

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GG25 ESASLI DÖKME DEMİR MOTOR
BLOKLARININ ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burhan BAŞ

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Aysun AYDAY

Haziran 2022

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GG25 ESASLI DÖKME DEMİR MOTOR
BLOKLARININ ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burhan BAŞ

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

Bu tez 25.04.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Üye

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Burhan BAŞ

27.05.2022

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Aysun AYDAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca benden desteklerini esirgemeyen HATTAT HOLDİNG bünyesindeki değerli yöneticilerime, Hema Otomotiv Sistemleri Döküm Fabrikası Üretim Direktörü Fatih BARAN'a, Mühendislik ve Kalite Müdürü Dr. Soner Özden ERTÜRK'e, Üretim Mühendisi Abdullah ELİK'e, Mühendislik ve Döküm Takımları Şefi Ahmet Fatih KARAGÖZ'e ve Üretim Mühendisi Elif Cansu ÇAMUR'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xiv

BÖLÜM 1.

DÖKÜM YÖNTEMLERİ.....	1
1.1. Kalıcı Kalıba Döküm	1
1.1.1. Metal (kokil) kalıba döküm	1
1.1.2. Basıncılı döküm	3
1.1.3. Savurmalı santrifüj döküm	4
1.1.4. Sürekli döküm yöntemi.....	5
1.2. Harcanan Kalıba Döküm Yöntemleri	6
1.2.1. Kabuk kalıba döküm.....	6
1.2.2. Hassas döküm yöntemi	8
1.2.3. Alçı kalıba döküm yöntemi	9
1.2.4. Seramik kalıba döküm	10
1.2.5. Kum kalıba döküm yöntemi	11
1.2.5.1. Döküm kumu.....	12
1.2.5.1.1. Kalıp kumun çeşitleri	12
1.2.5.1.2. Kalıp kumu ilaveleri.....	13
1.2.5.1.3. Kum kalıp çeşitleri	14

1.2.5.1.4. Kalıp kumunun özelliklerinin döküm parçasına etkileri.....	15
---	----

BÖLÜM 2.

DÖKME DEMİRLER.....	19
2.1. Dökme Demirler	19
2.1.1. Küresel grafitli dökme demir.....	21
2.1.1.1. Küresel grafitli dökme demirin özellikleri	21
2.1.1.2. Mikro yapı	23
2.1.2. Gri dökme demir.....	24
2.1.2.1. Gri dökme demirde bulunan alaşım elementleri	28
2.2. Motor Blok Malzeme Seçimi.....	31
2.3. Motor Blok Malzeme Mekanik Testleri	31
2.3.1. Sertlik testi	31
2.3.2. Çekme testi	32
2.3.3. Kalıntı stres “strain gauge” testi	34

BÖLÜM 3.

MOTOR BLOK TASARIMI VE SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI.....	38
3.1. Döküm Takımları Tasarımı	38
3.2. Maça Kriter ve Standartları.....	45
3.2.1. Maçaların ve maça başlarının oluşturulma standartları	45
3.2.2. Maçaların oluşturulma standartları	50
3.3. Simülasyon Çalışması.....	51
3.3.1. Besleme sistemi	55
3.3.2. Basitleştirilmiş yolluk sistemi.....	55

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	60
4.1. Motor Blok Üretimi	60
4.1.1. Maça üretimi	61
4.1.1.1. Soğuk kutu maça üretimi:	61

4.1.1.2. Reçine A:.....	62
4.1.1.3. Reçine B (Aktivatör)	62
4.1.1.4. Katalizör:.....	62
4.1.1.5. Silis kumu:.....	62
4.1.1.6. Maça kumun hazırlanması	63
4.1.1.7. Maça üretimi sonrası boyama işlemi:.....	66
4.1.2. Kalıplama.....	68
4.1.2.1. Kalıplama kumun hazırlanması.....	68
4.1.3. Mikroyapısal ve mekanik analizler.....	73

BÖLÜM 5.

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....	89
KAYNAKLAR.....	90
ÖZGEÇMİŞ	92

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

°C	: Santigrat Derece
AFS	: Tane dağılım aralığı
ASM	: Amerikan metal topluluğu
μ	: Mikron
μm	: Mikron metre
cm ²	: Santimetre kare
gr	: Gram
%	: Yüzde
Kg	: Kilogram
Gy	: Yapraksı grafit
Gf	: Temper döküm
Gs	: Küresel grafit
P	: Pertlit
a	: Ferrit
Y	: Örtelit
D.D.	: Dökme demir
Mg	: Magnezyum
Kgf/ mm ²	: Kilogram kuvvet bölü milimetre kare
Min	: Minimum
Max	: Maksimum
HB	: Brinell sertlik
ASTM	: Amerikan test ve malzeme kurulumu
Si	: Silisyum
S	: Kükürt
Mn	: Mangan
P	: Fosfor

Ni	: nikel
Cr	: krom
Cu	: bakır
Mo	: Molibden
V	: Vanadyum
C	: Karbon
Al	: Alüminyum
MPa	: Mega paskal
GPa	: Giga paskal
W / mk	: Isı iletkenlik kat sayısı
3D	: 3 Boyutlu veri
2D	: 2 Boyutlu veri
Rpm	: Dakikada ki devir sayısı
DMEA	: Dimetilaminoethanol
CH ₂ OH	: Glukonikasit
İPA	: İsopropil Alkol
SiC	: Silisyum Karbür
Dk	: Dakika
Sn	: Saniye
Zr ₂ O ₃	: Zirkonyum Oksit
Cad	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CNC	: Bilgisayar Sayısal Kontrol

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Metal kalıba döküm yöntemi.	2
Şekil 1.2. Kokil kalıp ile üretilen parçalar (Gıyasettin E, 1979).....	3
Şekil 1.3. Basınçlı döküm yönteminin gösterimi (Macit Ç, 1972)	3
Şekil 1.4. Savurma döküm yönteminin gösterimi. (Tolgay G, 2005)	4
Şekil 1.5. Düşey sürekli döküm prosesi gösterimi. (A. Ulvi AVCI, 1993).....	5
Şekil 1.6. Kabuk kalıba döküm yönteminin şematik gösterimi (Aran, A., 2007).....	8
Şekil 1.7. Hassas döküm yönteminin şematik olarak gösterimi. (Fikret E, 1999).	9
Şekil 1.8. Seramik kalıba döküm yönteminin şematik gösterimi, (Fikret E, 1999). ..	11
Şekil 1.9. Kalıp kumunda kullanılan kumun şeklinin nem miktarına etkisi	16
Şekil 1.10. Kumun AFS değerlerinin gaz geçirgenliğine etkisi	16
Şekil 1.11. Yaş basma mukavemeti için gereken nem ve bentonit miktarı	17
Şekil 1.12. Tane inceliği ile gaz geçirgenliğinin değişimi.	18
Şekil 2.1. Dökme demirlerde sıcaklık değişimlerinde bulunan mikro yapı fazları....	20
Şekil 2.2. Bu mikro yapı fotoğrafında perlit yeşil, ferrit beyaz, grafit küreleri ise siyah renkte görünmektedir.	23
Şekil 2.3. Demirin içerisindeki alaşımlara göre C-Si aralıkları	24
Şekil 2.4. ASTM A247 standardına göre gri dökme demirlerin yapılarının tipleri ...	25
Şekil 2.5. Gri dökme demirlerin lamel boylarının ASTM A247 standardına göre gösterimi.....	27
Şekil 2.6. Çekme testi grafiği	33
Şekil 2.7. Çekme çubuğu teknik resim.....	34
Şekil 2.8. Yaprak tipi gerinim ölçer gösterilmektedir.	34
Şekil 2.9. Sol: Gerinim ölçerin bileşimi Sağ: Gerinim ölçer örneği	35
Şekil 2.10. Farklı Kesitlerde Stres Gösterimi.....	37
Şekil 3.1. İşleme payı ve radyus açıları.....	40
Şekil 3.2. İşleme paylarının gösterimi.....	40

Şekil 3.3. Çıkma açısı gösterimi.....	41
Şekil 3.4. Nominal değere göre çıkma açısı.....	42
Şekil 3.5. Motor blok su ceketi maçasının tasarımında kullanılan çıkma açısının gösterimi.....	42
Şekil 3.6. Su ceketi maça sandığı draft analizi gösterimi.....	43
Şekil 3.7. Motor blok su ceketi soğutma sıvısındaki basınç dağılımı	43
Şekil 3.8. Motor blok su ceketi soğutma hızı akışı (1800rpm)	44
Şekil 3.9. Motor blok su ceketinde sıcaklık akışı gösterimi (1800rpm)	44
Şekil 3.10. Parçalarda x, y ve z eksenlerine göre uzunluk, genişlik ve yükseklik gösterimi.....	45
Şekil 3.11. Maça kilit yerlerin gösterimi.....	46
Şekil 3.12. Örnek maça toleransları	46
Şekil 3.13. Motor blok su ceketi tabla maçası.....	47
Şekil 3.14. Radyus gösterimi.....	47
Şekil 3.15. Kumluk gösterimi	48
Şekil 3.16. Tolerans gösterimi.....	48
Şekil 3.17. Maça başı gösterimi	49
Şekil 3.18. Maça başı gösterimi	50
Şekil 3.19. Katılaşma simülasyonunda sadece parça ve kalıp gösterimi	52
Şekil 3.20. Fraction Liquid katılaşmanın nasıl gerçekleştiği hakkında bilgi verir....	53
Şekil 3.21. Hot spot izole bölgelerin gösterimi	53
Şekil 3.22. Muhtemel porozite hataların gösterimi	54
Şekil 3.23. Feedmod termal merkezlerin büyüklüğünü gösterir.	54
Şekil 3.24. Parçaya ait bilgilerin girilmesi	55
Şekil 3.25. Parçanın en üstünden kalıp yüzeyine, toplam parça yüksekliğini ve mala birleşiminden kalıp yüzeyine kadar olan ölçülerin girilmesi	56
Şekil 3.26. Düşey yolluk kesin alanı hesabı sonrası toplam giriş alanı hesaplanması	56
Şekil 3.27. Yatay yolluk ayırımına göre yolluk ölçülerin belirlenmesi	56
Şekil 3.28. Filtre için gerekli olan hesaplama gösterimi	57
Şekil 3.29. Girişler dolumu simülasyon edebilmek için eklenmiştir.	57
Şekil 3.30. Dolum davranışları incelenmektedir. (Sıçramalar, hava sıkışmaları, sıcaklıklar).....	57

Şekil 3.31. Soğuk birleşme yoktur ve çalkantısız dolum yapılmaktadır.	58
Şekil 3.32. Motor bloğuna ilave edilen meme girişleri sonrasında herhangi bir porozite görülmemiştir.	58
Şekil 3.33. Parça için gerekli olan meme girişlerin ve yolluğun son tasarımı	59
Şekil 3.34. Ürün ağacının tanımlanmasının gösterimi	59
Şekil 4.1. İş akış şeması	60
Şekil 4.2. Soğuk kutu Maça üretimi iş akış şeması	61
Şekil 4.3. Maça kumu mikser görüntüsü.....	64
Şekil 4.4. Benzil eter karakteri sergileyen bir fenol formülü	65
Şekil 4.5. Poliizosiyanat 2,4- 4,4 yapısı	65
Şekil 4.6. Motor blok silindir maçaların basımın gösterimi.....	66
Şekil 4.7. Motor blok alt ve üst model gösterimi	69
Şekil 4.8. Motor blok alt ve üst model draft analizi gösterimi.....	70
Şekil 4.9. Üst ve alt modellerin kalıplanmış halinin gösterimi	70
Şekil 4.10. Motor Blok Yağ Galerisi Shell Maça Simülasyon Yapılarak Pişirme Süresi Tayini	71
Şekil 4.11. Kalıba Yerleştirilecek Olan Maçalar, Filtre Ve Supportların Yerleşim Sonrası Gösterimi.....	71
Şekil 4.12. Sarsaktan Çıkan Parçaların Alınması Ve Paletlere Dizilmesi	72
Şekil 4.13. Taşlama Sonrası Motor Bloklar	72
Şekil 4.14. Sertlik, Çekme Ve Mikro Yapı Bakılacak Olan Bölgelerin Teknik Resim Üzerinde Gösterimi.	73
Şekil 4.15. Mikro Yapı ve Sertlik Kontrolü İçin Numune Alınan Bölümler.	73
Şekil 4.16. Çıkarılan Mikro Yapı Numuneleri.....	74
Şekil 4.17. Zımparalama Cihazların Gösterimi.....	75
Şekil 4.18. Parlatma Cihazı, Parlatma Çuhaları Ve Parlatma Elmas Süsp. + (1 Ve6 M) + Elmas Suyu Gösterimi	75
Şekil 4.19. Optik Mikroskop	76
Şekil 4.20. Dağlama Öncesi ve Sonrası Mikroyapı Gösterimi	76
Şekil 4.21. Sertlik Cihazı.....	77
Şekil 4.22. Bilye Ucun İz Çapı Gösterimi.....	78
Şekil 4.23. Çekme Çubuğu Gösterimi.....	78

Şekil 4.24. Çekme Cihazı	78
Şekil 4.25. Çekme Testi Grafiği Gösterimi.....	79
Şekil 4.26. Çekme Testi Sonrasında Porozite Kontrollü Yapılmıştır. Poroziteye Rastlanmamıştır.....	79
Şekil 4.27. 100 Dakika Kalıp Bozma Süresinde İle Kalıntı Gerilime Dağılımı	80
Şekil 4.28. 150 Dakika Kalıp Bozma Süresinde İle Kalıntı Gerilime Dağılımı	80
Şekil 4.29. Çatlak Oluşabilecek Noktada Belirlenen Sıcak Yırılma Riski	81
Şekil 4.30. Maksimum Ana Stres Gösterimi.....	82
Şekil 4.31. Şekil 4.30.'daki Noktanın Grafit Üzerinde Gösterimi.....	82
Şekil 4.32. Dinamik Elastik Modül Testi (ASTM E1876-15) Sonuçları Kalıntı Streslerin Hesaplanmasında Kullanılmıştır.....	83
Şekil 4.33. Kalıntı Stres Simülasyonu Sonuçları	83
Şekil 4.34. Simülasyonda yüksek kalıntı stres riski görünen noktalar.....	84
Şekil 4.35. Kalıntı Stres Deneyinde Gerinim Ölçerlerin Yerleştirilmesi.....	85
Şekil 4.36. Ölçümlerde Kullanılan 3 Açılı Rozetli Gerinim Ölçer	85
Şekil 4.37. Soğuma süresi 100 dakika olan bloğun strain gauge testi sonuçları.....	86
Şekil 4.38. Soğuma Süresi 150 Dakika Olan Bloğun Strain Gauge Testi Sonuçları .	86
Şekil 4.39. Kumlama sonrası parçaların görüntüsü.....	87
Şekil 4.40. Gözle Görülmesi Zor Olan Bölgelerin Boroskop Yardımı İle Kontrol Edilmesinin Gösterimi.....	87
Şekil 4.41. Veri ile tarama raporların çakışım sonuçlarının gösterimi.....	88
Şekil 4.42. Motor blok dış yüzey ölçü kontrolü.....	88

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Silis kumu, kuvarsında tane büyüklüğü ve etkisi (Savaş İ., 2012)	16
Tablo 2.1. Dökme Demir Sınıflarının Kimyasal Analizleri (%)	19
Tablo 2.2. Küresel grafitli dökme demirlerin genel kimyasal analizi	21
Tablo 2.3. Küresel grafitli dökme demirin diğer dökme demirlere göre özelliklerin karşılaştırılması	22
Tablo 2.4. Küresel grafitli dökme demirlerin dünya standartlarında gösterimi	23
Tablo 2.5. Sfero dökme demirlerin sahip olduğu matris yapıları	24
Tablo 2.6. Alaşımız gri dökme demirlerin kimyasal analizinin gösterimi	24
Tablo 2.7. Gri dökme demir grafit tiplerinin gösterimi	26
Tablo 2.8. Gri dökme demirlerin sahip olduğu matris yapıları	27
Tablo 2.9. Dökme demirlerde kullanılan alaşım elementlerinin geri dökme demirlerin yapısına etkisi	29
Tablo 2.10. TS EN 1561 numaralı standarda göre özellikleri ve dünya standartlarında gösterimi (Umut A, 2014)	30
Tablo 2.11. Gri dökme demirin özelliklerin motor blok üzerinde mekaniksel özellikleri (Bayraktar B., Çetin U., Ertuğrul E., 2004)	31
Tablo 3.1. modellerin kullanım özelliklerin karşılaştırılması	39
Tablo 3.2. İşleme payları tablosu	41
Tablo 3.3. Sıyırma açıları	51
Tablo 4.1. Reçineli sistemde maça üretiminde kullanılan karışım oranları	66
Tablo 4.2. Maça boyama için gerekli olan boyaların çözücülerin karşılaştırılması	67
Tablo 4.3. Silis kumun AFS büyüklüğüne göre tane dağılımı	68
Tablo 4.4. Motor blok modelin kalıplanacağı kumun özellikleri	69
Tablo 4.5. Mikro Yapı Numunesi Hazırlama İşlemleri	74
Tablo 4.6. Mikro Yapı Sonuçların Gösterimi	77
Tablo 4.7. Çekme Testi Sonuçları	79

Tablo 4.8. Sertlik ve Çekme Sonuçların Gösterimi	80
--	----

ÖZET

Anahtar Kelimeler; Dizel yakıt, motor blok, döküm, gri dökme demir

Motor bloğu, içten yanmalı motor sistemlerinin ana yapısını oluşturmaktadır. Krank ve kam milleri, piston, supap itici kolları vb. birçok motor parçasına bu blok içerisinde çalışır. Motor sisteminin en büyük parçası olup toplam ağırlığın %20-25'ini oluşturmaktadır. Kullanılan malzeme, motorun gücü için önem arz eden düşük ağırlıkla birlikte yüksek mukavemet gereksinimini karşılaması istenir. Bunun yanı sıra; aşınma direnci, uzun kullanım ömrü, yanma ve patlama gerçekleştiğinde oluşan basınç çevrimine dayanıklı olması ve çalışma koşullarında yüksek sıcaklık, titreşime dayanım gerekliliklerin başlıcalarıdır. Malzeme seçimi, titreşim dayanımı, korozyon direnci, yüksek mukavemet, elastik modül gereksinimlerine göre yapılır. Yüksek mukavemeti nedeniyle benzinle çalışan motorlar ile karşılaştırıldığında, yüksek sıkıştırma oranlarına sahip dizel motorlar için malzeme daha kritik bir öneme sahiptir. Benzinli motorlar gibi 10:1 değil de 20:1 ile çalışan dizel yakıtlı motorlarda malzemenin düşük ağırlık sağlamasına değil, yüksek mukavemetli olmasına dikkat edilir. Bunun yanı sıra hızlı bir şekilde ısıyı vermek için yüksek çalışma sıcaklıklarında; yüksek ısıl iletkenlik ve düşük termal genleşme özelliklerine sahip olmalıdır. Dökümünden sonar devam eden talaşlı imalat sürecinde de süre ve maliyeti optimum seviyede tutmak için iyi işlenebilirliğe sahip olmalıdır. Krank mili ve piston gibi iç kısımlarda çevrimsel hareket yapan bileşenler yüksek bir titreşim kaynağıdır, bu yüzden malzemenin titreşim sönümleme kabiliyeti de kritik bir malzeme seçim parametresidir.

Bu çalışmada dizel yakıtla çalışan, GG25 gri dökme demir malzemeli; tarım makinaları, jeneratörler, denizcilik ve iş makinaları sektöründe kullanılan 3 silindirli bir Motor Blok'un üretim süreçleri mercek altına alınmıştır. Tasarım aşamasında katı modelleme yazılımının kullanımı, dökümle ilgili mühendislik hesaplamaları ve bilgisayar destekli simülasyon uygulamaları ele alınmıştır. Otomatik maça üretim makinaları ile maça üretim prosesleri, tam otomatik yaş kum kalıplama yöntemi ile üretim yapan bir döküm üretim hattında kalıplama, maça yerleştirme, döküm ve kalıp bozma süreçleri incelenmiş, çıkan ürün müşteri şartnamelerine göre boyutsal ve malzeme kontrolleri, motor blok parçası özelinde incelenmiştir.

PRODUCTION OF GG25 BASED CAST IRON ENGINE BLOCKS AND INVESTIGATION OF THE PROPERTIES

SUMMARY

Keywords; Diesel fuel, engine block, casting, gray cast iron

The engine block is the main structure of the internal combustion engine systems. Crank and camshafts, pistons, valve tappets, etc. many engine parts work in this block. It's the largest part of the engine system and generates for 20-25% of the total weight. The selection of material is required to meet the high strength requirement with low weight, which is important for the power of the engine. Also; Wear resistance, long service life, resistance to pressure cycles when combustion and explosion occur, and resistance to high temperature and vibration in working conditions are the main requirements. Compared to gasoline engines due to its high strength, the material is more critical for diesel engines with high compression ratios. In diesel-fueled engines that work with 20:1, not 10:1 like gasoline engines, attention is paid to the high strength of the material, not its low weight. In addition, at high operating temperatures to give off heat quickly; It should have high thermal conductivity and low thermal expansion properties. It should have good machinability in order to keep the time and cost at the optimum level in the machining process that continues after casting. Internally rotating components such as the crankshaft and piston are a high source of vibration, so the vibration damping ability of the material is also a critical material selection parameter.

In this study, GG25 gray cast iron material working with diesel fuel; the production processes of a 3-cylinder Engine Block used in the agricultural machinery, generators, maritime and construction machinery sectors have been scrutinized. The use of solid modeling software in the design phase, engineering calculations related to casting and computer aided simulation applications are discussed. Core production processes with automatic core production machines, molding, core placement, casting and mold breaking processes in a casting production line producing with the fully automatic green sand molding method were examined, dimensional and material controls of the product according to customer specifications were examined specifically for the motor block part.

BÖLÜM 1. DÖKÜM YÖNTEMLERİ

Döküm yöntemleri, uygulama olarak kalıcı kalıba döküm ve harcanan kalıba döküm olarak 2 gruba ayrılmaktadır.

1.1. Kalıcı Kalıba Döküm

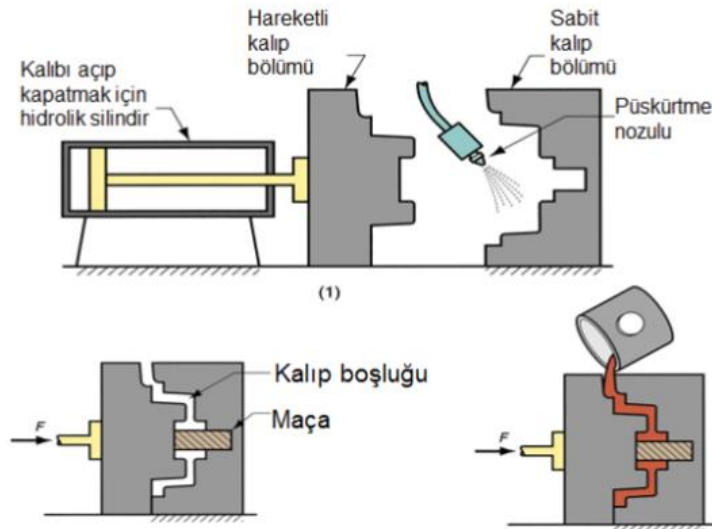
Kalıcı kalıba dökümde döküm yapılan kalıpların sürekli olarak kullanılmaktadır.

Kalıcı kalıba döküm 4 gruba ayrılmaktadır.

- Metal (kokil) kalıba döküm
- Basınçlı döküm
- Savurmalı santrifüj döküm
- Sürekli döküm

1.1.1. Metal (kokil) kalıba döküm

Bu döküm yöntemi, genellikle karmaşık şekilli ve ölçü toleransları dar olan parçaların üretiminde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde kullanılan modellerin yapımında çelik ya da dökme demir malzemeleri kullanılmaktadır.



Şekil 1.1. Metal kalıba döküm yöntemi.

Metal kalıba döküm yönteminin avantajları:

Kalıbın metal olmasından kaynaklı eritilen metal daha hızlı soğuduğu için malzeme yapısı ince taneli olacaktır. Bu durum ise parçanın mekanik özelliklerini daha iyi sağlayacaktır.

- Üretimi yapılacak parçanın hassas boyut toleranslarına sahip olması.
- Üretimi yapılacak olan parçanın karmaşık geometri yapısına sahip olabilir.
- Yüzey kalitesinin diğer döküm yöntemlerinden yüksek olması ve döküm sonrası temizleme masraflarının düşük olması.

Kokil kalıba dökümün dezavantajları:

Parçanın üretimi için yapılması gereken parçanın kalıp maliyeti yüksektir ancak seri üretim için ekonomiktir.

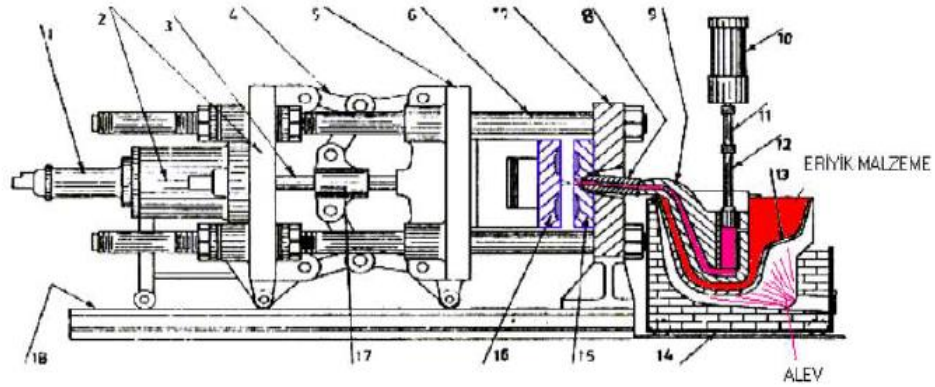
Bu yöntem her parça için üretilebilir değildir daha çok küçük parçalar için uygundur (Gıyasettin E, 1979).



Şekil 1.2. Kokil kalıp ile üretilen parçalar (Gıyasettin E, 1979)

1.1.2. Basınçlı döküm

Basınçlı döküm yöntemi, düşük sıcaklıklardan eriyebilen ve kullanılan metal kalıplarda şekillendirilebilen malzemelerin basınç altında biçimlendirilmesiyle gerçekleşen döküm yöntemidir.



Şekil 1.3. Basınçlı döküm yönteminin gösterimi (Macit Ç, 1972)

Basınçlı döküm üstünlükleri;

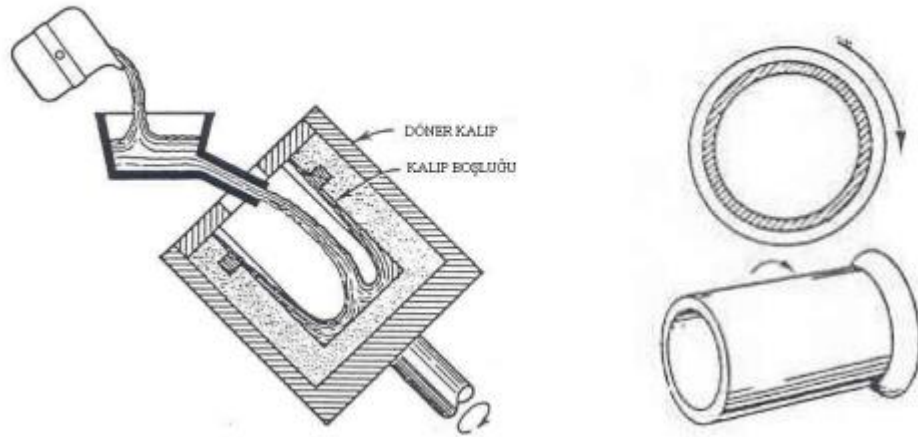
- Ölçü tolerans aralığı dar aralıklarda üretim yapılabilmesi.
- Üretilen parçanın yüzey kalitesi yüksektir.
- Üretilen parça düşük et kalınlığına sahip olabilir.
- Üretilen parçanın hata oranı düşüktür.

Basınçlı dökümün dezavantajları:

- Kalıp maliyetinin yüksek olması
- Döküm yapılacak malzeme çeşitliği dar
- Üretim yapabileceğin parçanın boyutları ve ağırlıkları kısıtlı (S. Timuçin Y, 2006).

1.1.3. Savurmalı santrifüj döküm

Savurmalı döküm, sıvı halde olan metali dönme yöntemiyle basınç uygulanarak döküm yöntemidir. Prensip olarak savurma döküm yöntemi, simetri eksenine sahip parçaları dökülmek için, eritilen metalin kalıp içine merkezkaç kuvveti kullanarak gönderilmesi prosesine dayanır. Kalıp eksenini yatay, eğik veya düşey konumda olabilir (Çavuşoğlu, E. N., 1981).



Şekil 1.4. Savurma döküm yönteminin gösterimi. (Tolgay G, 2005)

- Savurmalı döküm üstünlükleri:

Dökümü yapılan parçanın dönme hızına bağlı olarak basıncın artmasıyla döküm içerisine hapsolan hava miktarı azalır ve daha kaliteli parça üretmenizi sağlar.

- Malzemenin mekanik özelliklerinde %30 oranında artış sağlanmaktadır.

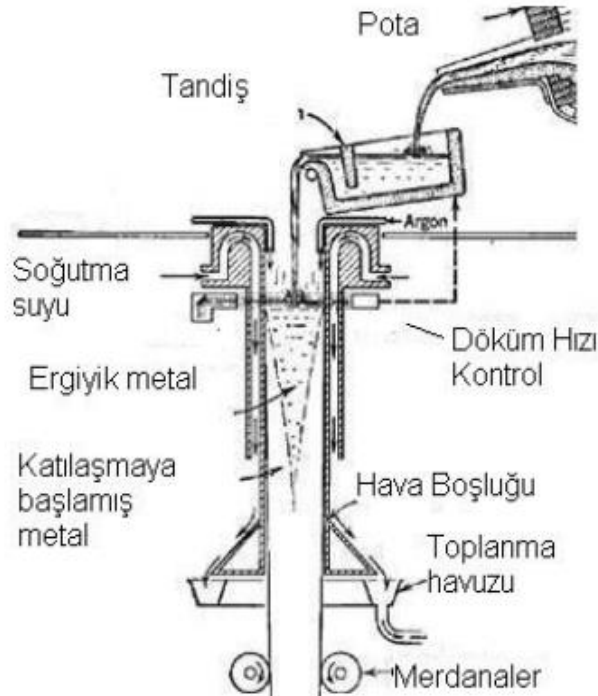
- Malzeme iç yapısı ince taneli ve homojen olması istenen parçaların üretimi yapılabilir.

Savurmalı döküm dezavantajları:

- İlk yatırım maliyetleri yüksektir.
- Üretimi yapılacak olan parçanın boyutları ve şekilleri sınırlıdır.
- Savrulacak olan metalin az olmasından dolayı eritilmiş metali bekletmek için bekleme fırınları gereklidir (Tolgay G, 2005).

1.1.4. Sürekli döküm yöntemi

Sürekli döküm yöntemi, eritilmiş olan metalin kalıbın giriş noktasından dökülerek çıkış noktasına doğru ilerlemesiyle başlar. Çıkış noktasından çıkmaya başlayan metal bir yandan soğutulmaya başlanır. Bu soğutma işlemi metalin sürekli katı halde kalmasını sağlamak için yapılmaktadır. Kalıp içerinden çıkan malzeme çeşitli sayıda profil ve boru olabilir.



Şekil 1.5. Düşey sürekli döküm prosesi gösterimi. (A. Ulvi AVCI, 1993)

Sürekli dökümün avantajları:

Sıvı şekilde dökülen metal kalıp içerisinde simetrik ve katı halde çıkmaktadır.

- Kalıp imalatı kolaydır.
- Proses basit olarak düz bir çekme başlığı kullanılır.

