolluk seçilir.



Şekil 3.58. Yolluk girişlerinin seçilmesi.

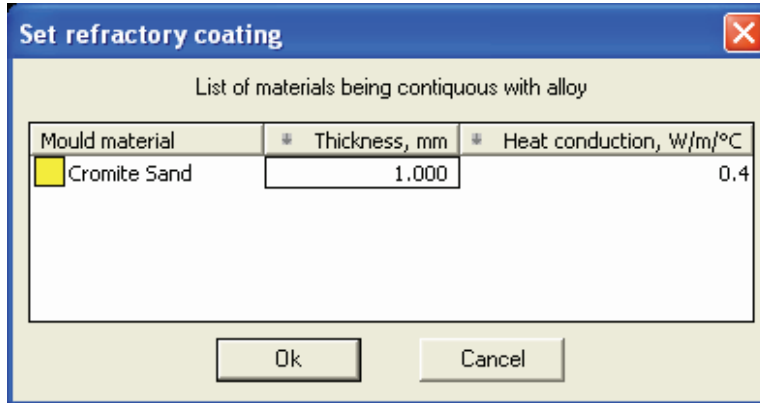
Burada önemli olan nokta yolluk girişlerinin orta noktasını seçmektir. Bu metal dolum simülasyonu sırasında metal akışı açısından önemlidir. Çünkü metal akışı seçilen yolluk giriş noktasının etrafından olacaktır. Bunun için yolluk girişlerine zoom yapıp orta noktaları seçilebilir. Seçim yapıldıktan sonra Ok butonuna basılarak seçim işlemi bitirilir



Şekil 3.59 Açılan set gating points penceresinde seçilen yolluk girişlerinin görünüşü

### 3.2.2.8. Refrakter kaplama tanımlama

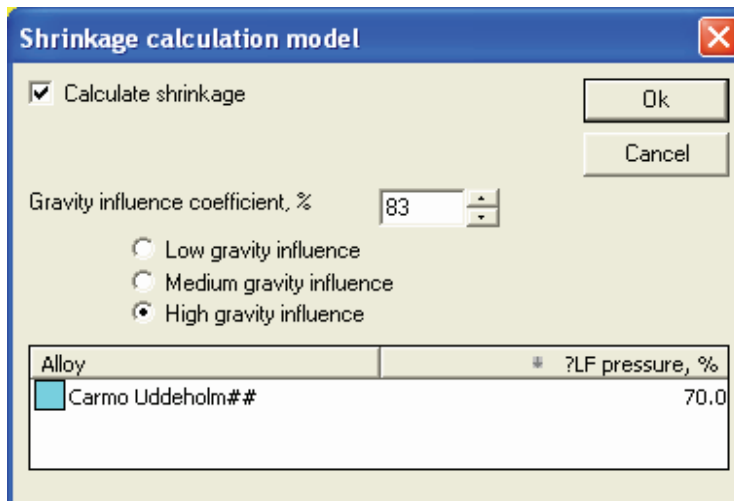
Dökümde kalıplama için kullanılan modellerin yüzeyi seramik karakterli boyalarla belirli bir katman olacak şekilde boyanmaktadır. Bunu NovaCast simülasyon programında tanımlamak mümkündür. Bunun için ana menüde Rigging ve ardından Coating seçilir. Açılan Set Refractory Coating penceresine istenen kaplama verileri girilir. Buradaki örneğimiz için kaplama malzemesi olarak kromit kumu seçilecek, kaplama kalınlığı olarak 1 mm ve ısı iletimi olarak 0,4 değerleri girilecektir. Kaplama ile ilgili değerler girildikten sonra Ok butonuna basılarak işlem bitirilir.



Şekil 3.60 Refrakter kaplama tanımlama.

### 3.2.2.9. Çekinti modeli tanımlama

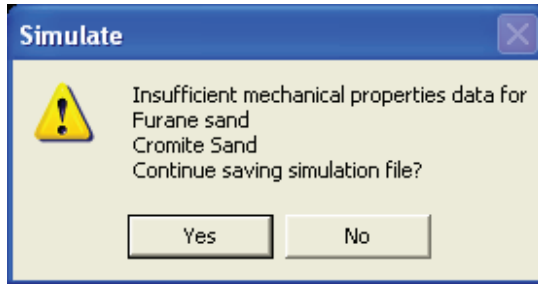
Çekinti modelini oluşturmak için Technology/Shrinkage Model seçilir ve Shrinkage calculation model penceresi açılır. Çekinti şeklini deneysel çalışmalarla belirlenebilir. Ancak genellikle güvenli bölgede çalışmak için yüksek yerçekimi etkisi seçilebilir. Bu durumda simülasyon sonucunda görülen çekinti derinliği diğer seçeneklere göre daha fazla olacaktır.



Şekil 3.61. Çekinti derinliğini belirleme.

### 3.2.2.10. İlk ayarların kaydedilmesi.

Yukarıda anlatılan ayarlar yapıldıktan sonra kaydet (Save) butonuna tıklanarak yapılan bütün ayarlar kaydedilir. Kaydet butonuna tıklandığında program tanımlanan bazı malzemeler ile ilgili yetersiz mekanik veri uyarısı verecektir. Ancak burada tanımlanan malzemeler ile ilgili herhangi bir mekanik hesaplama yapılmayacağından Evet (Yes) butonuna basılarak giriş ayarları bitirilmiş olur.



Şekil 3.62. Yetersiz mekanik veri uyarısı.

## 3.3. Dolum ve katılaşma simülasyonu

Döküm simülasyonu yapılacak parça için 3.2' de anlatılan ilk ayarlar yapıldıktan sonra dökülecek parçanın dolum ve katılaşma simülasyonuna başlanılabilir. Bunun için simülasyon modüllerinden Dolum ve Katılaşma (Flow&Solid) seçilir ve ilk ayarları yapılmış olan modelimiz simülasyon ortamında açılır. Daha sonra simülasyon parametreleri ayarlanır.

### 3.3.1. Dolum parametrelerinin ayarlanması

Dolum ve Katılaşma modülü içerisindeki Parameters/Filling Parameters seçeneği tıklanır ve Filling parameters penceresi açılır. Kaydırma barından Gravity Casting seçilir. Basınç yüksekliği ve sürtünme faktörü için programda tanımlı olan değerler kullanılır.

Burada dolunun sonuçlanması için 4 farklı kriter ayarlanabilir.

1. Completely: Kalıbın tamamen dolumu için seçilir.
2. At time s: Belirli bir zaman periyodu için kalıbı doldurur. Yatay hale gelme fonksiyonu başlar
3. After pouring mass m, kg: Dökümü yapılacak metalin miktarı ayarlanır. Yatay hale gelme fonksiyonu başlar.
4. On reaching trigger mm: Dolum belirli bir seviyeye gelince akış durur ve yatay hale gelme fonksiyonu başlar.

**Filling parameters**

Gatings  
In all: 2

Section area, mm\*\*2: 4056.0  
Stream area, mm\*\*2: 4056.0

Gravity casting  
Casting mass, kg: 1164.919

0215\_UH\_ny2#  
Pressure height, mm: 80.0  
Friction factor: 0.9

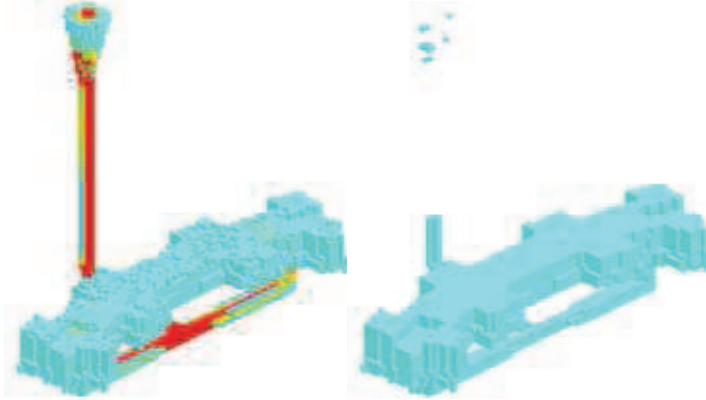
Start of alloy batch pouring: At time t, s  
Gating Time, s: 2, 0.0

End of alloy batch pouring: Completely

PH = pressure height (constant)  
Pouring basin Feeder Casting  
Filling system  
Section area Gating point

| Alloy | Flow, kg/s |
|-------|------------|
| 1     | 31.996     |

Şekil 3.63. Dolum parametreleri penceresi ve dolum kriterlerinin ayarlanması

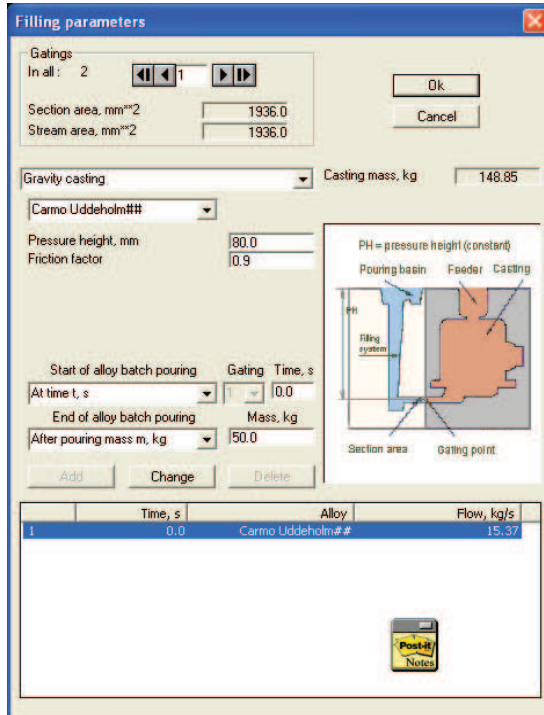


Şekil 3.64 Çeliğin üst yüzeyinin dolum simülasyonu sonrası yatay hale gelmesi

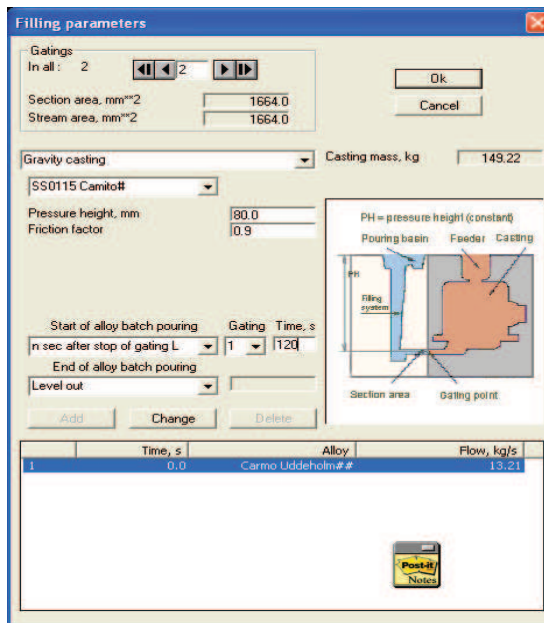
Yatay hale gelme fonksiyonunun anlamı, çeliğin seviyesi kalıp içinde tamamen yatay hale gelecek demektir. Soldaki dolum şekli, dolumun devam ettiğini gösterirken, sağdaki şekil dolumun istenilen süre, miktar veya seviyeye geldikten sonra sonlandığını ve çeliğin yatay halde seviyelendiğini göstermektedir.

Burada çeliğin dolum simülasyonu için 1 nolu yollukta, 3 nolu kriter seçilecek ve 50 kg çeliğin dolum simülasyonu yapılacaktır. Dökme demirin dolum parametrelerini ayarlamak için 2 no' lu yolluğa geçilecek ve malzeme olarak SS0115 dökme demir alaşımı seçilecektir. 1. Çelik Yolluktan dolumun sonlandırılmasından belirli bir süre sonra 2. Dökme demir yolluktan dolumun başlamasını tanımlamak için Dolum Parametreleri penceresindeki start of alloy batch pouring kısmında n sec after stop of gating L seçilir, gating kutucuğuna 1. Yolluk girilir ve Time kutucuğuna istenilen süre girilir. Buradaki örneğimiz için zaman olarak 120 sn girilecektir. Yani 1. Çelik yolluktan 50 kg dolum yapıldıktan 120 sn sonra 2 dökme demir yolluğundan dolum başlayacak ve kalan kısım dökme demir ile dolacaktır.





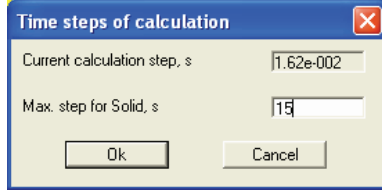
Şekil 3.65. Birinci çelik yolluk için dolum parametrelerinin ayarlanması



Şekil 3.66. İkinci dökme demirin yolu için dolum parametrelerinin ayarlanması.

### 3.3.2. Zaman adımları parametresinin ayarlanması

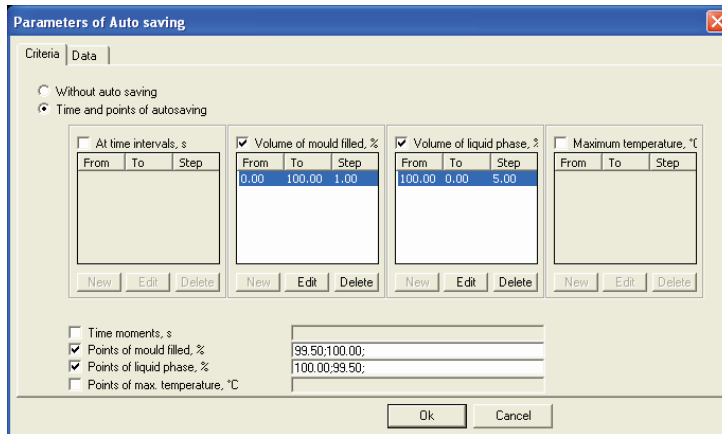
Zaman adımlarını ayarlamak için Simulate/Time step menüsü seçilir ve katı için maksimum adım olarak 15 saniye yazılır. Bu daha doğru bir simülasyon için gereklidir.



Şekil 3.67 Belirlenen zaman adımlarının ayarlanması.

### 3.3.3. Otomatik kayıt parametresi ayarlama

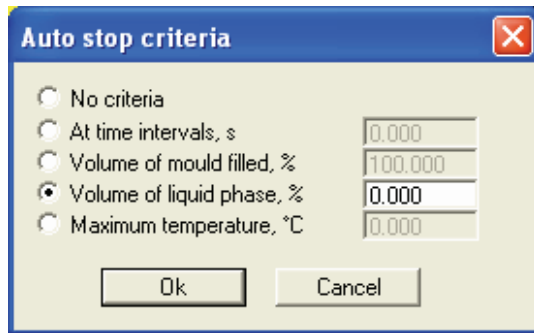
Otomatik kayıt parametresini ayarlamak için Simulate/AutoSave (Simülasyon/otomatik kayıt) seçilir ve Parameters/AutoSave (otomatik kayıt parametreleri ) penceresi açılır. Bu açılan pencerede kayıt ayarları yapılır. Burada dolum simülasyonunun sonuna kadar kayıt otomatik kayıt isteniyorsa referans olarak yüzde kalıp dolum hacmi ve yüzde sıvı fazın hacmi durumlarında kayıt işlemi seçilerek kayıt parametreleri belirlenir. Ok tuşuna basılarak otomatik kayıt ayarı tamamlanmış olur.



Şekil 3.68. Dolum simülasyonunun adımlarını otomatik kaydetmek için ayar penceresi

### 3.3.4. Simülasyonu otomatik durdurma parametresini ayarlama

Simülasyonun istediğimiz zaman sonlandırılmasını ayarlamak mümkündür. Bunun için Simulate/AutoStop (Simülasyon/Otomatik durdurma) seçilir ve Auto stop criteria (Otomatik durdurma kriteri) penceresi açılır. Otomatik durdurma parametreleri ile simülasyonun bitiş noktası belirlenir.



Şekil 3.69 Simülasyonu otomatik durdurma kriterlerinin ayarlaması.

Yukarıdaki şekilde dolum ve katılaşma simülasyonun da sıvı fazın hacmi % 0 olana kadar simülasyonun durmaması seçilmiştir.

