

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ALÜMİNYUM
ALAŞIMLI OTOMOBİL JANT ÜRETİMİNİN MODELLENMESİ

SAMED BERKER IŞIK

KOCAELİ 2021

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ALÜMİNYUM
ALAŞIMLI OTOMOBİL JANT ÜRETİMİNİN MODELLENMESİ

SAMED BERKER IŞIK

Prof.Dr. Muzaffer ZEREN
Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Doç.Dr. Ekrem ALTUNCU
Jüri Üyesi, Sakarya Uygulamalı
Bilimler Üniv.

.....

Doç.Dr. Hasan KAYA
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 22.06.2021

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, ürün dayanımı aynı kalacak şekilde daha az maliyetle, kaliteli ürünü en hızlı bir şekilde üretebilmek için yüksek basınçlı döküm yöntemi ile alüminyum alaşımlı jant üretimini simüle etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmamda desteğini esirgemeyen, çalışmalarına yön veren, bana güvenen danışmanım Prof.Dr. Muzaffer ZEREN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca görüşleri ile çalışmalarına katkıda bulunan, karşılaştığım her zorlukta desteğini ve zamanını esirgemeyen Makine Müh. Kemal ATAMAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda tüm mevcut imkânlarını kullandığım, çalışmama destekleriyle katkı sağlayan Kırpart Otomotiv Parçaları Sanayi ve Tic. A.Ş. ailesine teşekkür ediyorum.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca gösterdikleri emeklerden dolayı Fen Bilimleri Enstitüsü çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

Hayatım boyunca bana güç veren en büyük destekçilerim, her aşamada sıkıntılarımı ve mutluluklarımı paylaştığım sevgili babam, annem ve ağabeyime teşekkürlerimi sunarım.

Haziran – 2021

Samed Berker IŞIK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET.....	x
ABSTRACT	xi
GİRİŞ	1
1.ALÜMİNYUM	3
1.1.Alüminyumun Tarihçesi.....	3
1.2.Alüminyumun Genel Özellikleri	5
1.3.Alüminyum Alaşımaları.....	8
1.3.1.Alaşım elementlerinin alüminyum alaşımlarına etkileri.....	12
1.3.2.Otomotiv endüstrisinde alüminyum alaşımları.....	14
1.3.3.Al-Si döküm alaşımlarının genel özellikleri	17
2.DÖKÜM TEKNİĞİ VE TARİHÇESİ	19
2.1.Yüksek Basıncılı Döküm Yöntemi ve Tarihçesi	20
2.1.1.Yüksek basınçlı döküm yönteminin avantajları.....	24
2.1.2.Yüksek basınçlı döküm yönteminin dezavantajları	25
2.2.Yüksek Basıncılı Döküm Tezgâhı ve Yardımcı Ekipmanları	25
2.2.1.Ergitme ocakları.....	33
2.2.2.Dozajlama/Bekletme ocakları	35
2.2.3.Gaz alma ünitesi.....	36
2.2.4.Kalıp yağlama ünitesi	37
2.2.5.Piston yağlama ünitesi	38
2.2.6.Parça alma robotları	39
2.2.7.Parça kontrol kamerası.....	40
2.2.8.Soğutma tankı ünitesi.....	40
2.2.9.Kalıp ısıtma ünitesi	41
2.2.10.Trim pres ünitesi	42
2.2.11.Vakum ünitesi	43
2.2.12.Jet cooling ünitesi	43
2.3.Yüksek Basıncılı Döküm Kalıpları ve Ekipmanları	44
2.3.1.Kalıp çekirdeği ve hamili.....	47
2.3.2.Maçalar	48
2.3.3.İticiler	49
2.3.4.Kalıp merkezleme milleri ve burçları	51
2.4.Yüksek Basıncılı Döküm Kalıplarının Tasarım Süreci	52
2.4.1.Çıkış açısı ve kalıp ayırım hattı	52
2.4.2.Göz sayısının belirlenmesi	55
2.4.3.Boyutsal toleransların sağlanması.....	56
2.4.4.Döküm yapılacak yüksek basınçlı döküm tezgâhının belirlenmesi.....	56
2.4.5.Doldurma oranı	57
2.4.6.Yolluk tasarımı	58