Sürekli dökümün dezavantajları:

- Sistem yüksekliği 30 metreyi aşması sonrasında tesis masrafı çok fazla artmaktadır.
- Döküm parçaların uzunluğu sınırlıdır.
- Sıvı metalin bekletildiği pota yüksektir (Güney A, 2008).

1.2. Harcanan Kalıba Döküm Yöntemleri

Harcanan kalıba döküm yöntemleri, 5 yönteme ayrılmaktadır.

Bunlar şu şekildedir;

- Kabuk kalıba döküm
- Hassas döküm
- Alçı kalıba döküm
- Seramik kalıba döküm
- Kum kalıba döküm

1.2.1. Kabuk kalıba döküm

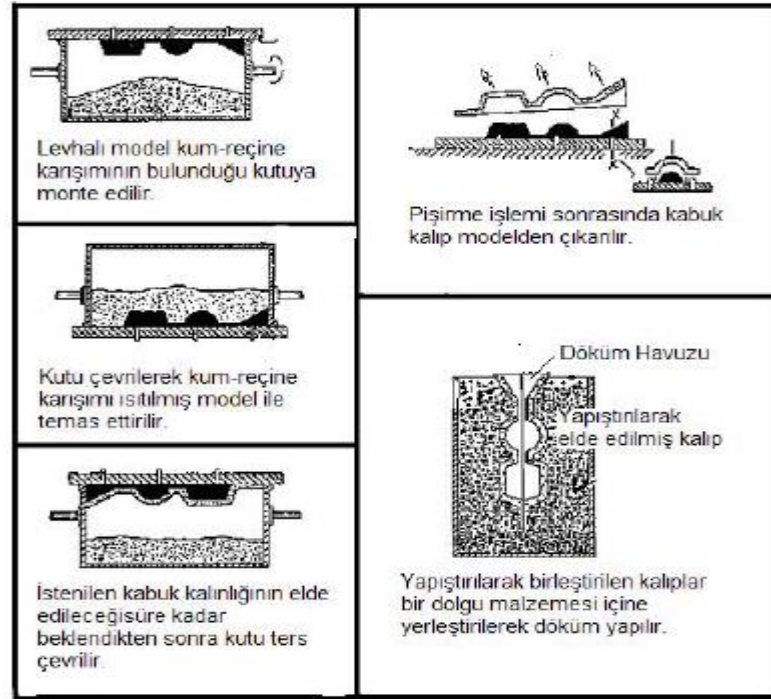
Kabuk kalıba döküm yönteminde kabuk olması için kullanılacak malzemenin kum AFS'si istenilen parçanın yüzey kalitesine göre değişir ancak bağlayıcı olarak kullanılan reçine yüksek sıcaklıkta sertleşebilen termoset bir reçine olmalıdır. Termoset özelliği olan bu reçine kalıp kumunun çok yüksek dayanım noktasına çıkmasını sağlamaktadır. Bu dayanım sayesinde kabuk oluşturulan modeller yerine

oluşan kalıbın içerisine döküm yapılması sonrasında kabuk oluşturulan modellerin uzun süre kullanılması sağlanmaktadır. Kabuk kalıba döküm prosesi öncesinde model ısıtılır bu sıcaklık yaklaşık 150 – 200 °C olarak modele göre değişkenlik sağlayabilir. Sonrasında ise ısınan modelin yüzeyine kalıp ayırıcı sıkılacak oluşacak kabuk modelin yapışmasını önler. Isınan kalıba, reçine kum dökülüp 5-20 saniye bekletilir. Sonrasında ise model kaldırılıp ve model yüzeyine yapışmayan kumlar geri düşür. Model üzerine yapışan kumlar ise kalıbın en yüksek dayanıma ulaşması için tekrardan pişirilir. Bu pişirme sıcaklığı kalıp ısıtma sıcaklığından biraz daha yüksek olacak şekilde yaklaşık 350-375 °C sıcaklıklarda pişirilir. Sonrasında ise kabuk modelden ayrılır.

Kabuk kalıp yönteminde, kullanılan olan kabuklar üretilecek olan parçaya göre değişkenlik göstermektedir. Bazı parçalarda 1 kabuk yeterli iken bazı parçalarda 5-6 parça halinde hazırlanıp yapıştırılarak döküme hazır hale getirilir.

Kabuk kalıba döküm yönteminin avantajları:

- Üretilecek olan parça hassas ölçü kriterlerinde olabilir.
- Kabuk oluşumunda kullanılan kum AFS'si düşük olduğundan dolayı malzeme yüzey kalitesi yüksektir.
- Parça dökümü düşük sıcaklıklarda yapılabilir.
- Üretilen olan kabuk kalıplar hafiftir ve depolama süreleri uzundur (Aran, A., 2007).



Şekil 1.6. Kabuk kalıba döküm yönteminin şematik gösterimi (Aran, A., 2007).

Kabuk kalıba döküm yönteminin dezavantajları:

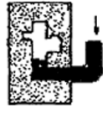
- Kabuk kalıbın üretildiği modellerin maliyeti yüksektir.
- Kabuk kalıplama yapacak olan makinelerin maliyeti yüksektir.
- Üretilecek olan parçanın boyutları ve şekilleri sınırlıdır.
- Kullanılan kumun reçineli ve özel bir hammadde olduğu için maliyeti yüksektir (Aran, A., 2007, Döküm Teknolojisi).

1.2.2. Hassas döküm yöntemi

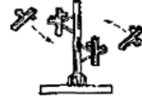
Hassas döküm yöntemi, karmaşık şekle sahip, boyut toleranslarının dar olduğu ve yüzey kalitesinin yüksek olması gerektiren parçalar için en uygun yöntemlerden biridir.

Prosesin ilk aşamasında, metal malzemedan yapılmış olan kalıbın içerisine mum karışımı basılan bu figürler sonrasında mum yolluk etrafında dizilir. Oluşturulan bu salkım etrafına sinter noktası yüksek kum ile kaplanır. Sonrasında bu kalıp ısıtılarak

mum dışarıya alınır. Kalıbın mukavemetinin artması için yaklaşık 1000 °C'de sinterlenir ve sonrasında eritilen metal kalıba dökülür (Fikret E, 1999).



1. ADIM
Mum veya plastik kalıp içine enjekte edilir.



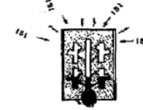
2. ADIM
Kalıptan çıkarılan modeller merkezi bir besleme ünitesine bağlanır.



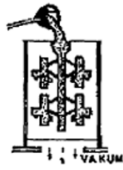
3. ADIM
Model salkımı etrafına bir metal kılıf geçirilir.



4. ADIM
Kılıf hassas döküm özel kalıp maddesi ile doldurulur.



5. ADIM
Kalıp maddesinin kuruması ve donmasından sonra modeller eritilerek dışarı alınır.



6. ADIM
Isıtılmış kalıp içerisine bilenen döküm yöntemi ile döküm yapılır.



7. ADIM
Kalıp maddesi kırılarak döküm parça çıkarılır.



8. ADIM
Döküm parçaları salkımdan ayrılarak bağlantı yerleri taşlanır.

Şekil 1.7. Hassas döküm yönteminin şematik olarak gösterimi. (Fikret E, 1999).

Hassas döküm yönteminin avantajları:

- Üretimi zor, şekilleri karmaşık olan parçalar üretilebilir.
- Boyut toleransları hassas parçalar dökülebilir.
- Eritebilen bütün yöntemlerde kullanılabilir.
- Yüzey kalitesinin yüksek olması

Hassas döküm yönteminin dezavantajları:

- Üretilecek parça boyutları sınırlıdır.
- Üretilecek parça ağırlığı sınırlıdır (Fikret E, 1999).

1.2.3. Alçı kalıba döküm yöntemi

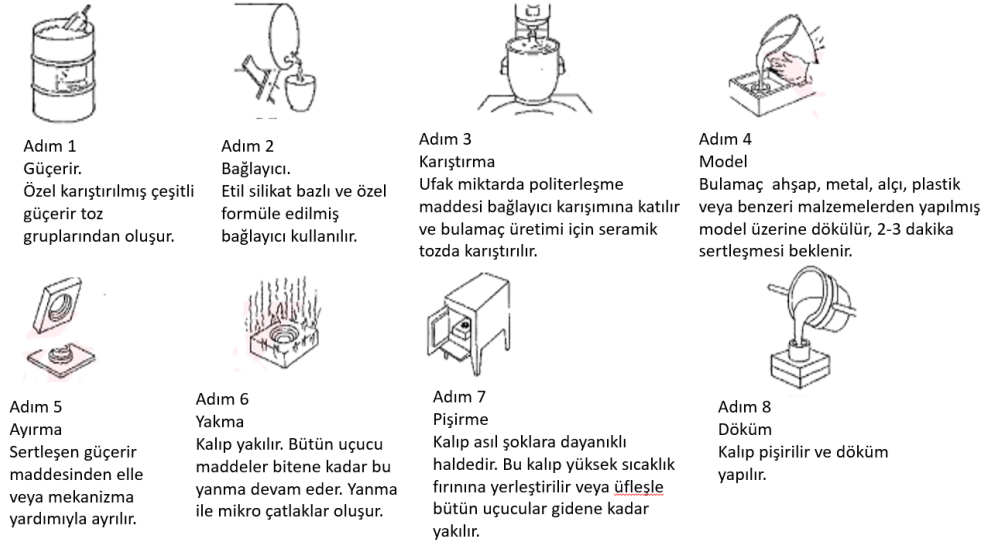
Alçı kalıba döküm yöntemi, genellikle erime noktası düşük bakır ve alüminyum gibi döküm yöntemlerinde kullanılır. Alçı kalıplar, parçalı olarak bir bölüm yüzeyine aittir.

Bu bölümler en az iki parça olarak tasarlanmaktadır. Kalıp malzemesinin çatlamasını engellemek için içerisine %20 oranında talk, kalıp malzemesinin katılma süresini uzatabilmek için içerisine kaolin ve magnezyum oksit ilave edilmektedir. Kalıp hazırlanma aşamasında, kalıbın katılması hızlı olması durumunda kalıp malzemesinin içerisinde hava gireceği için gözenekler oluşma ihtimali yükselmesi öngörülmektedir. Katılma yavaş olması durumunda ise kalıp şeklini almadan malzeme katılacaktır. Bu sebepten dolayı malzeme karıştırılması ve ilaveler kontrollü yapılmalıdır. Ancak alçı kalıbın en büyük dezavantajı kullanılan malzemeden dolayı gözenekler minimumda olduğu için geçirgenlik yok denecek kadar azdır.

Bu sebepten dolayı kullanım alanı az olan kuyumculuk ve diş hekimliği için tercih edilen bir yöntemdir (Ömer Onur A, 2007).

1.2.4. Seramik kalıba döküm

Seramik kalıba döküm yönteminde, kalıp şeklini oluşturmak için ince taneli zirkondan ve yüksel alüminalı mullitten elde edilmiş bulamaç yardımı ile kalıp oluşturulmaktadır. Seramik kalıba döküm yöntemi de alçı kalıp gibi döküm sonrasında kalıp bozularak elde edilen parça ortaya çıkarılmaktadır. Alçı kalıba döküm yönteminde olduğu gibi seramik kalıba döküm yönteminde de yüzey pürüzlülüğü yüksel kalitede olan parça üretilmektedir. Ancak her seferinde kalıp malzemesi için kullanılan sarf malzeme maliyetinden dolayı kalıplama için pahalı döküm yöntemidir (Fikret E, 1999).



Şekil 1.8. Seramik kalıba döküm yönteminin şematik gösterimi, (Fikret E, 1999).

1.2.5. Kum kalıba döküm yöntemi

Kum kalıba döküm yöntemi, günümüzde endüstri dallarında fazlasıyla ihtiyaç duyulan otomotiv parçaları için yüksek kaliteli parçalar üretebilmek için tercih edilen üretim yöntemidir.

Kum kalıba döküm yöntemi, eritilmiş sıvı metalin kalıp içerisinde katılaşması sonucu metalürjik olarak pek çok yenilik ve gelişme sağlanmıştır. Döküm sektörünün genel olarak üretimi istenen parçanın boyut ve şekli olan kalıp içerisine eritilmiş metalin kalıp içerisine dökümü yapıldıktan sonra katılaşması beklenir. Katılaştıran parçanın kalıp içerisinden çıkarılır. Bu çıkan parçaya “döküm parça” olarak adlandırılır.

Kum kalıba döküm yönteminde, kum kalıbın hazırlanması için gerçekleşen prosese “kalıplama” adı verilir. Kum kalıba döküm yöntemi yapılan prosese göre farklılık göstermektedir. Bu yöntemler; el kalıplama, makine kalıplama, yatak kalıplama, dikey kalıplama ve reçineli kalıplama olarak sınıflandırılmaktadır.

1.2.5.1. Döküm kumu

Kum kullanılarak kalıplama yapılan yöntem, döküm yöntemi ile üretimin büyük bir bölümünü kapsamaktadır. Kalıbın içerisine girecek olacak kalıp malzemesini hazırlamak için kullanılacak kumun belirli ısıl dayanım özelliğini, kum taneleri arasındaki bağlayıcılık özelliğinin ve taneleri birbirine bağlayacak olan nemin olması gerekmektedir. Kalıp kumunda kullanılan bu malzemeler dışında hazırlanan kumun özelliklerini arttırmak amacı ile %8 oranında kömür tozu, demir oksit, talaş gibi yabancı maddeler ilave edilmektedir (Clem, Arthur G., 1961).

1.2.5.1.1. Kalıp kumun çeşitleri

Kum kalıba döküm yönteminde, dökümü yapılacak olacak kalıbın boyutuna ve ağırlığa göre değişkenlik göstermekle birlikte ortalama 1 ton döküm için yaklaşık olarak 4-5 ton kum kullanılmaktadır. Bu yöntem için kalıplama için kullanılacak olan kumun elde edilmesine göre sentetik kalıp kumu ve doğal kalıp kumu olarak ikiye ayrılmaktadır (Esra T., 2016).

Sentetik Kalıp Kumları:

Kum Kalıba döküm yönteminde, eritilmiş olan metalin şekillendirilmesi için kullanılan sentetik kalıplama kumlarının saf kuvars kumu, takıl, bentonit ve toz haline getirilmiş kömür gibi bir katkı malzemesi ile sudan oluşur. Kil miktarı çok düşük olan kumun yıkanarak kili giderilerek, sonrasında bu kumu bentonit ve su ilavesi yapılarak elde edilen kum çeşididir. Bu sentetik kalıp kumları, doğal kalıp kumları ile kıyaslandığında daha kırılğandırılar ancak refrakter özellikleri doğal kumlara nazaran daha iyidir. Bu özelliğinin yanı sıra kalıplama esnasında daha az bağlayıcı ve nem ihtiyacı vardır.

Sentetik kalıp kumun üstünlükleri şu şekildedir;

- Tane boyutu daha üniform

- Geçirgenlik özelliğinin yüksek olması
- Kalıbın daha iyi sıkıştırılabilmesi
- Temper suyuna daha gereksinim duyulması (ASM (american society of metals), handbook, 1988).

Doğal Kalıp Kumu:

Doğal kalıp kumları, çıkarıldıkları gibi doğal halde sahip oldukları kil miktarları ile kullanılmaktadır. Bu kumlar çıkarıldıktan sonra hiçbir ön işlem görmemektedir. Doğal kalıp kumları, nemi uzun süre bünyesinde koruyabilmektedir ancak doğal olarak oluşan nem yetmediği zaman kullanım aşamasında fazladan su ilavesi yapılması gerekmektedir (Esra T., 2016).

1.2.5.1.2. Kalıp kumu ilaveleri

Kömür Tozu İlavesi:

Kum kalıba döküm yönteminde, karbon içerikli kömür tozu yanma sonucunda kontrollü bir atmosfer oluşturmak için ilave edilmektedir. Kalıp kumuna ilave edilen kömür tozu yanarak döküm esnasında kalıp ve döküm parça arasında gaz film tabakası oluşturarak metalin hem oksitlere karşı korunması hem de üretilen parçanın düzgün bir yüzeye sahip olmasında yardımcı olmaktadır.

Odun Talaşı İlavesi:

Kum kalıba döküm yönteminde, odun talaşı ilavesi sonrasında döküm esnasında yanarak kalıp içerisinde parça ile kalıp arasında gaz filmi oluşturarak metalin kalıp yüzeyine yapışmasını engellemektedir. Diğer bir özelliklerinden biri ise kum özelliklerinden sıcak basma dayanımını azaltır ve kalıp bozma aşamasını kolaylık sağlamaktadır.

Tahıl Bazlı İlaveler:

Kum kalıba döküm yönteminde, tahıl bazlı ilaveler; mısır unu, dekstrin ve nişastalardır. Bu ilaveler kum hazırlama sırasında su ile birleştiğinde yapışkan özelliği göstermesinden dolayı bağlayıcılık özellikleri vardır. Bağlayıcılık özelliğinin yanı sıra kumun mukavemetini de arttırmaktadır. Tahıl ilavelerin olumsuz özellikleri ise kalıp kumun fazla sertleşmesinden dolayı kalıp bozma aşamasında zorluk yaşanmaktadır.

Demir Oksit İlaveleri:

Kum kalıba döküm yönteminde, demir oksit ilaveleri kumun sıcak mukavemetini arttırmak için kullanılmaktadır. Demir oksit ilavesi kalıp kumu hazırlanırken %0,25-1,60 arası değişmektedir.

1.2.5.1.3. Kum kalıp çeşitleri

Yaş Kum Kalıba Döküm Özellikleri:

Kum kalıba döküm yönteminin temelini yaş kum kalıplama yöntemi gelmektedir. Yaş kum kalıba döküm yöntemi kuru kum kalıplama yönteminden farklı bir yanı nem kullanılmasıdır. Yaş kum kalıplanın kullanılmasının ardından tekrar tekrar bileşenler ayarlanarak kullanılabilir. Bu özelliğinden dolayı yaş kum kalıplama yöntemi diğer yöntemlere göre ekonomik olarak daha uygundur.

Yaş kum kalıplamadan istenilen özellikler kalıplama aşamasında kalıplanan modelin şeklini alabilmesi, modelin kalıplama sonrasında modelin kolay ayrılması ve döküm esnasında metale karşı direnç göstermesi beklenmektedir.

Kuru Kum Kalıba Döküm Özellikleri:

Kum kalıba döküm yönteminde, kuru kum kalıba döküm yöntemi yaş kum kalıbın 150-350 ° C arası ısıtılarak nemin uzaklaştırılması sonucu elde edilmektedir. Isıtılma sonrası elde edilen kalıplar yaş kum kalıplara göre daha yüksek rekrafter ve yüksek mukavemet göstermektedir. Dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan biri nemin

uzaklaştırılması sırasında sıcaklığın yüksek olması durumunda bağlayıcıları olumsuz etkilediği için kalıp bozukluklarına sebep olmaktadır. Kuru kum kalıplamanın büyük avantajlarından biri ise kalıp içerisinde serbest nem olmamasıdır.

Nem oranının nerede hiç olmaması nedeni ile kum sıkıştırılabilme özelliğini arttırmasının yanı sıra gaz sakatlarında önlenmesinde büyük rol oynamaktadır.

Bu yöntemin en büyük dezavantajlarından biri kalıp içerisindeki nemin uzaklaştırılması için geçen süre ve enerjidir.

1.2.5.1.4. Kalıp kumunun özelliklerinin döküm parçasına etkileri

Kalıp kumundan beklenen ve kontrol edilen özellikler; döküm yapılacak olan kumun yaş mukavemeti, kuru mukavemeti, gaz geçirgenliği, kum tane inceliği ve dağılımı ve kil/nem oranlarıdır.

Kumun Yaş Mukavemeti:

Yaş mukavemet, kalıp kumun su ilavesi yapıp karıştırılma sonrası ölçülen mukavemettir. Yaş mukavemet, kalıbın hazırlanması ve döküme başlanması ve bitimine kadar kalıbın şeklini koruyabilmesi için gerekli olan mukavemettir. Yaş mukavemete etkisi olan etkenler; kumun tane büyüklüğü ve şekli, bağlayıcı miktarı ve cins, nem miktarı önemlidir (Esra T., 2016).

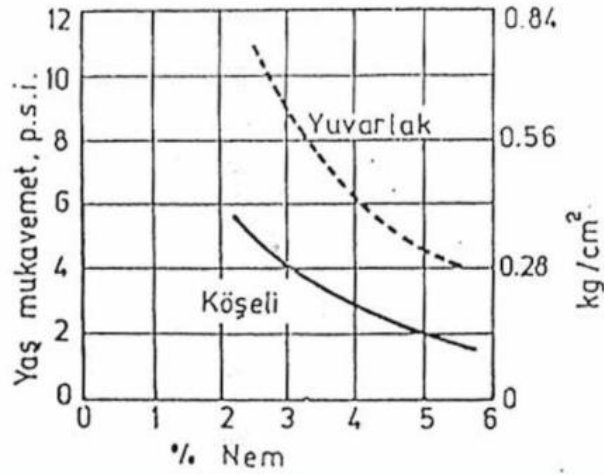
Kumun Tane Şekli:

Kum kalıba döküm yönteminde kullanılan kum, üretilen parçanın kalitesini etkilemektedir. Kumun iri taneli olması durumunda metalin aralara nüfus etmesinden dolayı parçada penetrasyonunu arttırdığı için döküm parçanın yüzey kalitesini düşürmektedir.

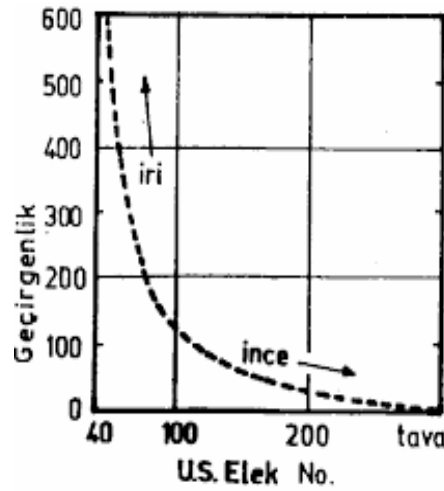
İnce taneli kum kullanılması durumunda ise hazırlanacak kum için bentonit ihtiyacını artırır ve gaz geçirgenliğini düşürdüğü için parçada gaz sakatları görülmesine sebep olacaktır (Savaş İ., 2012).

Tablo 1.1. Silis kumu, kuvarsında tane büyüklüğü ve etkisi (Savaş İ., 2012)

Tane incelik Nr AFS	50-80	İyi yüzey kalitesi, düşük bentonit miktarı
Ortalama tane büyüklüğü um	220-250	İyi yüzey kalitesi, düşük bentonit miktarı
İnce kısım miktarı -200 mesh %	Max. 2	Bentonit miktarının az olması
Kil miktarı -20 um %	Max. 0,5	Bentonit miktarının az olması
Elek üstü sayısı	%95 i 4 elek üzeri	Akıcılık ve genleşme hatalarına direnç
Özgül yüzey cm ² /gr	120/150	Bentonit miktarının az olması
Kuru gaz geçirgenliği	70/150	Gaz hatalarını özleme



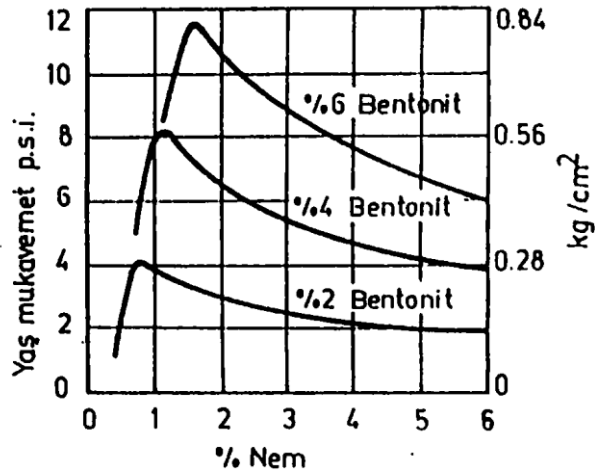
Şekil 1.9. Kalıp kumunda kullanılan kumun şeklinin nem miktarına etkisi



Şekil 1.10. Kumun AFS değerlerinin gaz geçirgenliğine etkisi

Bağlayıcılar:

Bağlayıcılar, döküm kumunun hazırlanması aşamasında kullanılacak olan kuma sonrasında ya da kumun içerisinde bulunan kil gibi doğal olarak bulunan kum tanelerin birbirine bağlanmasını sağlayarak kalıp kumuna dayanım sağlayan katkı maddeleridir. Kum hazırlanması sırasında bağlayıcı miktarının artması sonrasında yaş mukavemetinde artacaktır (Çavuşoğlu, E.N., 1981).



Şekil 1.11. Yaş basma mukavemeti için gereken nem ve bentonit miktarı

Nem Miktarı:

Döküm kumu, nem miktarı artması sonrasında önce yaş mukavemet artar ancak sonrasında sıcaklıkla birlikte düşmeye başlamaktadır.

Kuru Mukavemet:

Kalıbın döküme hazır hale gelene kadar geçen sürede kurutulan kalıbın şeklini koruyabilmesi için gerekli olan mukavemettir. Kalıp kumlarını etkileyen faktörler; tane boyutu, tane şekli, nem miktarı ve bağlayıcı cinsi ve miktarıdır.

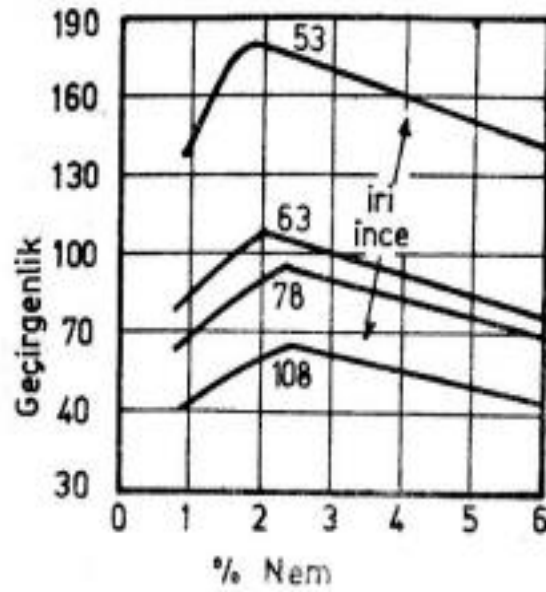
Sıcak Mukavemet:

Hazırlanan kum kalıbın, eritilen sıvı madenin kalıp içersine girip katılaşmasına kadar gecen sürede şeklini koruyabilme mukavemetidir. Sıcak mukavemete etki eden faktörler, kuru mukavemete etki eden faktörler ile aynıdır.

Gaz Geçirgenliği:

Hazırlanan kum kalıbın, döküm esnasında gaz, hava ve su buharının çıkışına imkân verme özelliğidir. Gaz geçirgenliği kum kalıbında kullanılan kumun tane aralığı ile doğru orantılı bir şekilde artış göstermektedir. Kum tane inceliği artması ile gaz geçirgenliği de doğru orantıda azalmaktadır.

Kumun tane şekli ise köşeli kuamların yuvarlar taneli kuamlara göre daha az temas yüzeyi olduğundan gaz geçirgenliği daha yüksektir. Kullanılan nemin düşük olması durumunda gaz geçirgenliğinin yüksek olmasının sebebi kum taneleri arasında olan nem miktarının az olmasından dolayıdır (Mukherjee, P.C., 1988).



Şekil 1.12. Tane inceliği ile gaz geçirgenliğinin değişimi.

BÖLÜM 2. DÖKME DEMİRLER

2.1. Dökme Demirler

Alaşım elementi olarak %2 den fazla karbon elementi bulunduran silisyum elementinin %1-%3 arasında ve bunların yanında fosfor ve kükürt içeren demir alaşımlarına dökme demir adı verilir. Dökme demirlere mekaniksel özelliklerini arttırmak için; krom, bakır, molibden ve nikel gibi alaşım elementleri eklenerek mukavemet, sertlik gibi özellikleri arttırmak mümkündür.

Dökme demirler, çelikler ile karşılaştırıldığında tokluk ve sünekliliği düşük olduğundan dolayı kullanım alanları sınırlıdır.

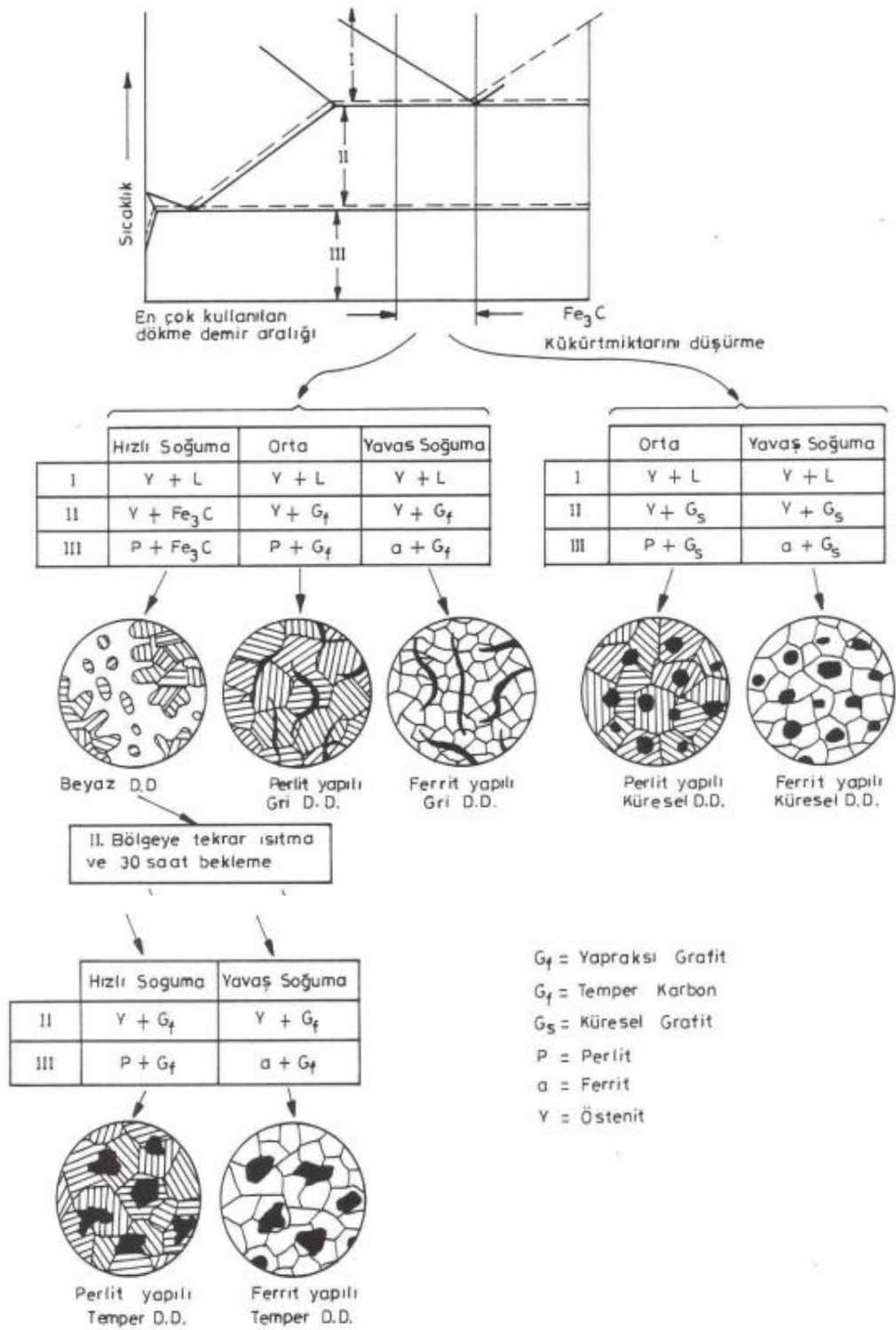
Dökme demirler, yapılarına göre mekaniksel özelliklerine göre 4 tipe ayrılmaktadır. Bunlar; gri dökme demir, temper dökme demir, küresel dökme demir ve beyaz dökme demir olarak ayrılmaktadır.