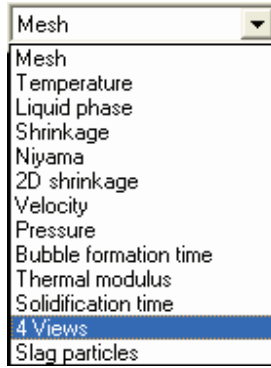
### 3.3.5. Simülasyona başlama

Yukarıda anlatılan simülasyon parametrelerini ayarladıktan sonra simülasyona başlanabilir. Bunun için Simulate/Start simulation (Simülasyon/Simülasyona başla) seçilir. Dolum ve katılaşma simülasyonu Şekil 3.70' deki barda herhangi bir hareket olmadığı zaman bitmiş olduğu anlaşılmaktadır.



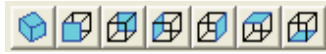
Şekil 3.70 Simülasyonun devam ettiğini gösteren bar.

Dolum ve katılaşma Simülasyonu sonucunda aşağıdaki tabloda görülen değerler tıklanarak sonuçlar görsel olarak incelenip değerlendirilebilmektedir.



Şekil 3.71 Dolum ve katılaşma simülasyonu sonucunda görülebilen veriler

Ayrıca sonuçları 3D olarak 7 farklı standart görünüşte görmek mümkündür.




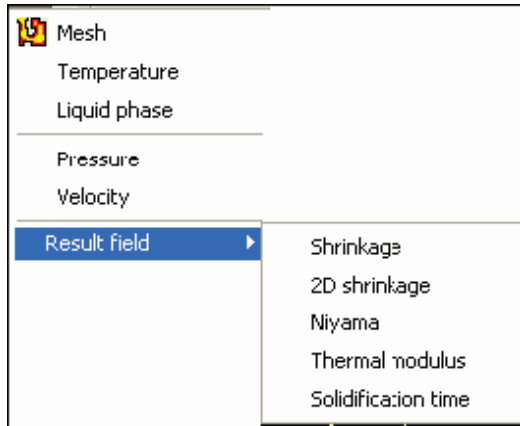
Şekil 3.72 Standart görünüşler

Dolum ve Katılaşma simülasyonu bittikten sonra kayıt butonuna tıklanarak sonuçlar kaydedilir.

### 3.4. Tarayıcı (Browser)

Dolum ve katılaşma simülasyonundan sonra Tarayıcı (Browser) seçeneği ile yapılan simülasyon tekrar açılarak sonuçların aralıklarla veya belirlediğimiz kayıt noktalarında görüntülenmesi sağlanmaktadır. Döküm sıcaklığından itibaren % 100 sıvı halden katılaşmaya kadar belirlenen aralıklarla sıcaklık ve akış dağılımı gibi veriler görülebilmektedir.

Sonuçlar, örneğin sıcaklık, sıvı faz, çekinti, hız v.b veriler  butonunun sağındaki oka sol mouse ile tıklanarak görüntülenebilir. Bu durumda kaydırma barı açılır ve sonuçlar burada seçilebilir.



Şekil 3.73 Browser seçeneğinde sonuçların görüntülenmesi için açılan pencere



Sonuçlar kesintisiz olarak oynatılabileceği (sol kenarda) gibi adım adım ilerleyerek de (sağ tarafta) görüntülenebilmektedir.





Şekil 3.74 Simülasyon sonuçlarının Kesintisiz olarak oynatılması için kullanılan bar.

| Number of records : 26 |         |      |
|------------------------|---------|------|
| Time, (h,m,s)          | File... | Liqu |
| 000:02:39,157          | 98.3    | 5    |
| 000:03:03,700          | 98.2    | 4    |
| 000:03:28,242          | 98.2    | 4    |
| 000:03:52,785          | 98.1    | 3    |
| 000:04:17,327          | 98.1    | 3    |
| 000:04:41,870          | 98.1    | 2    |
| 000:05:06,413          | 98.1    | 2    |
| 000:05:55,498          | 98.0    | 1    |
| 000:06:20,040          | 98.0    | 1    |
| 000:07:09,125          | 98.0    |      |
| 000:08:47,296          | 98.0    |      |
| 000:12:28,179          | 98.0    |      |

Şekil 3.75 Simülasyon sonuçlarının adım adım taranması

Simülasyon sonuçları parçanın kesiti seçilerek şeffaf iki boyutlu veya üç boyutlu olarak da görüntülenebilmektedir.  (şeffaf görünüm tuşu). Parçanın hangi düzlemde görüleceğini  bu düzlem butonları ile belirleyebiliriz. Parçanın kesitini taramak için de ayrıca kaydırma panelini kaydırmak yeterlidir.


### 3.4.1. Sıcaklık (Temperature)

Simülasyon bir sonucu olarak sıcaklık değişimi görülebilmektedir. Bunun için browser ekranında  butonuna sol Mouse tuşu ile tıklanır ve TEMPERATURE (Sıcaklık) seçilir. Bu durumda parçanın bir kesiti görülür. Parçanın tamamını üç boyutlu olarak görüntülemek için,  tuşuna sol Mouse ile tıklanır ve kaydırma paneli ile kesit tamamen taranır. Sol kenardaki play tuşuna basarak da sıcaklık dağılımını oynatmak mümkündür.





Şekil 3.76. Sıcaklık seçilerek parçanın kesit görünüşünde sıcaklık dağılımının kontrolü

### 3.4.2. Hız (Velocity)

Simülasyon sonucunda, dolum sırasında sıvı alaşımın hızının görüntülenmesi sıcaklığın görüntülenmesi gibidir. Bunun için sonuçlar menüsünden (  ) velocity seçilir. Hızın görüntülenmesi ile döküm esnasında alaşımın parçaya hangi hızlarla girdiği ve hangi hızlarla kalıbı doldurduğu görülebilmektedir. Böylece tasarlanan yolluk hesaplarının da doğruluğu onaylanmış olmaktadır.

### 3.4.3. Sıvı faz (Liquid phase)

Sıvı fazın görüntülenmesi için sonuçlar menüsünden (  ) Liquid phase seçeneği seçilir. Sıvı fazı görüntülemek için örneğin 3D menüsünden şeffaf görünüm seçilir ve (  ) kaydedilmiş olan sonuçlarda %85 sıvı faz seçilirse aşağıdaki şekilde sıvı faz görünümü elde edilir.







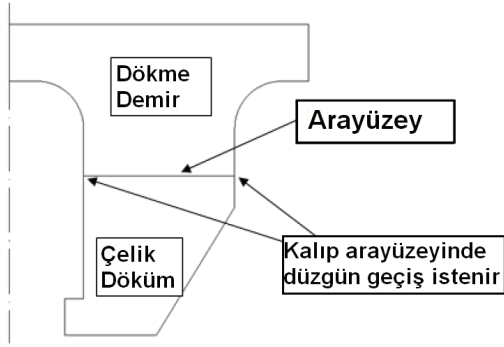
## **BÖLÜM 4. KÖPÜK KALIBA UYGULANAN BİMETAL DÖKÜM METODU KRİTERLERİ**

### **4.1. Amaç**

Bi-metal döküm metodunda amaç, iki farklı metalin eş zamanlı olarak ergitilip, aynı döküm boşluğuna dökülerek metalurjik bağ oluşturmaktır. Geleneksel yöntemlerde kullanılan kaynakla ve cıvata ile birleştirmeden kaynaklanan hem ekonomik anlamdaki yüksek maliyeti düşürmek hemde mühendislik anlamda kaliteyi artırmak amaçlı olarak bu yöntem kullanılmaktadır. Döküm yöntemi olarak köpük kalıp tercih edilmektedir.

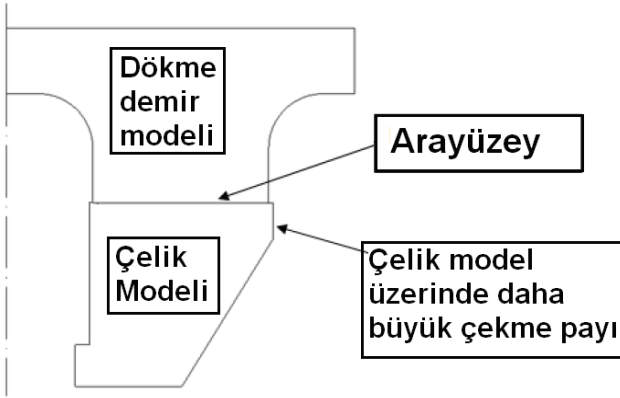
### **4.2. Model Tasarımı**

Bimetal döküm parçası üretmek için model malzemesi olarak köpük, teknik olarak adlandırılacak olursak Expanded Polystyrene (EPS) kullanılması tavsiye edilmektedir. EPS den üretilen takoz halinde modeller bilgisayar kontrollü makinelerle işlenerek, imalata hazır hale getirilmektedir. Modelin tasarımında ve işlenmesi esnasında mühendislik anlamda dikkat edilmesi gereken konu model çekme paylarıdır. Modelin çelik bölgesini oluşturan kısımlarında %1,8 oranında çekme payı verilirken dökme demir kısımlarında ise %1 oranında çekme payı verilmektedir. Çelik bölge ile dökme demir bölgesi arasında Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi düzgün bir geçiş elde edilmesi önemli olmaktadır.



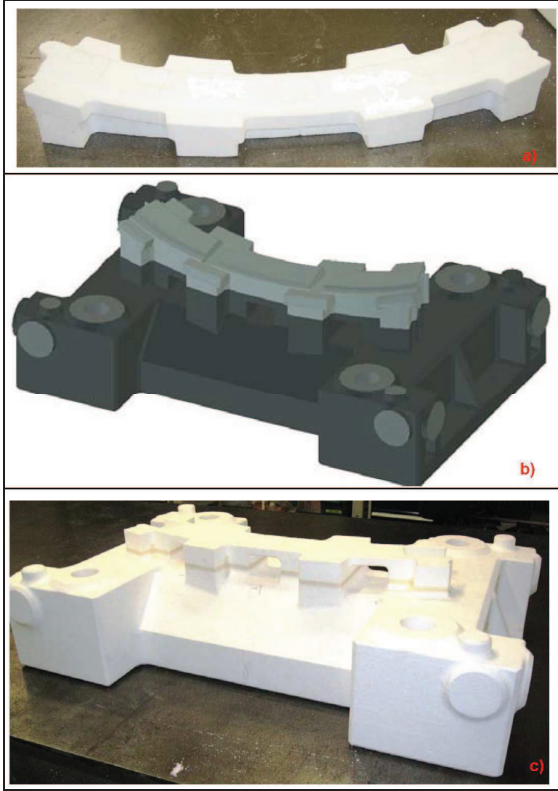
Şekil 4.1. Bimetal dökümü sonucunda olması istenen arayüzey geçiş düzgünlüğü

Çelikteki fazla miktarda çekme payı katılma sırasında dökme demir ile dengeye gelerek şekil 4.2.'de ki gibi düzgün bir arayüzey oluşmasına sebebiyet verecektir.



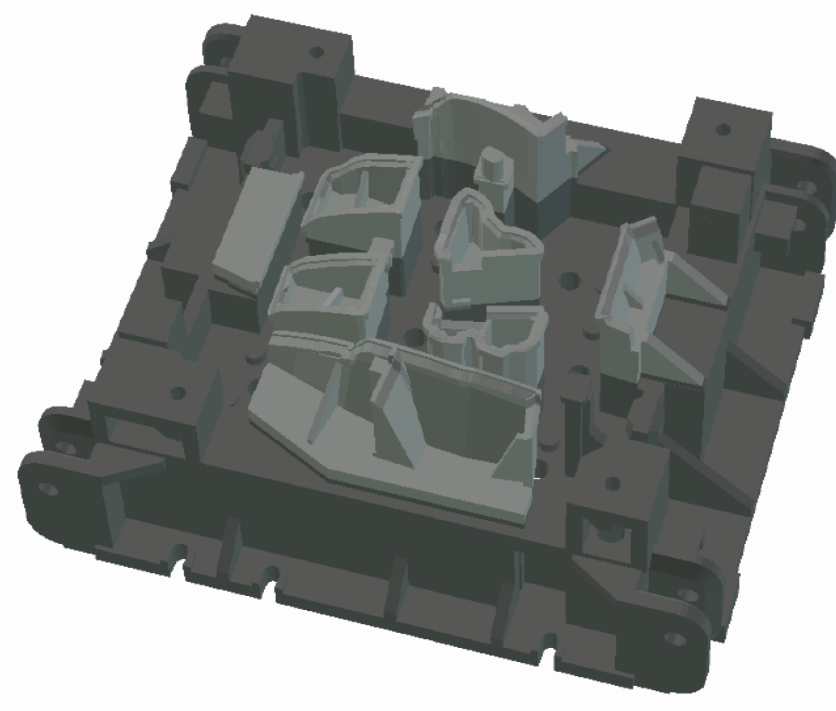
Şekil 4.2. Arayüzey geçişinin düzgün bir şekilde elde edilmesi için çelik modele verilen ilave çekme payı

Bimetal EPS modeller hazırlanırken çelik tarafın ve dökme demir tarafın modellerinin ayrı ayrı hazırlanıp daha sonra montaj yapılması mühendislik saha uygulamalarında faydalı olmaktadır. Bu şekilde (seviye sabitleme odaları) SSO'ların yerleri, büyüklükleri, gaz çıkıcıların konumları daha kolay bir şekilde incelenmektedir. Şekil 4.3.'de bimetal parça teknik resmi ve bu resme ait çelik kısmın ve dökme demir kısmın EPS modeli görülmektedir.



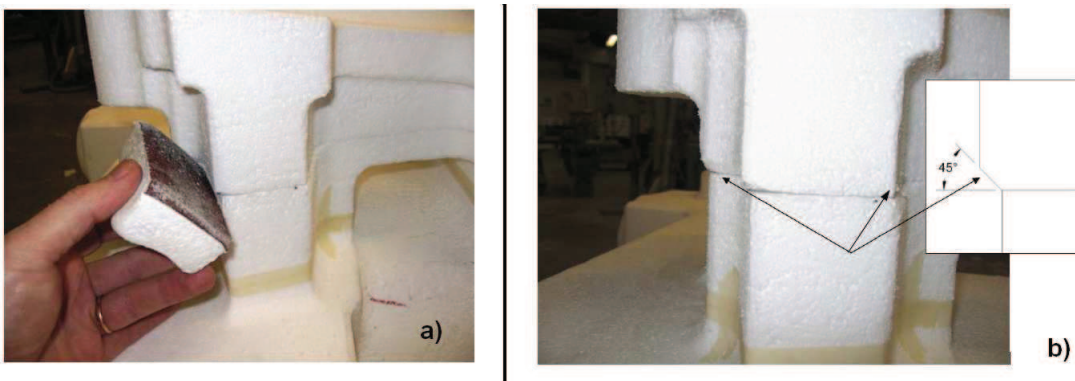
Şekil 4.3. a) Bimetalin çelik tarafının EPS modeli , b) EPS modellerin 3D montaj görünümü, c) Dökme demir ve çeliğin montajlı olarak EPS modeli

Çelik bölgeye ve dökme demire ait EPS modellerin birbirlerine yapıştırılmadan önce hassas bir şekilde tartılması ve ağırlıkların kayıt edilmesi önerilmektedir. Bilgisayar ortamında çizilen herhangi bir 3 boyutlu katı modelin ağırlığı yoğunluk değerini input olarak girmek sureti ile elde edilebilir. Ancak, işleme makinelerine aktarılan verilere göre elde edilmek istenen model, işleme esnasında kullanılan takımlara bağlı olarak farklı olarak işlenebilir veya daha sonraki köşe yuvarlama, pah kırma gibi aşamalarda model şekli küçük değişimler gösterebilir. Bu değişimleri tolere etmek için köpük modeller tartılarak, yoğunluk ilişkisine bağlı olarak sonuç çelik ve dökme demir ağırlıkları tekrar hesaplanır. Toplam ağırlık hesaplamalarının son kontrolünden sonra modeller yapışkan ile birleştirilir. Yapıştırma işlemi sırasında iki parçanın doğru yönlerde yapıştırılması, özellikle birçok parçanın olduğu (Şekil 4.4.) karmaşık geometrilerdeki parçalarda ayrıca dikkat edilmesi gereken bir süreçtir.