2.4.7.Soğutma kanallarının tasarımı	61
2.4.8.Hava cebi ve hava tahliye kanallarının tasarımı	63
3.JANT ÜRETİM TEKNİKLERİ	65
3.1.Otomobil Jantlarının Yapısı ve Teknik Tanımlar.....	66
3.2.Soğuk Şekillendirme Yöntemi ile Jant Üretimi	68
3.3.Dövme Yöntemi İle Jant Üretimi	72
3.4.Alçak Basıncı Döküm Yöntemi İle Jant Üretimi	73
3.4.1.Ham madde temini ve giriş kalite kontrol	74
3.4.2.Ergitme bölümü	75
3.4.3.Alüminyum alaşımlarında tane inceltme ve modifikasyon işlemi.....	76
3.4.4.Alçak basınçlı döküm yöntemi ile jant üretiminde kullanılan döküm kalıpları ve poteyaj kaplama	81
3.4.5.Alçak basınçlı döküm	83
3.4.6.Otomobil jantlarına uygulanan ısı işlem.....	87
3.4.7.Alüminyum alaşımlı jantların talaşlı imalat süreci	89
3.4.8.Alüminyum alaşımlı jantların boya süreci	91
3.4.9.Alçak basınçlı döküm yöntemi ile üretilen jantlara uygulanan testler	92
4.MALZEME VE YÖNTEM İLE BULGULAR.....	101
4.1.Farklı Jant Modellerinin Yüksek Basıncı Döküm Yöntemi İle Üretiminin Araştırılması	103
4.2.Yüksek Basıncı Döküm Yönteminde Jant Üretimi İçin Yolluk Tasarımı ...	106
4.3.Hava Ceplerinin Tasarımı	116
4.4.Tezgâh Seçimi ve Doldurma Oranı	119
4.5.Soğutma Kanallarının Tasarımı.....	121
4.6.Nihai Simülasyon Çalışması	125
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	136
KAYNAKLAR	139
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	144
ÖZGEÇMİŞ	145

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Alüminyumun kimsayal özellikleri.....	6
Şekil 1.2.	Alüminyumun yüzey merkezli kübik atomik yapısının şematik gösterimi.....	6
Şekil 1.3.	Farklı malzeme ağırlıklarının ortalaması ve 2025 öngürüsü.....	15
Şekil 1.4.	Ülkelerin CO ₂ yayınında 2025 yılına kadar düşüş öngörü grafiği.....	15
Şekil 1.5.	Otomotiv ana sanayi üreticilerinin CO ₂ emisyon çalışmaları	16
Şekil 1.6.	Otomobillerde bulunan alüminyum komponentler	17
Şekil 1.7.	Araç başına düşen alüminyum ağırlığının yıllara göre artış grafiği.....	17
Şekil 1.8.	Alüminyum-silisyum ikili denge diyagramı	18
Şekil 2.1.	Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile parça üretim aşamalarının şematik gösterimi	21
Şekil 2.2.	1. fazda piston ve hazne içindeki sıvı metalin hareketi şematik gösterimi.....	22
Şekil 2.3.	2. faz ile kalıp dolumunun şematik gösterimi	23
Şekil 2.4.	Yüksek basınçlı döküm tezgâhı, iskelet ve yağ tanklarının şematik gösterimi.....	26
Şekil 2.5.	Yağ temizliği ve seviyesinin kontrol edildiği gözetleme camı ve yağ sıcaklığının ölçüldüğü termometre.....	26
Şekil 2.6.	Yüksek basınçlı döküm tezgâhlarında bulunan plakaların gösterimi.....	27
Şekil 2.7.	Enjeksiyon döküm tezgâhı üzerinde bulunan kolon millerinin görünümü	28
Şekil 2.8.	Makas grubunun (a) kitlenmemiş (b) kitlenmiş şematik gösterimi	29
Şekil 2.9.	Mengene mili ve redüktör gösterimi	29
Şekil 2.10.	Elektrik motoru ve hidrolik pompa grubu gösterimi.....	30
Şekil 2.11.	Yüksek basınçlı döküm tezgâhında kullanılan selenoid valf gösterimi.....	31
Şekil 2.12.	Limit anahtarları / switchlerin gösterimi.....	31
Şekil 2.13.	Enjeksiyon grubu şematik gösterimi	32
Şekil 2.14.	Şaft tipi ergitme ocağı	34
Şekil 2.15.	Cüruf alma işlemi	34
Şekil 2.16.	Dozajlama/bekletme ocağının şematik gösterimi	35
Şekil 2.17.	Alüminyum alaşımında oluşan gaz gözeneği.....	36
Şekil 2.18.	Gaz alma işleminin görseli.....	37
Şekil 2.19.	Yağlama sistemi görselleri.....	38
Şekil 2.20.	Piston yağlama tankı ve sistemi görselleri	39
Şekil 2.21.	6 Eksenli parça alma robotu ve kalıptan parça çıkartma.....	39
Şekil 2.22.	Parça kontrol kamerası	40
Şekil 2.23.	Parça soğutma tankı	41
Şekil 2.24.	Kalıp ısıtıcı	42
Şekil 2.25.	Trim presin önden ve soldan şematik gösterimi.....	42
Şekil 2.26.	Vakum ünitesinin şematik gösterimi.....	43