Tablo 2.1. Dökme Demir Sınıflarının Kimyasal Analizleri (%)

	Toplam (C)	Silisyum	Kükürt	Fosfor	Mangan	Demir
Beyaz D.D.	2,5-4,0	0,4-1,6	0,15	0,4	0,3-0,8	Kalan
Gri D.D.	2,0-4,0	En az 1,0	0,2	0,6	En çok 0,1	kalan
Temper D.D.	2,0-3,0	0,9-1,8	En çok 0,2	En çok 0,2	0,25-1,25	Kalan
Küresel D.D.	3,2-4,1	1,8- 2,8	En çok 0,03	En çok 0,1	En çok 0,8	Kalan

DIN 17006 standardına göre dökme demir türlerin gösterimi şu şekildedir;

- Dökme demirler: GG
- Gri dökme demirler: GGL
- Küresel dökme demirler: GGG



Şekil 2.1. Dökme demirlerde sıcaklık değişimlerinde bulunan mikro yapı fazları

2.1.1. Küresel grafitli dökme demir

Küresel grafitli dökme demirler, kimyasal analizi gri dökme demirlerle karşılaştırıldığında birbirine benzemesine rağmen mukavemet ve süneklilik özellikleri çeliklere benzemektedir. Küresel grafitli dökme demirlerin gri dökme demirlerin yapıları karşılaştırılma sonrasında gri dökme demirlerde olan yapraksı yapı yerine küreler görülmektedir. Bu yapı farklılığından dolayı parçanın mukavemeti, tokluğu ve sünekliliği artmaktadır.

Tablo 2.2. Küresel grafitli dökme demirlerin genel kimyasal analizi

Karbon(C)	Silisyum (Si)	Mangan (Mn)	Fosfor(P)	Kükürt(S)	Magnezyum (Mg)
3,00-4,00	1,80-3,00	0,1-0,9	0,10 max	0,02 max	0,030-0,080

Küresel grafitli dökme demir, nodular ve sfero dökme demir olarakta adlandırılmaktadır. Küresel grafitli dökme demir üretimi, sıvı halde bulunan metalin, magnezyum ile reaksiyona girmesi sonrasında elde edilir. Reaksiyon sonrası min. %0,030-%0,055 Mg olması gerekmektedir. Küreselleştirme işlemi farklı yöntemlerle ile yapılabilmektedir. Bu yöntemler;

- Açık pota yöntemi
- Sandviç yöntemi
- Daldırma yöntemi
- Devirmeli pota yöntemi
- Treatman yöntemi

Bu proseslerde ilave edilecek magnezyum oranı değişiklik göstermektedir.

2.1.1.1. Küresel grafitli dökme demirin özellikleri

Küresel grafitli dökme demirlerin, akma noktaları oldukça yüksel olduğundan dolayı ağır yük altında kalıcı deformasyon yaşamadığı için kullanılabilir. Dayanma noktaları (yorulma mukavemeti/çekme mukavemeti) dövme karbonlu çelikler ile karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu bilinmektedir. Yapısal olarak küresel

grafitlere sahip olan bu dökme demirler, ani sıcaklık değişimlerinde termal şoklara karşı ve korozyona karşı yüksek direnç göstermektedir. Sürtünme katsayıları düşük olmasından dolayı işlemeye uygun bir dökme demirdir. Küresel grafitli dökme demirlerin diğer dökme demirlerin özellikleri ile karşılaştırılması Tablo 2.3.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Küresel grafitli dökme demirin diğer dökme demirlere göre özelliklerin karşılaştırılması

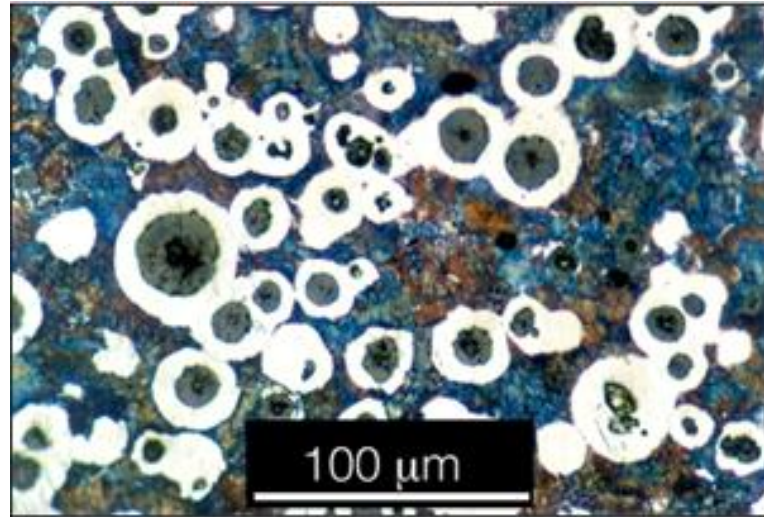
Özellik	Küresel grafitli dökme demir	Temper dökme demir	Gri dökme demir	Döküm çelik	Beyaz dökme demir	
Dökülebilirlik	1	2	1	4	3	
Talaşlı işlenebilirlik	2	2	1	3	5	
Titreşim sönümleme	2	2	1	4	4	
Yüzey sertleştirilebilme	1	1	1	3	5	
Elastisite modülü	1	2	3	1	5	
Darbe dayanımı	2	1	5	1	5	
Korozyon dayanımı	1	2	1	3	2	
Mukavemet/ağırlık	1	4	5	3	5	
Aşınma direnci	2	4	3	5	1	
Üretim maliyeti	2	3	1	4	3	
İYİ	1	2	3	4	5	KÖTÜ
TS EN 1563:2011(EN)	Çekme dayanımı kgf/mm ² (min)	Akma dayanımı kgf/mm ² (min)	Kopma uzama %(min.)	Sertlik HB	Doku	
GJS 450-15	42	28	12	140-201	Daha çok ferritik	
GJS 500- 7	50	35	7	170-241	Ferritik / Perlitik	
GJS 600-3	60	40	3	192- 269	Perlitik/ Ferritik	
GJS 700- 2	70	45	2	229-302	Daha çok perlitik	
GJS 800- 2	80	50	2	248-352	Perlitik	
GJS 350- 22 LT	35	22	22		Ferritik	
GJS 400- 18 LT	40	25	18		Ferritik	

Tablo 2.4. Küresel grafitli dökme demirlerin dünya standartlarında gösterimi

Eşdeğer standartlar								
Türkiye TS EN 1563:2011(EN)	GJS 350 - 22 LT	GJS 400 - 18 LT	GJS 450-15	GJS 500-7	GJS 600- 3	GJS 700- 2	GJS 800- 2	
GERMANY- DIN 1693	GGG35.3	GGG40.3	GGG40	GGG50	GGG60	GGG70	GGG80	
USA – ASTM A 536		60-40-18	65-45-12	80-55-06	100-70-03	120-90-2		
G. BRITAIN- BS 2789		Grade 370/17	Grade 420/ 12	Grade 500/7	Grade 600/3	Grade 700/2		
FRANCE- NF A32- 101		FGS 370- 17	FGS 400- 12	FGS 500- 7	FGS 600- 2	FGS 700-3		
ITALY – UNI 5007		GS 370- 17	GS 400- 12	GS 500- 7	GS 600- 2	GS 700- 2		
JAPAN- JIS G5502	FCD 350- 22L	FCD 400- 38L	FCD 400- 15	FCD 500- 7	FCD 600- 3	FCD 700- 2	FCD 800- 2	

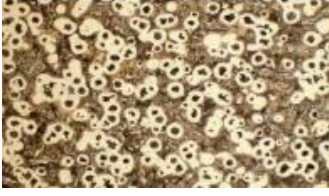
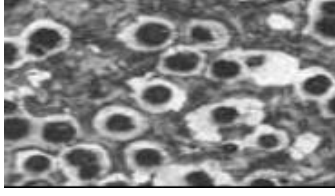
2.1.1.2. Mikro yapı

Küresel grafitli dökme demirin, ilk katılaşmada mikro yapısı incelendiğinde görülen mikro yapı östenit olarak görülmektedir. İncelenen yapıda görünen küresellik 100 küre / mm² olması gerekmektedir.



Şekil 2.2. Bu mikro yapı fotoğrafında perlit yeşil, ferrit beyaz, grafit küreleri ise siyah renkte görünmektedir.

Tablo 2.5. Sfero dökme demirlerin sahip olduğu matris yapıları

Standart	GGG40	GGG50	GGG60	GGG70
Matris	Ferritik	←—————→		Perlitik
Fiber	Küresel Grafit			
Mikro yapı				

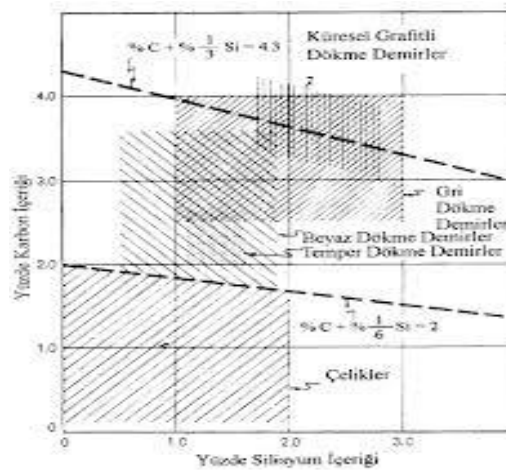
Görünen kürelerin fazla olması parça içerisinde oluşabilecek zararlı elementlerin oluşumunu engellemektedir. Küresellik oranının minimum %85 olması gerekmektedir.

2.1.2. Gri dökme demir

Gri dökme demirlerin, iç yapıları incelendiğinde grafitler yapraksı(lameller) bir biçimde görülmektedir. Görünen bu grafitler alaşımlı ya da alaşımsız olabilmektedir.

Tablo 2.6. Alaşımsız gri dökme demirlerin kimyasal analizinin gösterimi

%C	%Si	%Mn	%P	%S
2,5-4,0	1,0- 3,0	0,2- 1,0	0,002- 1,5	0,020- 0,025



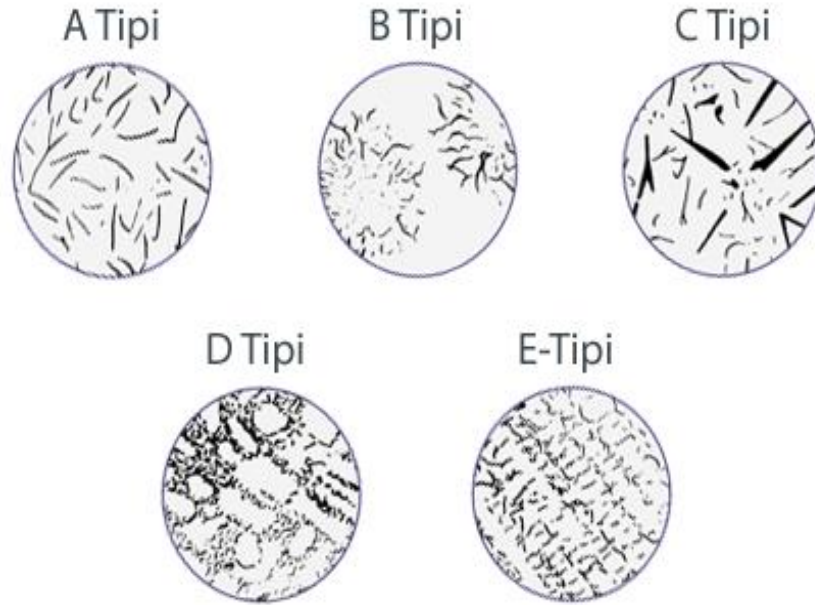
Şekil 2.3. Demirin içerisindeki alaşımlara göre C-Si aralıkları

Gri dökme demirlerin yapısal olarak incelendiğinde, iç yapılarını belirleyen grafit yapraklılar, görüntü olarak sivri uçlara sahiptirler. Bu sivri uçlar parçada herhangi bir darbe ile “çentik etkisi” yaratmaktadır. Bu sebepten dolayı çarpma tokluğu düşük olduğu için çarpmalı ve darbeleri uygulamalar için uygunsuzdur.

Yapraksı grafitlerinden dolayı ısıl iletkenliği yüksektir. Bu sebepten dolayı otomotiv sanayiinde, cam sanayiinde, motor blok üretimde ve inşaat sanayiinde yoğun olarak kullanılmaktadır.


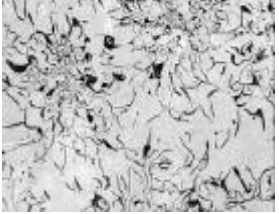
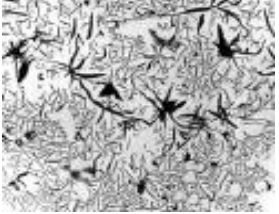
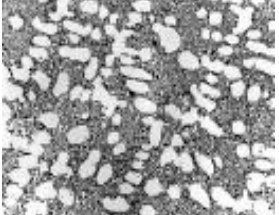
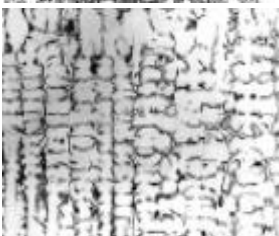
Gri dökme demirlerin diğer önemli özelliklerin arasında ise titreşimi sönümleme özelliği vardır. Bu özelliğinden dolayı çok fazla titreşimi maruz kalan dövme tezgâhları, hadde ayaklarında kullanılmaktadır.

Gri dökme demirler, iç yapılarındaki farklılıklara göre yapısal olarak ayrıldığı gibi bu yapıların mekaniksel özelliklere de etkisi olmaktadır. ASTM A247 standardına göre grafit dağılımlarına göre A’dan E’ye 5 farklı yapıda adlandırılmıştır (Umut A, 2014).



Şekil 2.4. ASTM A247 standardına göre gri dökme demirlerin yapılarının tipleri

Tablo 2.7. Gri dökme demir grafit tiplerinin gösterimi

A tipi		Üniform dağılım, gelişimi güzel yönelme	A tipi yapraksı grafit türünde serbest dağılıma sahiptir. Bu yapı talaşlı imalat için işlenebilir özelliği en yüksek olan grafit türüdür.
B tipi		Rozet şekilli, gelişimi güzel yönelme	B tipi çiçeksi yapıya sahip olan grafit türleridir. Her bir çiçeksi grafit topluluğu ötektik noktaya aittir.
C tipi		Üst üste eklenmiş, tabaka boyutu gelişimi güzel yönelme	C tipi yapraksı grafitte sahip olan bu yapı rastgele dağılmış kisk grafitlere sahiptir.
D tipi		Dentritlerarası segregasyon, gelişimi güzel yönelme	D tipi yapraksı grafitlere sahip olan bu yapı türü dallanmalar arasında oluşan birikimlerini sergilemektedir.
E tipi		Dentritlerarası segregasyon, tercihli yönelme	E tipi grafit türüne sahip bu yapı zorunlu durumda dizilim gösterilmiş grafitleri göstermektedir

Gri dökme demirlerin aşınma ve sürtünme dirençlerinin yüksek olması sayesinde piston, dişli çarkları, krank milleri, haddeme merdaneleri gibi malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır. Bu özelliğiyle birlikte soğuma sürelerine bağlı olarak oluşan grafit türleri çentik etkisi oluşturabilecek yapılar olmaktadır bundan dolayı parçada işlenebilirliği zor olan bölgelere sahip olabilmektedir (Bünyamin K., 2019).

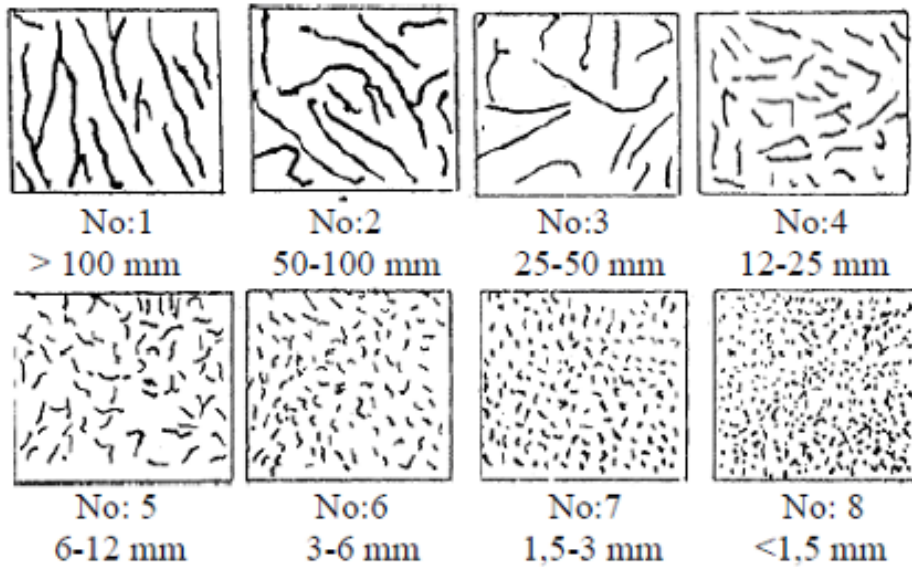
Tablo 2.8. Gri dökme demirlerin sahip olduğu matris yapıları

Standart	GG20	GG25	GG30
Fiber	Lamel Grafit		
Mikro yapı			

Gri dökme demirler soğuma eğrisinde ötektik bileşime yakın alaşımlar olduğu için akışkanlıkları oldukça iyidir. Akışkanlık özelliğinden dolayı ince kesitli parçalar üretmek mümkündür. Gri dökme demirlerin mekanik özelliklerinden basma kuvveti çekme mukavemetinin 3-5 katı kadardır. Gri dökme demirlerin yüksek basma özelliği en önemli özellikler arasındadır. Gri dökme demirlerde, çekme dayanımı özelliği sertlik ile paralel olarak bağlantılıdır. Bu bağlantıyı şu ifade ile göstermek mümkündür (Erdoğan T., 2013);

$$\text{Çekme Dayanımı (N/mm}^2\text{)} = \text{Brinell Sertlik Değeri (HB)} \times K$$

Burada K = 1,1 ile 1,5 arasında değişmektedir.



Şekil 2.5. Gri dökme demirlerin lamel boylarının ASTM A247 standardına göre gösterimi

2.1.2.1. Gri dökme demirde bulunan alaşım elementleri

Gri dökme demirleri üretebilmek için demir ve karbon elementinin alaşımlandırılması ile elde edilebilmektedir. Ancak sanayii de kullanılan demirler için farklı özellikler istendiği için farklı alaşım elementleri kullanılarak üretilen dökme demirin istenilen mekaniksel özelliklere sahip olması sağlanmıştır (Cevher, Ö., 2006).

Silisyum (Si): silisyum elementi, eritilmiş metalin akışkanlığını arttırdığı gibi karbon eşdeğerinde önemli rol aldığı için katılaşma süresini de etkilemektedir.

Kükürt (S): kükürt elementi, silisyumdan daha fazla karbür yapıcı etkiye sahiptir. Dökme demirlerde %0,06- %0,18 arasında olması gerekmektedir. Fazla olması durumunda demir ile bileşik (FeS) oluşturarak dökme demiri sert ve kırılkan olmayı tetiklemektedir.

Mangan (Mn): Mangan elementi, oldukça kuvvetli östenit yapıcı özelliğe sahiptir. Mangan elementi kükürtün olumsuz etkilerini dengelemesi amacı ile kullanılmaktadır. Ayrıcı fazla olması durumunda karbür miktarında artış görülmektedir.

Fosfor(P): Fosfor elementti sıvı metalin akışkanlığını arttırdığı gibi katılaşma aralığında genişletmektedir. Fosfor elementinin fazla konulması durumunda ise demir ile bileşik (Fe₃P) oluşturmaktadır. Bu yapı ise östenit ve sementit ile üçlü faz oluşturarak kırılkan yapıya sahip olan steadit denilen faz ortaya çıkarmaktadır.

Nikel (Ni): Nikel elementi, östenit yapıcı olduğu gibi grafit inceltici etkiye sahiptir. Nikel elementi dökme demirin tokluk özelliğini artırır ve farklı kesit kalınlıklarına sahip bölgelerin sertlik farklılıklarını da ortadan kaldırmaktadır. (Koroğlu, M., 1989)

Krom (Cr): Krom elementi, dökme demirde az miktarda eklendiğinde bile karbür yapıcı özelliğinden dolayı çil oluşumunu tetikleyecek etkiye sahiptir.

Bakır (Cu): Eritilen metale %0,5--%2,5 oranında eklenen bakır elementi, çil oluşumunu azalttığı gibi grafit yapısını inceltir ve metalin akışkanlığını arttırmaktadır. Molibden (Mo): Molibden elementinin karbür yapıcı özelliğinin yanı sıra grafit yapısını ve perlitik yapıyı inceltici etkiye sahiptir. Genellikle sertliğin artırılması için kullanılmaktadır.

Vanadyum(V): karbür yapıcı özelliği yüksek olan bu elementi, sertliği ve aşınma direncini arttırmak amacı ile dökme demirlere %0,15- %0,5 oranında eklenebilmektedir (Hossain, A., 1989).

Tablo 2.9. Dökme demirlerde kullanılan alaşım elementlerinin geri dökme demirlerin yapısına etkisi

Grafitleştirici etkisi	Karbürleştirici etkisi	%bileşik karbona etkisi	Perlitik dökme demirlerde kullanılan %	Metal matriksi ile perlit ve ferrite etkisi	Grafit yapısına etkisi
Grafitleşmeyi azaltanlar					
Krom	Kuvvetli karbür yapıcı	Arttırır	0,15-1,00		Nispeten inceltir
Vanadyum	Kuvvetli karbür yapıcı	Arttırır	0,15-0,50	Perliti inceltir ve sertleştirir, ferriti yok eder	İnceltir
Mangan	Karbür yapıcı	Arttırır	0,3-1,25		Nispeten inceltir
Molibden	Karbür yapıcı	Arttırır	0,3-1,00	Perliti inceltir, daha yüksek oranlarda iğnesel ve beynitik yapı oluşturur	İnceltir
Grafitleşmeyi arttıran					
Silisyum	Kuvvetli grafit yapıcı	Azaltır		Malzemeyi yumuşatır, ferrit oluşturur	İrileştirir
Nikel	Grafit yapıcı		0,10-3,00	Perliti azda olsa inceltir, sertlik kazandırır	Nispeten inceltir

Tablo 2.9. (Devamı)

Bakır	Grafit yapıcı	0,25-2,00		Etkisi yoktur
Grafitleşmeyi iki yönlü etki				
Alüminyum	Az miktarda %0,50 grafit yapıcı	Azaltır	Ferrit oluşturur, perlitin stabilitesini azaltır	Birçok etkene bağlı kompleks
Alüminyum	%8'den fazla Al'la dökme demirler beyazdır ve ısıl işlemde karbürler parçalanmaz	Arttırır	Matriksler karbür ve perlitten oluşur	Stabl beyaz dökme demir oluşur
Titanyum	Grafit haline dönüşmeyen çok stabl TiC oluşturur	Arttırır		Grafit azaltır
Titanyum	%0,25 den az miktarda grafit yapıcı	Azaltır	Ferriti oluşturur	Grafit lamellerini inceltir.

Tablo 2.10. TS EN 1561 numaralı standarda göre özellikleri ve dünya standartlarında gösterimi (Umut A, 2014)

TS EN 1561 Numaralı Standart özellikleri					
	DDL15	DDL20	DDL25	DDL30	DDL35
Çekme mukavemeti (N/mm ²)(min)	150	200	250	300	350
Tipik özellikler					
Sertlik HB	160-190	170-210	180-250	200-240	210- 250
Mikro yapı	Ferrit+Perlit	Perlit+ Ferrit	Perlit(min %90)	Perlit (%100)	Perlit(ince)
Kimyasal kompozisyon	C: 3,4-3,6 Si:2,3- 2,5 Mn:0,5-0,8 S: 0,12 max P:0,5 max	C: 3,2-3,4 Si:2,1- 2,3 Mn:0,5-0,8 S: 0,12 max P:0,4 max	C: 3,0-3,25 Si:1,85- 2,1 Mn:0,4-0,7 S: 0,12 max P:0,25 max	C: 2,95-3,1 Si:1,7- 2,0 Mn:0,4-0,7 S: 0,1 max P:0,2 max	C: 2,7-3,0 Si:1,7- 2,0 Mn:0,6-0,8 S: 0,10 max P:0,2 max
Eşdeğer standart					
Türkiye TS EN 1361	DDL15	DDL20	DDL25	DDL30	DDL35
EU EN 1561	GJL 150	GJL 200	GJL 250	GJL 300	GJL 350
Germany DIN 1691	GG15	GG20	GG25	GG30	GG35
USA ASTM A 4876	Class 20 B	Class 25 B	Class 35 B	Class 50 B	Class 55 B
G.BRITAIN BS 1452	Grade 150	Grade 200	Grade 250	Grade 300	Grade 350
FRANCE NF A32 101	Ft 15 D	Ft 20 D	Ft 25 D	Ft 30 D	Ft 35 D
JAPAN JIS G 5501	FC 150	FC 200	FC 250	FC 300	FC 350

2.2. Motor Blok Malzeme Seçimi

Motor blok üretimi için gerekli olan bazı zorunlu gereksinimler vardır. Aşınmaya karşı direnci ve kullanım ömrünün uzun olması gerekmektedir. Motor bloğunda yanma gerçekleştiğinde oluşacak olan basınca yüksek dayanıklı olması gerekmektedir. Bu gereksinimlerin yanı sıra blok yüksek sıcaklıklara ve titreşime dayanıklı olması gerekmektedir. Gri dökme demir, motor blok üretiminde kullanılmakta olan ilk ve en yaygın olan malzemedir. Gri dökme demirler, iyi bir titreşim sönümlenme özelliğine sahip, aşınma dirençleri ve termal dirence olan mukavemet özellikleri yüksektir. Bu özelliklerinin yanı sıra maliyet olarak düşüktür ve iyi bir işlenebilir özelliğine sahiptirler (Staudt W., 1995).

Tablo 2.11. Gri dökme demirin özelliklerin motor blok üzerinde mekaniksel özellikleri (Bayraktar B., Çetin U., Ertuğrul E., 2004).

Özellik	Yoğunluk (gr/cm ³)	Çekme dayanımı (MPa)	Young Modülü (GPa)	Yorulma direnci (MPa)	Isı iletkenliği (W/(mK))	Sertlik (HB)	Termal ergime noktası (°C)
Gri dökme demir	7,15	250	105	110	48	179- 202	1150- 1250

2.3. Motor Blok Malzeme Mekanik Testleri

2.3.1. Sertlik testi

Brinell sertlik ölçme yöntemi, çekme gerilimi 150kg/ mm² den az olan malzemelerde kullanılmaktadır. Bu yöntemde değişik çaplı bilye çapları kullanılmaktadır. Bilye çapları sertlik bakılacak olan parçanın malzemesine göre seçilmektedir.

Brinell sertlik ölçmede uygulanan (P) ağırlığını, küresel çelik bilyenin batan kısmının alanına (A) oranlığımızda (HB) sertliğini vermektedir.

$$HB = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

İz alanı, bilye çapı (D) ve iz çapı (d) cinsinden yazıldığında, Bilye iz alanı;

$$A = \frac{\pi \cdot d}{2} \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right) \text{ mm}^2 \quad (2.2)$$

Alan formülünü ilk formülde yerine koyduğumuzda,

$$HB = \frac{2P}{\pi \cdot d(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \text{ kg/ mm}^2 \quad (2.3)$$

HB: Brinell sertlik derecesi, kg/ milimetrekare

P : Uygulanan ağırlık(yük), kg

A : Bilyenin batan kısmın yüzey alanı, (milimetrekare)

D : Bilyenin parça üzerine yaptığı iz çapı, mm

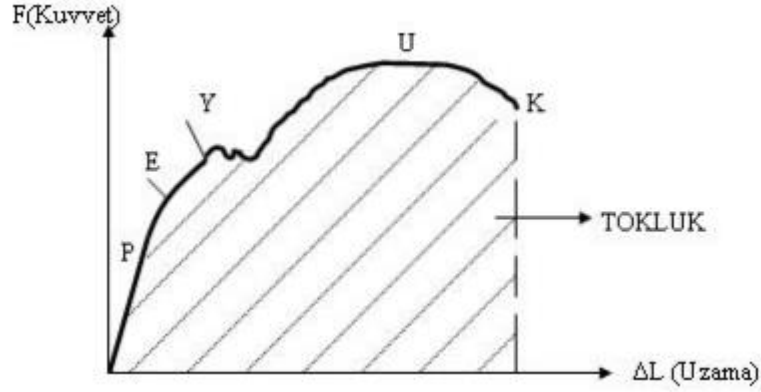
$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.4)$$

HB: brinell sertliği (kg/mm²)

2.3.2. Çekme testi

Çekme deneyinin amacı, malzemelerin statik yük altında elastik ve plastik davranışlarını belirlemektir. Bu testin yapılması için standartlara göre çekme numunesi hazırlanmasının ardından çekme cihazına bağlanarak eksenel ve değişken kuvvetler uygulanır.

Çekme cihazı, birbirine göre aşağı yukarı hareket edebilen, deney parçasının bağlandığı iki çene ve bunlara hareket veya kuvvet veren, bu iki büyüklüğü ölçen ünitelerden oluşur.

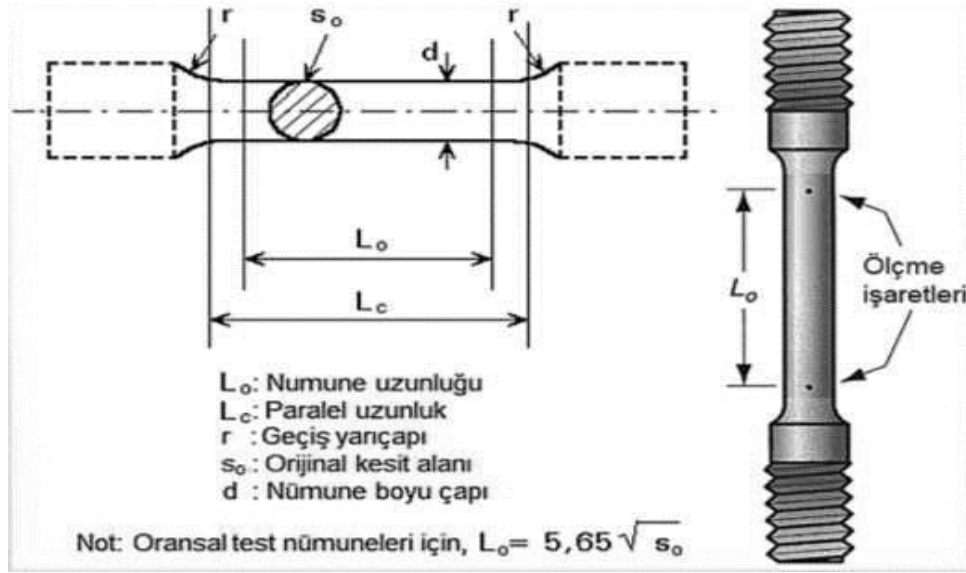


Şekil 2.6. Çekme testi grafiği

Küçük kuvvet seviyelerinde uzama miktarı ile doğru orantılıdır. Malzeme elastik davranış içindedir. Kuvvet kaldırılınca uzama sıfırlanır. Bu karakter “P” noktasına kadar devam eder, orantı limiti P den sonra lineer fonksiyon eğimini değiştirir. Ancak elastik davranış devam eder. Elastik davranış E “Elastik Limiti” noktasında sona erer. E den sonra kalıcı; yani plastik deformasyonlar başlar. Kuvvet azaltıldığında lineer fonksiyona paralel bir yol izler. Ancak kuvvetin sıfır olduğu yerde deformasyon artık sıfır olmaz, belirli bir plastik deformasyon kalır.