Şekil 4.4. Çelik kısmında birden çok bağımsız kalıp elemanı olan bimetal baskı kalıbı

Çelik ve Dökme demir köpük modelleri yapıştırıldıktan sonra, arayüzey birleşme hattı boyunca dikkatli ve kontrollü bir şekilde zımpara ile iki yüzey arası yaklaşık olarak  $45^{\circ}$  olacak şekilde zımparalanır. Böylelikle farklı çekinti yüzdeleri göz önüne alınarak üretilen modeller arasındaki keskin geçişler, daha yumuşak bir geçişe dönüşmüş olacaktır. Şekil 4.5.'de bu işlem gösterilmektedir.



Şekil 4.5. a) Modeller arasındaki çekme paylarının montaj işlemi sonrası zımparalama işlemi  
b) Zımparalama ile döküme uygun hale getirilen modellerin arayüzey görüntüsü

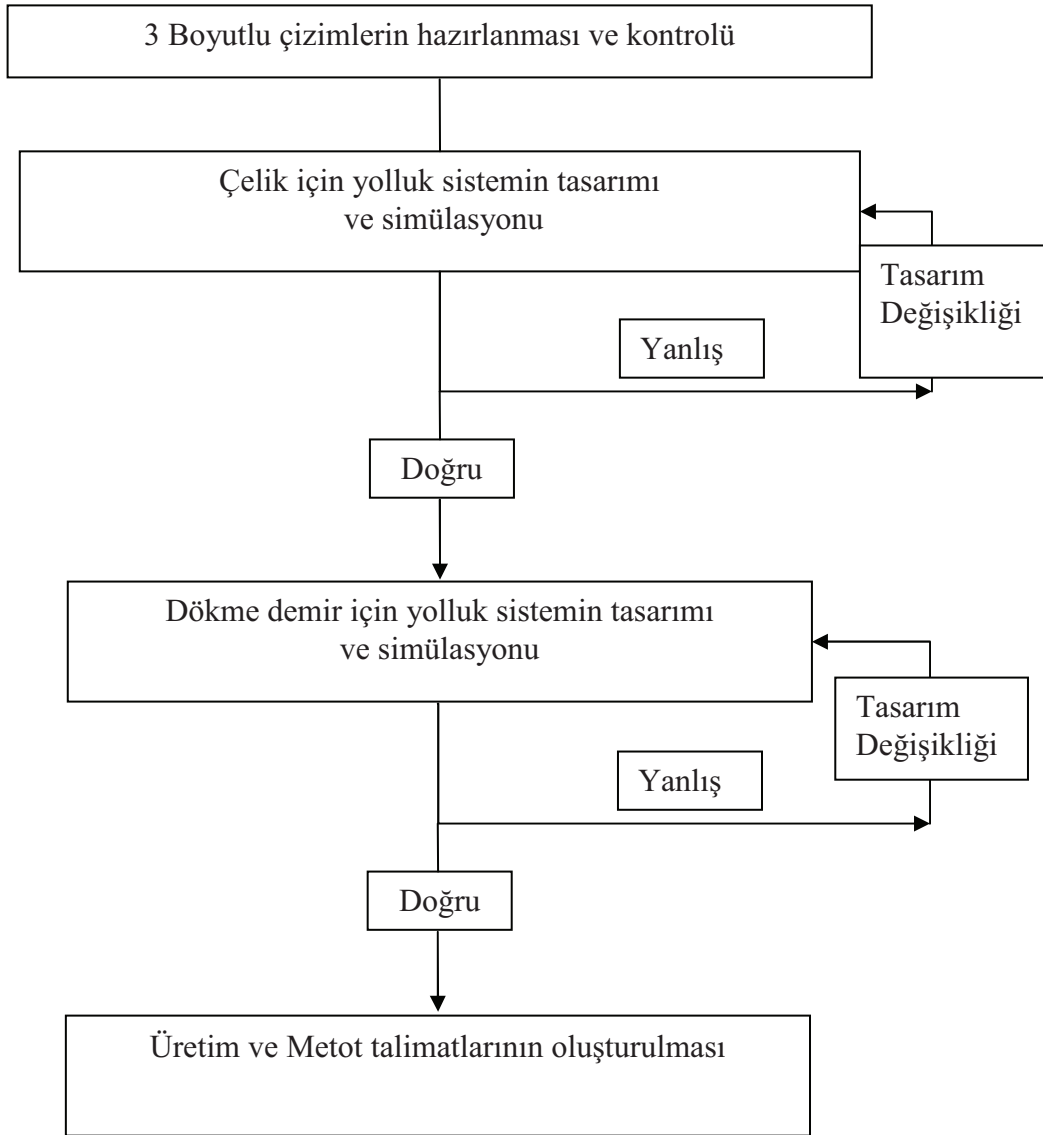
Yapıştırma ve zımparalama işlemi sonrası arayüzey çizgisi boyunca bant ile yapıştırma yapılması öngörülmektedir (Şekil 4.6. ).



Şekil 4.6. Arayüzey çizgisi boyunca köpük modellerin şerit bant ile yapıştırması

Yapıştırma ve bant çekme işleminden sonra, modeller kalite politikalarına binaen markalanır veya etiketlenir. Etiketleme bölgelerinin daha sonraki operasyonlarda kaybolmayacak bölgelerden seçilmesi tavsiye edilmektedir. Hatta çelik bölgenin üzerine, dökülen çeliğin malzeme ve standart numarasını gösterecek şekilde markalama yapılması, daha sonra yapılması muhtemel kaynak, talaşlı imalat, bakım gibi işlemlerde yardımcı olması açısından son derece önemlidir. Tüm bu model yapım aşamalarının sonucunda, model yapımı esnasında yapılan tüm işlemler, kullanılan malzemeler ve özellikleri rapor şeklinde tutulmalıdır.

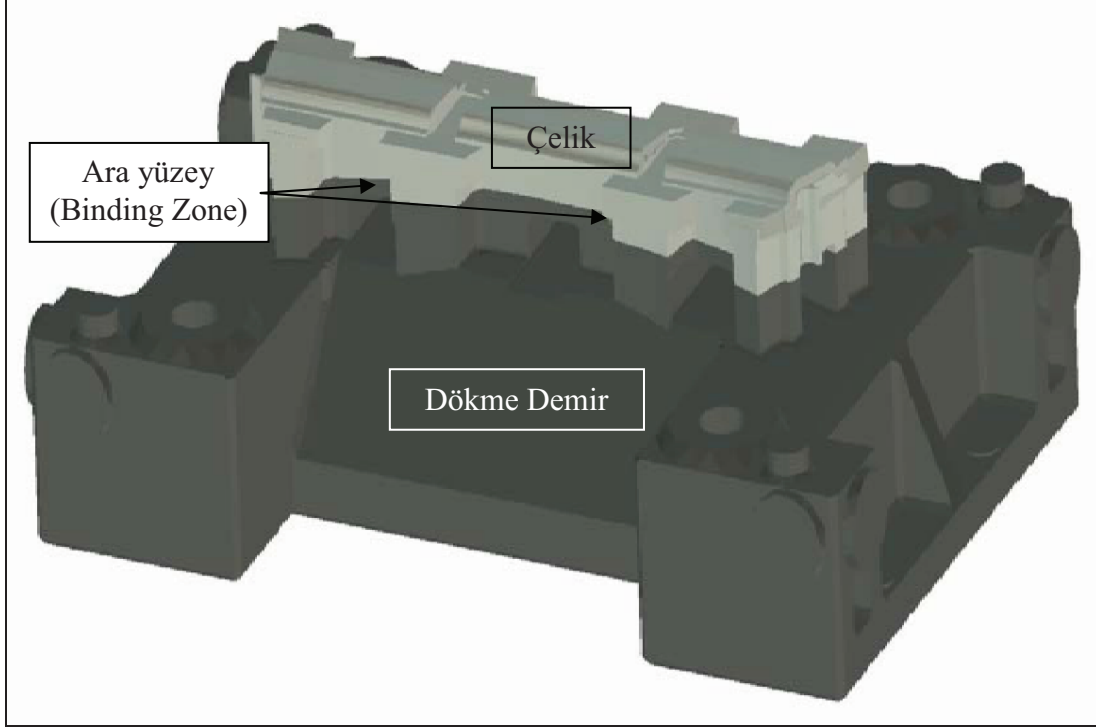
### 4.3. Döküm Metodu ve Yöntemi



Şekil 4.7. Bimetal döküm parçasının üretim akış şeması

Bu aşamada, bimetal oluşturulan her bir bileşen ayrı ayrı olarak bilgisayar ortamında çizilmeli ve daha sonra montajı yapılmalıdır. İkinci bir yöntemde ise birleşik olarak çizilen bileşenler, split (ayırma) işlemi ile tasarıma göre istenilen ara yüzeyden ayrılabilir. Ayrılan modeller çelik ve dökme demir olarak bilgisayara tanıtılabilmektedir. Bimetal döküm parçalarının üç boyutlu teknik resimlerinin çizimindeki bir diğer önemli nokta ise teknik resimlerin talaşlı imalat işleme paylarıdır. Teknik resimlere işleme paylarının eklenmesi çok daha doğru sonuçlar verecektir.

Bimetal bileşenler, üç boyutlu katı modeller halinde çizildikten sonra sıra ile çelik ve dökme demirin döküm çekme payları ilave edilmiş şekilde ağırlıkları hesaplanır. Şekil 4.8.' de iki farklı bileşenden (çelik-dökme demir) oluşan baskı presinin katı model çizimi görülmektedir.



Şekil 4.8. İki farklı bileşenden oluşan baskı presinin model çizimi

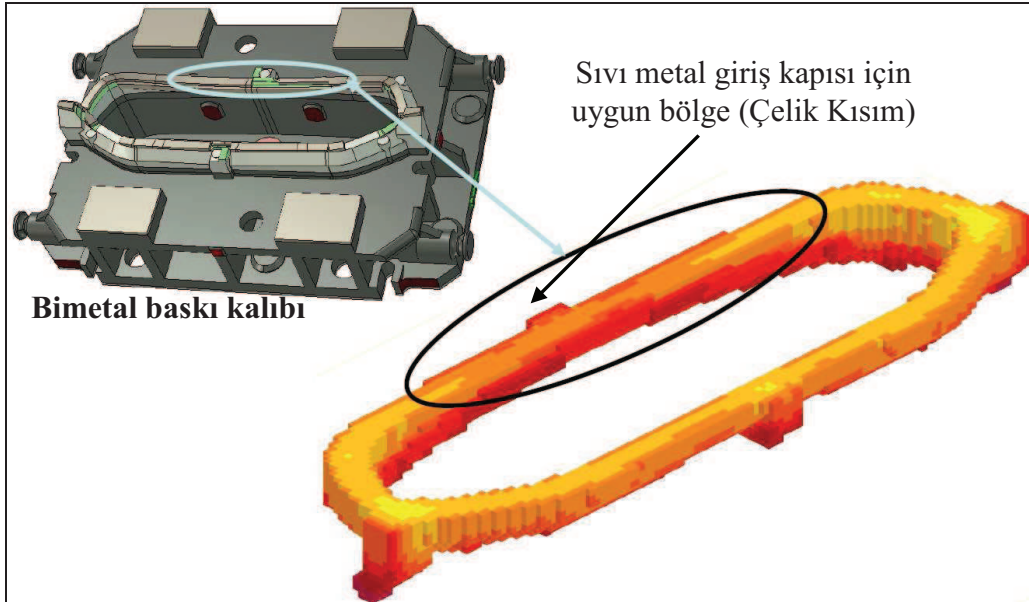
#### 4.3.1. Yolluk tasarımı ve simülasyon

1. Bimetal döküm zamanının ve sıcaklık dağılımının hesaplanması
2. Çelik için yolluk sistemi tasarımı
3. Çelik seviyesinin , (SSO) seviye sabitleme odası ile kontrol altına alınması
4. Çelik kısmın son ağırlıkların ve son döküm zamanının belirlenmesi
5. Dökme demir yolluk sistemi tasarımı ve simülasyonu
6. Çıkıcı tasarımı
7. Dökme demir kısmının ağırlıklarının hesaplanması



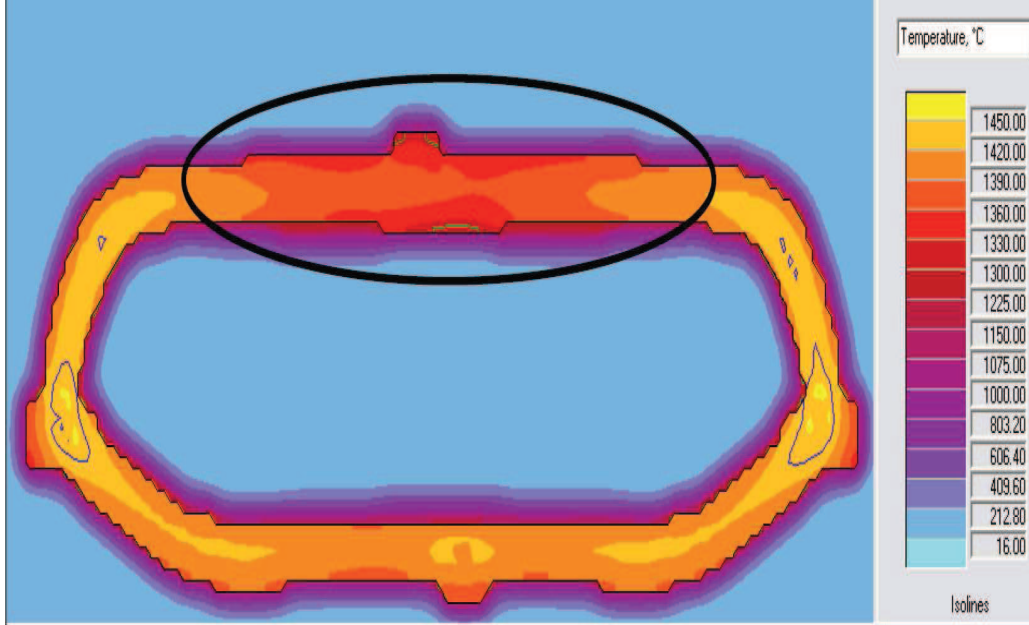
### 4.3.2. Bimetal döküm zamanını hesaplama

Çelik ve dökme demirin birleşme bölgesindeki ara yüzey hattı boyunca sıcaklık dağılımının incelenmesi ve SSO ve sıvı metal giriş kapılarının (ingates) belirlenmesi, sorunsuz bir döküm elde etmek için birincil unsurlardır. Bir sonraki adımda ise, çelik parça içinde oluşması olağan çekinti noktalarının tespit edilmesi gelmektedir. Şekil 4.9'da sac şekillendirme ve form verme amacı ile kullanılan bimetal baskı kalıbının alt yüzeyinde bulunan çelik bölgenin döküm sırasında çabuk soğuyan bölgelerine sıvı metal giriş kapılarının yerleri simüle ve optimize edilmektedir.



Şekil 4.9. Bimetal baskı kalıbının alt yüzeyindeki çelik bölgenin döküm sırasında çabuk soğuyan bölgelerine sıvı metalin giriş kapılarının yerlerinin simüle ve optimizasyonu

Bimetal döküme ait çelik parçanın, normal bir döküm gibi simülasyon yapılmasının ardından muhtemel sıvı metal giriş kapılarının yerlerini saptamak için, çelik üzerindeki her noktanın sıcaklık değerleri görebildiğimiz gösterge çizelgesi yardımı ile hızlı soğuyan bölgeler detaylı bir şekilde tespit edilir. Şekil 4.10.'da çelik üzerindeki sıcaklık dağılımları görülmektedir.