Şekil 2.27. Jet cooling ünitesi şematik gösterimi	44
Şekil 2.28. L. Frommer'in oluşturduğu sıvı metalin kalıp içi hareket modeli	46
Şekil 2.29. Yüksek basınçlı döküm kalıbı	46
Şekil 2.30. Kalıp çekirdeklerinin görünümü	47
Şekil 2.31. Kalıp hamillerinin görünümü	48
Şekil 2.32. Maça çekirdeklerinin görünümü	49
Şekil 2.33. İtici sisteminin şematik çizimi	50
Şekil 2.34. Döküm parçasının döküm kalıbından iticiler yardımı ile çıkartılması	50
Şekil 2.35. Kalıp merkezleme mili ve burçlarının şematik gösterimi	51
Şekil 2.36. Çıkış açılarının döküm parçası üzerinde gösterimi	53
Şekil 2.37. Çıkış açısının şematik gösterimi	54
Şekil 2.38. Tek gözlü ve dört gözlü döküm kalıbı örneği	56
Şekil 2.39. Spesifik basıncın şematik gösterimi	57
Şekil 2.40. Termoregülasyon kanalları	62
Şekil 3.1. Otomobil jantlarının yapısı ve genel tanımlamaların gösterimi	66
Şekil 3.2. Otomobil jantlarında kullanılan teknik terimlerin gösterimi	68
Şekil 3.3. Alüminyum alaşımlı jantların ETRTO tarafından yapılan sınıflandırılması	68
Şekil 3.4. Tek parçalı jantlarda flow forming yöntemi	69
Şekil 3.5. Sıvama yönteminde kasağın nihai hale gelene kadar ki şekil değişimi	70
Şekil 3.6. Kaynak ile kasnak ve göbek montajının gösterimi	71
Şekil 3.7. Dövme yöntemi ile jant üretim prosesi	72
Şekil 3.8. Jant üretiminde kullanılan Al-Si alaşımlı külçeler	74
Şekil 3.9. Sıvı metal transferi ve alaşıma ilavelerin yapıldığı bölüm	76
Şekil 3.10. Al-Ti ikili sisteminin faz diyagramı	78
Şekil 3.11. Tane boyutunun çekme dayanımı ve uzamaya olan etkisi	79
Şekil 3.12. Modifikasyon yapılmış ve yapılmamış Al-Si mikroyapıları	80
Şekil 3.13. Jant kalıplarının şematik gösterimi	81
Şekil 3.14. Alt kalıp poteyaj kaplama işleminin görseli	82
Şekil 3.15. Kaplama kalınlığının ve kaplama sıcaklığının ölçümü	83
Şekil 3.16. Alçak basınçlı döküm tezgâhının şematik görüntüsü	84
Şekil 3.17. Alçak basınçlı döküm tezgâhında dolmuş basınç grafiği	86
Şekil 3.18. Katılma yönünün şematik gösterimi	86
Şekil 3.19. T6 ısıl işleminin sıcaklık-zaman grafiği	87
Şekil 3.20. Jant işleme yüzetlerinin şematik gösterimi	89
Şekil 3.21. Stil yüzeyi işlenmiş jant	90
Şekil 3.22. Optik emisyon spektrometresinin şematik gösterimi	93
Şekil 3.23. Jant üzerinde sertlik ölçüm bölgelerinin gösterimi	94
Şekil 3.24. Standartlarda yer alan çekme numunesinin teknik resmi	94
Şekil 3.25. 13° Darbe test düzeneğinin görseli	96
Şekil 3.26. Darbe testi sisteminin çizimi	97
Şekil 3.27. Dinamik radyal yorulma testinin şematik gösterimi	98
Şekil 3.28. Dinamik viraj yorulma test düzeneğinin şematik gösterimi	99