Bu malzeme üzerindeki kuvvet daha da arttırılarak U noktasına ulaşılır. U noktası “maksimum stres” noktası olup, burada malzeme kesitinde lokal daralmalar başlar. Buna malzemenin “boyun vermesi” denir. Boyun verme de malzemenin çalışma sertleşmesine uğramasına sebep olur ve malzeme daha fazla gerilimler alabilir; ancak boyun bölgesinde kesit alanı daraldığından taşıdığı net kuvvet azalır. Numune genellikle kontrolsüz bir şekilde K noktasına ilerler ve orada kopar. Kuvvet-uzama eğrisinin altında kalan alan o numuneyi bozunuma uğratmak için gereken enerjiyi eşit olup; tokluk adı verilir. Kuvvet-uzama eğrisi daha sonra yeniden ölçeklendirilir. Uzamalar malzemenin ilk uzunluğuna bölünerek birim-uzamaya çevrilir. Aynı şekilde kuvvet numunenin ilk kesit alanına bölünerek “gerilim” hesaplanır ve dikey eksen

tekrar ölçeklendirilir. Malzeme kopana kadar önemli miktarda deformasyona uğradıysa “esnek”, az deforme olmuşsa “gevrek” yapıya sahiptir.



Şekil 2.7. Çekme çubuğu teknik resim

2.3.3. Kalıntı stres “strain gauge” testi

Gerinim ölçer, direnci uygulanan kuvvete göre değişen bir sensördür; Kuvveti, basıncı, gerilimi, ağırlığı vb., daha sonra ölçülebilen elektrik direncindeki bir değişikliğe dönüştürür. Duran bir cisme dış kuvvetler uygulandığında, sonuç stres ve gerinimdir. Stres, nesnenin iç direnç kuvvetleri olarak tanımlanır ve gerinim, meydana gelen yer değiştirme ve deformasyon olarak tanımlanır.

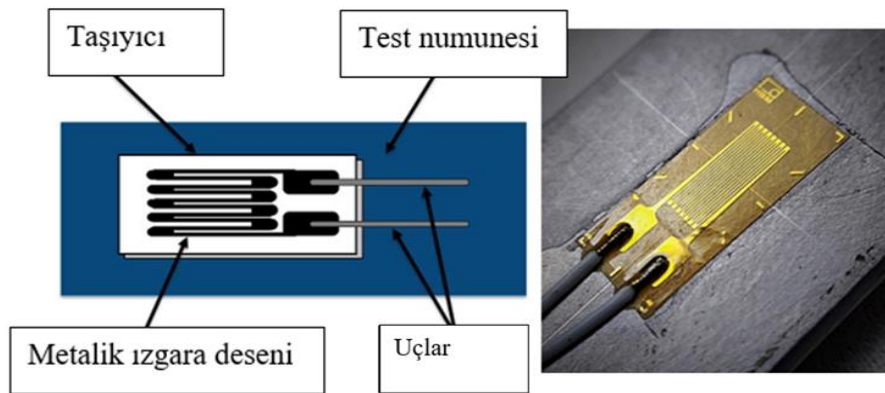


Şekil 2.8. Yaprak tipi gerinim ölçer gösterilmektedir.

Gerinim ölçer, mekanik büyüklüklerin ölçümüne uygulanan elektriksel ölçüm tekniğinin en önemli sensörlerinden biridir. Adından da anlaşılacağı gibi, gerinim ölçümü için kullanılırlar. Teknik bir terim olarak "gerinim", pozitif veya negatif bir işaret ile ayırt edilen çekme ve basma stresinden oluşur. Bu nedenle, gerinim ölçerler, daralmanın yanı sıra genişlemeyi de almak için kullanılabilir.

Bir cismin gerginliğine her zaman bir dış etki veya bir iç etki neden olur. Stres, kuvvetler, basınçlar, momentler, ısı, malzemenin yapısal değişiklikleri ve benzerlerinden kaynaklanabilir. Belirli koşullar yerine getirilirse, etkileyen miktarın miktarı veya değeri, ölçülen gerinim değerinden türetilir. Deneysel stres analizinde bu özellik yaygın olarak kullanılmaktadır. Deneysel stres analizi, malzemedeki stresi belirtmek ve ayrıca güvenlik ve dayanıklılığını tahmin etmek için bir numunenin veya yapısal parçanın yüzeyinde ölçülen gerinim değerlerini kullanır. Momentler, basınçlar, ivmeler, yer değiştirmeler, titreşimler ve diğerleri gibi kuvvetlerin veya diğer türetilmiş büyüklüklerin ölçümü için özel dönüştürücüler tasarlanabilir. Dönüştürücü genellikle, kendisine bağlı gerinim ölçerlere sahip basınca duyarlı bir diyafram içerir.

Gerinim, bir nesnenin uzunluğundaki değişimin orijinal uzunluğuna oranı olan boyutsuz bir ölçümdür. Bu nedenle, pozitif bir gerinim, bir malzemenin stresinin sonucudur ve negatif bir gerinim, sıkıştırmanın sonucudur. Stres, uygulanan kuvvetin bir cismin ilk kesit alanına veya bir cismin iç direnç kapasitesine bölünmesiyle elde edilen bir ölçümdür.



Şekil 2.9. Sol: Gerinim ölçer bileşimi Sağ: Gerinim ölçer örneği

Her bir gerinim ölçer, yukarıdaki Şekil 2.9.'da gösterildiği gibi esnek bir alt tabaka ile yalıtılmış bir metal folyodan oluşur. İki uç, göstergeden bir akım geçirir ve ölçülen nesnenin yüzeyi gerildiğinde veya büzüldüğünde, dirençteki değişiklik ölçülür. Dirençteki bu değişiklik, aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi, test edilen nesnenin yüzeyindeki uzunluktaki değişiklikle orantılıdır. Gerinim ölçerler, ince bir iletken folyo boyunca elektrik direncindeki değişikliği ölçerek çalışır. Gösterge faktörü (veya "gösterge faktörü") gerinim ölçerin (genellikle 2) hassasiyetidir. Dirençteki değişikliği uzunluktaki değişikliğe dönüştürür.

$$\frac{\Delta R}{R} = K\varepsilon \quad (2.5)$$

$R(\Omega)$: direnç

$\Delta R(\Omega)$: değişen direnç

ε : gerginlik

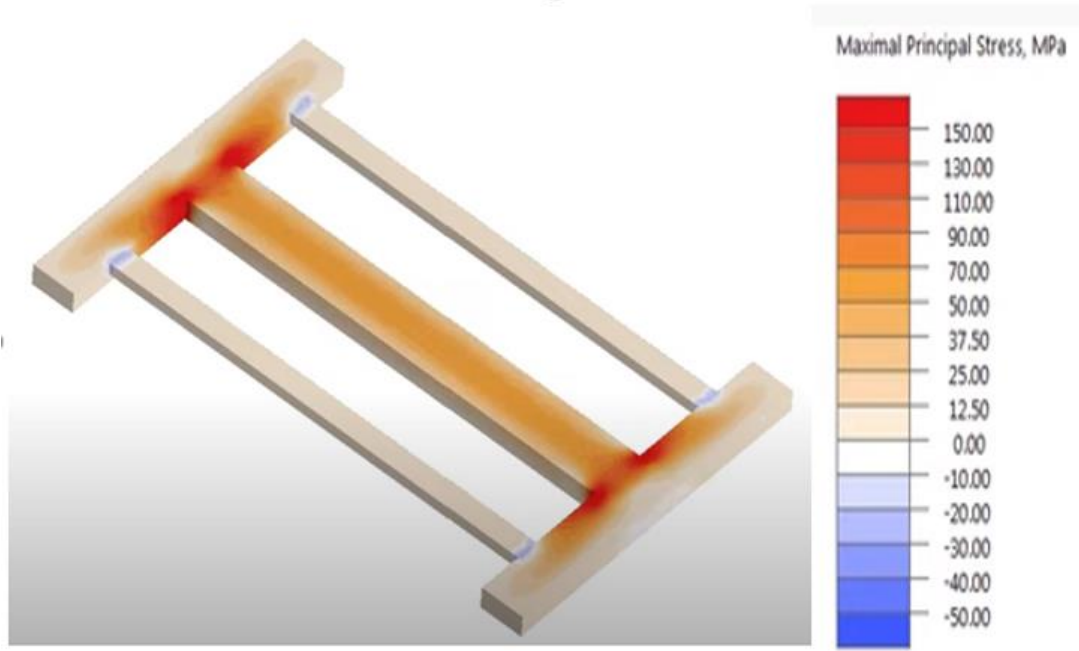
K: ölçü faktörü

Gerinim ölçer eğilme, esneme veya bükülmeye maruz kaldığında, metal folyo boyunca dirençteki değişiklik bir Wheatstone köprüsü ile ölçülür. Ölçülen dirençteki değişiklik, nesnenin yaşadığı zorlanma ile orantılıdır. Bir kullanıcı, malzemenin elastiklik modülünü bilerek Hooke yasasını (aşağıda gösterilen denklem) kullanarak bir nesnenin maruz kaldığı stresi belirleyebilir.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.6)$$

Denklem 2.6. Hooke yasası denklemi

Program yardımı ile parçada oluşabilecek kalıntı stres analizi yapılabilmektedir. Simülasyon sonrasında çıkan değerler aşağıdaki yorumlanabilmektedir.



Şekil 2.10. Farklı Kesitlerde Stres Gösterimi

Farklı kalınlıklardaki kesitlerden oluşan bir döküm parça katılaşma esnasında da buna bağlı değişen soğuma hızlarına sahip olacaktır.

- Hızlı soğuyarak erken katılaşan yüzeylerde “basma” stresleri (- yönde)
- Hızlı soğuyan kesitlerin hacimsel küçülme etkisi altında (arasında) kalan, yavaş soğuyan kalın iç kesitlerde “çekme” stresleri oluşmaktadır. (+ yönde)
- Denge durumunda döküm parçada hasar oluşmaz, ancak işleme ile yüzeydeki basma stresi kaldırıldığında oluşmuş çekme stresi parçanın mukavemetinden yüksek ise çatlak oluşturur.

BÖLÜM 3. MOTOR BLOK TASARIMI VE SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

3.1. Döküm Takımları Tasarımı

Kum kalıba döküm yöntemi ile üretilecek olan parça aşağıdaki işlemlerden geçmektedir.

- Üretimi yapılacak olan parçanın teknik resmi olması gerekmektedir. Eğer yok ise çizimi yapılmalıdır.
- Parçanın teknik resmine göre model yapılmalıdır.
- Parçanın sahip olduğu tüm tasarım elde edilmemesi durumunda maça kullanımı gerekmektedir.
- Maça üretimi için uygun ölçülere sahip maça sandığı yapılması gerekmektedir.
- Dökümü yapılacak olan parça için uygun erimiş metal, kalıba dökümü yapılır.
- Dökülen parça kalıp içerisinde soğuyarak katılaştıran metal, kalıbın bozulması ile iç ve dış yüzeyleri kumlama makinesi ile temizlenir.
- Temizleme işlemi yapılan parçanın besleyici, yolluk ve çapak temizliği yapılır yüzey temizliğine göre tekrardan kumlama yapılabilir.
- Temizliği yapılan parça koruyucu boya ile boyanarak talaşlı imalat yapılacak olan yere sevk edilir.
- Model ve sandık tasarımı, bu maddelerin birçoğunda önemli rol almaktadır.
- Döküm takımları imalatına başlamadan önce bazı ön hazırlıklar yapılması gerekmektedir.
- Model yapımında kullanılacak olan malzeme seçimi;
- Üretimi yapılacak olan parça için model yapımı parçanın aciliyet ve yıllık sipariş adetine göre seçimi yapılır.

Tablo 3.1. Modellerin kullanım özelliklerin karşılaştırılması

Özellik	Ahşap	Alüminyum	Çelik	Plastik	D.D.
İşlenebilme	Çok iyi	İyi	Orta	İyi	İyi
Aşınmaya dayanıklılık	Zayıf	İyi	Çok iyi	Orta	Çok iyi
Dayanım	Orta	İyi	Çok iyi	İyi	İyi
Ağırlık *	Çok iyi	İyi	Zayıf	İyi	İyi
Tamir edebilme	Çok iyi	Orta	İyi	İyi	İyi
Korozyon dayanım **	Çok iyi	Çok iyi	Zayıf	Çok iyi	İyi
Şişme	Zayıf	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi

*kalıpcının yorulması açısından
**su içeren ortamlarda

Plastik esaslı modeller: kullanım ömürleri; 10.000- 20.000 basımdır.

Hafif metal modeller: kullanım ömürleri; 5.000- 10.000 basımdır.

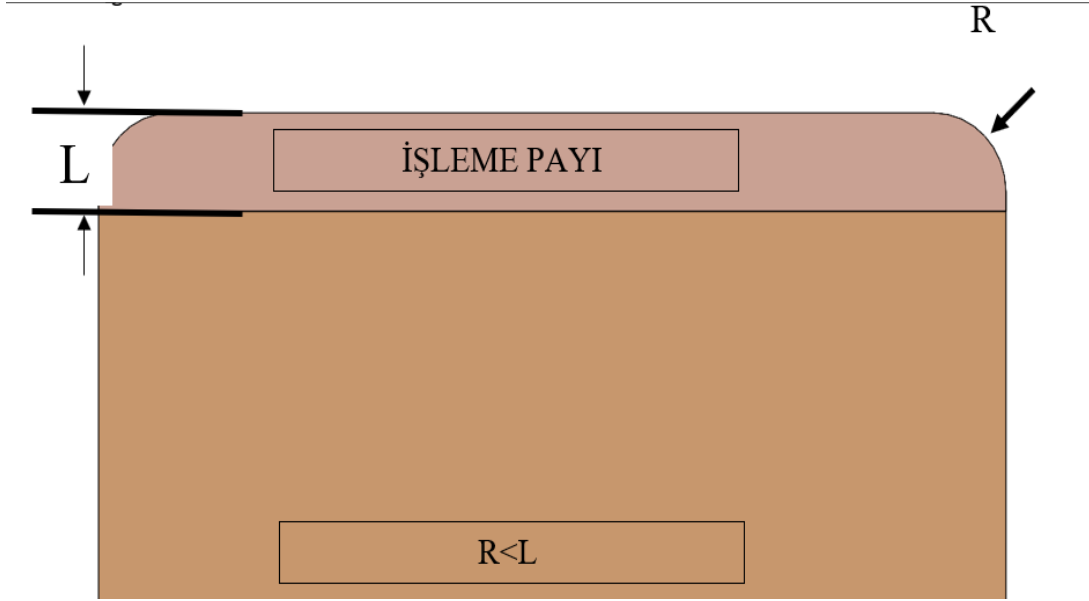
Metal (pik, sfero, çelik) modeller;

Sipariş adeti yüksek olan ve seri üretimi yapılacak olan parçaların modelleri metalden yapılması gerekmektedir. Metal model yapımı, parçanın teknik resmine göre işleme tezgahlarında kütük halde olan metal parçanın işlenerek model hazırlanabilir yada taslak olan modelden döküm yapılarak çift işleme payı verilerek işleme tezgahlarında daha az talaş ile üretimi yapılabilmektedir.

Kullanım ömürleri, 50.000- 100.000 basımdır.

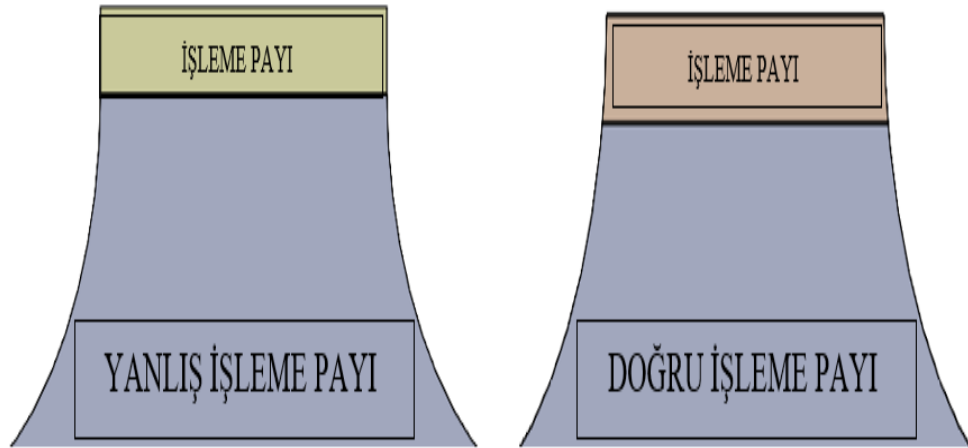
İşleme paylarının oluşturulması

- Model tasarımı yapılırken 3D datadan işleme payların olup olmadığına eğer var ise yeterli olup olmadığına bakılmaktadır.
- İşleme paylarını kontrol edilmesinden sonra kalıplanabilme özelliğine bakılmaktadır. Akdi belirtilmedikçe işleme payları 3- 4 mm verilmektedir.
- İşleme payı verilen verilen bölgelerdeki radyus işleme payından daha küçük olması gerekmektedir.



Şekil 3.1. İşleme payı ve radyus açıları

- İşleme payları verilirken parçanın datasına sadık kalınmalıdır.
- İşleme payları normalden çok fazla verilmesi gerekiyorsa işlenebilirliği ve maliyeti açısından firmaya sorulmalıdır.



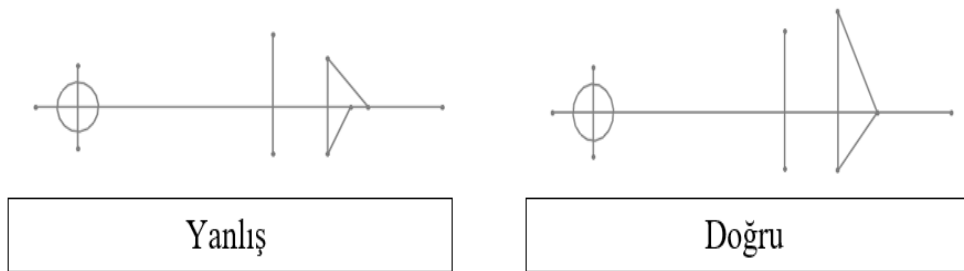
Şekil 3.2. İşleme paylarının gösterimi

Tablo 3.2. İşleme payları tablosu

Boyut (mm)		<300	300-600
Geometri			
Şekli			
Silindirik	Dış yüzey	2.5	3
Şekil	İç yüzey	3	5
Uzun,	Üst yüzey	4-5	5-7
Düz yüzeyler	Yan yüzey	3.5	5-6
	Alt yüzey	2.5-4	4-5

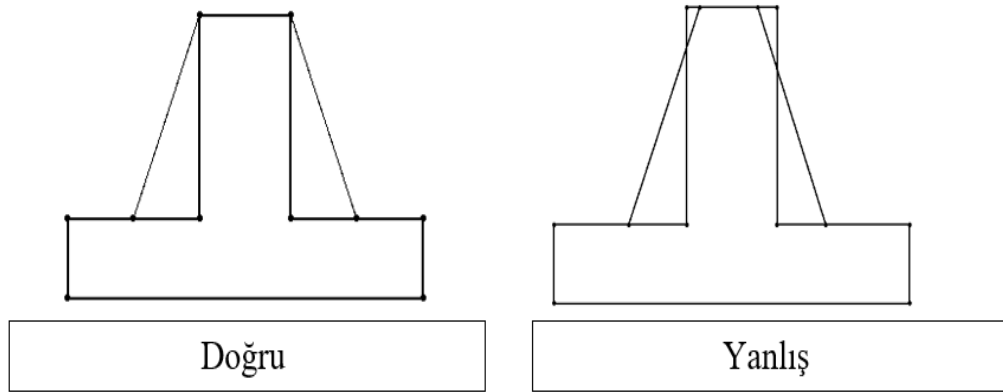
Parçadan sıyırma açılarının oluşturulması

- 3D veri sıyırma açıları göz önüne alınarak kontrol edilmektedir. Sıyırma açısı olmayan veriler 2D resim ve spec değerleri içerisinde sıyırma açıları verilmektedir.
- Sıyırma açıları verilirken parça figürleri dikkate alınmalıdır. Dar bir duvar aralığında yüzey açısı yüksek vermek gerekir. Parça boyu yükseldikçe sıyırma açısı azaltılır.
- Parçaya sıyırma açısı figürün yüksek tarafından başlangıç olarak verilir daha kısa olan figür açısı diğerine göre bitiminde kesiştirilir. Önce büyük olan tarafa bir açı verilir. Küçük olan kısma açı verilmez, büyük olan kısmın bittiği yere kesiştirilir.



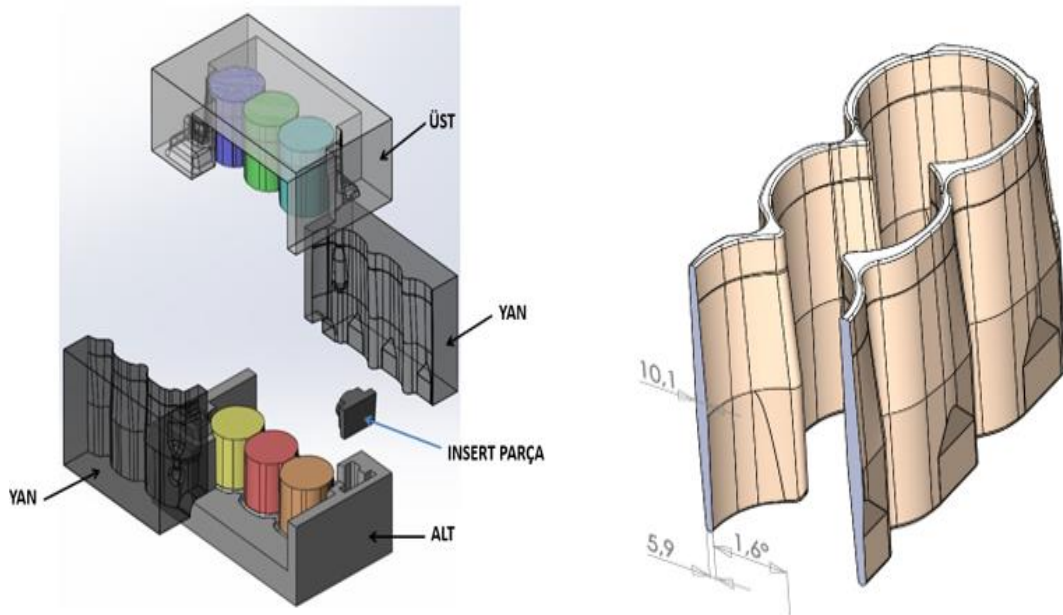
Şekil 3.3. Çıkma açısı gösterimi

- Sıyırma açısı nominal değer başlangıcından itibaren verilir yani açı ile model değeri artar. Hiçbir zaman figür yüzeyinden alınarak sıyırma açısı verilmemelidir.

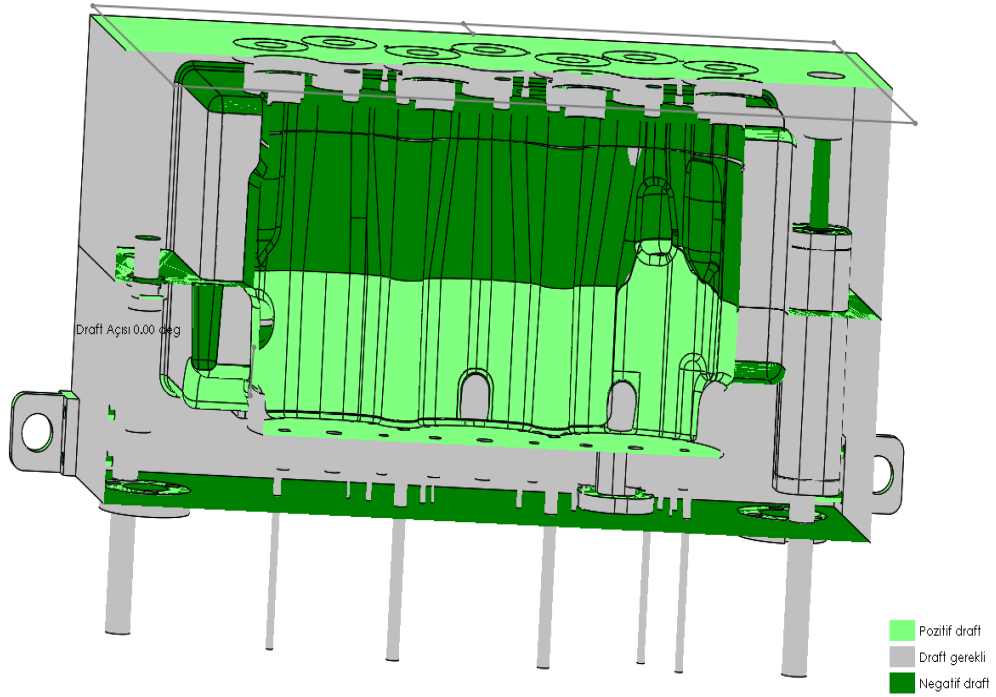


Şekil 3.4. Nominal değere göre çıkma açısı

- Parçada ayırma yüzeylerinin oluşturulması
- Maçalar ve model içi benzer ayırma yüzeyleri kullanılır.
- Ayırma yüzeyi mümkün olduğunca basit, parçanın referans bölgeleri ve özel olarak belirtilen bölgeler dikkate alınır.
- Referans, dayama ve özel belirtilen yerlerde minimum açı $0,5^\circ$ olarak kullanılır.

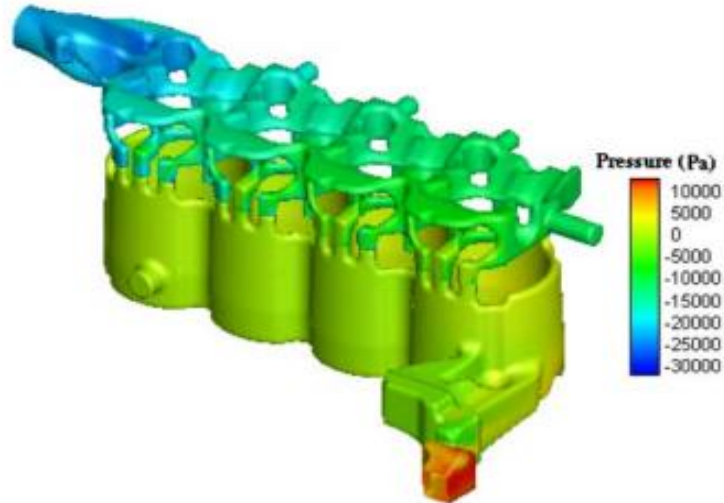


Şekil 3.5. Motor blok su ceketı maçasının tasarımında kullanılan çıkma açısının gösterimi

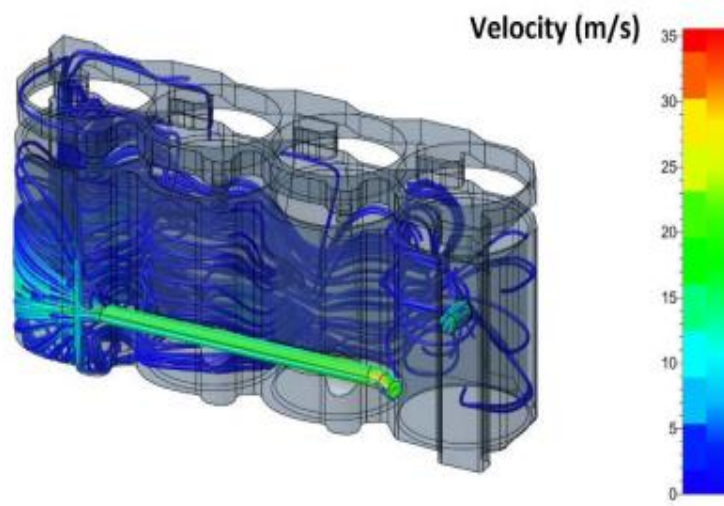


Şekil 3.6. Su ceketi maça sandığı draft analizi gösterimi

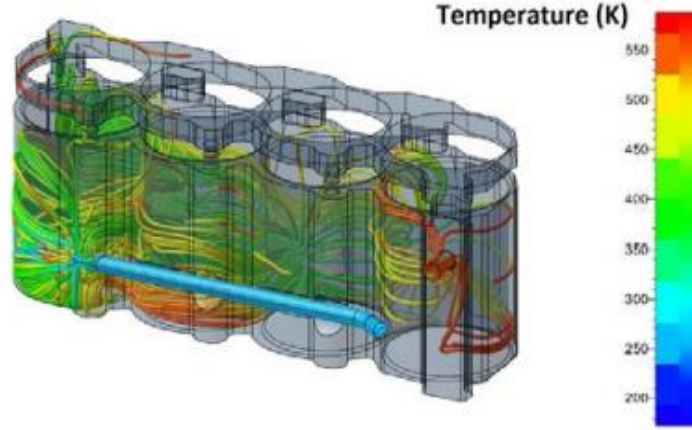
- Figürün izin verdiği sürece parçanın alt ve üst dereceye eşit hacimlerde konmasına dikkat edilir.



Şekil 3.7. Motor blok su ceketi soğutma sıvısındaki basınç dağılımı

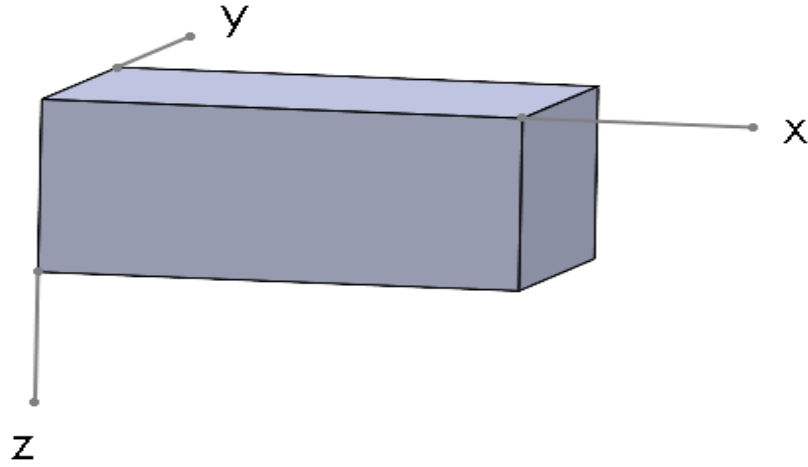


Şekil 3.8. Motor blok su ceketini soğutma hızı akışı (1800rpm)



Şekil 3.9. Motor blok su ceketinde sıcaklık akışı gösterimi (1800rpm)

- Parçada çekme paylarının verilmesi
- Parçalarda çekme payları standart olarak malzemeler için, sferoda 1,007 gride ise 1,01 olarak kabul edilmiştir. Fakat çekme payları parçanın geometrisine, büyüklüğüne veya maçalı olup olmadığına göre değişim göstermektedir. Ayrıca parçalarda farklı eksenlerde farklı çekme payları verilebilmektedir.



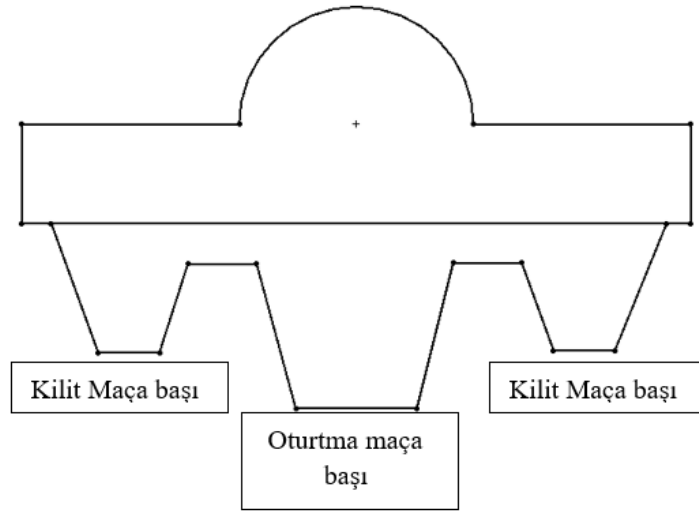
Şekil 3.10. Parçalarda x, y ve z eksenlerine göre uzunluk, genişlik ve yükseklik gösterimi

- Montajlanacak maçalarda, model için hangi çekme payı verilmişse, maça içinde aynı çekme payı verilmelidir.