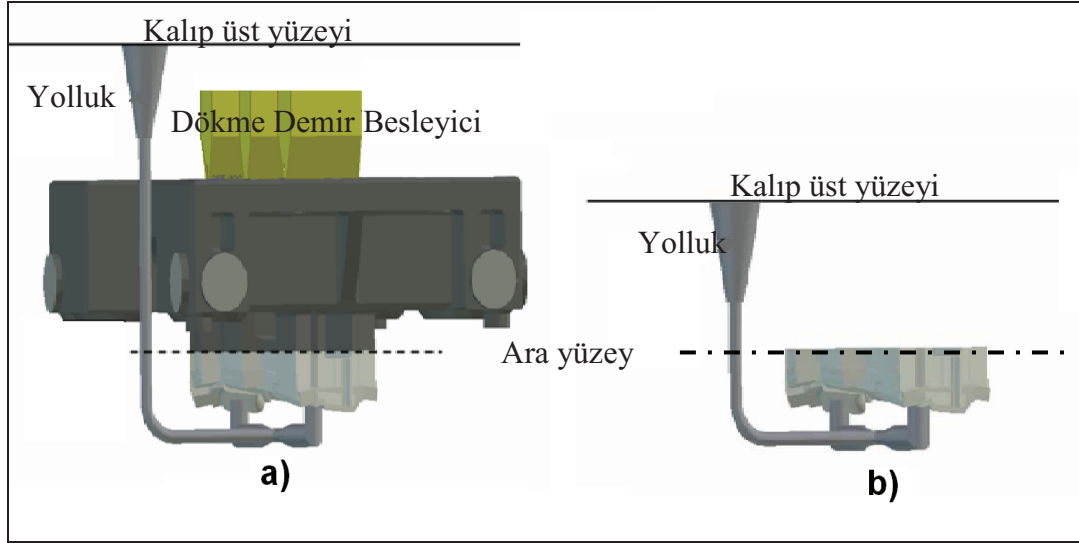


Şekil 4.10. Çelik üzerindeki sıcaklık dağılımları

Katılaşma ve soğuma şartları simüle edilmiş çelik parça üzerinde sıcaklık ile yapılan analizle bimetel döküm zamanı tahmin edilebilmektedir. Döküm zamanını tespit etmek için mümkün olduğunca geniş sıcaklık aralıkları kontrol edilmelidir. Ayrıca küçük noktalar veya kesitler ihmal edilmelidir.

#### 4.3.3. Çelik için yolluk sistemi tasarımı

Yolluktan akan metal bir sonraki aşamada yatay gidiciler ile iş parçasına doğru sevk edilir daha sonra giriş kapıları (meme) ile kalıp boşluğuna bağlanır. Buradaki metal akış hızının 0,5m/s den düşük olması gerekmektedir. Bu sayede kalıba girerken oluşabilecek sıvı metal sıçramaları (splash) azaltılmış olacaktır. Döküm debisi 10-20kg/s olarak seçilmesi ve alttan dolun yapılması birçok dökümde tavsiye edilmektedir. Yolluk donanımı olarak seramik tüpleri kullanılması erozyonu azaltması itibarı ile tavsiye edilmektedir. Yolluk, yatay gidici ve giriş kapılarındaki hızı tespit etmek için 1:2:4 metodu kullanılmaktadır.



Şekil 4.11. a) Bimetal döküm tekniğine göre tasarlanmış döküm metodu b) Geleneksel yöntemle tasarlanmış döküm metodu

Bimetal döküm tekniğine göre (a) ve geleneksel yöntemle (b) göre tasarlanmış döküm metodu Şekil 4.11. de verilmiştir. Bimetal döküm tekniğinde yolluk boyu geleneksel yöntemdekilere nazaran daha uzun olmak zorundadır. Bimetal döküm tekniğinde kullanılan yolluk yükseklikleri ve metal akış hızları Tablo 4.1 de verilmiştir.

Tablo 4.1. Bimetal döküm tekniğinde kullanılan yolluk yükseklikleri ve metal akış hızları

| Yolluk Yüksekliği, h (mm) | Hız, v (m/s) |
|---------------------------|--------------|
| 200                       | 1,8          |
| 300                       | 2,2          |
| 400                       | 2,5          |
| 500                       | 2,8          |
| 600                       | 3,1          |
| 700                       | 3,3          |
| 800                       | 3,6          |
| 900                       | 3,8          |

Döküm simülasyon ve analiz programlarında programlara girilen, döküm ağırlığı, alaşım yoğunluğu, liküdü sıcaklığı, düşey gidici yüksekliği, ingate sayısı, kritik

duvar kalınlığı, giriş kapılarındaki ortalama akış hızı, yatay gidici mesafeleri, döküm zamanı, debisi gibi ön değerlerle hesaplamalar yapılmaktadır. Simülasyon programına ait ön değer girdileri ve çıktıları Şekil 4.12 de verilmiştir. Bimetal pres kalıbı dökerken, kalıp üzerinde bağımsız olarak bulunan çıkıntılarının mümkün olduğunca birbirlerine bağlanmaları önerilmektedir. Bu sayede giriş kapısı sayısı azaltılarak hata riski ve maliyetler azaltılmaktadır. Çelik bölgedeki bazı çıkıntılarının birbirlerine bağlanmasına ait örnekler Şekil 4.13. de verilmiştir.

**Special Gating calculations**

Basic data

|                                  |        |
|----------------------------------|--------|
| Weight, kg                       | 200.0  |
| Alloy density                    | 7.8    |
| Liquidus temperature (steel), °C | 1380.0 |
| Height (H1) to ingates           | 500.0  |
| Number of ingates                | 2      |
| Critical wall thickness, mm      | 30.0   |
| Average ingate velocity, mm/s    | 600.0  |
| L1 mm (min 100)                  | 150.0  |
| L2 mm (min 100)                  | 100.0  |

Friction

|  |        |
|--|--------|
| Downsprue                              | 0.2    |
| Downsprue                              | 0.2    |
| Number of bends                        | 1      |
| Bends                                  | 1.2    |
| Length tubes, mm                       | 500.0  |
| Runner gates                           | 0.5    |
| Total C                                | 2.0    |
| Prel. Hydraulic diam.                  | 50.9   |
| Total friction                         | 0.8    |
| Final pouring rate, cm <sup>3</sup> /s | 1221.0 |

Coefficients

|  |        |
|--|--------|
| Downsprue                              | 0.2    |
| Downsprue                              | 0.2    |
| Number of bends                        | 1      |
| Bends                                  | 1.2    |
| Length tubes, mm                       | 500.0  |
| Runner gates                           | 0.5    |
| Total C                                | 2.0    |
| Prel. Hydraulic diam.                  | 50.9   |
| Total friction                         | 0.8    |
| Final pouring rate, cm <sup>3</sup> /s | 1221.0 |

Suggested pouring time, s: 22.6  
Suggested pouring rate, kg/s: 8.8  
Suggested pouring rate: 1133.2  
Selected pouring time, s: 21.0  
Pouring rate, kg/s: 9.5

Dimensions of the gating system

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| Height (H2) pouring cup, mm      | 206.3 |
| Upper diameter pouring cup, mm   | 176.3 |
| Area pouring cup cm <sup>2</sup> | 244.2 |
| Downsprue length, mm             | 500.0 |
| Downsprue diameter, mm           | 33.2  |
| L1 length, mm                    | 150.0 |
| L1 diameter, mm                  | 28.8  |
| L2 length, mm                    | 100.0 |
| L2 diameter, mm                  | 36.0  |

Area, mm<sup>2</sup>: 867.1  
Area Ratio: 1

Area, mm<sup>2</sup>: 1300.6  
Area Ratio: 1.5

Area, mm<sup>2</sup>: 2035.0  
Area Ratio: 2.3

Dimensionsing data for filters

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| Minimum flow capacity, kg/s | 12.4  |
| Minimum total capacity, kg  | 260.0 |

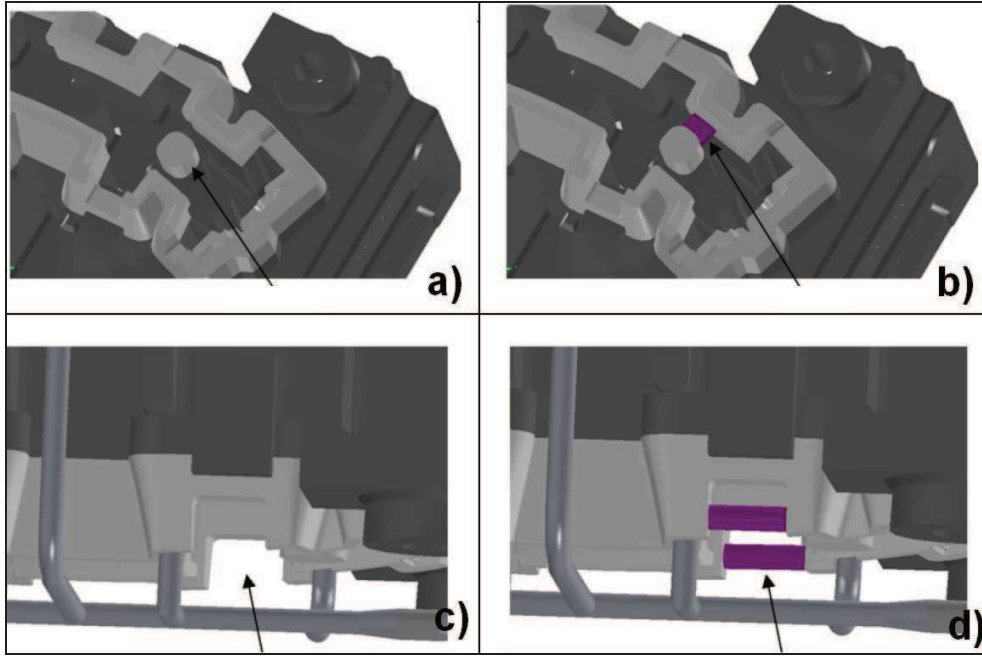
Pouring data

|                                     |        |
|-------------------------------------|--------|
| Pouring time, s                     | 21.0   |
| Pouring rate, kg/s                  | 9.5    |
| Recommended pouring temperature, °C | 1480.0 |

**NovaFlowSolid**

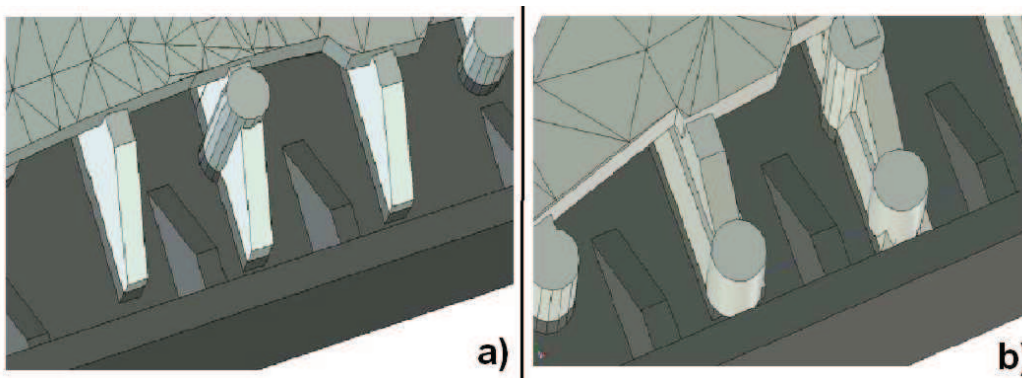
Ok

Şekil 4.12. Yolluk hesaplama programına ait ön değer girdileri ve çıktıları



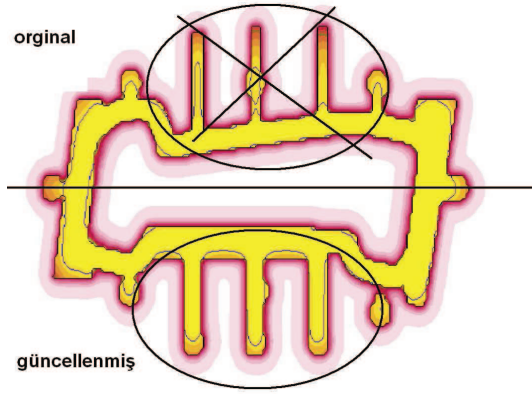
Şekil 4.13. a) Çelik bölgedeki bazı kalıp çıkıntıları b) Kalıp çıkıntılarının birlerine bağlanmasına ait örnek c) Çelik bölgesinde metal akışını zorlaştırabilecek yükselti farkları d) Yükselti farkları, metal akışı sağlamak için kullanılan köprüler

Bir diğer önemli tasarım noktası ise; bimetel kalıbın çelik bölgesinde bulunan çıkıntıların et kalınlıklarının birbirlerine yakın olmasıdır. Farklı et kalınlıkları farklı soğuma zamanlarını beraberinde getirecek böylelikle teorik arayüzey çizgisi boyunca sıcaklık farklılıkları ortaya çıkacaktır (Şekil 4.14.).



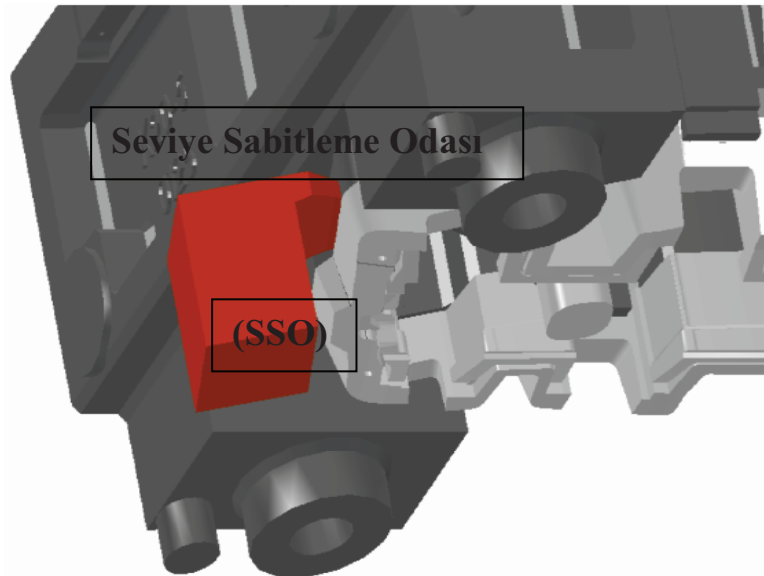
Şekil 4.14. a) Metal çıkıntıları arasındaki et kalınlıklarının çok farklı olmasına bağlı olarak hatalı tasarlanmış bir kalıp b) Hatalı yüzeylerin et kalınlıklarının homojenleştirilmesi

Bu sıcaklık farklılıkları yönlendirilmiş katılaşmayı olumsuz yönde etkileyecektir. Şekil 4.15 de hatalı olarak tasarlanan bir kalıp alt yüzeyi, sıcaklık dağılım çalışmaları sonucunda güncellenerek döküme elverişli hale getirilmiştir.



Şekil 4.15. Kalıp kısmında sıcaklık simülasyonuna bağlı olarak katılaşmada hataya sebebiyet verecek ince uzantıların tespit edilmesi ve ikincil tasarımla güncellenmesi

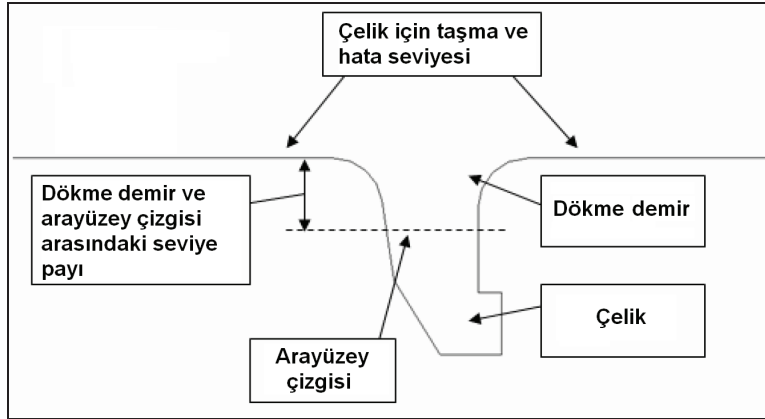
#### 4.3.4. Çelik seviyesinin kontrolü için seviye sabitleme odası (SSO)



Şekil 4.16. Standart bir seviye sabitleme odasının (SSO) bimetale üretiminde çelik ile dökme demirin arayüzüne uygulaması

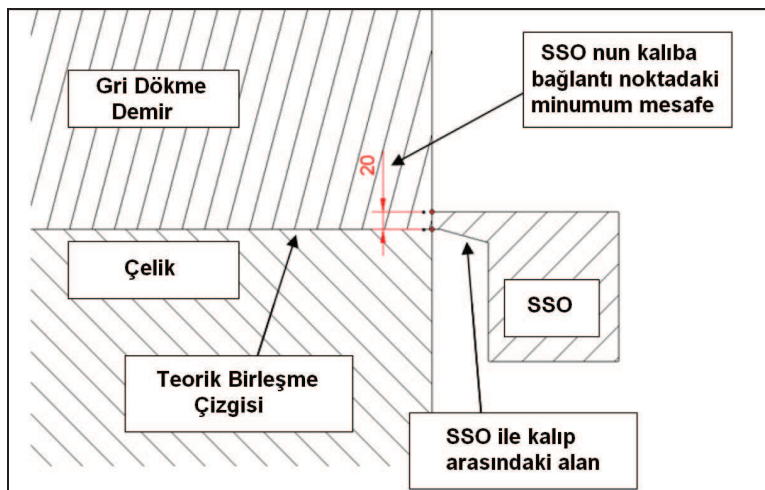
Seviye sabitleme odaları, çelik ile dökme demirin birleşme çizgisine eşit seviye yerleştirilen ve fazla dökülmüş çeliğin taşarak toplandığı odalardır. Dökülen çelik

seviyesini kontrol etmeye ve gazın bir nebze kalıp içini terk etmesine yarar. Standart bir SSO nun bimetel üretimindeki uygulaması Şekil 4.17.' de görülmektedir.