Şekil 4.1.	Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile otomobil jant üretiminde çalışılan farklı jant modelleri.....	103
Şekil 4.2.	Farklı jant modellerinden alınan dolun hız sonuçları.....	104
Şekil 4.3.	Farklı jant modellerinde kalıp içi hava sıkışma sonuçları.....	104
Şekil 4.4.	Farklı jant modellerinde sıvı metal içinde çözünen hava sonuçları	105
Şekil 4.5.	Üç plakalı kalıplarda çalışma mantığının şematik gösterimi	106
Şekil 4.6.	Simülasyon çalışmalarında kullanılan jant modeli.....	107
Şekil 4.7.	İlk versiyon yolluk tasarımı ve simülasyon sonuçları.....	108
Şekil 4.8.	2. versiyon yolluk tasarımı ve simülasyon sonuçları	108
Şekil 4.9.	3. versiyon yolluk tasarımı ve simülasyon sonuçları	109
Şekil 4.10.	4. versiyon yolluk tasarımı ve simülasyon sonuçları	109
Şekil 4.11.	5. versiyon yolluk tasarımı ve simülasyon sonuçları	109
Şekil 4.12.	Kesit alanı arttırılan düz yolluk.....	110
Şekil 4.13.	Farklı yolluk giriş kesit alanlarının görüntüleri	110
Şekil 4.14.	6. versiyon yolluk tasarımı ve simülasyon sonuçları	111
Şekil 4.15.	7. versiyon yolluk tasarımı ve simülasyon sonuçları	111
Şekil 4.16.	8. versiyon (kuğu yolluk) yolluk tasarımı	112
Şekil 4.17.	8. versiyon kuğu yolluk tasarımı ve simülasyon sonuçları	112
Şekil 4.18.	Yolluk boyunca kesit alanlarının değişimi.....	114
Şekil 4.19.	Kesit alanlarının değişimine göre yollukta sıvı metal hızları.....	115
Şekil 4.20.	Tasarlanan yolluk ile jant modelinin dolunu.....	116
Şekil 4.21.	Hava cebi tasarımı	116
Şekil 4.22.	Dolumun %92, %94, %96 ve %98 anında kanallarda süpürülen hava	118
Şekil 4.23.	Hava cebi tasarlanmış ve hava cebi olmayan simülasyon karşılaştırması.....	118
Şekil 4.24.	Tezgâh seçiminde hesaplanan kuvvetler	119
Şekil 4.25.	Göbek soğutma kanalları.....	122
Şekil 4.26.	Jet soğutucu pimler.....	123
Şekil 4.27.	Orta plaka soğutma kanalları.....	123
Şekil 4.28.	Kuğu yolluk soğutma kanalı	124
Şekil 4.29.	Topuk soğutma.....	124
Şekil 4.30.	Maça ve tüm soğutma kanalları	125
Şekil 4.31.	Mesh ağının kesit görüntüsü	126
Şekil 4.32.	Mesh ağının kalite kriterlerine uyumu	126
Şekil 4.33.	Enjeksiyon grafiği	128
Şekil 4.34.	Dolum fazında sıcaklık sonuçlarının gösterimi.....	129
Şekil 4.35.	Sıvı metal hızının, dolumun %60 ve %80'i tamamlandığı anda alınmış görüntüleri	130
Şekil 4.36.	Hava basıncı sonuçlarında dolumun %10'u tamamlandığı anda alınmış görüntü.....	131
Şekil 4.37.	Hava basıncı sonuçlarında dolumun %72'si tamamlandığı anda alınmış görüntü.....	132
Şekil 4.38.	Intensification air entrapment sonucu	133
Şekil 4.39.	Yolluk girişi katılaştıktan sonra fraction liquid sonucu	134
Şekil 4.40.	HotSpot FS Time sonuçları	135