3.2. Maça Kriter ve Standartları

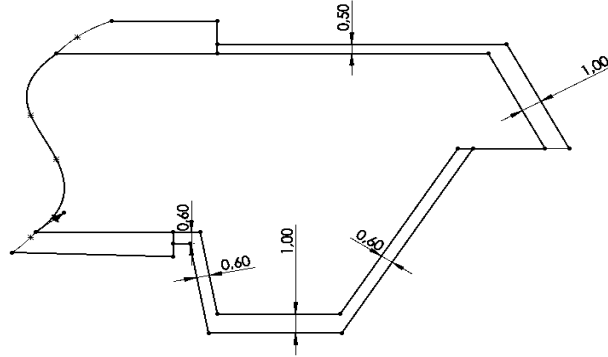
3.2.1. Maçaların ve maça başlarının oluşturulma standartları

- Öncelikle tasarım toplantısında ön hazırlık olarak maça başlarının kilit ve/ veya taşıma maça başı mı olduğuna karar verilir.



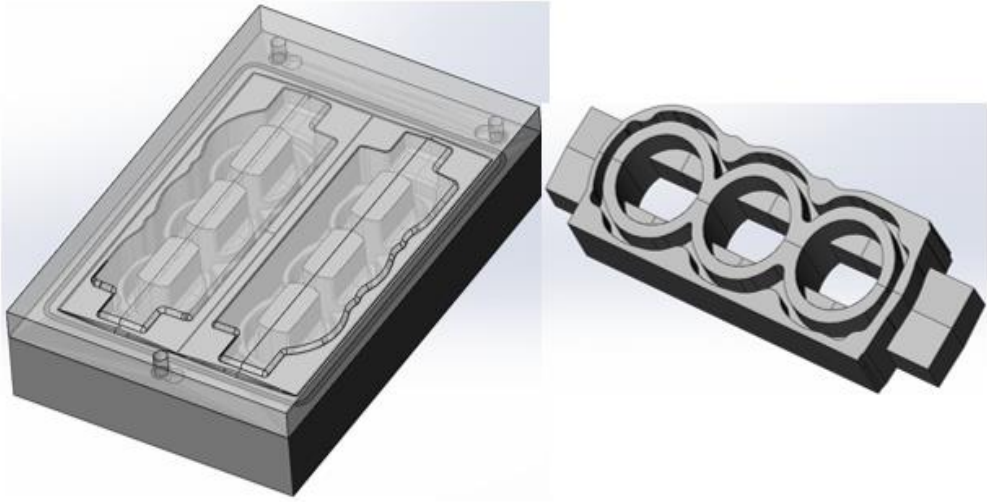
Şekil 3.11. Maça kilit yerlerin gösterimi

- Tolerans açısından taşıma maça başlarının boşlukları kilit maça başlarının boşluklarından daha fazla olur. (Ör. K. Mb. İçin $0,3$ (boya payı) + $0,3$ (çalışma boşluğu) = $0,6$ T. Mb. İçin $1-1,05$ mm)



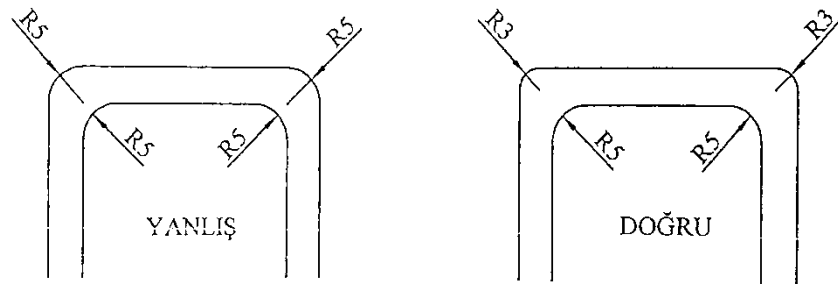
Şekil 3.12. Örnek maça toleransları

- Maça başları ebatları yolluk ve yerleşim dikkate alınarak seçilir.
- Maça başı tasarım yapılırken maça sandığı ayırım yüzeyi ve imalat koşulları göz önüne alınır. Maça başı kütlelerinin ayırım yüzeyine göre ağır olan yarımını alt sandık tarafında tasarlanır. Üst sandığa verilmesi gereken durumlarda basma plakası imal edilir



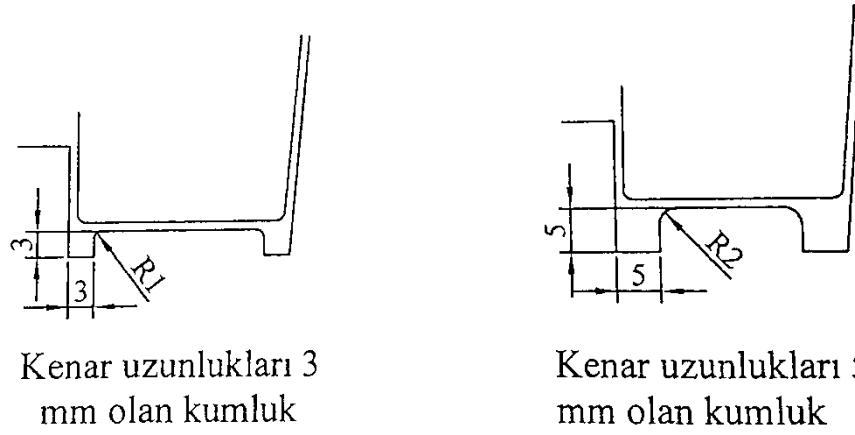
Şekil 3.13. Motor blok su ceketi tabla maçası

- Tabla maçası: 5,1 kg
- Silis kumu öz kütlesi: 2,33 gr/cm
- Maça makinesi kapasitesi= üretilecek olan maçanın hacmi X kumun öz kütlesi
- Maça makinesi kapasite= $5,1 \times 1,8 = 9.18 \text{ cm}^3$ (minimum kapasite)
- Model maça başı kenar radyus değerleri maça sandığı maça başı kenar radyus değerlerinden küçük olur.



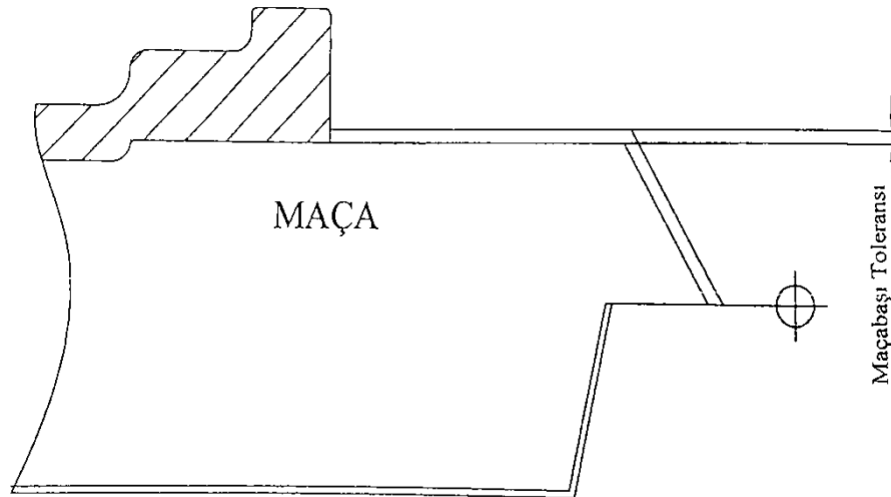
Şekil 3.14. Radyus gösterimi

- Alt model maça başlarının oturma düzleminde kenar doğruları üzerine kum tutucu yapılır.

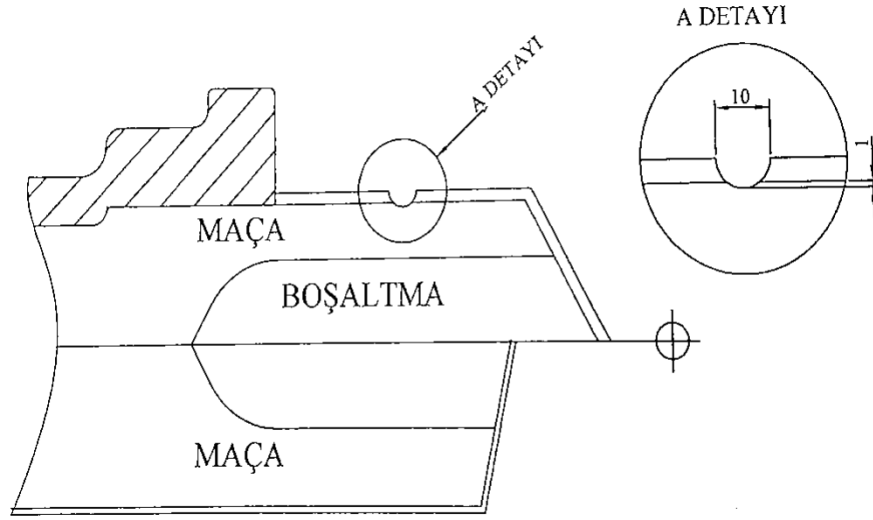


Şekil 3.15. Kumluk gösterimi

- Maça sandığı içinde boşaltma figürü yapılıp yapılamayacağı geometrisi ve ağırlığı dikkate alınarak kontrol edilir. Boşaltma yapılabiliyorsa gerekli onay alınır. Ayrıca boşaltma yapılan bölgenin maden almayacak şekilde sızdırmazlığı temin edilir.

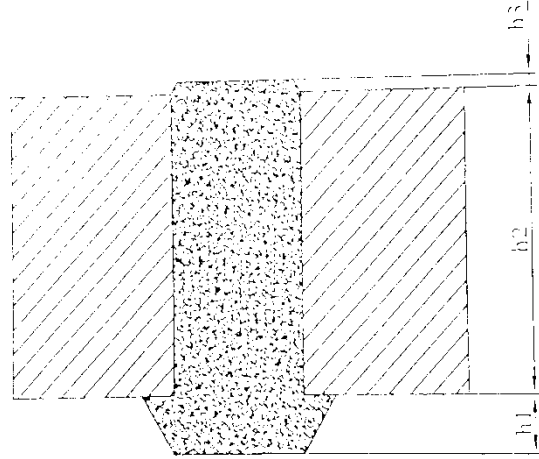


Şekil 3.16. Tolerans gösterimi



Şekil 3.17. Maça başı gösterimi

- Çok uzun ve deformasyon oluşturabileceği düşünülen maçalar için maça sandığı içine, maça başı bölgesine ve model maça başı sonuna (eğer mukavemet demiri maçadan dışarı çıkıyorsa) mukavemet demiri için yuva (eğer maden alma riski varsa veya modelde demir yuvası yeterli mesafe yoksa demiri askıya alan “ay parça” tipi) yapılır.
- Maça başının boyanıp boyanmayacağı belirlenir. Bu durum montaj ve merkezlenmenin maça başından yapılması durumunda önem oluşturur.
- Maça başlarının oturma yüzeyleri maça ağırlığını taşıyabilecek düzeyde olur.
- Maça başının tasarımı oluşturulurken maçanın sandıktan alınması, boyanması, taşınması, stoklanması ve döküm hattına gidene kadar proses dikkate alınır. Bu esnada iş yüzeylerinin ve maça başlarının zarar görmemesi sağlanacak önlemler tasarımda düşünülür.
- Üst maça başlarının boyu alt maçalarından daha kısa, açıları da daha fazla olur.



Şekil 3.18. Maça başı gösterimi

Çok ince kesitli ve küçük maçaların kalıpta sabitlenmesini sağlamak, metal tarafından kaldırılmasını ve sürüklenmesini önlemek amacıyla maça başlarının normalden daha büyük olmalı ve farklı kilit çalışmaları yapılır.

3.2.2. Maçaların oluşturulma standartları

- Maçalar kabaca oluşturulduktan sonra ilk olarak ağırlık ölçümü yapılır. Maça ağırlıkları ve figür boyutları baz alınarak hangi sandıkta üretileceği kabaca karar verilir.
- Maçalar oluşturulurken firmadaki proses mühendisi tarafından hazırlanan teknik değerlendirme sayfası baz alınmalı ve standartlar göz önüne alınır.
- Maçalar oluşturulduktan sonra kabaca et payları, oluşturulamayacak kadar zor figürler belirlenir. Gerekirse firmaya sıcak maça (Shell) önerisinde bulunulabilir.
- Maça çıktıktan sonra maçanın boyanıp boyanmayacağı konusunda çalışma yapılır, gerekirse offset çalışması yapılmalıdır.
- Örneğin; tolerans değeri olan kritik bir kesit için boya payları düşünülerek boyanmış halde 6,5 mm boyutlarında olacak şekilde kesit hazırlanmalıdır.
- Maça çıktıktan sonra sandık ayırım yüzeyine ters olan yüzeyler için firmayla görüşülerek önerilerde bulunulur.

- Maça oluşturulduktan sonra maçanın modelle aynı ayırım yüzeyine sahip olmasına dikkat edilir.
- Maçalar oluşturulduktan sonra nasıl taşınacağı ve sehpalara nasıl konulacağı belirlenir.
- Maçalar oluşturulurken ağırlığı dikkate alınarak boşaltma işlemi yapıp yapılmayacağı incelenir.
- Montaj maçaları boyama işlemi belirlenir. Montajın boyandıktan sonra mı yoksa boyanmadan mı yapılacağı dikkate alınmalıdır.
- Maçalarda mukavemet demiri gereken yerlerde mukavemet demiri tasarlanır.
- Sandıklardaki insert parçalar mümkün olduğunca hafif ve yedekli olarak imal edilir. Ayrıca içinde insert bulunan sandıkların üzerine uyarı konulur.
- Maça başlarında sıyırma açısı aşağıda verilen Tablo 3.3.'e göre yapılır. Üst modelde maça başı açısı maçayı toplasın diye daha büyük tutulur.

Tablo 3.3. Sıyırma açıları

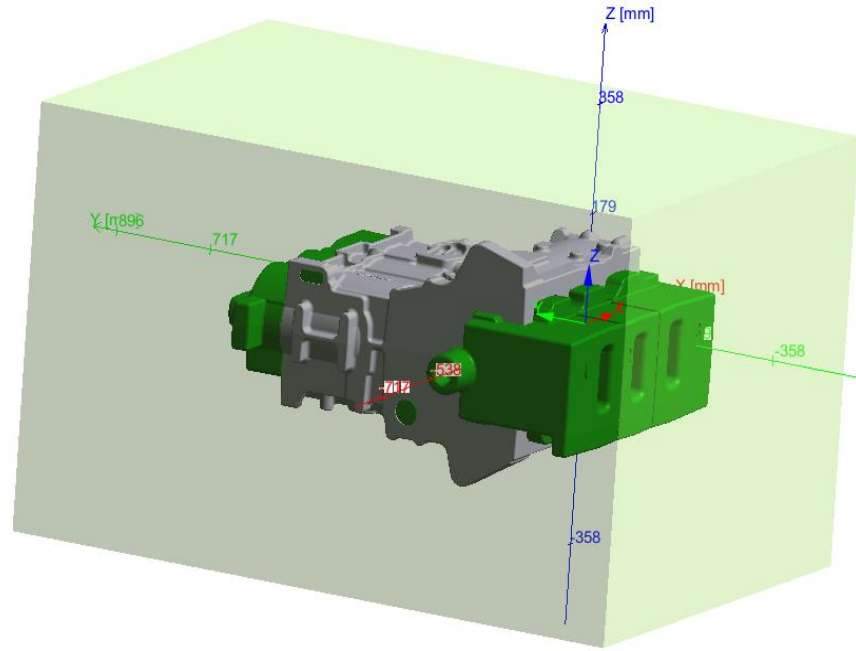
H(mm)	Merkezlemeli maça aparatı için, a1 (derece)	Elle veya sallamalı maça aparatı için a2 (derece)
0-50	15	>15
50-100	10	>10
100-...	5	>5

- Ayırım yüzeyi konusunda; maçalar ve model için benzer ayırım yüzeyleri kullanılmalıdır ibaresi dikkate alınır.

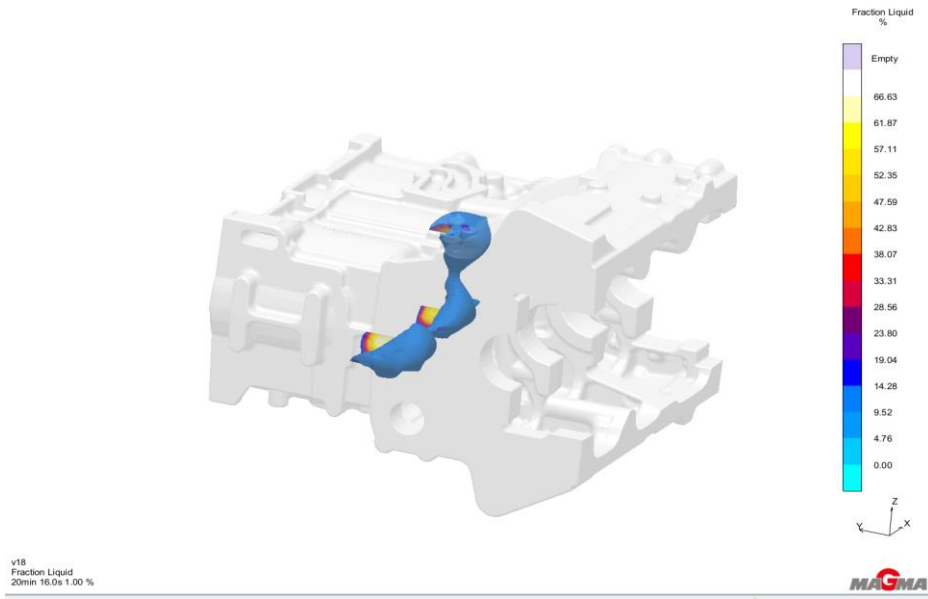
3.3. Simülasyon Çalışması

- Motor bloğun katılma simülasyonu yapılmalıdır.
- Parçanın nasıl katıldığına bakılmalıdır. (“fraction liquid”)
- “Hot spot/ hot Spot FSTime” ve “Feedmod” sonuçlarını kullanarak izole bölgeleri ve bu bölgelerin büyüklükleri tespit edilir.
- Gerekli büyüklükteki besleyicileri koyun ve katılma simülasyonunu tekrarlanmaktadır.
- Tekrardan parçanın nasıl katıldığına bakılır. (“fraction liquid”)

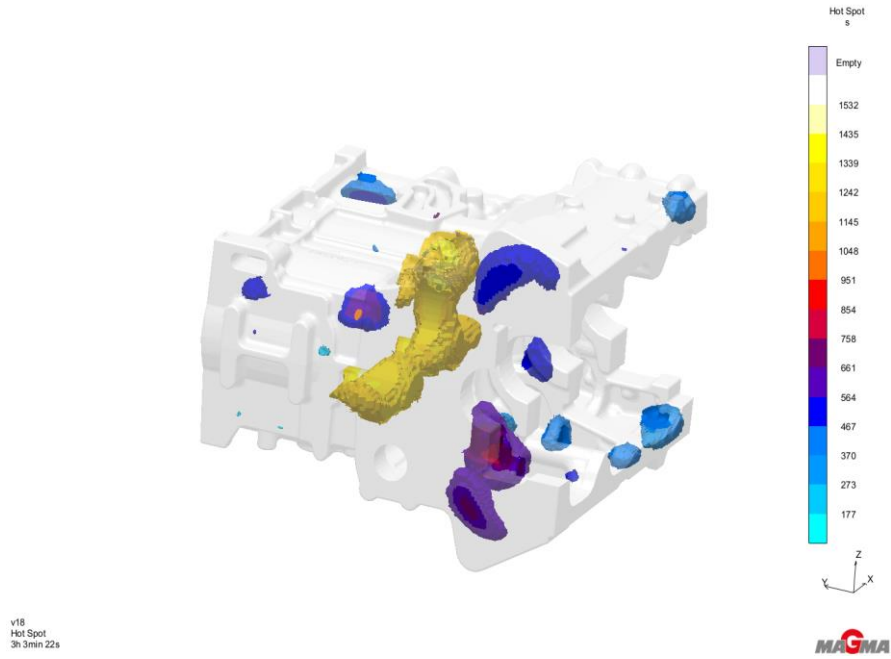
- “Hot spot/ hot Spot FSTime” ve “Feedmod” ve “ Porosity” sonuçları incelenmektedir.
- Besleyici tasarımı uygun hale getirmelidir.
- Meme girişleri eklenir, “inlet” leri doğrudan girişler üzerinden oluşturulup dolum ve katılaşma simülasyonu yapılmalıdır.
- Dolum sonuçları ile başlayıp, “Filling Temperature”, “Air Entrapment” sonuçları incelenmelidir.
- Parçanın nasıl katılaştığını inceleyin. “Fraction Liquid”
- Son olarak “hot spot/ hot Spot FSTime”, “Feedmod” ve “Porosity” sonuçlarını inceleyin.
- Gerekirse meme girişleri ve/ veya besleyicileri iyileştirin.
- Yolluk sistemini oluşturun ve gerekirse yolluk sisteminde iyileşmeler yapın (zamandan kazanmak için “dummy” bir döküm geometrisi kullanılabilir.)



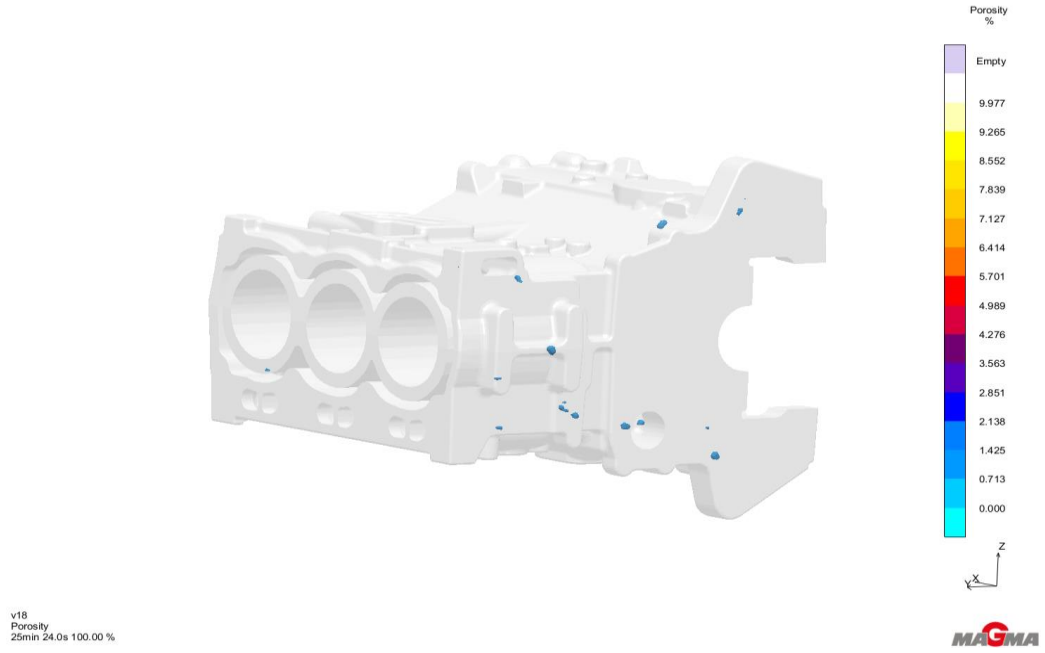
Şekil 3.19. Katılaşma simülasyonunda sadece parça ve kalıp gösterimi



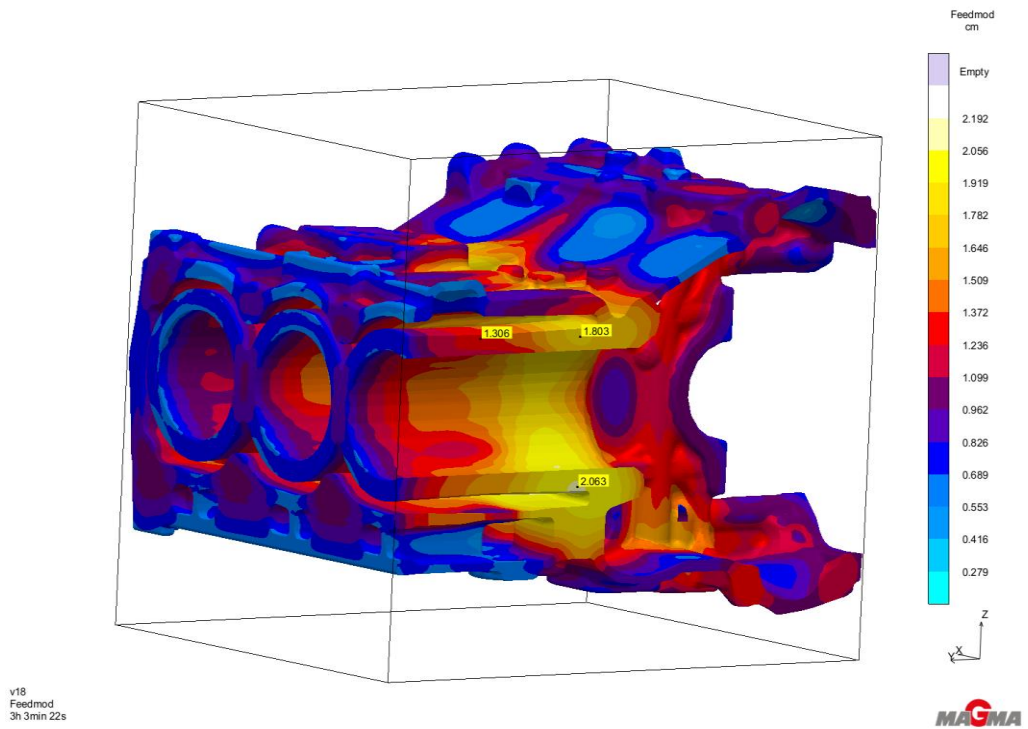
Şekil 3.20. Fraction Liquid katılmasının nasıl gerçekleştiği hakkında bilgi verir.



Şekil 3.21. Hot spot izole bölgelerin gösterimi



Şekil 3.22. Muhtemel porozite hataların gösterimi



Şekil 3.23. Feedmod termal merkezlerin büyüklüğünü gösterir.

3.3.1. Besleme sistemi

Motor blok gri dökme demir olduğundan dolayı besleyici ve porozite görülmeceği için besleyici çalışması yapılmamıştır.

3.3.2. Basitleştirilmiş yolluk sistemi

Parça için gerekli olan meme girişlerin ve kolon çapların ölçüleri için gerekli olan yolluk hesabı yapılması gereklidir.

Yolluk için gerekli olan bilgiler, parça brüt ağırlığı, dökme demir sınıfı, basınçlı mı basınçsız mı döküm yapılacağı, parçanın kalıp içerisinde alt ve üst dereceye olan boyutları ve kalıplanacak derece ölçüleri gereklidir.

Yolluk, filtre hesabı ve meme giriş toplam alanların hesaplanmasında kullanılan yazılım, hema döküm prosesine uygun halde geliştirilmiş ve gerekli bilgiler girilerek yolluk, filtre hesabı ve meme giriş hesaplamaları yapılmaktadır.

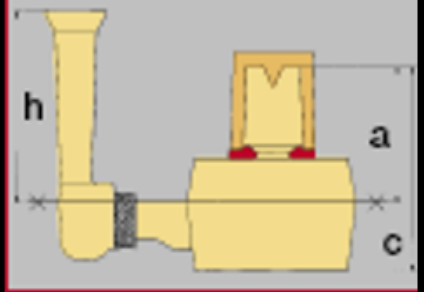
Salkım Ağırlığı (kg)	:	170	
Sürtünme Katsayısı	:	0,5	
Ortalama Et Kalınlığı (cm)	:	1,6	
Metal Yoğunluğu (gr/cm ³)	:	6,9	
			Q(kg/s)
İdeal Döküş Süresi (sn)	:	16,2	10,5

Şekil 3.24. Parçaya ait bilgilerin girilmesi

- İdeal döküm süresi (sn); 16,2 saniye olarak hesaplanmıştır.

Parçanın Yarısı Alt, Yarısı Üst Derecede İse Etkin Döküm Yüksekliği

Üst Derece Yüksekliği " h " (cm) :	35
Besleyici üstünden, mala yüzeyine olan mesafe " a " (cm) :	20
Toplam Kalıp Yüksekliği " c " (cm) :	40
Etkin Döküm Yüksekliği (cm) :	30,00
Düşey Yolluk Kesiti: Ak (cm ²) :	13,05
(Basıncsız ve Karma İçin)	



$$H = h - \frac{a \times a}{2 \times c}$$

Şekil 3.25. Parçanın en üstünden kalıp yüzeyine, toplam parça yüksekliğini ve mala birleşiminden kalıp yüzeyine kadar olan ölçülerin girilmesi

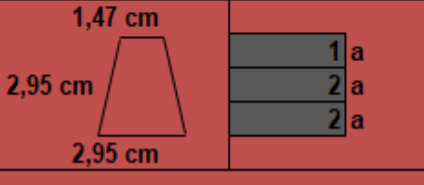
- Düşey yolluk kesiti: Ak (cm²); 13,05 cm² olarak hesaplanmıştır.