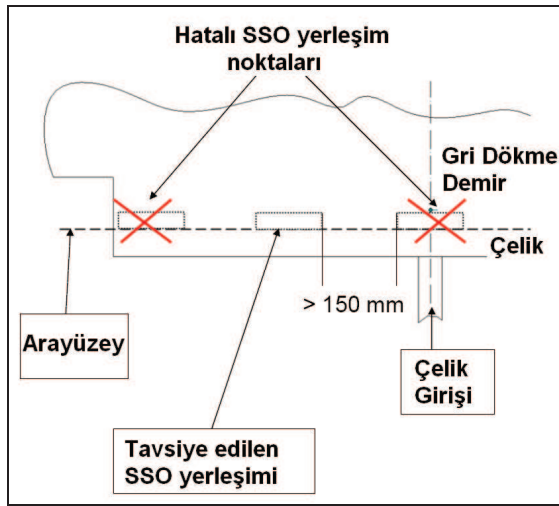
Şekil 4.17. Bimetel üretiminde çelik ile dökme demirin ara yüzey çizgisi ve seviye payının şematik çizimi

Şekil 4.18.' de gri dökme demirden oluşan ana gövde ile çelikten oluşan kalıp yüzeyinin ara yüzey çizgisi ve bu iki metal arasındaki seviye payı gösterilmiştir. Bu seviye payı arasındaki mesafede iki metal homojen bir çizgi boyunca birleştirilmeye çalışılmaktadır. Şekil 4.18. de SSO' nun kalıba bağlanma şekli ve çelik sınır yüzeyinin üst tarafında kalmak şartı ile bağlanma bölgesinde minimum mesafe gösterilmiştir. Bu mesafe 20 mm olarak öngörülmektedir.



Şekil 4.18. SSO'nun bimetel kalıba yerleştirilmesi.

SSO'ların ortalama olarak kalıba giriş kanalları ile bu kanallara en uzak kenar noktaların arasına yerleştirilmesi tavsiye edilir. Kalıba giriş kanallarına yakın yerleştirilen SSO'lar, metal sıçraması ve çalkalanmasına bağlı olarak erken dolma riski altındadır (Şekil 4.19.) . Uzak noktalara yerleştirilenler ise soğuk metal ile dolma ihtimali altındadır. Böylelikle soğuk metal akışına bağlı olarak eksik dolmak sureti ile görevini tam olarak yapamamaktadır.



Şekil 4.19. SSO'ların doğru ve hatalı yerleşimlerini gösteren şematik çizim

#### 4.3.5. Çelik kısmın ağırlık ve döküm zamanının belirlenmesi

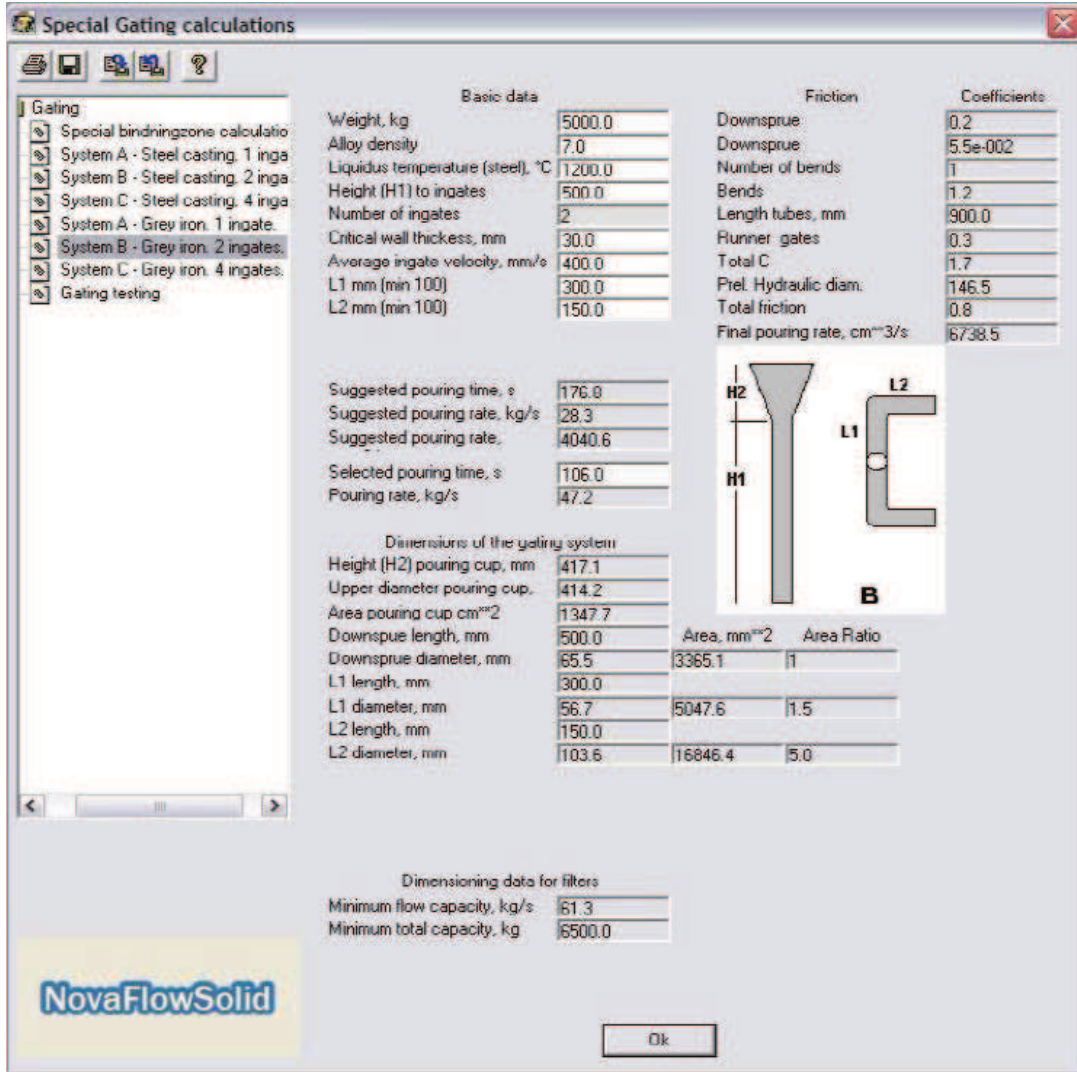
Bu aşamada çelik kısma ilaveten konulan SSO'ların ağırlıkları, giriş kanallarının ve ilave çelik parçaların ağırlıkları toplanarak toplam ergitilecek çelik ağırlığı bulunur. Döküm zamanı tekrardan hesaplanır

#### 4.3.6. Dökme demir yolluk sistemi tasarımı ve simülasyonu

Dökme demir dökümü için, metal kalıba girişlerde akış hızı 0,8 m/s den daha yavaş olmalıdır. Sıvı metalin dökülmüş çelik üzerine aşırı şekilde dökülmesinden kesinlikle kaçınılmalıdır. Birçok döküm ağırlığı için döküm debisinin 40 kg/s den fazla olmasının uygun olduğu öngörülmektedir. Yine gidicilerde seramik tüplerin kullanılması erozyonu azaltacaktır. Yolluk, yatay gidici ve giriş kanallarında 1:2:4 metodu uygulanmalıdır. Dökme demire ait simülasyon dataları Şekil 4.20.'da

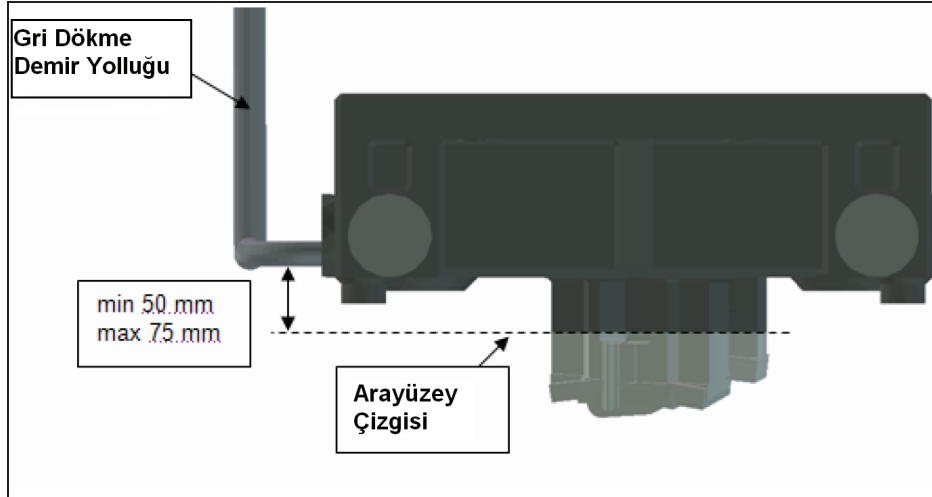


gösterilen data girdi menüsüne girilir. Bilgisayar hesaplamaları sonucu sıvı metal akış hızı, gidici çapları hesaplanabilmektedir.



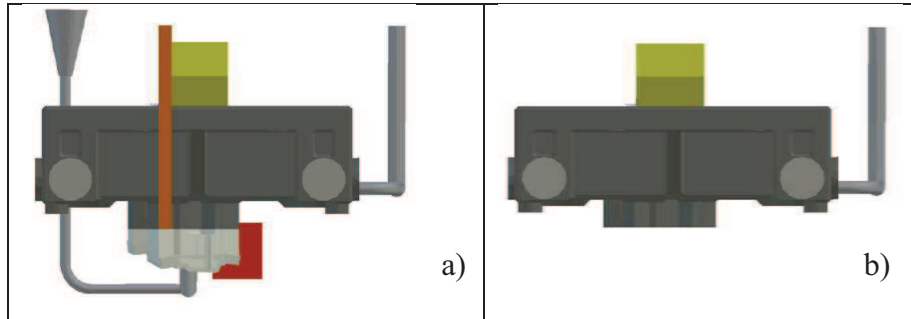
Şekil 4.20. Dökme demir için yolluk sistemi ve akış dataları hesaplamaları arayüzü

Dökme demirin kalıp boşluğuna doğru ilerlemesindeki son nokta olan giriş kapıları, teorik arayüzey çizgisinden en az 50 mm en fazla 75 mm yukarıda olmalıdır (Şekil 4.21 ).



Şekil 4.21. Dökme demir yatay gidicileri ile teorik arayüzey çizgisi arası optimum seviye şeması

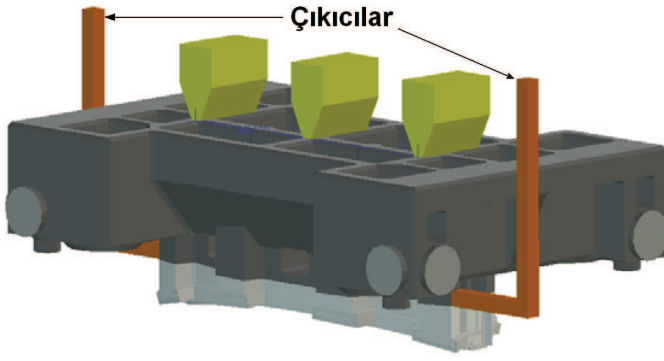
Dökme demire ait yolluk sistemi eklendikten sonra hızlı akış simülasyonu ile metalin kalıp içerisindeki akış davranışı incelenebilmektedir. Dökme demirin bimetale kalıbı içerisindeki simülasyonun yaparken çelik kısmın ilave edilmesine gerek olmamaktadır (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. a) Bimetale ait çelik ve dökme demir bileşenlerini gösterene yolluklu sistem, b) Dökme demir için hızlı akış simülasyonu için ideal olan hesaplama tasarımı

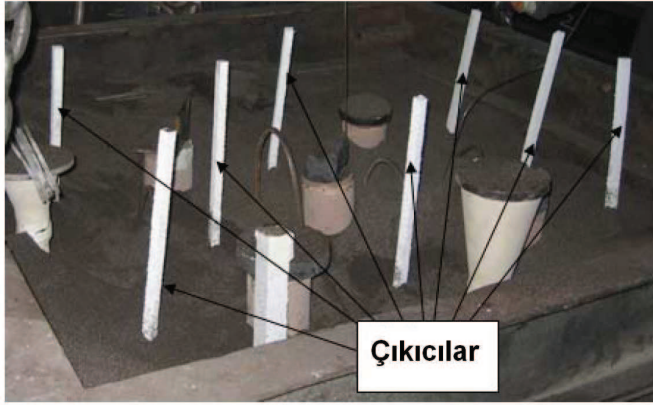
#### 4.3.7. Çıkıcı tasarımı

Bimetal dökümü, köpük (polystrene) model kullanılarak yapılan bir uygulama olması nedeni ile köpüğün sıvı metal ile temasına bağlı olarak oluşan gazının kalıp içinden dışarı atılması son derece önemlidir. Gazın dışarı atılması için gaz çıkıcı sistemleri (venting) tasarlanmaktadır (Şekil 4.23.).



Şekil 4.23. Çıkıcı tasarımı

Çıkıcılar kalıp üst yüzeyinden havaya açılacak şekilde köpükten de imal edilerek kalıp kumunun içine yerleştirilebilmektedir (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. Kalıp üzerine yerleştirilen polystrene çıkıcılar

#### 4.3.8. Dökme demir kısmının ağırlıklarının hesaplanması

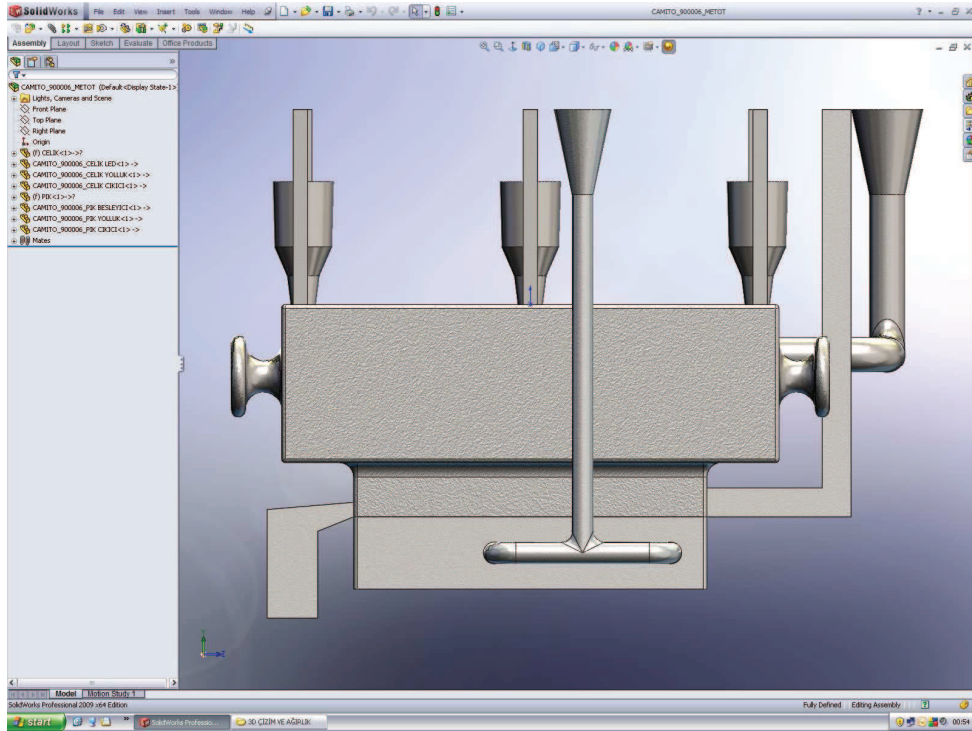
Dökme demir sistemindeki yolluk sistemi, besleyici ve gaz çıkıcılarının ağırlıkları toplanarak toplam ergitilecek dökme demir ağırlığı hesaplanır.