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Saf alüminyumun bazı mekanik özellikleri.....	8
Tablo 1.2. Alüminyum alaşımlarının bazı özellik aralıkları.....	9
Tablo 1.3. Alüminyum döküm alaşımlarının sınıflandırılması	9
Tablo 1.4. Alüminyum dövme alaşımlarının sınıflandırılması.....	9
Tablo 1.5. Alüminyum alaşımlarına uygulanan temper uygulamaları	11
Tablo 3.1. Otomobil jantlarında kullanılan teknik terimler ve açıklamalar	67
Tablo 4.1. Doldurma zamanı hesaplanırken kullanılan değerler.....	113
Tablo 4.2. Yolluk giriş kesit alanı hesaplanırken kullanılan değerler	113
Tablo 4.3. Hava cebi, parça ağırlık değerleri	117
Tablo 4.4. Spesifik basınç hesaplanırken kullanılan veriler ve spesifik basınç	120
Tablo 4.5. Salkım bileşenlerinin projeksiyon alanları	120
Tablo 4.6. Tanımlanan malzemeler ve çalışma sıcaklıkları	127
Tablo 4.7. Döküm parametreleri.....	128

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	: Alüminyum
Ar	: Argon
B	: Bor
Bar.	: Basınç birimi, (bar)
Ca	: Kalsiyum
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
°C	: Celsius (Selsiyus)
cmΩ.	: Santimetre ohm
Fe	: Demir
"	: İnç
\$: Dolar
%	: Yüzde simgesi
<	: Küçüktür
°	: Derece
µm.	: Mikrometre
g/cm ³ .	: Gram/santimetreküp
HBW	: Brinell cinsinden malzemenin sertlik değeri
HRC	: Hardness Rockwell C (Rockwell cinsinden malzemenin sertlik değeri)
kPa.	: Kilopaskal (kilopascal)
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
m/s.	: Metre/saniye
mm.	: Milimetre
MPa.	: Megapaskal (megapascal)
N	: Azot
Na	: Sodyum
Ni	: Nikel
O	: Oksijen
ppm.	: Parts Per Million (Milyonda bir birim)
R _m .	: Çekme mukavemeti (MPa)
s.	: Saniye (second)
S	: Siemens (Ω ⁻¹)
Sb	: Antimon
Si	: Silisyum
Sn	: Kalay
Sr	: Stronsiyum
Ti	: Titanyum
Zn	: Çinko
W/cmK.	: Watt/santimetre kelvin
W/mK.	: Watt/metre kelvin