Giriş Hızı	Kolon (cm ²)	Yatay Yolluk (cm ²)	T.Giriş Alanı (cm ²)	Oranlar
max 1m/sn	15,66			
2,3	Basıncılı	14,36	13,05	1,1 1,2
				Oranlar
1,8	Basıncsız	14,36	16,97	1,10 1,3
				Oranlar
1,6	Karma	37,34	18,65	2,86 0,7
				Oranlar
Yolluk Girişleri :		Giriş Adedi	Kalınlık (cm)	Genişlik (cm)
T.Giriş Alanı :	16,97	2	1	8,5

Şekil 3.26. Düşey yolluk kesin alanı hesabı sonrası toplam giriş alanı hesaplanması

Tespit Edilen Kesitlerin Ebat Ölçüleri (cm) :

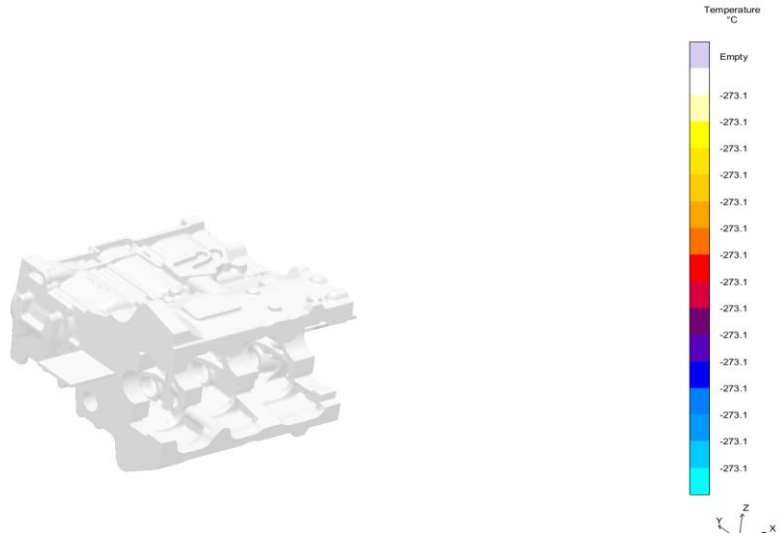
Düşey Yolluk Kolon :	13,05	Basıncsız Ø	4,08 cm
(cm ²)	15,66	Basıncılı Ø	4,47 cm
Yatay Yolluk :	13,05		1,47 cm
Yatak Yolluk Ayrım :	2		2,95 cm
			2,95 cm



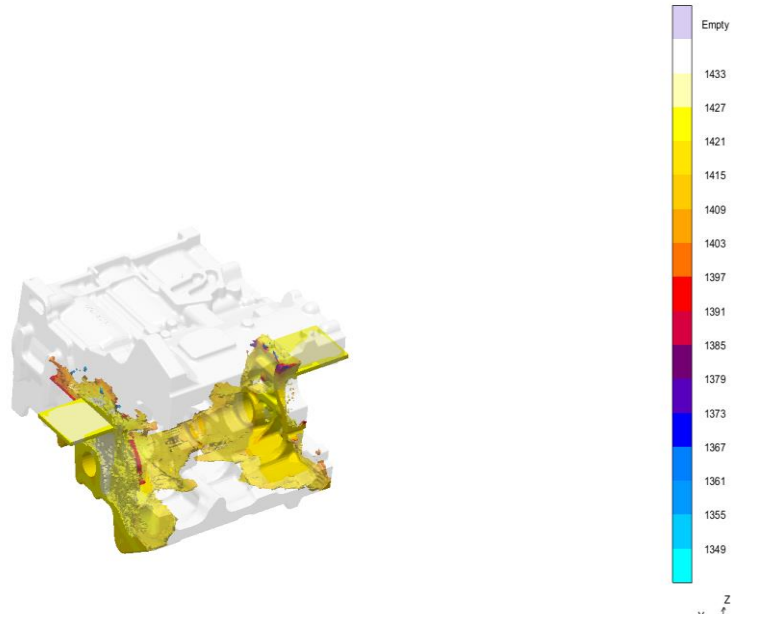
Şekil 3.27. Yatay yolluk ayırımına göre yolluk ölçülerin belirlenmesi

Toplam Salkım Ağırlığı :	170	Düşey Yolluk Alanı :	13,1 cm ²
Y.Yolluk Sys/FiltreAdedi :	2	Düşeye Göre Filtre Alanı :	13,1 cm ² (min)
Gri / Sfero (G/S) :	G		+ YETERLİ +
Filtre Cinsi :	20ppi Köpük Filtre		3,5 kg/cm ²
Filtre Aktif Yüzey Alanı :	21,3 cm ²	Filtre Kapasitesi (kg)	DURUM;
Kare Filtre Ebatları (mm):	56,1 X 56,1 X 22	85,00	!!YETERSİZ!!
Seçilen Filtre Ebatları :	75 X 50 X 22	Filtre Kapasitesi (kg)	DURUM;
Filtre Aktif Yüzey Alanı :	26 cm ²	91,0	+ YETERLİ +

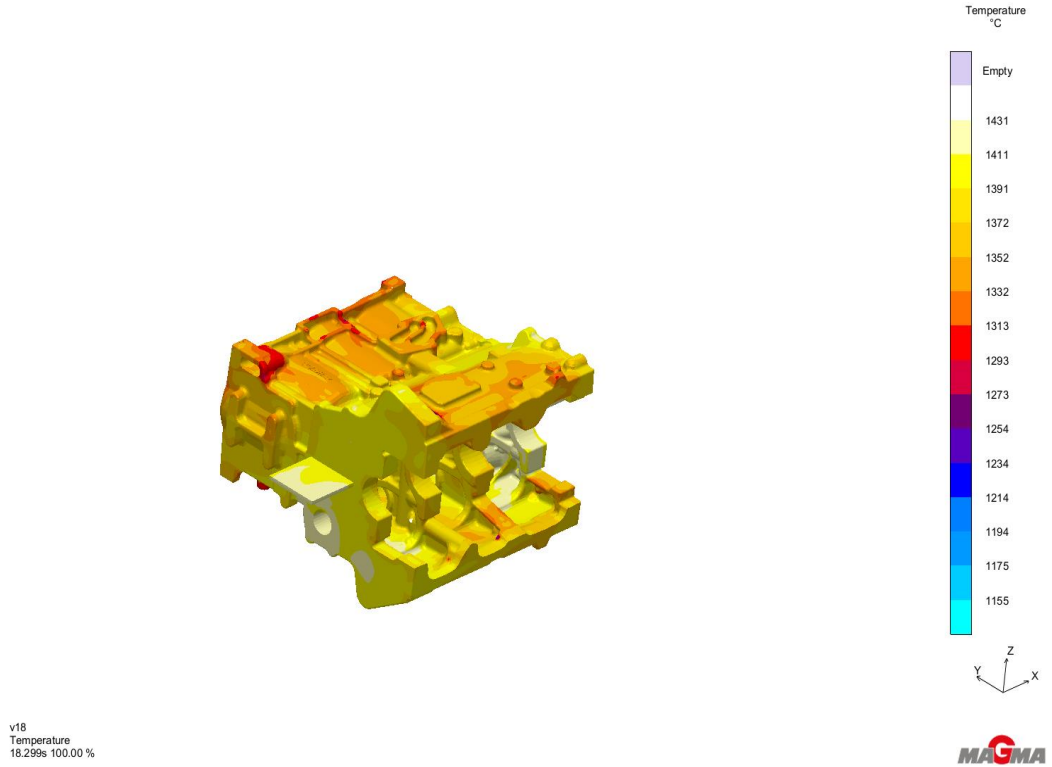
Şekil 3.28. Filtre için gerekli olan hesaplama gösterimi



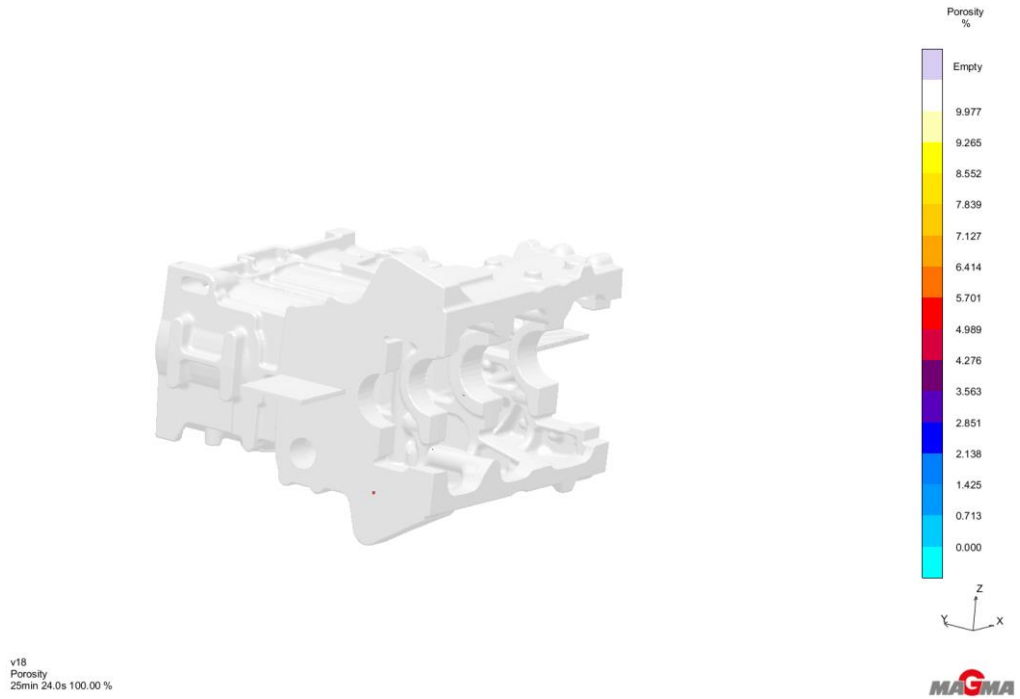
Şekil 3.29. Girişler dolumu simülasyon edebilmek için eklenmiştir.



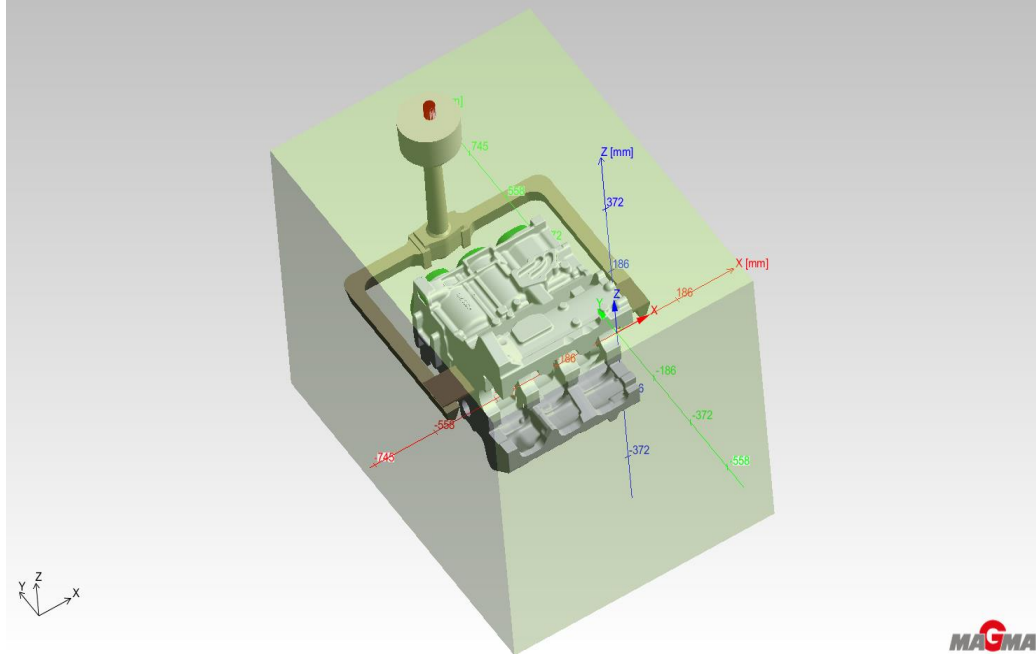
Şekil 3.30. Dolum davranışları incelenmektedir. (Sıçramalar, hava sıkışmaları, sıcaklıklar)



Şekil 3.31. Soğuk birleşme yoktur ve çalkantsız dolum yapılmaktadır.

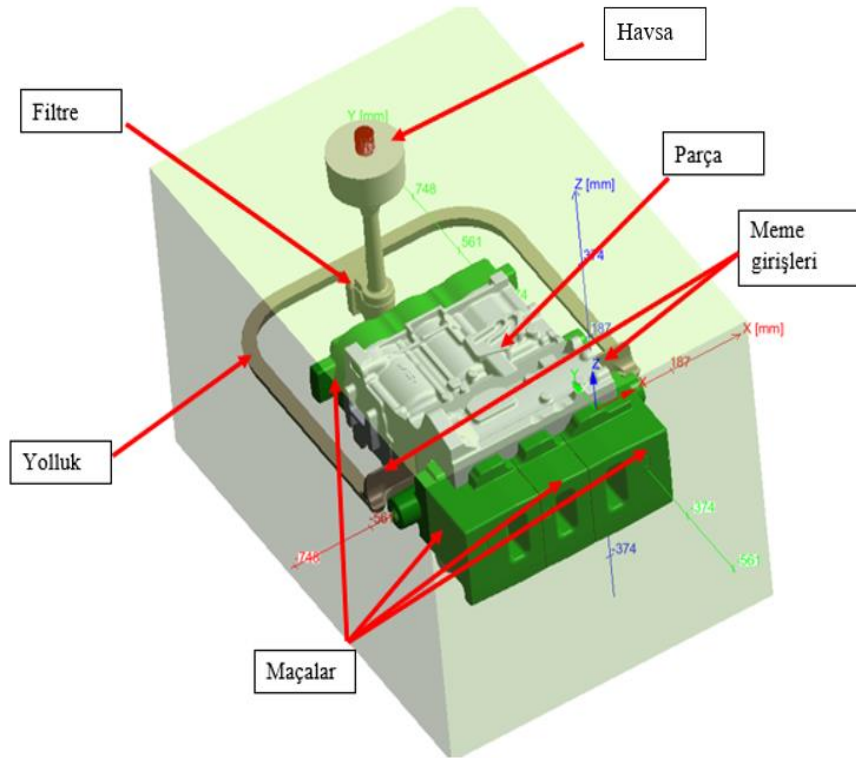


Şekil 3.32. Motor bloğuna ilave edilen meme girişleri sonrasında herhangi bir porozite görülmemiştir.



Şekil 3.33. Parça için gerekli olan meme girişlerin ve yolluğun son tasarımı

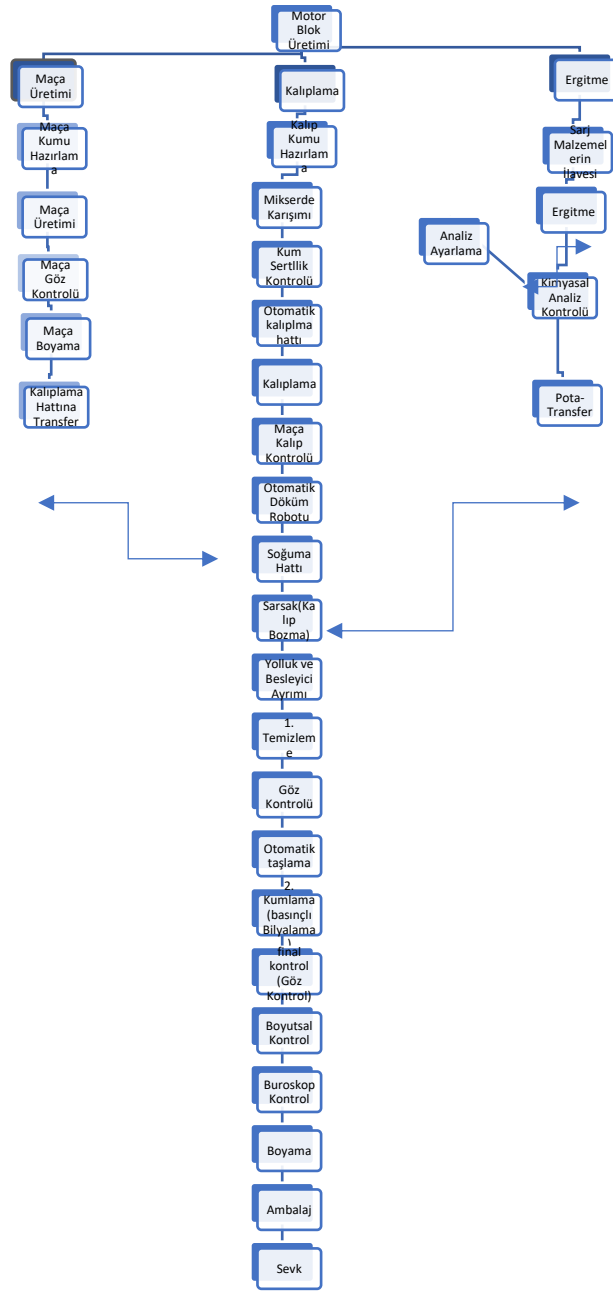
Simülasyon çalışmaların en başında parçanın ürün ağacının tamamı tanımlanmalıdır. Parça, yolluk, meme girişleri, filtre gibi tanımlamaların yapılması gerekmektedir.



Şekil 3.34. Ürün ağacın tanımlanmasının gösterimi

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Motor Blok Üretimi

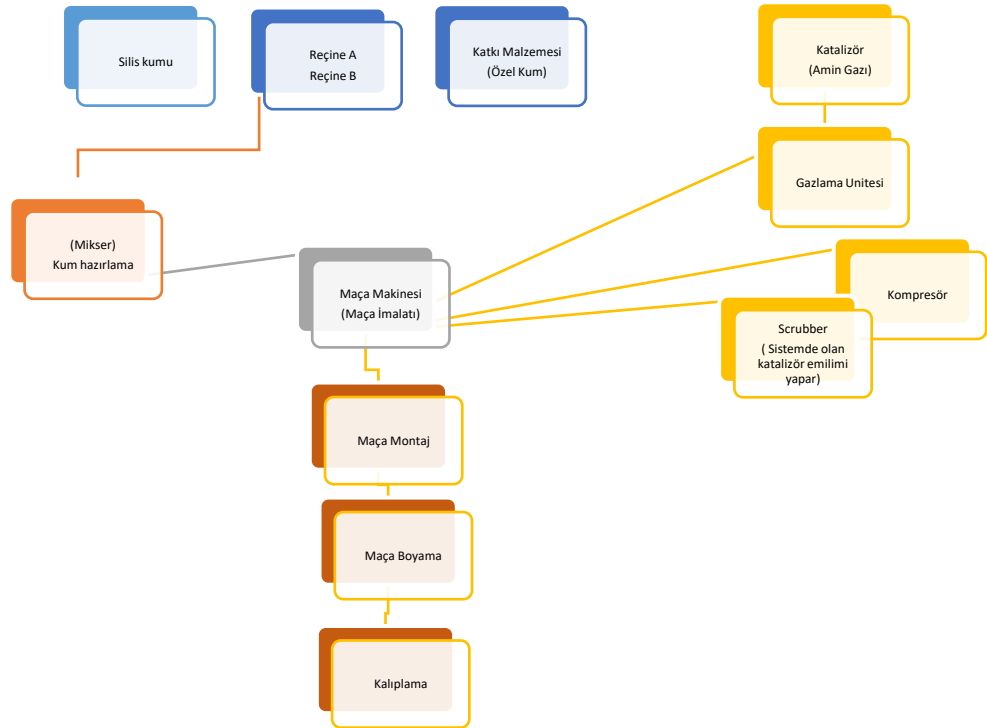


Şekil 4.1. İş akış şeması

4.1.1. Maça üretimi

Kum kalıba döküm yöntemi ile üretilen parçaların modelleri yapılırken, üretilecek olan parçaların bazen iç ve dış boşlukları her zaman direkt model üzerinden elde edilememektedir. Modelden çıkarılamayacak boşluklar ve kalıplama esnasında modelden sıyrılamayan bölgelerin yapılabilmesi için gerekli olan kum paketine maça adı verilmektedir. Maça üretimi, sıcak kutu ve soğuk kutu maça olarak 2 farklı üretim yönteminden oluşmaktadır.

4.1.1.1. Soğuk kutu maça üretimi:



Şekil 4.2. Soğuk kutu Maça üretimi iş akış şeması

Soğuk kutu maça üretim prosesinde maça; kum, reçine ve katalizör kullanılarak üretilmektedir.

4.1.1.2. Reçine A:

Organik çözeltiler ile çözünen sentetik fenol bazlı reçinedir.

- Biçim : Sıvı, Açık renk
- Yoğunluk : 1,0- 1,1 g/cm³
- Vizkozite : 250- 500 mPa.s
- Parlama noktası : 50- 55 °C
- Monomer seviye (Fenol+Formaldehit) : 2,5-7 %

4.1.1.3. Reçine B (Aktivatör)

Organik çözeltiler ile çözünen, Diphenylmethanediisocyanate (MDI)

- Biçim : Sıvı, Açık, Koyu Kahverengi
- Yoğunluk : 1,15- 1,2 g/cm³
- Vizkozite : 20-100 mPa.s
- Parlama noktası : >55 °C

4.1.1.4. Katalizör:

- Dimetiletılamin(DMEA)
- Alınan maksimum çalışma yeri konsantrasyonu : 25
- Kaynama noktası : 36-38 °C
- Koku başlangıcı : 0,04 mg/m³

4.1.1.5. Silis kumu:

Tane şekli olarak yuvarlak taneye sahip olan silis kumlarının kullanılması ile bağlayıcı olarak kullanılan reçine tüketimini azaltarak kumun sıkıştırılabilirliğini ve mukavemetini arttırmaktadır. Tane şekli köşeli olan kumlar kullanılması durumunda ise aynı mukavemeti elde etmek için reçine miktarının artırılması gerekmektedir. Köşeli taneye sahip olan kumların akışkanlıkları ve sıkıştırılabilirlik özellikleri

düşüktür. Silis kumların tane büyüklüğü seçiminde ise büyük tana boyutunda olan kumlar için yüzey alanı artacağı için bağlayıcı miktarının artırılması gerekmektedir ayrıca bu yüzey alanı daha geniş olduğu için sertleşme süresi ve katalizör miktarı artacaktır.

Maça kumun hazırlanma aşamasında kum sıcaklığın ise ideal olarak 20-25 C° arasında olması gerekmektedir. Bu belirlenen sıcaklığın üzerine çıkılması durumunda kum karışım anında daha fazla ısınmasından dolayı reçine A ve reçine B miktarlarında ısıdan dolayı kayıp yaşanacaktır ve maçada, katalizör yeterli aktivatör bulamadığı için mukavemet kaybı olacaktır. Kum sıcaklığı belirtilen sıcaklığın altına inmesi durumunda ise reçine A ve reçine B yoğunluk olarak artış gösterecektir ve kum karışım süreleri artacaktır. Ayrıca katalizör miktarları artış gösterip, mukavemet değerleri düşecektir.

Maça kumun bünyesinde bulundurduğu nem miktarı pratikte %0,1 e kadar olması gerekmektedir. Bu değerın üzerine çıkılması durumunda nem poliizosiyanat (reçine B) ile kendiliğinden reaksiyona girerek maçanın mukavemetini düşürüp, stoklamada maça kalitesini düşürecektir.

4.1.1.6. Maça kumun hazırlanması

Üretimi yapılacak olan maçanın ağırlığına göre hazırlanan maça kumu, 50-55 AFS Kuru dökme silis kumu değirmen mikserine aktarılır, sonrasında reçine- A ve reçine- B reçineler belirlenen oranlarda mikser içerisine ilave yapılarak değirmen ile homojen karışım elde edilir.

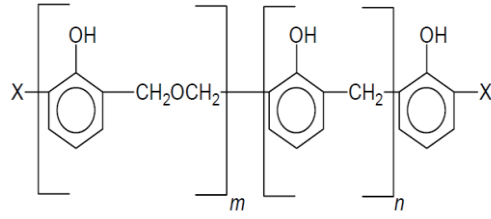


Şekil 4.3. Maça kumu mikser görüntüsü

Aşırı karışım süreleri kumun sıcaklığını arttıracak için reçine kaybına neden olacaktır. Sıcaklığı artan kum mukavemeti azalır ve nem alma özelliği artmaktadır. Karışım süresinin yetersiz olması durumunda homojen karışım olmayacağı için döküm hatasına sebep olacaktır.

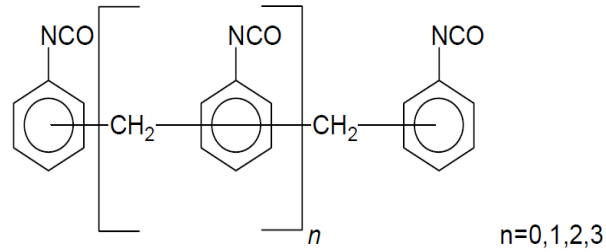
Hazırlanan maça kumu sandık içerisinde maçayı oluşturacak olan boşluk bölgeye üflenerek sıkıştırılır. Kum üfleme basıncı sandığın kullanım ömrü ve filtre tıkanmasını engellemek için 2,5-4,5 üfleme basıncı arasında kullanım sağlanmaktadır.

Maça sandığı içerisinde, maçayı oluşturan boşluk içerisine kum ile doldurulması sonrasında, kumun aktivatör ile reaksiyona girmesi gereken katalizör (DMEA: Dimetilzopropilamin) olması gerekmektedir. Kullanılacak olan katalizör, basınçlı hava ile kumun içerisine gönderilerek kumun sertleşmesi sağlamaktadır. Denklem 4.1. Bileşenlerden birini temsil eden "poliol", benzil eter karakteri sergileyen bir fenol formaldehit reçinesidir.



Şekil 4.4. Benzil eter karakteri sergileyen bir fenol formülü

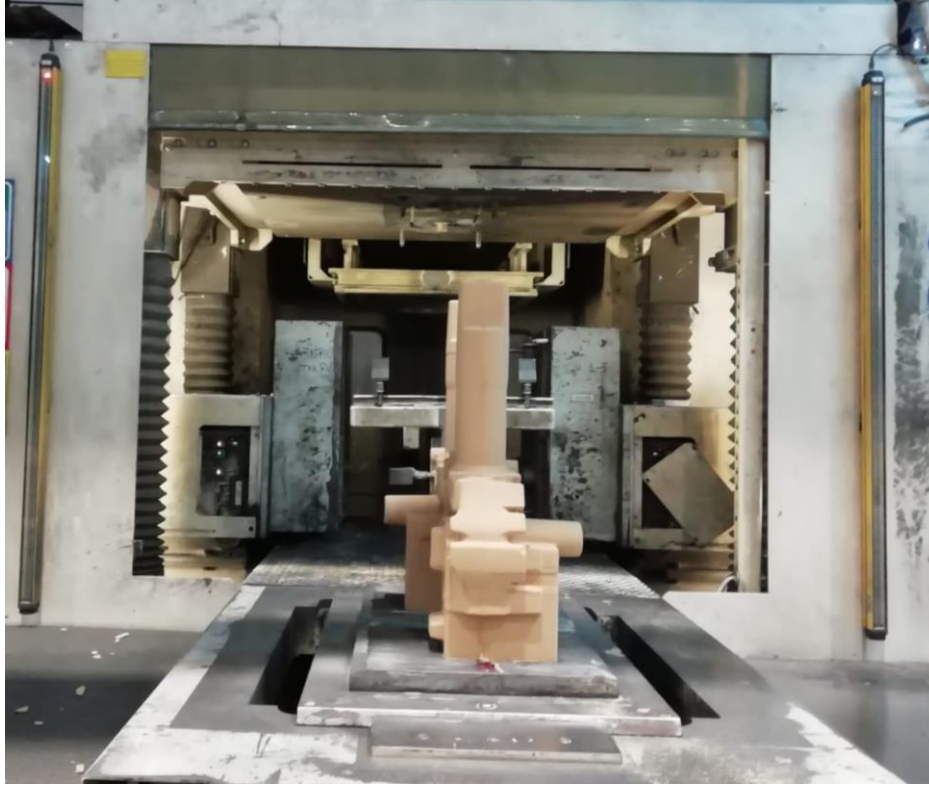
Poliizosiyanat, 2,4'- ve 4,4'difenilmetan diizosiyanatın oligomerik bir ürünüdür ve aşağıdaki yapıyı sergiler.



Şekil 4.5. Poliizosiyanat 2,4- 4,4 yapısı

Denklem 4.1.2. Hem fenolik reçine bileşeni hem de izosiyanat genellikle organik çözücülerdeki çözeltiler şeklinde kullanılır.

Maça sandığın kullanım ömrünün uzun olması için; sandık içerisinde maça üretim prosesi 3 aşamada gerçekleşir; toplam gazlama süresi, katalizör gazlama süresi ve yıkama süresidir. Bu proses içerisinde istenen değerler ve süreler üretilecek olan maçanın hacmine ve boyutuna göre değişkenlik göstermektedir.



Şekil 4.6. Motor blok silindir maçaların basımın gösterimi

Tablo 4.1. Reçineli sistemde maça üretiminde kullanılan karışım oranları

	100 kg karışım için	
	Min. Kullanım	Max. Kullanım
PÜ reçine		
Reçine -A	0,75	1,00
Reçine -B	0,75	1,00
DMEA	0,20	0,25
Kum	98,5- 98	

4.1.1.7. Maça üretimi sonrası boyama işlemi:

Maça üretiminin sonrasında, maçanın boyanmasındaki amaç; Kalıp ve maça genleşme hatalarının önüne geçilmesi, döküm sonrasında, parçanın iç kısımların da düzgün yüzey elde edilmesi, metalin maça ile penetrasyonunu engellemek, maçanın boyanmasındaki asıl amaç parçanın yüzey kalitesini arttırmaktır.

Maça boyama işlemi için kullanılan boya türleri; alkol bazlı ve su bazlı boya olarak iki ye ayrılmaktadır.

Tablo 4.2. Maça boyama için gerekli olan boyaların çözücülerin karşılaştırılması

	isopropilAlkol(İPA)	Su
Yoğunluk (g/cm ³)	0,79	1,00
Kaynama noktası (°C)	82	100
Max. Çalışma konsantrasyonu (mg/m ³)	500	Yok
Furan reçinelerinde çözünme	Düşük	Yüksek
Parlama noktası	12	Yok
Tehlike sınıfı	Yanıcı	

Alkol bazlı boya: Bu boya türü, döküm esnasında aşırı sıcak bölgede kullanılan maçaların boyanmasında, ince et kalınlığına sahip maçada ya da yüzey kalitesi yüksek olması istenen parçalarda kullanılmaktadır. Alkol bazlı boya kullanımının avantajları:

- Boya kuruma süresi kısadır.
- Kuma olan penetrasyonun yüksek olması
- Maça stok alanında nem almasını engellemek
- Düşük maliyet
- Yüksek verim
- Yüzey kalitesi yüksek parçalar
- Fırın kullanılmadan kuruması

Dezavantajları:

- Yanıcı olması
- Zehirleyici özelliği olması
- Boyama sonrası maça üzerinde damlacık kalmasına neden olur

Su bazlı boya: Soğuk kutu maçaları, su bazlı boya kullanılarak boyanmaktadır. Su bazlı boya alkol bazlı boyaya göre maçaya daha az penetrasyon sağlar ve yatırım gereklidir. Su bazlı boyanın avantajları:

- Maliyet olarak ucuzdur.
- Zehirleyici yanı yoktur.
- Yanma tehlikesi yoktur.

Su bazlı boyanın dezavantajları:

- Boyanan maçanın kuruması için ısı gereklidir.
- Kurutma Fırını yatırımı gereklidir.
- Maçanın ısıdan dolayı kırılabilirliği artmaktadır.
- Nem kapması alkol bazlı boyaya göre daha yüksektir.

4.1.2. Kalıplama

Kum kalıba döküm yönteminde kullanılan kalıp kumlarında silis kumu kullanılmaktadır. Kullanılan silis kumların diğer kumlara göre ısı dayanıklılığı yüksektir ancak ısı genişmesi daha yüksektir. Kullanılacak olan kumun tane büyüklüğü “AFS” olarak adlandırılmaktadır.

Tablo 4.3. Silis kumun AFS büyüklüğüne göre tane dağılımı

AFS büyüklüğü	Tane boyutu
40-50 AFS	Kaba taneli kumlar
50-65 AFS	Orta taneli kumlar
65-110 AFS	İnce taneli kumlar

4.1.2.1. Kalıplama kumun hazırlanması

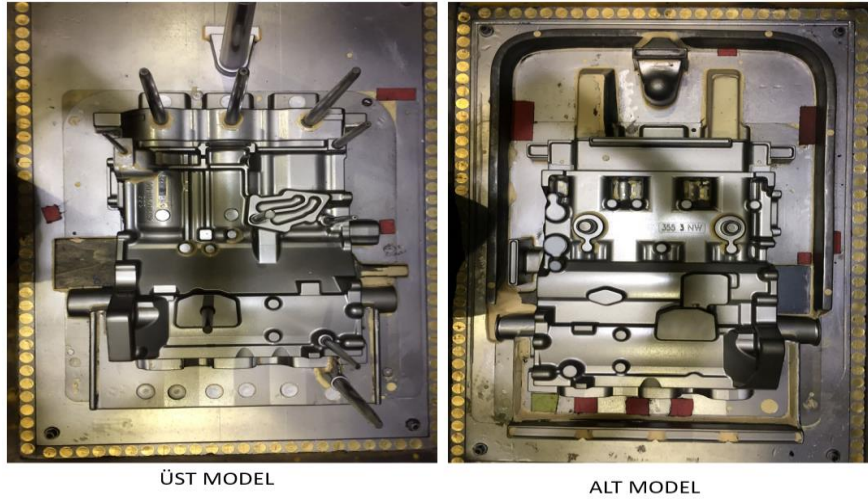
Kalıp kum tanelerinin bir arada kalması için bağlayıcılar kuma mikser içerisinde ilave edilmektedir. Kum tanelerinin birbirine bağlanması için mikser içerisine bentonit ve su eklenmektedir. Ancak döküm parçanın yüzey kalitesini arttırmak için kömür tozu ilavesi de yapılmaktadır. Bu ilavelerin homojen dağılımı için mikser içerisinde karıştırılmaktadır. Sistemde olan bağlayıcı miktarı haftalık 2 defa aktif kil testi ile kontrol edilmektedir ve bulunan sonuçlara göre mikser içerisine belirlenen ilave oranları verilmektedir ve bu oranlar dökümhanelerin kendi standartlarına göre değişiklik göstermektedir. İlaveler sonrasında karıştırılan kum, kalıplama hattının silosuna konveyör bant ile transfer yapılarak model kalıplamaya uygun hale getirilir.