Yapılan tüm döküm parametre hesaplamasını takiben, döküm için tasarım yapılarak mühendislik metodu oluşturulur. Oluşturulan metot teknik resimlere aktarılarak üretime geçilir. Teknik resim çizerken yolluk sistemlerinin doğru bir şekilde montaj yapılması çok önem teşkil etmektedir[15, 24].

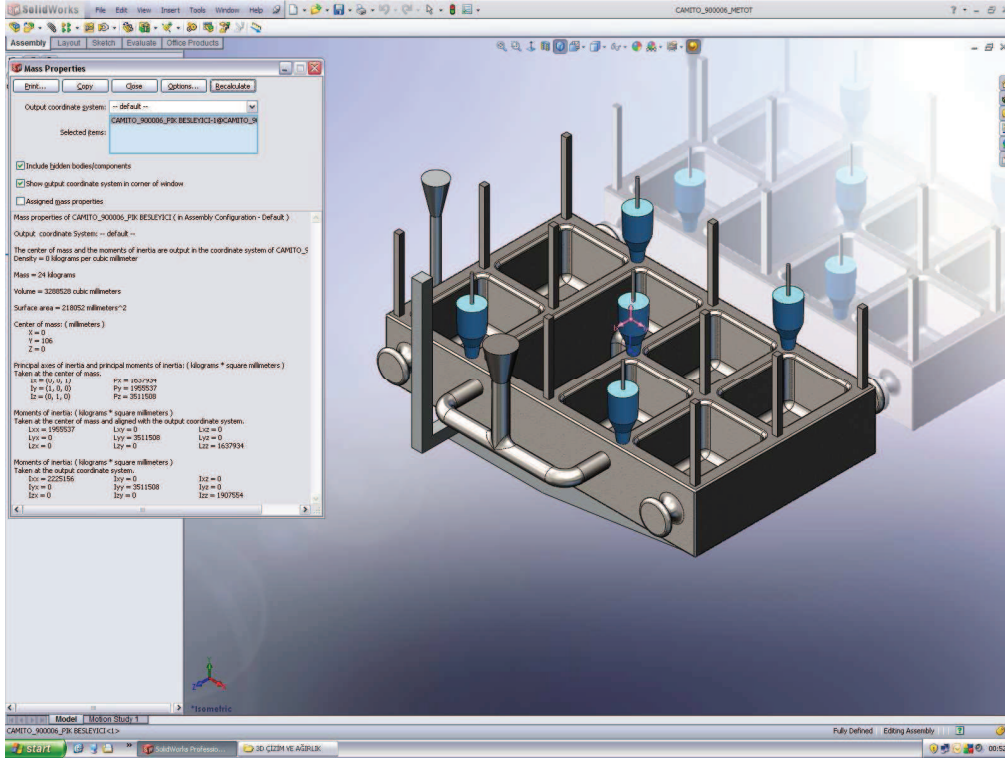
## BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 5.1 Bimetal Döküm Tasarım Aşamaları

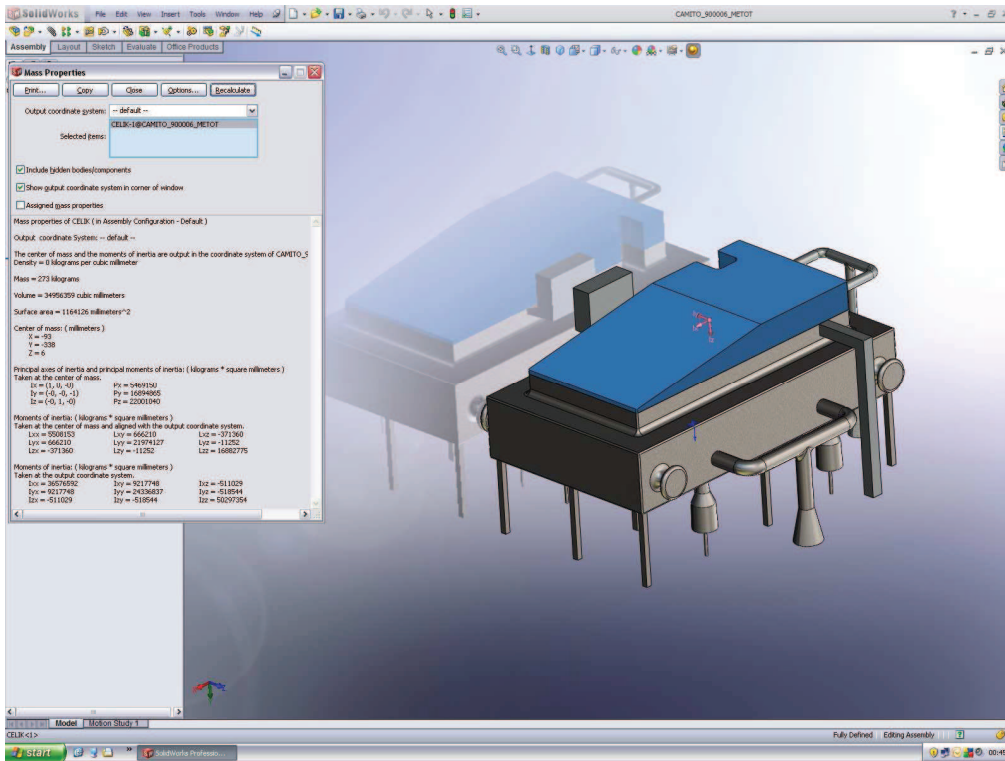
Şekil 5.1-5.7 de görüldüğü gibi dökülecek olan bimetal parçanın Solidworks programında 3D katı modeli oluşturularak bimetal oluşturulan çelik kısımlar ve dökme demir kısımları çizilir ve (yolluklar, besleyiciler, SSO parçası , gaz çıkıcıları v.b.) ayrı ayrı her bir aлаışımın toplam ağırlığı hesaplanır.



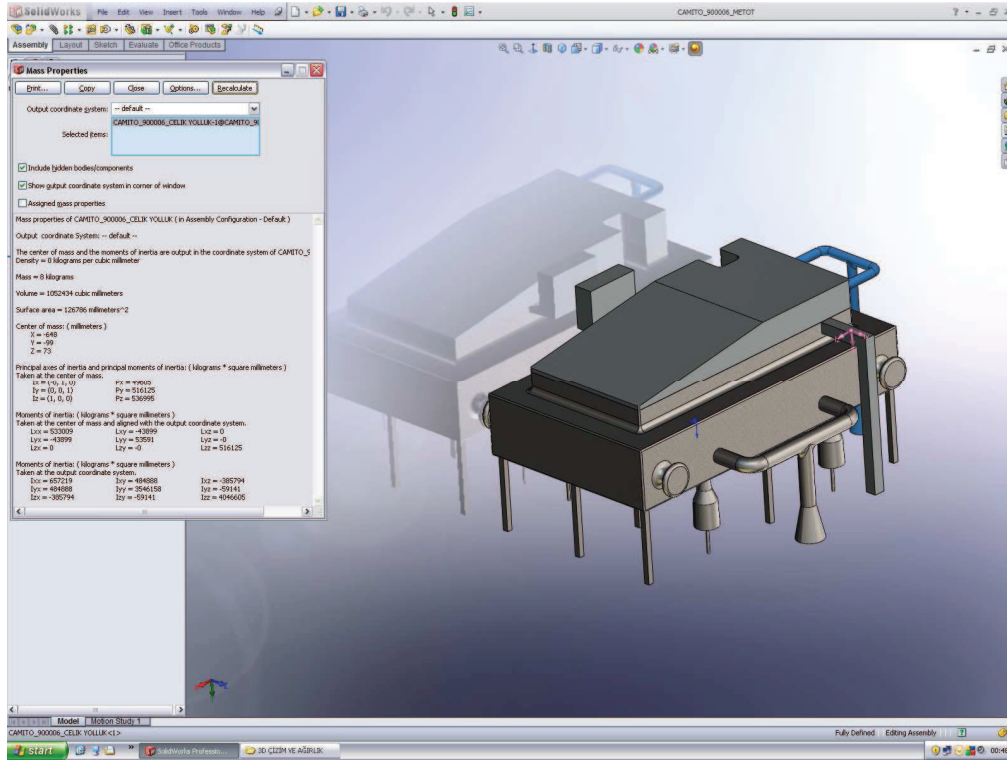
Şekil 5.1. Bi metal döküm için 3 boyutlu modelin oluşturulması.



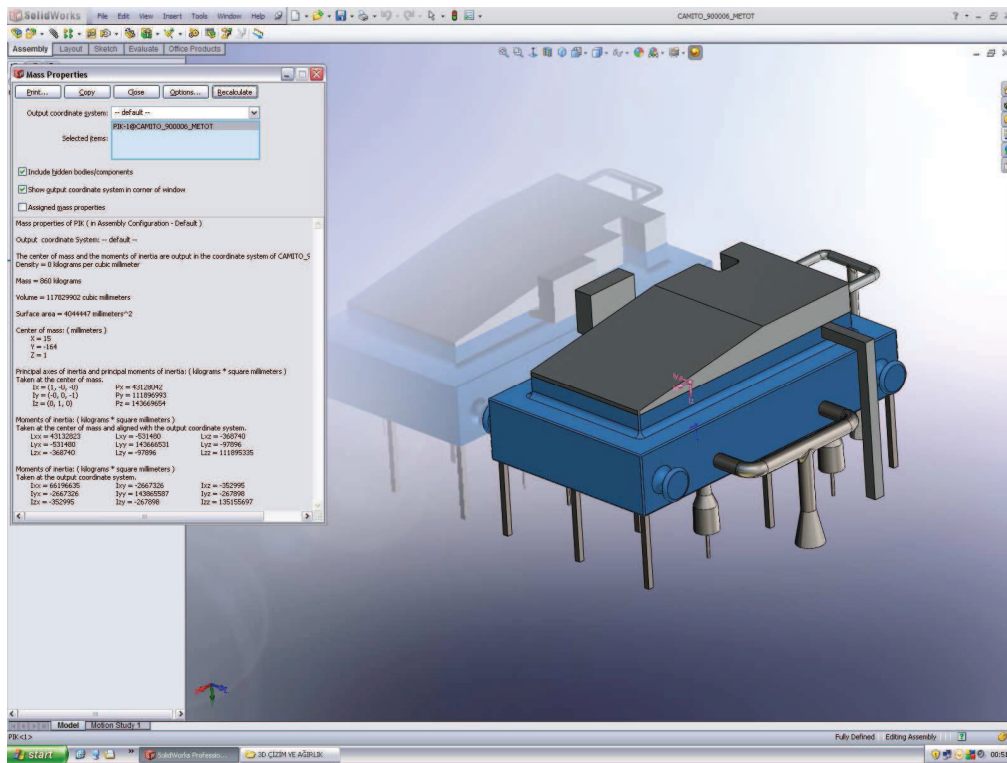
Şekil 5.2. 3 boyutlu modelde dökme demir kısma besleyicilerin yerleştirilmesi



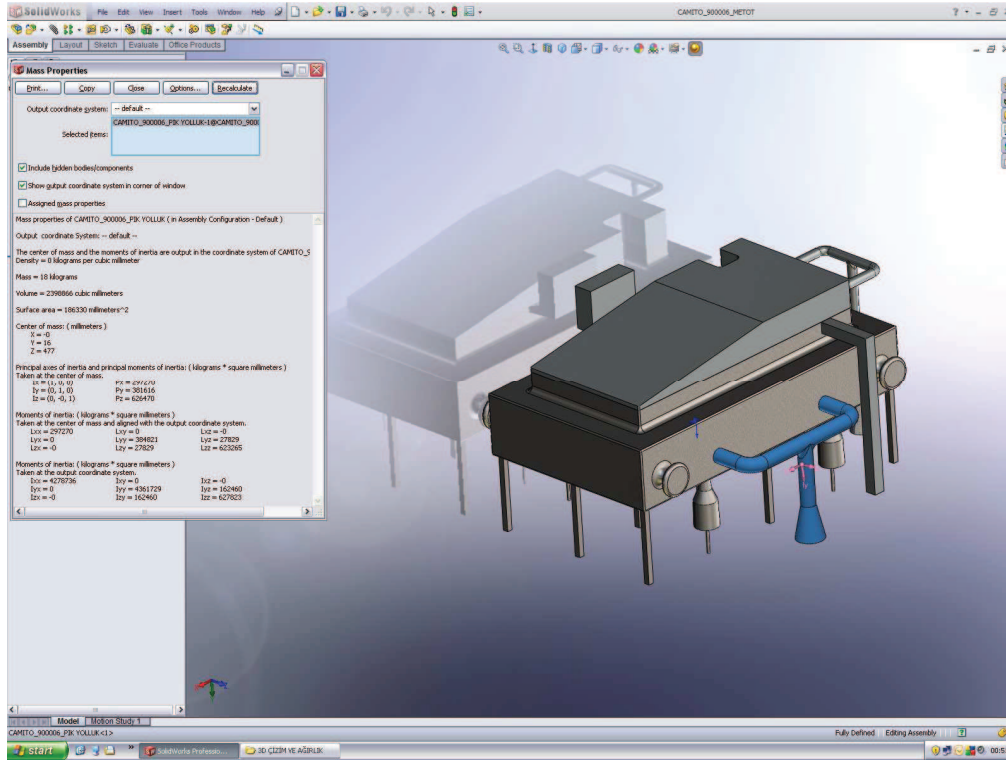
Şekil 5.3. Bimetal iş parçasındaki çelik bölge



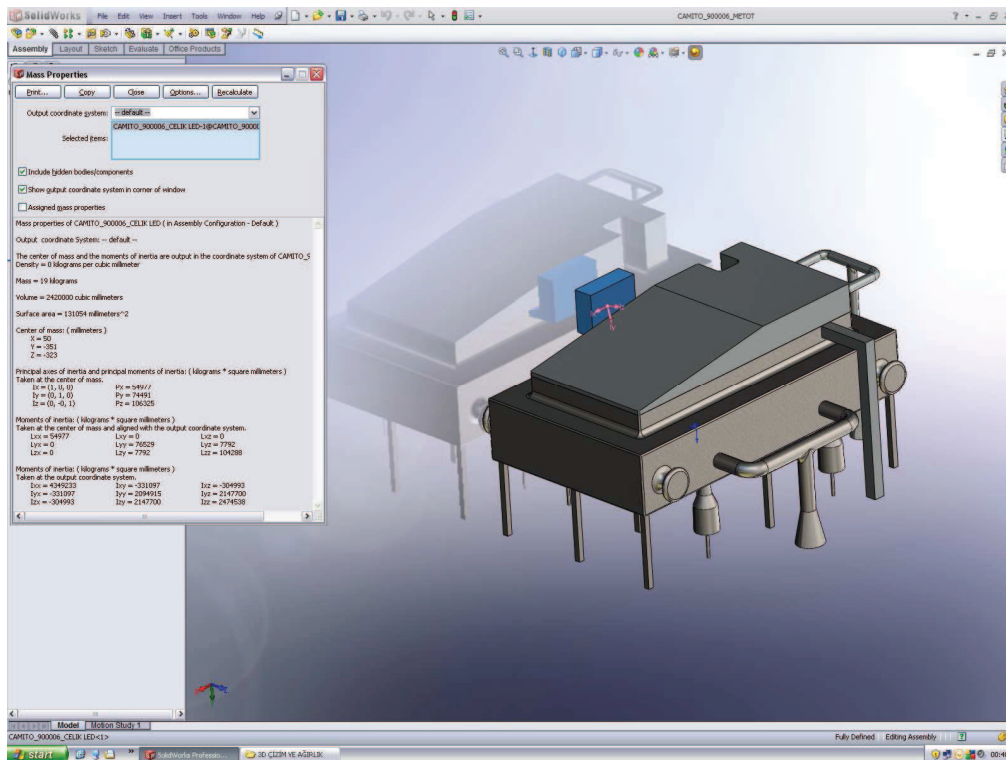
Şekil 5.4. Çelik kısım için yolluk tasarımı.



Şekil 5.5. Bimetal iş parçasındaki dökme demir bölge.



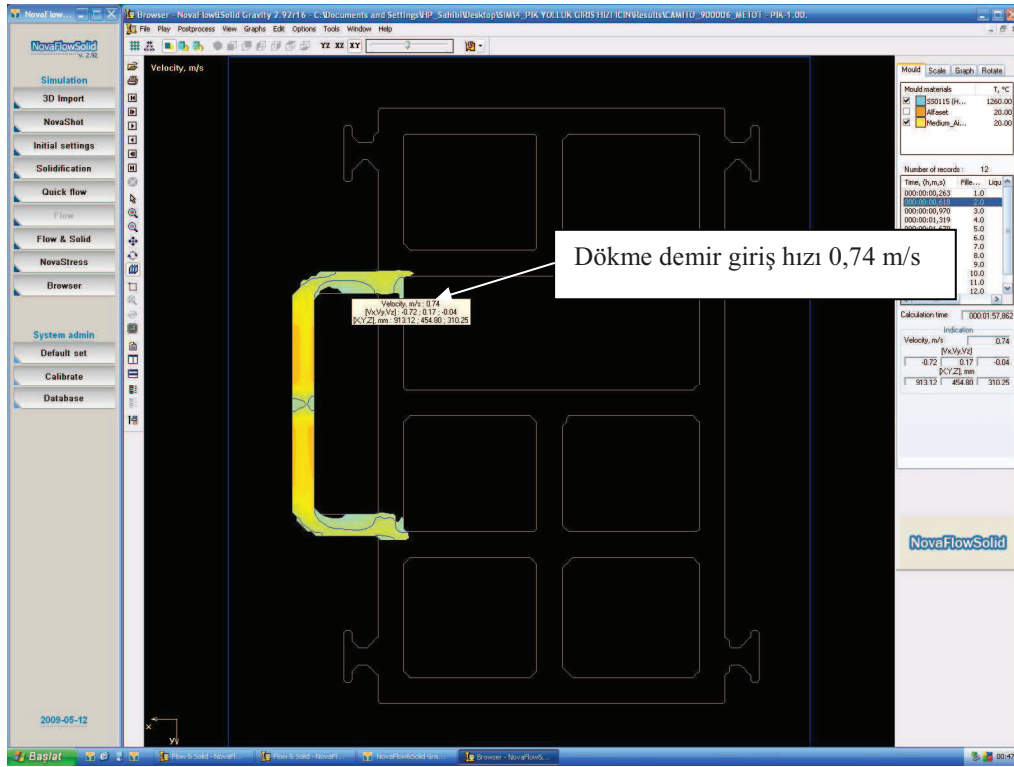
Şekil 5.6 Bimetal iş parçasındaki dökme demir bölgeye ait yolluk sistemi.



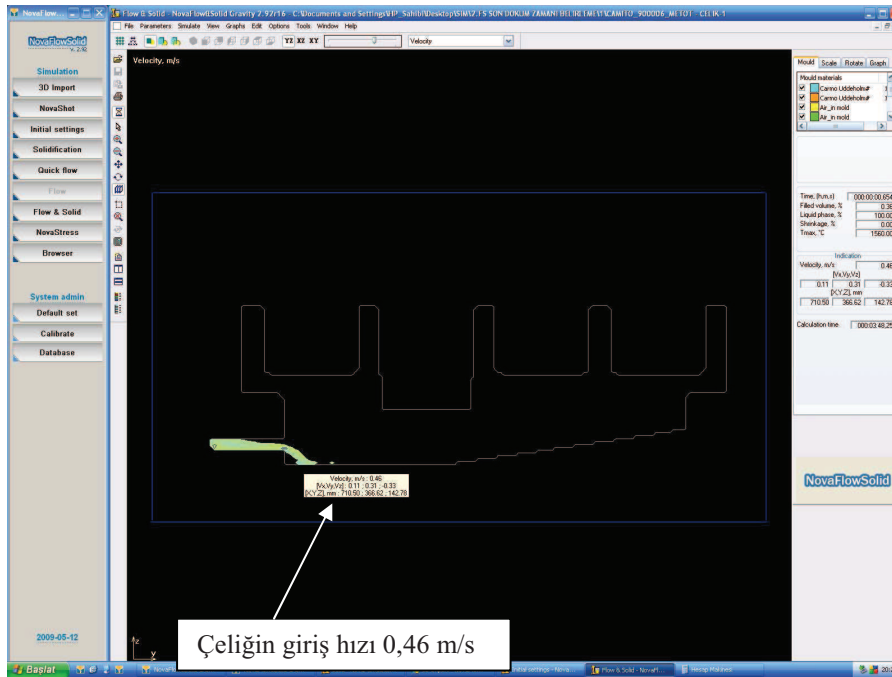
Şekil 5.7 Sıvı çeliğin yükseklik seviyesini sabit tutmak için kullanılan seviye sabitleme odası (SSO).







Şekil 5.9. Simulasyon programı - dolun simülasyonu ile dökme demir yoluğundan dökme demirin giriş hızının kontrolü.



Şekil 5.10. Simulasyon programı - dolun simülasyonu ile çelik yoluğundan çeliğin giriş hızının kontrolü.

Bimetal parçaları oluşturan çelik ve dökme demir kısımlarının kimyasal analizleri Tablo 5.1 ve Tablo 5.2 de verilmiştir.

Tablo 5.1. 1,2333 Takım çeliğinin spektrometrik analizi

| C     | Si    | Mn    | P     | S     | Mg     | Cr    | Ni    | Mo    | Pb    |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 0,63  | 0,453 | 0,666 | 0,015 | 0,012 | 0,0002 | 4,273 | 0,062 | 0,422 | 0,004 |
| Cu    | Al    | Ti    | V     | Nb    | W      | Co    | N     | Sn    |       |
| 0,047 | 0,036 | 0,035 | 0,230 | 0,018 | 0,007  | 0,027 | 0,015 | 0,003 |       |

Tablo 5.2 . GG 25 Lamel grafitli dökme demirin spektrometrik analizi

| C     | Si    | Mn    | P     | S     | Mg     | Cr    | Ni    | Mo    | Pb  |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-----|
| 3,19  | 1,85  | 0,73  | 0,029 | 0,016 | 0,0002 | 0,025 | 0,062 | 0,0   | 0,0 |
| Cu    | Al    | Ti    | V     | Nb    | W      | Co    | N     | Sn    |     |
| 0,007 | 0,008 | 0,035 | 0,0   | 0,018 | 0,007  | 0,027 | 0,015 | 0,003 |     |

## 5.2. Bimetal Döküm İçin Köpük Model Hazırlanması ve Kalıplanması

Bölüm 3' de bimetal köpük model tasarımında anlatıldığı gibi, dökülecek olan modelin çelik ve dökme demir kısımları Şekil 5.11' de görüldüğü şekilde köpük modelden ayrı ayrı hazırlanarak birbirlerine montajları yapılmıştır.



Şeki 5.11. Dökülecek bimetalin strafor modeli.

Şekil 5.12 ve 5.13 ve 5.14 'de, köpük modeli hazırlanan bimetal parçanın kalıplama aşamasında, daha önce CAD çiziminde tasarlandığı şekilde SSO, seramik yolluk, termokupullar ve gaz çıkıcılarının model üzerine yerleştirilmesi görülmektedir.



Şekil 5.12. Strafor model üzerine SSO ve termokupul montajı.



Şekil 5.13. Strafor model üzerine çelik bölgeye seramik yolluk montajı.



Şekil 5.14. Çelik için kullanılan çıkıcı.

Şekil 15’ de, hazırlanan köpük modellerin yüzeylerinin zirkon esaslı seramik boya ile boyanmış hali görülmektedir. Bu işlem yüzeyin düzgün çıkması ve sinter hatasını önlemek için uygulanmaktadır.



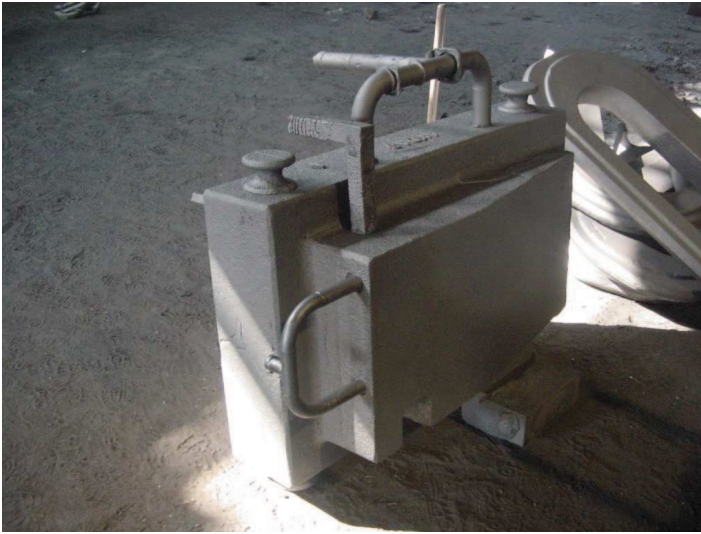
Şekil 5.15. Strafor modelin zirkon esaslı refrakter boya ile boyanması.

Şekil 5.16’ da bütün hazırlıkları yapıldıktan sonra kalıplanan bimetal köpük modelin kalıp fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 5.16. Bimetal dökümün derece ile kalıplanması.

Şekil 5.17 ve 5.18 de dökümden sonra bimetal kalıbın fotoğrafları görülmektedir. Burada dökme demir ve çelik arasındaki arayüzey açık bir şekilde görülmektedir.

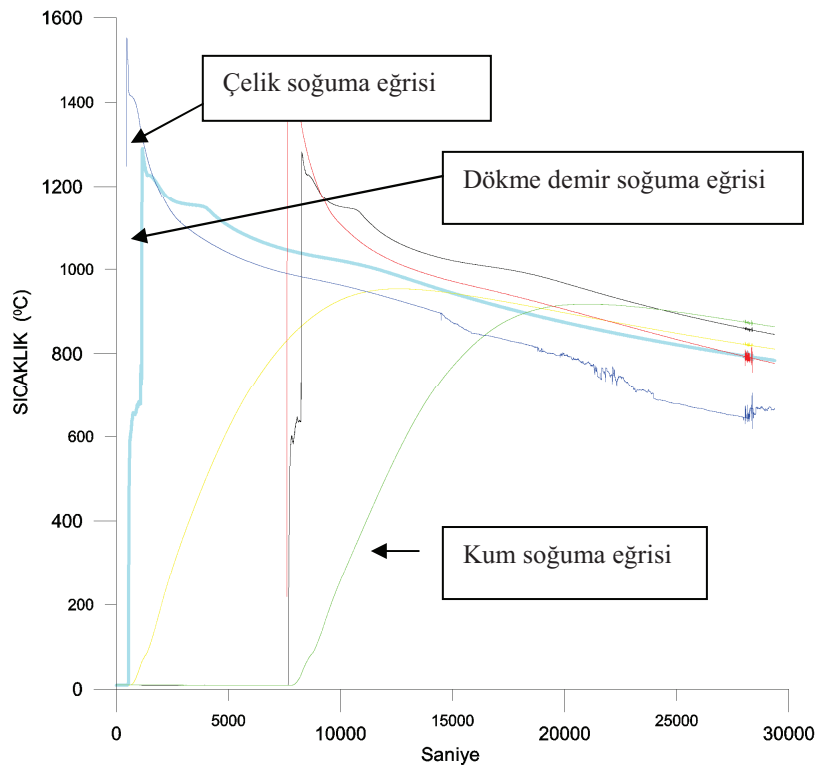


Şekil 5.17. Strafor model kullanılarak dökülmüş bimetal iş parçası (pres kalıbı).



Şekil 5.18. Bimetal dökümdeki çelik ve dökme demir arayüzü.

Şekil 5. 19’ da döküm esnasında çeliğin ve pikin soğuma eğrilerini çıkarmak amacıyla modelin ve kalıbın çeşitli bölgelerine yerleştirilen termokupullardan elde edilen soğuma eğrileri verileri grafik olarak verilmiştir.



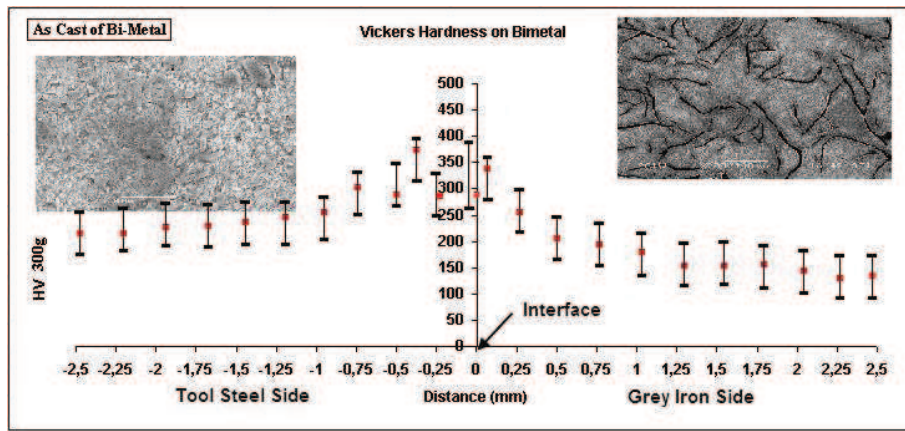
Şekil 5.19 Bimetal döküm esnasında çelik bölgeden, pik bölgeden ve kumdan alınan sıcaklık değişim verileri

### 5.3 Mekanik ve Mikroyapı Testleri Sonuçları

Bu kısımda dökümü yapılan bimetal parçadan alınan numunelere uygulanan mekanik ve mikroyapısal testlerin sonuçları verilmiştir.

#### 5.3.1 Mikrosertlik

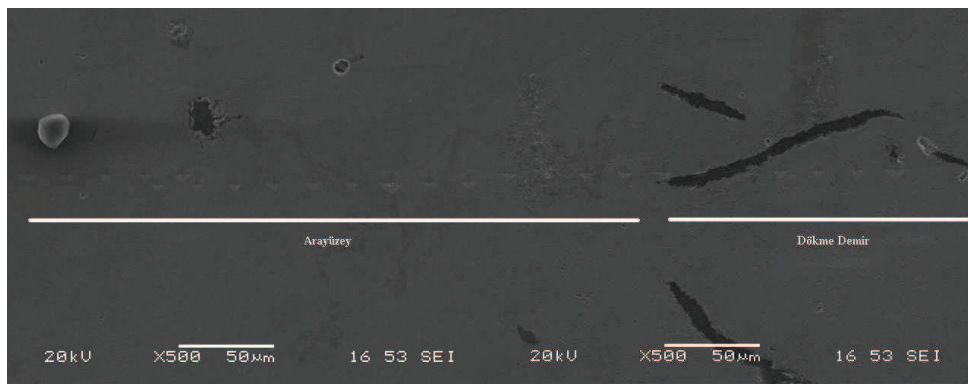
Şekil 5.20’ de GG25 dökme demir, 1.2333 takım çeliği ve arayüzeyinden alınan mikrosertlik değerleri verilmiştir.