Kalıplanan bu kumun özellikleri döküm için uygunluğu incelenmektedir. Motor bloğu için hazırlanan kumun, gaz geçirgenliğine, yağ basma mukavemetine, nem miktarına, sıcaklığına, sıkıştırılabilirliğini, mikser tonajına ve karışım sürelerine bakılmaktadır.

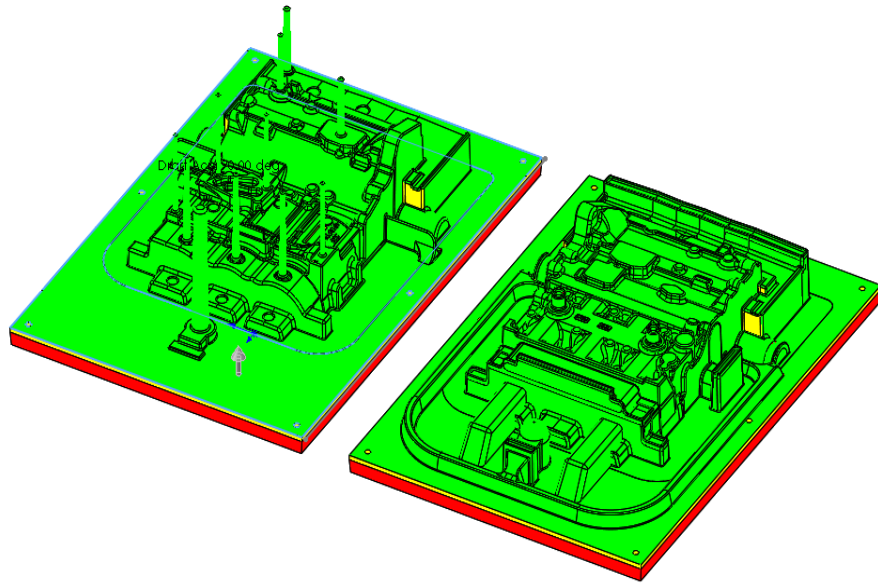
Tablo 4.4. Motor blok modelin kalıplanacağı kumun özellikleri

Test edilen kum miktarı (140-160 gr)	Sıkıştırılabilirlik% (30-42)	Yağ basma mukavemeti (16-22 Nt/cm ³)	Gaz geçirgenliği (Min. 90 cm ⁴ /g)	Nem % (2,5-3,7)	Sıcaklık k (max. 48 °C)	Mikser karışı m süresi (sn)	Mikser tonajı (kg)
146,0	32	18,7	103	3,15	37,1	100	3900

Bu istasyonda alt model alt derecede, üst model üst derecede olacak şekilde yerleştirilir.

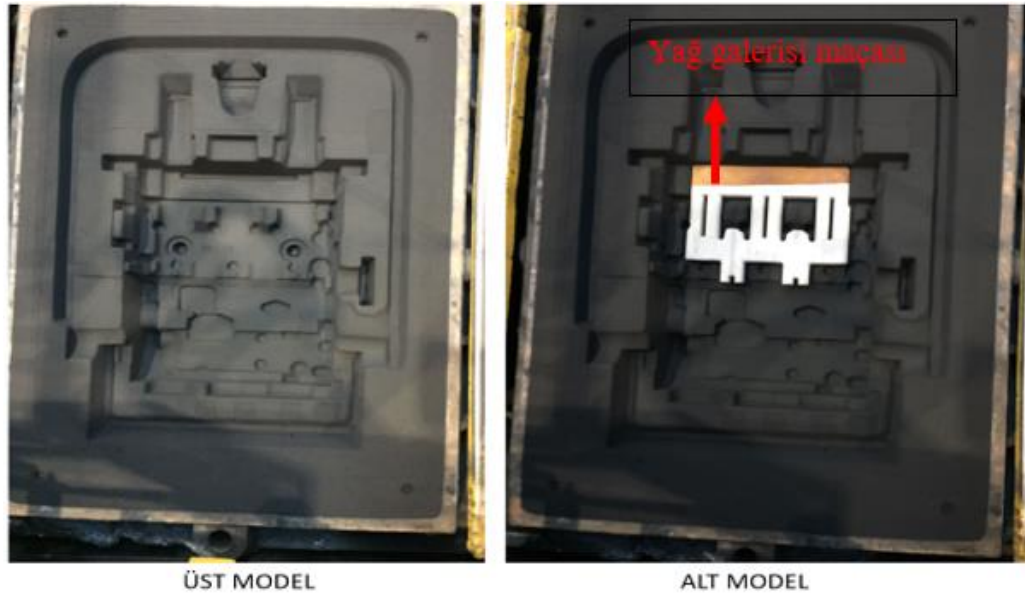


Şekil 4.7. Motor blok alt ve üst model gösterimi

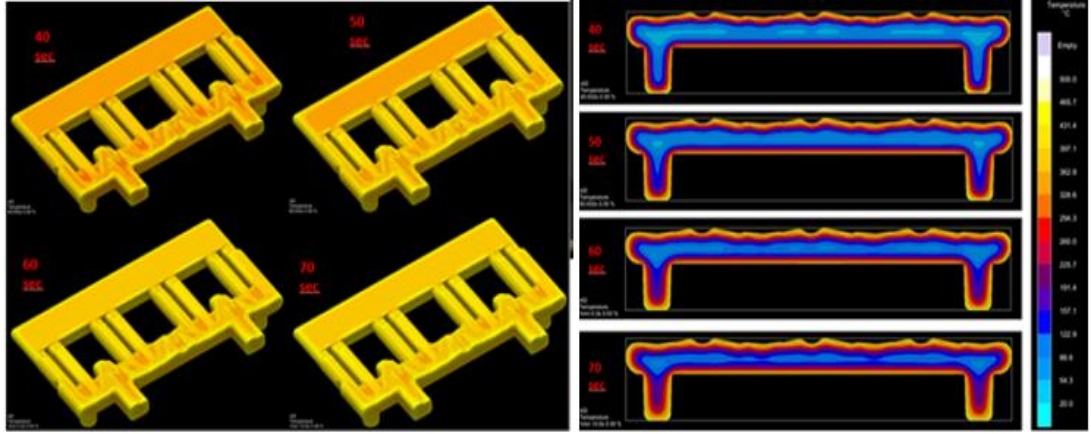


Şekil 4.8. Motor blok alt ve üst model draft analizi gösterimi

Sonrasında derece dolacak şekilde içerisine kalıp kumu dolumu gerçekleştirilir ve preslerle istenilen basınç ile birlikte kum sıkıştırılarak modelin şeklini alır.



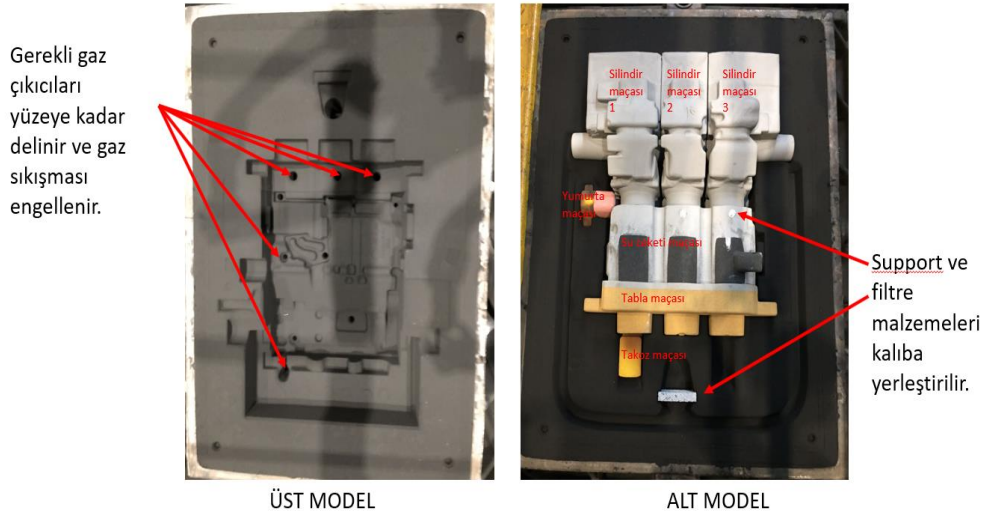
Şekil 4.9. Üst ve alt modellerin kalıplanmış halinin gösterimi



Şekil 4.10. Motor Blok Yağ Galerisi Shell Maça Simülasyon Yapılarak Pişirme Süresi Tayini

Pişirme süresi ile kabuk kalınlığı artmaktadır. Optimum kabuk kalınlığı için simülasyon çalışması yapılmıştır.

Modelin şeklini alan dereceler maça koyma hattına ilerletilir. Maça koyma hattında maça yerleşimleri maça başları kalıma uygun girecek şekilde yerleştirilir. Bu istasyonda kullanılacak filtre, support ve soğutucu gibi yardımcı ekipmanlar proses kartına göre yerleştirilir.



Şekil 4.11. Kalıba Yerleştirilecek Olan Maçalar, Filtre Ve Supportların Yerleşim Sonrası Gösterimi

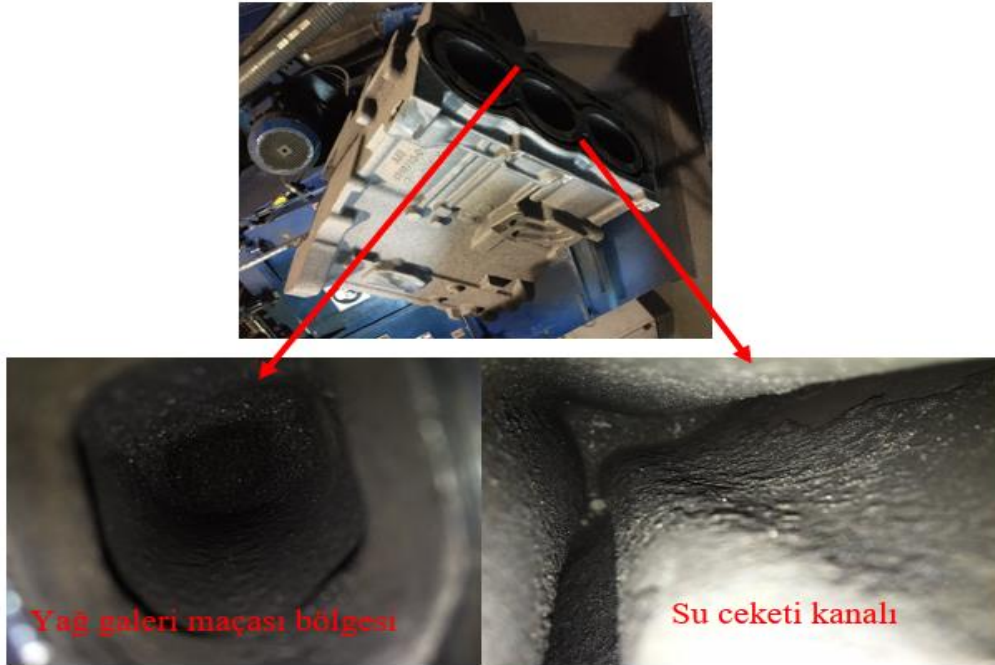
Ardından üst derece alt dereceye kapatılarak döküm yapılacak olan istasyona ilerletilir. Öncesinde ergitme bölümünde proses kartına göre hazırlanan eritilmiş metal, taşıma

potası ile döküm robotu bölümüne transferi yapılır. Döküm robotunda proses kartında belirtilen aşılama talimatları ve sıcaklık talimatlarına göre döküm işlemi gerçekleşir. Döküm işlemi gerçekleşmesi sonrasında derece soğuma hattına oradan sarsak bölümüne giderek kum kalıp bozular ve parçamız ilk kuşlamaya hazır hale gelir.



Şekil 4.12. Sarsaktan Çıkan Parçaların Alınması Ve Paletlere Dizilmesi

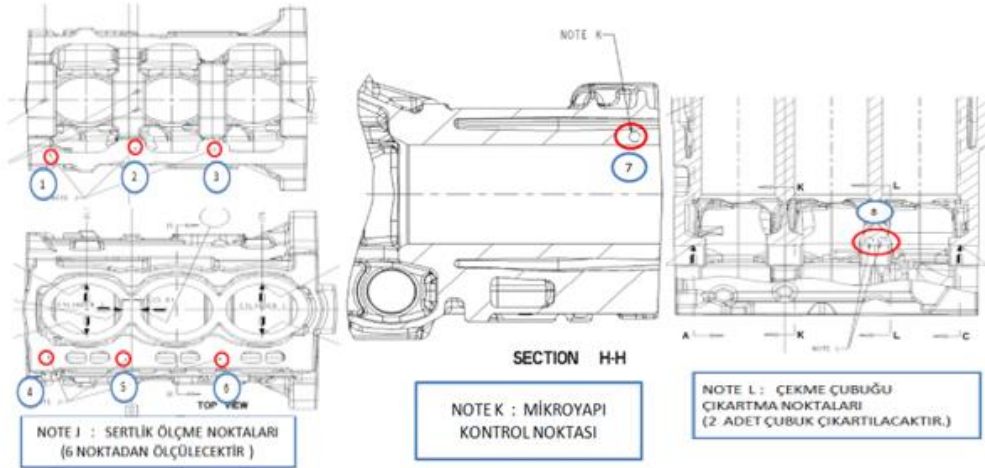
Sarsaktan çıkan parçalar basınçlı bilyalama makinasında kumu temizlemek amacıyla temizlenir.



Şekil 4.13. Taşlama Sonrası Motor Bloklar

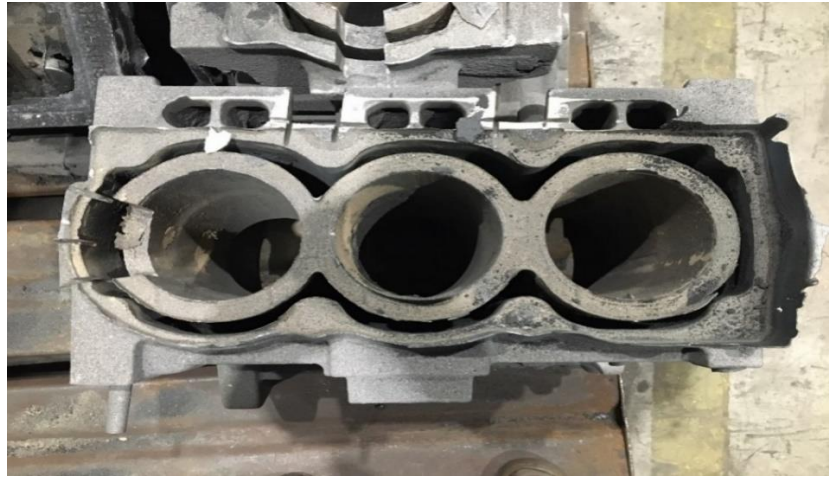
4.1.3. Mikroyapısal ve mekanik analizler

Parçalar ilk kumlama sonrasında mikro yapı ve mekanik testler yapılması için kalite laboratuvarına gönderilir. Kalite biriminde parçanın; sertlik, mikro yapı ve çekme testleri yapılmaktadır.



Şekil 4.14. Sertlik, Çekme Ve Mikro Yapı Bakılacak Olan Bölgelerin Teknik Resim Üzerinde Gösterimi.

Teknik resimde işaretli olan yerlerden mikro yapı bakılması için parçadan numuneler alınmaktadır. Parçadan alınan numuneler mikroskobik kontrollerin yapılması için uygun hale getirilir. Bu işlemler kaba yüzey zımpara, orta zımpara, ince zımpara, parlatma işlemleri olarak devam edilmektedir.



Şekil 4.15. Mikro Yapı ve Sertlik Kontrolü İçin Numune Alınan Bölümler.

Tablo 4.5. Mikro Yapı Numunesi Hazırlama İşlemleri

Parametre	Yüze y	Aşındırıcı	Sıvı	Kuvvet/ Num. (N)	Süre / dk	Dönme hızı (rpm)	Dönme yönü
İşlem							
Kaba zımpara	Zımpara	180 Zr ₂ O ₃	S u	20N	4 dk yada yüzey düzenlene kadar	350	Ters
Orta zımpara	Zımpara	320 SiC	Su	20 N	4 dk yada yüzey düzenlene kadar	300	Ters
İnce zımpara	Zımpara	600 SiC	Su	20 N	3 dk yada yüzey düzenlene kadar	300	Ters
Final parlatma	Çuha	1µm Elmas pasta	Su	15 N	5 dK	270	Ters
Dağlama	%4 nital (eğer yapı incelenecek ise dağlama yapılır.) Eğer grafitlerin yapısı incelenecek ise dağlama yapılmaz.						



Şekil 4.16. Çıkarılan Mikro Yapı Numuneleri

Mikro yapı için çıkartılan numuneler yüzey pürüzlüğünü gidermek için zımpara işlemleri ve parlatma işlemleri yapılmaktadır.



Şekil 4.17. Zımparalama Cihazların Gösterimi

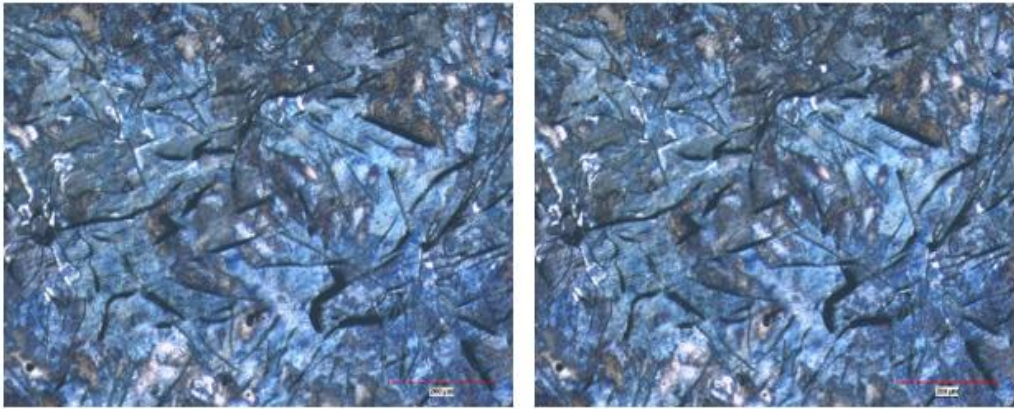
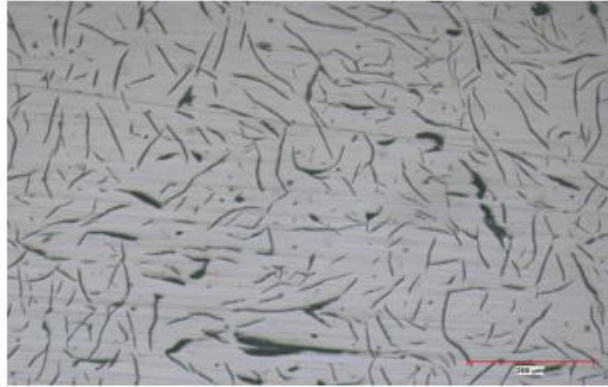


Şekil 4.18. Parlatma Cihazı, Parlatma Çuhaları Ve Parlatma Elmas Süsp. + (1 Ve6 M) + Elmas Suyu Gösterimi

Numune parçalar, mikro yapı hazırlama aşamalarının tamamlanması sonrasında optik mikroskop ile grafit yapıları ve tane sınırları incelenmektedir.



Şekil 4.19. Optik Mikroskop



Şekil 4.20. Dağlama Öncesi ve Sonrası Mikroyapı Gösterimi

Optik mikroskop ile incelenen numuneler standartlara göre karşılaştırma yapılarak sonuçlar kayıt altına alınmaktadır. Numunelerin farklı yüzeylerinden elmas uça sahip olan sertlik cihazında sertlik kontrolleri yapılmaktadır.

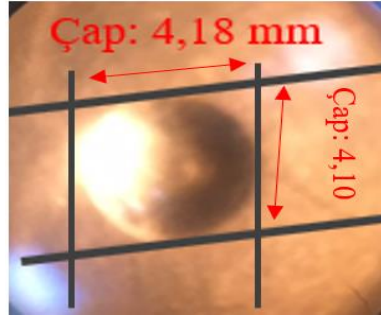
Tablo 4.6. Mikro Yapı Sonuçların Gösterimi

	Grafit Formu	Grafit Dağılımı	Matriks	Sementit
Spesifikasyon	A 4-5	Homojen	Max. %5 Ferrit	Sementik yok
Note K (7)	A 4-5	Homojen	1 % max. Ferrit	Sementik yok



Şekil 4.21. Sertlik Cihazı

Sertlik cihazı (HB), bilye ucun 1 tonluk yük altında iç çapına bakılarak sertlik kontrolleri yapılmaktadır.



Şekil 4.22. Bilye Ucun İz Çapı Gösterimi

Motor bloğun çekme numunesi teknik resme göre belirtilen en fazla yükün bindiğin ana kep yatağından çıkartılmaktadır. Buradan çıkartılan çekme çubuğu kütüğü, çekme numunesi teknik resmine göre torna yardımı ile işlenerek çekmeye hazır hale getirilmektedir.

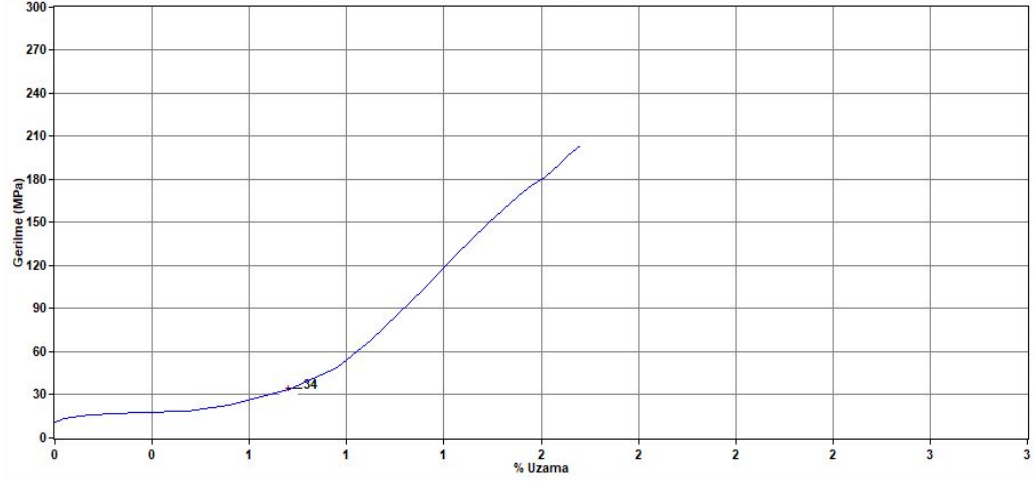


Şekil 4.23. Çekme Çubuğu Gösterimi



Şekil 4.24. Çekme Cihazı

Hazırlanan çekme çubuğu numunesi, çekme cihazına bağlanarak çekme testi yapılmaya başlanmıştır.



Şekil 4.25. Çekme Testi Grafiği Gösterimi.

Tablo 4.7. Çekme Testi Sonuçları

	Sonuçlar
Numune çapı	10,2mm
Uzunluk (Lo)	60,00 mm
Son uzunluk (Ls)	60,09 mm
Akma yükü	4.359 Newton
Çekme yükü	19.982 Newton
% kopmada ki uzuma	1,4
Akma mukavemeti	34 MPa
Çekme mukavemeti	231,0 MPa
Çekme / akma	4,355

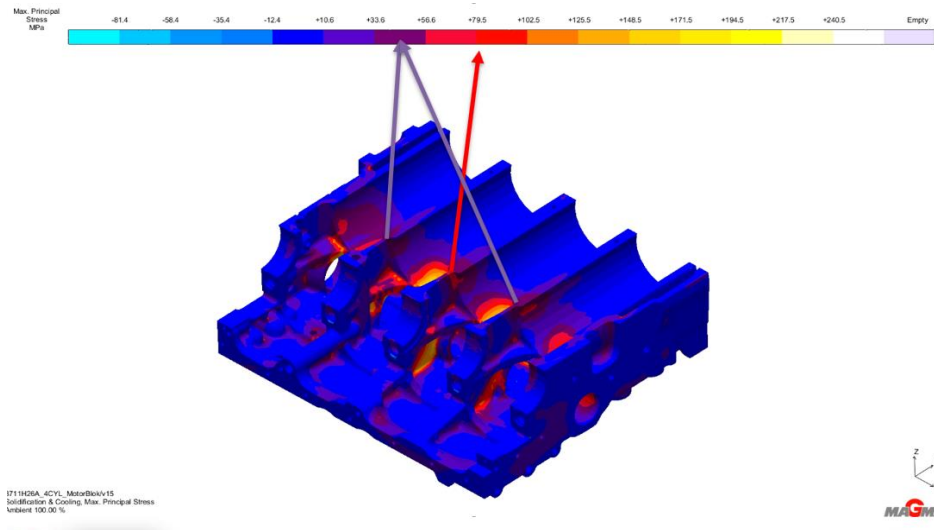


Şekil 4.26. Çekme Testi Sonrasında Porozite Kontrollü Yapılmıştır. Poroziteye Rastlanmamıştır.

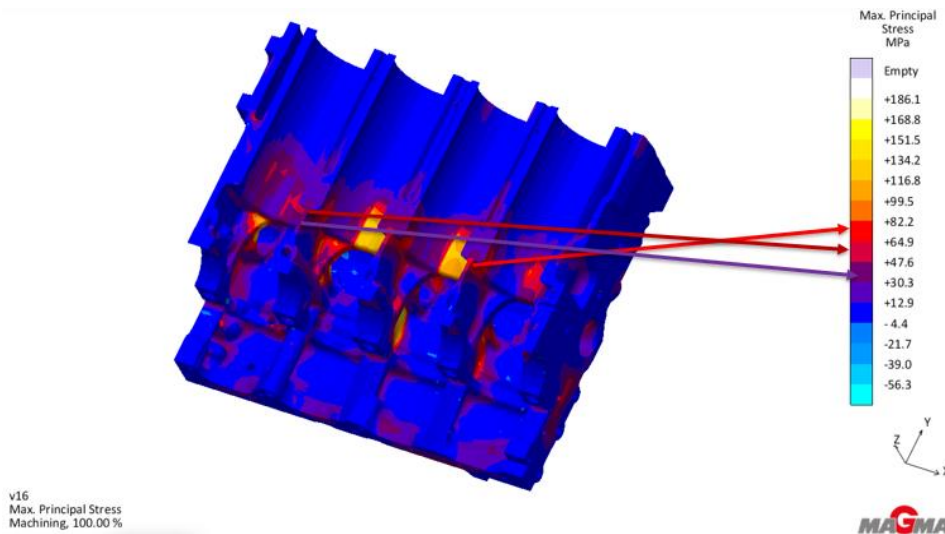
Tablo 4.8. Sertlik ve Çekme Sonuçlarının Gösterimi

	SERTLİK HB			ÇEKME Nt/mm ²	MUK.
SPESİFİKASYON	187-235			185 Nt / mm ²	
NOTE J (1-2-3)	195	197	202	231 Nt / mm ²	
NOTE J (4-5-6)	204	207	208	NOTE L-8	

Motor bloğunun, soğuma aşamasında basma ve çekme streslerinden, üretim aşamalarında oluşabilecek stres birikimlerinden kaynaklı oluşabilecek olan çatlak hataların fark edilebilmesi için kalıntı stres simülasyonu yapılmıştır.

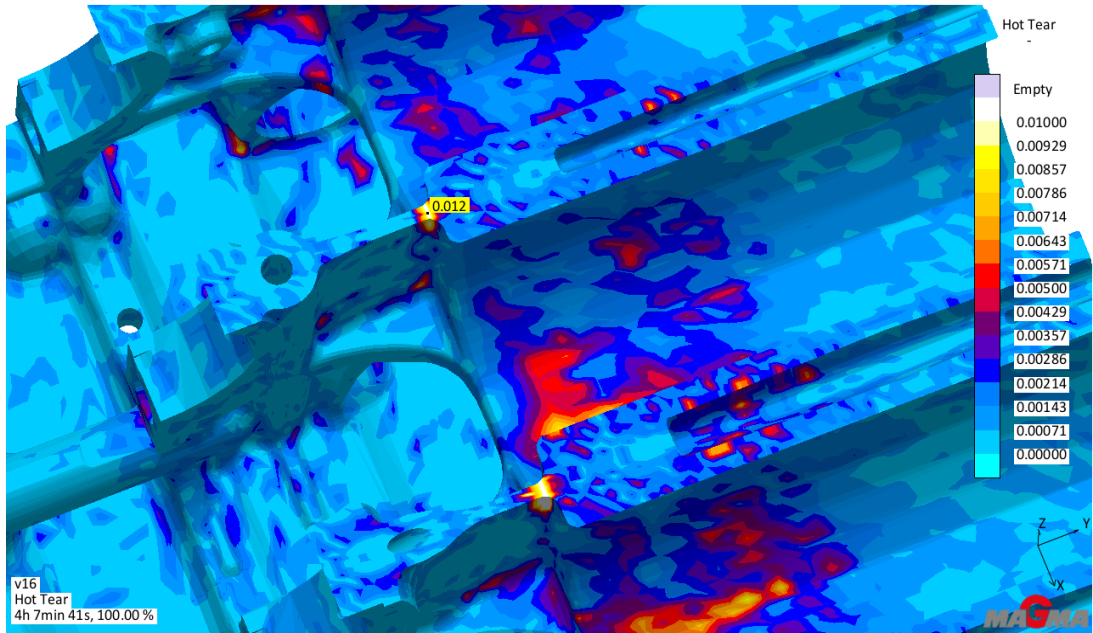
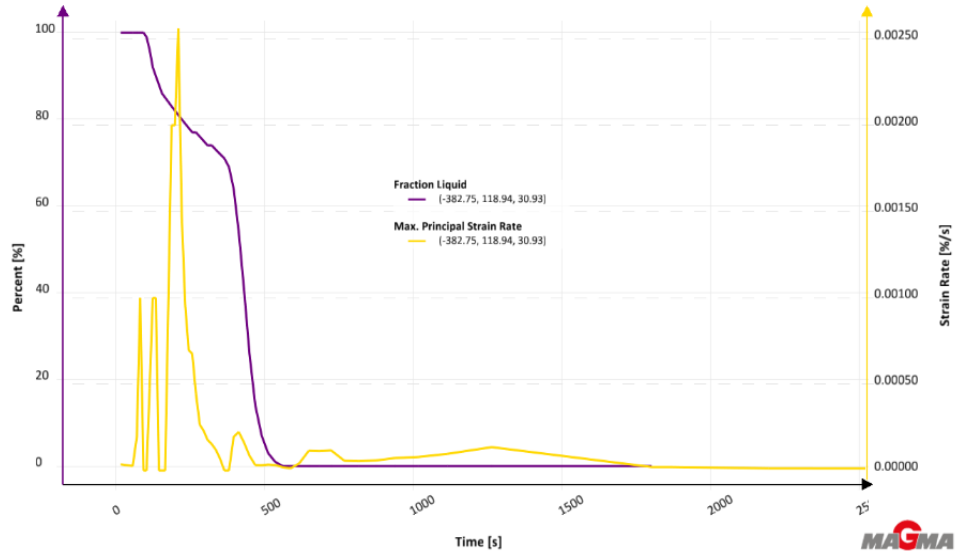


Şekil 4.27. 100 Dakika Kalıp Bozma Süresinde İle Kalıntı Gerilime Dağılımı



Şekil 4.28. 150 Dakika Kalıp Bozma Süresinde İle Kalıntı Gerilime Dağılımı

Sarsaktaki kalıp bozma süreleri arttırıldığında kalıntı stres miktarları azalmaktadır.