Şekil 5.20 Çelik , dökme demir ve arayüzeyden alınan bölgeden alınan mikrosertlik değerleri

#### 5.3.2 Bimetal arayüzeyi SEM görüntüsü

Şekil 5.21’ de bimetal arayüzeyinden çekilen SEM görüntüsü görülmektedir.



Şekil 5.21 Bimetal dökümde arayüzeye ait SEM görüntüsü.

### 5.3.3 Bimetale uygulanan çekme testi sonuçları

Bimetal döküme temper ve normalizasyon ısı işlemleri uygulandıktan sonra arayüzeyden ve çelik bölgeden numuneler işletilerek elde edilen çekme testi sonuçları Tablo 5.3 ve Tablo 5.4 de görülmektedir.

Tablo 5.3. Arayüzeyden yapılan çekme testi sonuçları

| Çekme Mukavemeti<br>N/mm <sup>2</sup> | % Uzama | Isıl İşlem             | Sertlik       |
|---------------------------------------|---------|------------------------|---------------|
| 210                                   | 0,2     | 550 °C Temperden sonra | 235-240<br>HB |
| 240                                   | 2,6     | Normalizasyondan sonra | 249-266<br>HB |

Tablo 5.4. Çelik kısımdan yapılan çekme testi sonuçları

| Çekme Mukavemeti<br>N/mm <sup>2</sup> | % Uzama | Isıl İşlem             | Sertlik       |
|---------------------------------------|---------|------------------------|---------------|
| 637                                   | 10      | 550 °C Temperden sonra | 235-240<br>HB |
| 870                                   | 12      | Normalizasyondan sonra | 249-266<br>HB |

Çekme testi sonucunda numunelerin çekme dayanımı daha düşük olan dökme demir kısımdan kırıldığı görülmüştür. Çekme mukavemeti değerlerinin GG25 lamel grafitli dökme demir değerlerini verdiği saptanmıştır.



## BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Köpük model kullanılarak üretilen dolu kalıba bimetel döküm yöntemi ile otomotiv sektöründe kullanılan otomotiv pres kalıplarının üretiminde % 40 a varan işleme ve montaj tasarrufu sağlanmıştır. Klasik yöntemlerde baskı yüzeyinde kullanılan takım çeliği kısımları ayrı olarak, baskı presine bağlanan dökme demir kısmı ise ayrı olarak dökülmektedir. Daha sonra çelik parçalar ayrı olarak işlenmekte ve dökme demir kısmı da ayrı olarak işlenmektedir. En son olarakta iki farklı malzeme civatalarla birleştirilerek montaj işlemi yapılmaktadır. Tüm bu işlemler için işleme, montaj maliyeti hesaplandığında bimetel döküm yöntemi ile maliyetlerde % 40 a varan azalma ortaya çıkmaktadır. Pres baskı kalıplarının tek parça halinde bimetel döküm yöntemi ile üretilmesi, zaman olarak ise aynı şekilde işleme ve montajdan kaynaklanan zaman kayıplarını ortadan kaldırmıştır.

Köpük model kullanılarak yapılan bimetel dökümünde ikinci alaşımın döküm zamanı doğru hesaplanmalıdır. Aksi halde birinci alaşım ile ikinci alaşım arasında düzgün bir arayüzey oluşmamaktadır. İkinci alaşımın döküm süresinin gerekenden erken olması durumunda iki alaşımın birbirine karışarak arayüzey oluşturmadıkları görülmüştür. İkinci alaşımın döküm süresinin geç olması halinde ise birinci alaşımın yüzeyinin katılaşması nedeniyle iki alaşım arasında oluşması beklenen bağın oluşmadığı görülmüştür. Köpük model kullanılarak yapılan bimetel dökümünde ilk dökülecek alaşım her zaman oksidasyona daha dayanıklı olan alaşım olmalıdır. Bu arayüzeyde oksidasyon nedeniyle bağ oluşmaması için gereklidir. Klasik sıvı-sıvı bimetel döküm yöntemlerinde birinci alaşımın dökümünden sonra arayüze oksidasyon önleyici flux malzemeler kullanılması zorunluluğu vardır. Ancak köpük kullanılarak yapılan dolu kalıba döküm yönteminde köpüğün yanması sonucu oluşan gazlar arayüzeyde oksidasyonu önleyen bir koruyucu tabaka oluşturmaktadırlar ayrıca kalıp boşluğunda yanma reaksiyonu sonucunda oksijen kalmamaktadır. ilk

dökülen alaşımında oksidasyona daha dayanıklı bir malzeme olması nedeniyle arayüzeyde oksidasyon oluşmamıştır. Bu nedenle klasik yöntemlerde olduğu gibi ilave koruyucu deoksidant malzemelerin kullanılmasına gerek kalmamıştır.

Bimetal üretimi için köpük model kullanılarak yapılan dolu kalıba döküm yönteminde SSO ların dizaynı çok önemlidir. SSO' ları kullanılarak çeliğin istenilen seviyeye kadar doldurulması ve bu seviyede düzgün bir sıvı çelik yüzeyinin oluşması sağlanmıştır. Ayrıca hesaplanandan fazla çeliğin metal kalıba doldurulması durumunda fazla çeliğin bu SSO larına dolarak dökme demir kısmına dolması engellenmiştir.

Hesaplama adımlarında diğer bir önemli kriter yolluk giriş hızlarının ve dolum süresinin doğru hesaplanmasıdır. Dökülen alaşımın kalıba hızlı girmesi durumunda kalıp kumunu sürükleyerek kum boşluklarına neden olduğu görülmüştür. Yollukların doğru hesaplanması kalıp dolum süresinin de olması gereken optimum sürede gerçekleşmesi açısından önemlidir. Dolum süresinin uzun olması durumunda kalıp kumu için kullanılan bağlayıcı reçinenin bozularak alaşım içine kum düşmeleri meydana getirdiği görülmüştür ayrıca geç dolum nedeniyle alaşımın dolum sırasında soğuyarak soğuk birleşme hatalarına sebep olduğu da gözlenmiştir. Dolum süresinin olması gereken optimum süreden daha kısa sürede olması durumunda, dolum sırasında oluşan gazların yüzeye çıkmak için gerekli zamanı bulamayarak sıvı alaşım içinde sıkışması ve gaz boşluğu hatalarına sebep olduğu görülmüştür. Ayrıca yolluk malzemesi olarak seramik yolluk kullanılması ile de dolum esnasında yolluktan kum sürüklenerek kalıba girmesi riski ortadan kaldırılmıştır.

Yapılan bimetal döküm sırasında çelik ve dökme demir kısımlarından termokupl kullanılarak alınan soğuma-zaman verileri kullanılarak Novacast döküm simülasyonu programının veritabanında bu alaşımlara ait sıvı ve katılaşma verileri tekrar güncellenmiştir. Bu sayede yapılan diğer dökümlerde daha doğru simülasyon verileri elde etmek mümkün olmuştur. İleriki dönemlerde bu yöntemle 3 veya daha fazla farklı özellikte malzemelerin birleştirilmesi çalışmaları yapılabilir.

## KAYNAKÇA

- [1] XIULING, S., Computer aided optimization of an investment bi-metal casting process, department of mechanical, Industrial and nuclear engineering of the college of engineering, Division of research and advanced Studies of the University of Cincinnati, PhD Thesis, 2001
- [2] KUMRUOĞLU, L.C., ÇAKIR, O., ÇAKIR, G., ÖZER A., Döküm yöntemiyle 316L paslanmaz çelik takviyeli bi-metal üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Metalurji dergisi sayı 144, 2008
- [3] ŞİMŞİR, M., Materials and Design 30, 264–270, 2009
- [4] <http://en.wikipedia.org/wiki/Bimetal>
- [5] GUOBIN, L., JIANJUN, W., XIANGZHI, L., GUIYUN, L., The properties and application of bimetal hot-forging die. J Mater Process Technolgy 75, 152–156, 1998
- [6] MEHNEN, L., PFUTZNER, H., KANIUSAS, E., Magnetostrictive amorphous bimetal sensors. J. Magn Mater, 215–216, 779–781, 2000
- [7] NAKANO, J., MIWA, Y., TSUKADA, T., KIKUCHI, M., KITA, S., NEMOTO, Y., Characterization of 316L(N)-IG SS joint produced by hot isostatic pressing technique. J Nucl Mater 307, 1568–1572, 2002
- [8] SUDAKHAR, K.V., Failure analysis of automobile bimetal bearings. Eng Failure Analyse 9, 221–225. 2002
- [9] YILMAZ, O., ÇELİK, H., Electrical and thermal properties of the interface at diffusion-bonded and soldered 304 stainless steel and copper bimetal. J Mater Process Technolgy 141-67–76.2003
- [10] KRISHNA, B.V., VENUGOPAL, P., RAO K.P., Co-extrusion of dissimilar sintered P/M preforms – an explored route to produce bimetallic tubes. Mater Sci Eng A 407, 77–83, 2005
- [11] PATEL, U., SURESH, S., Dechlorination of chlorophenols by magnesium–silver bimetallic system. J Colloid Interface Science 299, 249–59, 2006

- [12] KO, D.C., LEE, S.K., KIM, B.M., JO, H.H., JO, H., Evaluation of copper coating ratio in steel/copper clad wire drawing. J Mater Process Technolgy 186, 22–26, 2007
- [13] [http://www.vautid-shah.com/images/pdf/Bimetal\\_castings.pdf](http://www.vautid-shah.com/images/pdf/Bimetal_castings.pdf), Ocak 2009
- [14] KUMRUOĞLU, L.C., MİMAROĞLU, A., ÜNAL, H., ÖZEL, A A., Plasma electrolytic processing of steel-cast iron composite substrate producing by bi-metal casting route, HighMatTech, Kiev ,2009
- [15] www.camito.se, Aralık 2009
- [16] AVCI, A., Mechanical and microstructural properties of low-carbon steel-plate-reinforced gray cast iron, Journal of materials processing technology 209, 1410–1416, 2009
- [17] Ertürk, S.O., Kumruoğlu, L.C., Özel, A., Dökümde çeşitli cürüfların nihai konumlarının akış ve katılma bilgisayar simülasyonu yardımıyla belirlenmesi, 14.Uluslararası metalurji & malzeme kongresi 2008
- [18] CHANG, J.H., CHOU, J.M., HSIEH, R.I., LEE, J.L., Corrosion behaviour of an alloy formed by inductive melting of a cobalt- based alloy and AISI 4140 steel, Corrosion Science, 51, 987-996, 2009.
- [19] CHANG, J.H., CHOU, J.M., HSIEH, R.I., LEE, J.L., Corrosion behaviour of an alloy formed by inductive melting of a cobalt- based alloy and AISI 4140 steel, Corrosion Science, 51, 987-996, 2009.
- [20] CORĂBIERU, P., CORĂBIERU, A., VASILESCU D.D., Study of the processing by heat treatments of bimetallic bushings for automobiles, Fascicle of Management and Technological Engineering, Volume VII, 2008
- [21] GUERARD, N., Method of manufacturing a bimetal casting and wearing part produced by this method, US Patent,24, Patent no:5,238,046, Ağustos 1993
- [22] GUERARD, N., Bimetallic casting serving as a wear piece in vertical crushing mills and its method of manufacture , US Patent , Patent no:5,855,700, 5 Ocak 1999
- [23] KUNDU, S., Chatterjee, S., Interfacial microstructure and mechanical properties of diffusion-bonded titanium-stainless steel joints using a nickel interlayer, Materials Science and Engineering A 425 , 107-113,

[24] Novaflow and Solid CV, Novacast User Manual. [www.nocavast.se](http://www.nocavast.se)

## ÖZGEÇMİŞ

Orhan ÇAKIR, 01.10.1978 tarihinde Erzincan' da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Mersin' de tamamladı. 1995 yılında Mersin Atatürk Lisesi'nden mezun oldu. 1996 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Metalurji Mühendisliği bölümünü 2000 yılında bitirdi. 2002 yılında Türkiye' nin en büyük dökümhanelerinden biri olan Akdaş Döküm San. Ve Tic. A.Ş. de üretim mühendisi olarak işe başladı. 2008 yılında Ortadoğu Teknik Üniversitesi Uluslararası Kaynak Mühendisliğini bitirip IIW sertifikasını aldı. Halen Akdaş Döküm San. Ve Tic. A.Ş.' de Metot Sorumlusu olarak çalışmaya devam etmektedir.

.

# **DESIGN AND PRODUCTION OF AUTOMOTIVE PRESS MOLDS WITH BIMETAL CASTING TECHNIQUE**

**Orhan ÇAKIR**

## **SUMMARY**

Keywords: Full mold casting, bimetal, design, casting simulation, CAD solid model, SEM, optic microscop

Joining of the materials that have different mechanical and physical properties, with a good interface – bond combination, has been achieved by the development of the bimetal production techniques. Nowadays, bimetal applications are being used frequently in the radiators, mill bearings, engine head gaskets, cutting tools of paper industry, metal, wood, textile, food industries, kitchen tools, heat exchangers, crushers of the mining industries. Methods of joining different materials like machining, welding, assembling, rivets, etc. are generally make it possible to join the complex shapes or materials that have completely different metallurgical properties. In the view of economy, joining of two or more materials in one method at one step has very big profit because they had eliminated many operations and their difficulties.

The aim of the Project is to produce the sheet metal press molds, which are used in automotive industry, as a bimetal casting in one part using the full mold technique that had been used to produce by assembling the two steel and gray cast iron parts that were casted in different times. In the application and design of this method casting simulation and CAD solid model programs have been used. Interface microstructure of the bimetal had been investigated by SEM and optic microscopes and the mechanical properties had been tested too. As a result of this process, it has been seen that steel and cast iron materials have been successfully bonded in the interface and automotive press mold production costs has been reduced up to 30% by eliminating the additional processes like machining and assembling.

# OTOMOTİV PRES KALIPLARININ BİMETAL DÖKÜM TEKNİĞİ İLE TASARIMI VE ÜRETİMİ

Orhan ÇAKIR

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Dolu kalıba döküm, bimetel, tasarım, döküm simülasyonu, CAD katı modelleme, SEM, mikroyapı, optik mikroskop

Bimetel üretim tekniklerinin gelişmesi ile farklı mekanik ve fiziksel özelliklere sahip malzemelerin iyi bir arayüzey-bağ kombinasyonu ile birleştirilmesi sağlanmıştır. Günümüzde bimetel uygulamaları radyatörlerde, mil yataklarında, motor başları contalarında, kağıt sanayi kesme takımlarında, metal, ağaç, tekstil, yiyecek endüstrilerinde, mutfak eşyalarında, ısı değiştiricilerde, maden sanayinde kullanılan kırıcılarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Farklı malzemelerin birleştirilmesi için kullanılan işleme, kaynak, montaj, perçin, v.b yöntemler çoğu zaman karmaşık şekilli ve birbirinden metalurjik özellikler bakımından çok farklı malzemelerin birleştirilmesini mümkün kılmamaktadır. Maliyet açısından düşünüldüğünde ise iki veya daha fazla malzemenin tek bir yöntemle tek seferde birleştirilmesi pek çok operasyonun yapılma gereksinimini ve zorluğunu ortadan kaldırması açısından büyük kazançlar sağlamaktadır.

Bu çalışmada, son yıllarda çok yaygın olarak özellikle otomotiv sektöründe kullanılan sac şekillendirme pres kalıplarının klasik yöntemde farklı zamanlarda dökülerek daha sonra montajı yapılan çelik ve dökme demir parçalarının, köpük model ile dolu kalıba döküm tekniği kullanılarak, bimetel olarak tek parça halinde üretilmesi amaçlanmıştır. Bu yöntemin uygulanmasında ve tasarımında döküm simülasyon programı ve CAD katı model programları kullanılmıştır. Yapılan bimetel döküm sonucunda bimetel arayüzeyinin mikroyapısı SEM, ve optik mikroskopla incelenmiş mekanik testler ile de mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda dökme demir ve çelik malzemelerinin bimetel döküm yöntemi iyi bir metalurjik bağ ile arayüzeyde birleştiği görülmüş ve işleme, montaj gibi ilave operasyonları ortadan kaldırdığı için otomotiv pres kalıbı üretim maliyetlerinde % 30 oranında azalma sağlanmıştır.