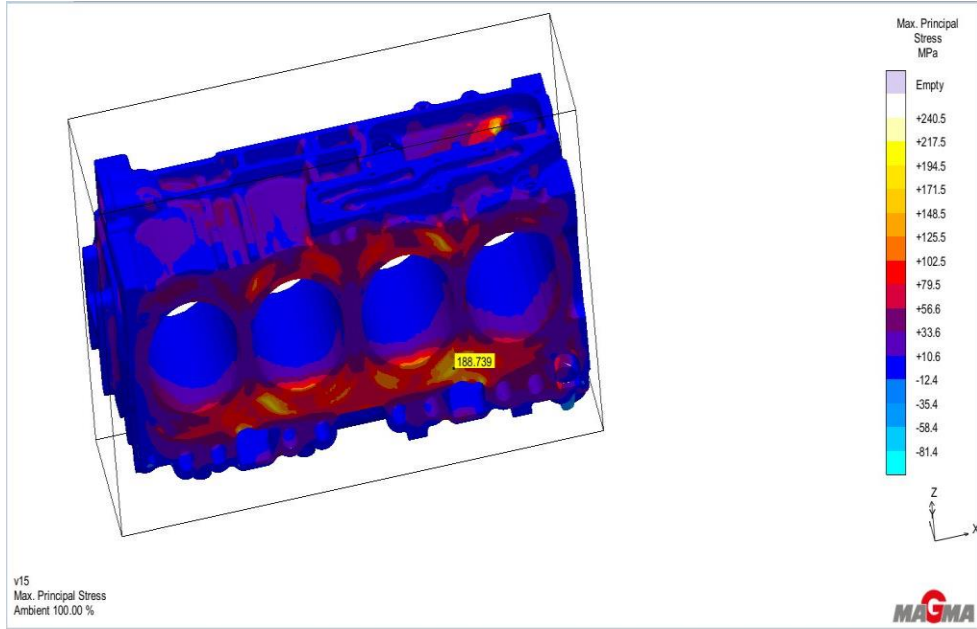


Şekil 4.29. Çatlak Oluşabilecek Noktada Belirlenen Sıcak Yırtılma Riski

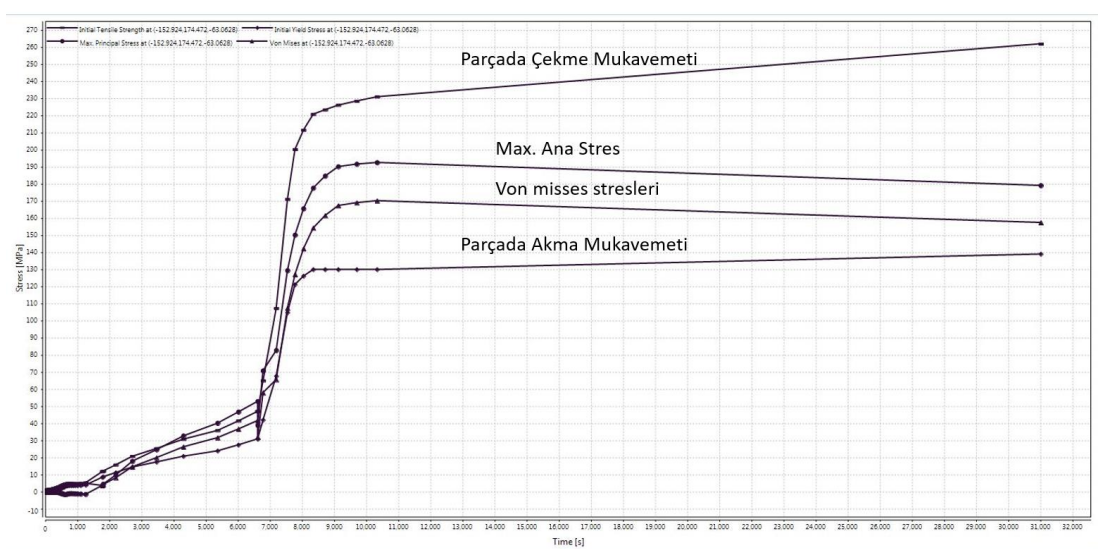
Çatlak riski görülen noktadaki belirlenen sıcak yırtılma ölçeğinde incelemesi. Sıcak yırtılma katılma sırasında, faz dönüşümünde ise sıvı-katı aralığında oluşur. Aşağıdaki aksiyonlarla giderilebilir;

- Grafit genişleme mekanizmasıyla kendi kendine beslenme,
- Daha fazla besleme süresi sağlamak için tasarım değişikliği,

- CEL'i artırarak sıvı-katı dönüşüm aralığını azaltmak,
- Lokal soğutma uygulanarak, termal büzölmeler en yüksek yer değışimi değerlerine ulaşmadan riskli bölgeyi katı-sıvı aralığından çıkarmak.



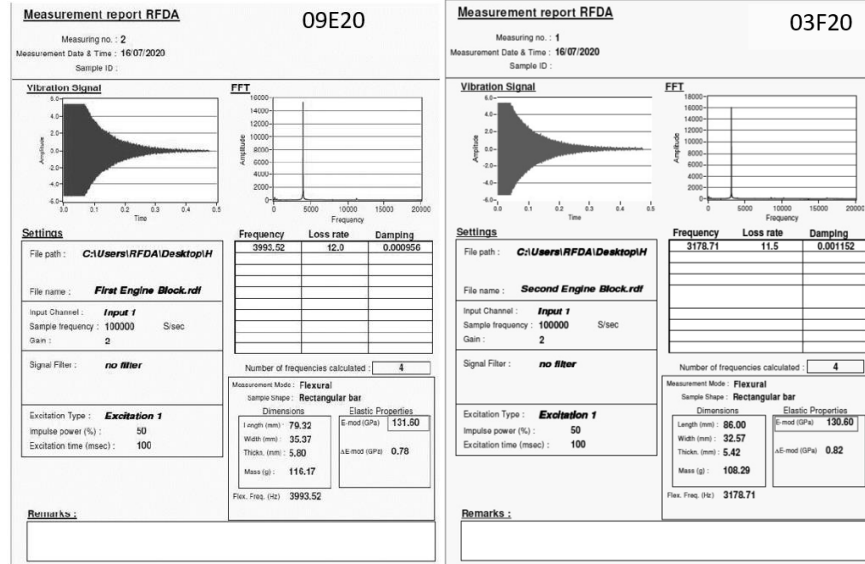
Şekil 4.30. Maksimum Ana Stres Gösterimi



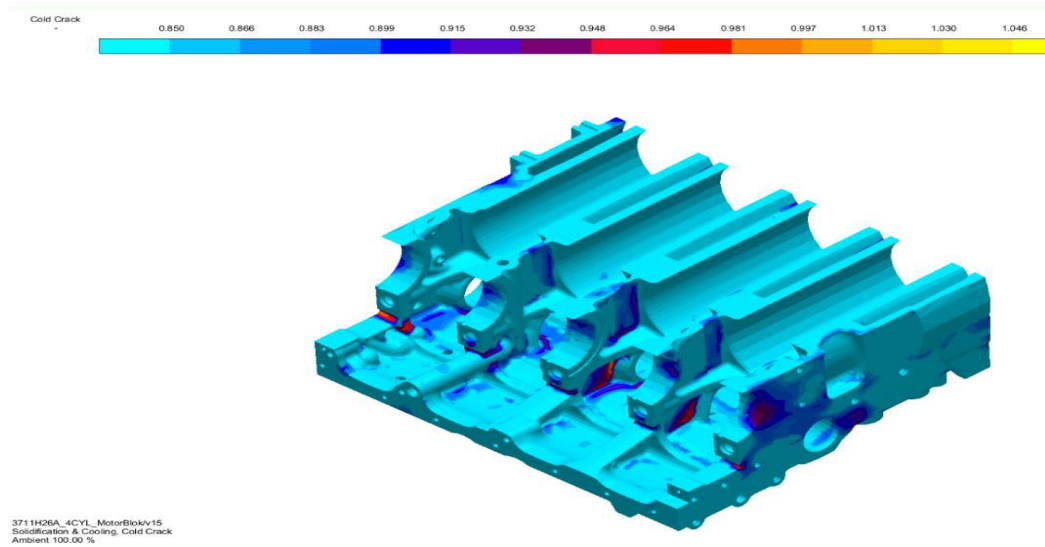
Şekil 4.31. Şekil 4.30.'daki Noktanın Grafit Üzerinde Gösterimi

Değerler bir önceki slaytta gösterilen noktadan alınır. Temel olarak, Von Misses değeri başlangıç akma gerilmesinden daha yüksektir ve bu, plastik deformasyonun mümkün

olduğu anlamına gelir. En çok ithal edilen değer max. Ana gerilme ve grafiğe göre ilk çekme gerilmesinden daha düşüktür. Bu bölgede çatlak izi yok diyebiliriz.



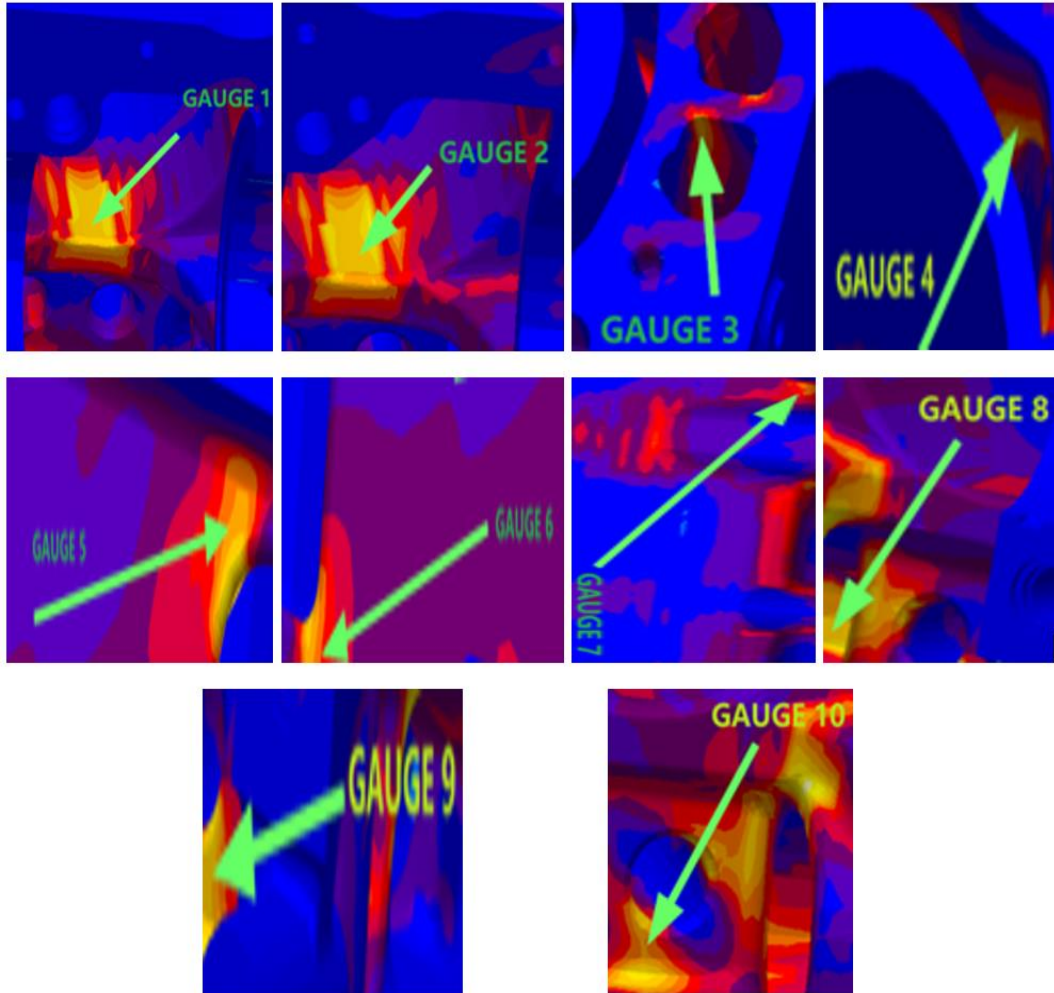
Şekil 4.32. Dinamik Elastik Modül Testi (ASTM E1876-15) Sonuçları Kalıntı Streslerin Hesaplanmasında Kullanılmıştır.



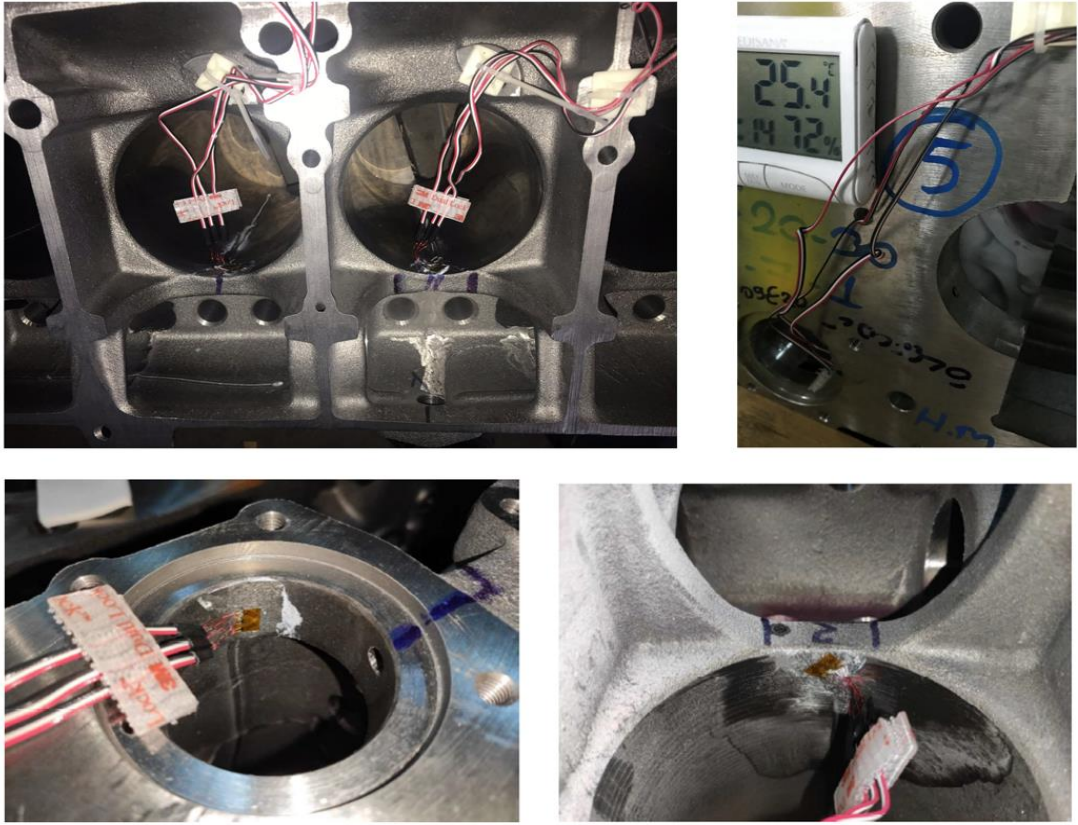
Şekil 4.33. Kalıntı Stres Simülasyonu Sonuçları

Yapılan simülasyon çalışmalarının sonrasında sonuçlar incelendiğinde kalıp bozma sürelerinin artırılıp yapılan çalışmalar sonucunda kalıntı gerilimin kalıp bozma süresi ile ters orantılı olduğu görülmüştür.

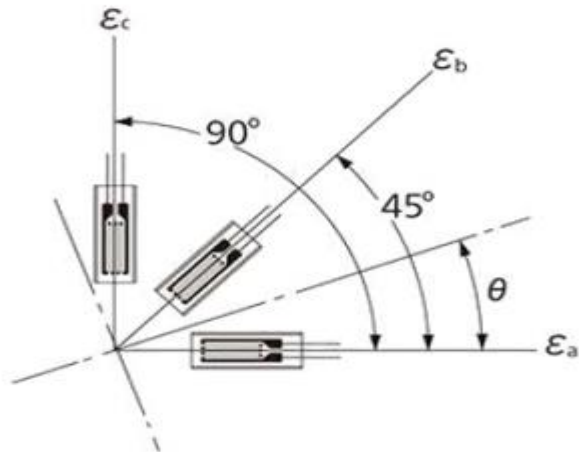
Yapılan simülasyon çalışmaların risk görüldüğü için gerçekte ne olacağını görebilmek için “strain gauge” ile kalıntı stres analizi yapılmıştır.



Şekil 4.34. Simülasyonda yüksek kalıntı stres riski görünen noktalar



Şekil 4.35. Kalıntı Stres Deneyinde Gerinim Ölçerlerin Yerleştirilmesi.

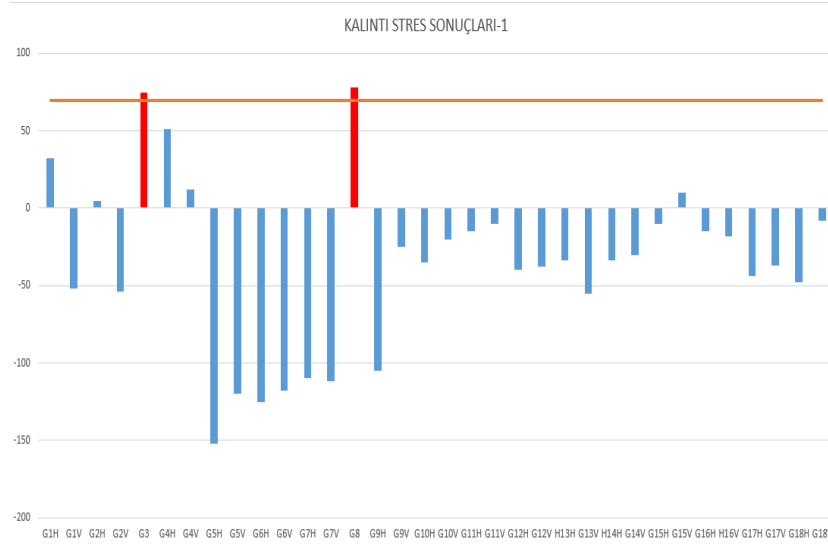


Şekil 4.36. Ölçümlerde Kullanılan 3 Açılı Rozetli Gerinim Ölçer

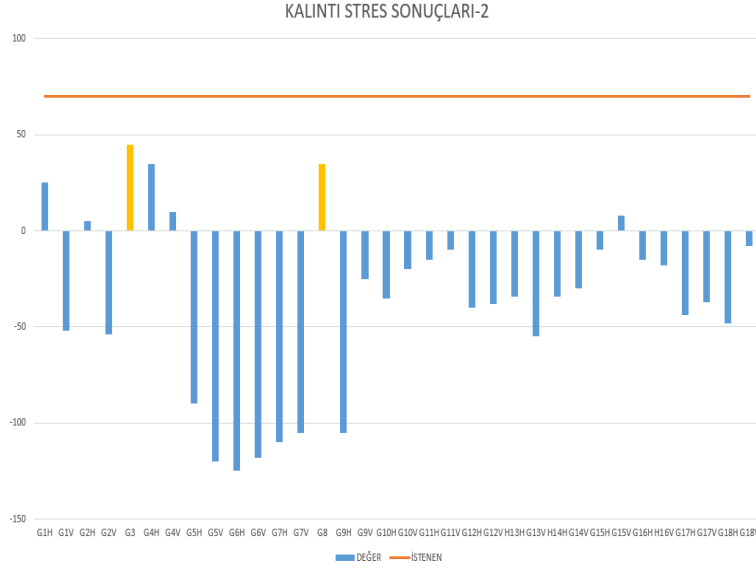
Ölçülen ve ölçüm yapılırken dikkate alınan tüm parametreler;

- Sıcaklık, İşleme merkezindeki titreşimler, İşleme sırasındaki titreşimler.

- Alan 1 üzerindeki stres ölçülürken, talaşlı imalat işlemlerinin kaldırılması alan 2 üzerindeki stresi etkilemiştir.



Şekil 4.37. Soğuma süresi 100 dakika olan bloğun strain gauge testi sonuçları



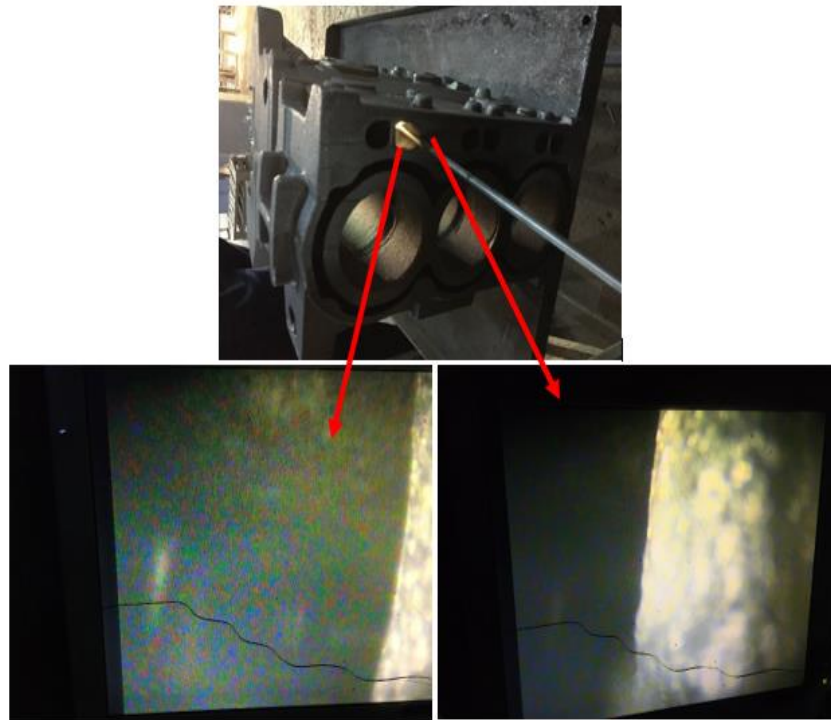
Şekil 4.38. Soğuma Süresi 150 Dakika Olan Bloğun Strain Gauge Testi Sonuçları

Sonrasında parçadan fazla çapakları temizlenmek için taşlama işlemi gerçekleştirir ve sonrasında taş izlerini silmek için tekrardan ikinci kumlamaya getirilir.



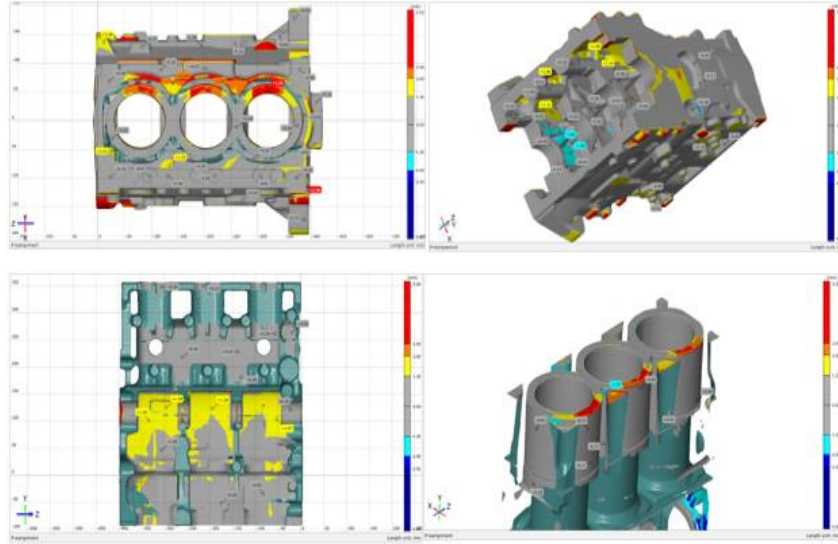
Şekil 4.39. Kumlama sonrası parçaların görüntüsü

Parça sonrasında final kontrolde, boroskop yardımı ile gözle görmenin zor olduğu yerlere kadar kontrol edilmektedir.

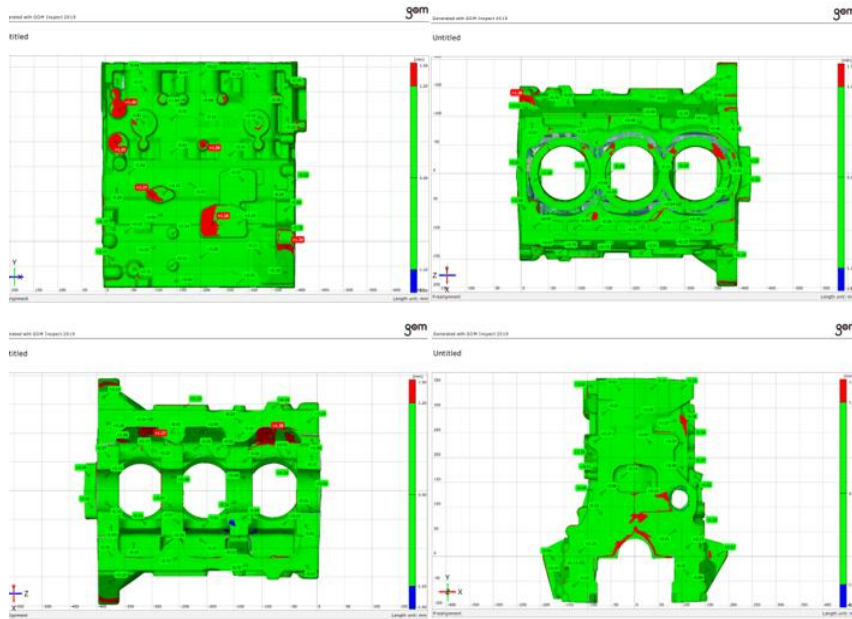


Şekil 4.40. Gözle Görülmesi Zor Olan Bölgelerin Boroskop Yardımı İle Kontrol Edilmesinin Gösterimi.

Final kontrolde kontrolleri yapılan parçalardan uygun olanlardan her dökümden kontrol edilmek üzere ölçüm laboratuvarında ölçümleri gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.41. Veri ile tarama raporların çakışım sonuçlarının gösterimi



Şekil 4.42. Motor blok dış yüzey ölçü kontrolü.

Kumlama ve kontrolleri tamamlanan motor bloklar boyahaneye sonrasında sevkiyat bölümüne sevk edilir.

BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışma sonucunda;

Döküm yöntemlerinden, kum kalıba döküm yöntemi ile üretilen GG25 esaslı motor blok üretimi için gerekli olan;

- Tasarım; döküm takımları üretiminde bilgisayar destekli tasarım araçları kullanılarak bilgisayar ortamında model üretimi öncesi ön kontroller yapılmış model imalatı için yüksek doğrulukta CNC işleme verileri sağlanmıştır. Ayrıca tüm üretim ekibinin kalıp bileşenlerini üretim öncesi tanınması için görsel veriler oluşturulmuştur.
- Döküm simülasyonu (bilgisayar destekli mühendislik uygulaması); yolluk hesaplamadı gibi mühendislik hesaplamalarında bir doğrulama aracı olarak kullanılmıştır.
- Shell maça pişirme süresi belirlenmesinde de döküm simülasyonundan faydalanılmış optimum üretim parametreleri belirlenmiştir.
- Parça üzerindeki kalıntı streslerinin oluşumunda etkili olan kalıp bozma süresi belirlenmesinde de döküm simülasyonunun stres modülünden faydalanılmıştır.
- Üretim gerçekleşme sonuçları da yapılan bu hesaplamalarla örtüşmüş, ürün kalitesini belirleyen; görsel, boyutsal ve yapısal testler sonucunda müşteri isteklerine uygun ürün elde edilmesi sağlanmıştır.

Motor blok gibi kritik bir döküm parçasının istenen teknik özelliklerin sağlanmasında bilgisayar destekli tasarım (cad) ve döküm simülasyonu uygulamalarının kullanımı, günümüzde tasarım ve üretim esnasında aktif rol alan mühendislik ekibi için temel mühendislik araçları haline gelmiştir.

KAYNAKLAR

- A.Ulvi AVCI, 1993, Metallerin Sürekli Dökümü, Yıldız Teknik Üniversitesi
- Aran, A., 2007, Döküm Teknolojisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi, İstanbul,106s.
- ASM (american society of metals), handbook, 1988, vol:15; casting, s.536.
- Bayraktar B., Çetin U., Ertuğrul E., 2004, İçten Yanmalı Motorlarda Kullanılan Malzemeler, Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi
- Bünyamin K., 2019, Lamel Grafitli Dökme Demir Termal Analiz Yöntemi İle Karbon Eşdeğerinin Tayini, Mikro yapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi
- Cevher, Ö., 2006, Dökme Demirlerde Sert Faz Oluşumunun Önlenmesi ve Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi,, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi
- Clem, Arthur G., 1961, industrial applications of bentonite, clays and clay minerals
- Çavuşoğlu, E. N., 1981. Döküm Teknolojisi 1 Döküm Yöntemleri-Dökme Demirler, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu
- Çavuşoğlu, E.N., 1981, döküm teknolojisi, İTÜ matbaası, İstanbul
- Erdoğan T., Çeliklerde ve Dökme Demirler İçin Kurumsal ve Uygulamalı Metalografi, 2013, Tüdoksan
- Esra T., 2016, Çankırı-Eldivan Yöresi Bentonitinin Döküm Kalıp Kumu Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi
- Fikret E, 1999, Seramik Kabuklu Döküm Yöntemi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi
- Gıyasettin E.,1979, Plastik ve Metal Döküm Kalıpları, Millî Eğitim Bakanlığı Etüd. Ve Programlama Dairesi Yayınları No. 72. (sayfa 44-58)
- Güney A, 2008, Sürekli Dökümde Katılma ve Soğutmanın İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi
- Hossain, A., 1989, Alaşım elementlerinin gri dökme demir mikro yapısı ve mekanik özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi

- <https://makina.deu.edu.tr/wp-content/uploads/2021/10/2Cekme.pdf> , Erişim Tarihi: 27.05.2022
- Klaus Löchte, 1998, Working with the Cold Box Process in the Coremaking Department of a Foundry, Hüttenes-Albertus Chemische Werke GmbH
- Köroğlu, M., 1989, Aşılacağı tane büyüklüğü ve miktarının gri dökme demirde mikro yapı ve mekanik özelliklere etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi
- Macit Ç, 1972, Basınçlı Döküm Cilt 1, Makine Mühendisleri Odası, Ankara
- Mukherjee, P.C., 1988, fundamentals of metal casting tecknology, Oxford and IBH, new delhi
- Ömer Onur A, 2007, Antioch Yöntemiyle Hazırlanan Alçı Kalıp ve Dereceli Hassas Döküm Kalıplarında Segregasyon Oluşumunun İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi
- S. Timuçin Y, 2006, Metal Enjeksiyon Tezghahına Ergimiş Metal Besleme Robotu Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi
- Savaş İ., Yaş Kalıplama Kumu, 2012, değişim yayınları
- Staudt W., 1995, Motorculukta Metal Tekniğı, Ajans Türk Matbaacılık, MEB yayınları, Ankara
- Tolgay G, 2005, Savurma Döküm Yöntemi ile Üretilen Kalay- Bronz'a Döküm Parametrelerinin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi
- Umut A, 2014, Kobiler ve Mikro İşletmelerde Demir Döküm Sanayi Sektör Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul teknik üniversitesi

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Burhan BAŞ

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Metalürji ve Malzeme Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Metalürji ve Malzeme Mühendisliği	2019
Lise	Mehmet Ali ve Kadri Yılmaz Anadolu Lisesi (Kdz. Ereğli)	2014

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2019- Halen	Hema Endüstri	Döküm Fabrikası Simülasyon ve Ölçüm Sistemleri Mühendisi
2018-2019	Daloğlu Döküm Makine	Kalite Mühendisi (Yarı Zamanlı)

YABANCI DİL

İngilizce

HOBİLER

Yemek yapmak, Psikoloji ve felsefe türünde kitaplar okumak, motosiklet kullanmak, basketbol oynamak, kamp kurmak