Kısaltmalar

A356	: Alüminyum, silisyum ve magnezyum içeren alüminyum alaşım grubu
AA	: Aluminum Association (Alüminyum Birliği)
Al ₂ O ₃ H ₂ O	: Boksit cevherinin kimyasal formülü alüminyum monohidrat
Al ₅ FeSi	: Alüminyum, demir, silisyum bileşiği
Al-Si	: Alüminyum silisyum ikili alaşım grubu
AlSi11Mg	: %11 Silisyum içeren alüminyum silisyum alaşım grubu
AlSi7Mg	: %7 Silisyum içeren alüminyum silisyum alaşım grubu
AlSi9Mg	: %9 Silisyum içeren alüminyum silisyum alaşım grubu
AlSr15	: Tane inceltici master alaşım
Al-Ti	: Alüminyum titanyum ikili alaşım grubu
AlTi5B	: Alüminyum, titanyum, bor bileşiği
AlTi5B1	: Tane inceltici master alaşım
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu)
C ₂ H ₆	: Etan
CH/CBH	: Centre Hole/Bore Diameter (Poyra Çapı)
CH ₄	: Metan
CO ₂	: Karbondioksit
DIN	: Deutsches Institut für Normung (Alman Standartlar Enstitüsü)
ET	: Einpress Tiefe (Ofset)
ETRTO	: European Tire and Rim Technical Organization (Avrupa Lastik ve Jant Teknik Organizasyonu)
HPDC	: High Pressure Die Casting (Yüksek Basınçlı Döküm)
IACS	: International Annealed Copper Standard (Metal ve Alaşımlar İçin Kullanılan Elektrik İletkenliği Birimi)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Organizasyonu)
LPDC	: Low Pressure Die Casting (Alçak Basınçlı Döküm)
Mg ₂ Si	: Magnezyum silisyum bileşiği
OES	: Optical Emission Spectrometer (Optik Emisyon Spektrometresi)
PCD	: Pitch Circle Diameter (Taksimat Dairesi)
PLC	: Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantık Denetleyici)
T6	: Suni yaşlandırma ısıl işlem metodu
TiAl ₃	: Titanyum alüminyum bileşiği
TiB ₂	: Titanyum bor bileşiği
α(Al)	: İlk katılaştıran alüminyum fazı

YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM YÖNTEMİ İLE ALÜMİNYUM ALAŞIMLI OTOMOBİL JANT ÜRETİMİNİN MODELLENMESİ

ÖZET

Petrol türevi yakıtlarla çalışan otomobillerde CO₂ emisyonu ile ilgili getirilen yasal zorunluluklar doğrultusunda otomobil ağırlıklarının azaltılması ana sanayi üreticilerinin temel hedefi haline gelmiştir. Aynı zamanda elektrikli otomobillerde de ağırlık azaltmak üreticilerin ana hedeflerindedir. Bu nedenle otomotiv sektöründe alüminyum alaşımlarının kullanımı geçmişten günümüze sürekli artış göstermiştir. Günümüzde ağırlık azaltmak amacı ile Al-Si alaşımları, alçak basınçlı döküm yöntemi ile otomobil jant üretiminde kullanılmaktadır. Otomotiv ana sanayi firmaları ürün özellikleri ve üretim yöntemleri hakkında tüm spesifikasyonları belirlerken, aynı ürün özelliklerini elde edebilecek ve düşük maliyetle üretim yapabilecek inovasyon fikirlerini kabul etmektedir. Bu doğrultuda ekipman üreticilerine katma değer sağlaması ve otomobil jant üretimine yeni bir perspektif kazandırması amacı ile yüksek basınçlı döküm yöntemi ile otomobil jant üretim fikri ortaya konmuştur. Yüksek basınçlı döküm yönteminin alçak basınçlı döküm yöntemine göre üstünlükleri ve proses gereği çeşitli kısıtlarının olduğu bilinmektedir. Bu inovasyon fikrini desteklemesi amacı ile ilk olarak enjeksiyon mühendislik hesaplamaları yapılarak yüksek basınçlı döküm yönteminde otomobil jantlarının kalıplanabilirliği analiz edilmiştir. Yüksek basınçlı döküm tezgâhlarına uygun döküm ve kalıp bileşenlerinin tasarımı gerçekleştirildikten sonra dökülebilirliğini analiz etmek amacı ile MagmaSoft programında çeşitli simülasyon çalışmaları yürütülmüştür. Yürütülen çalışmalarda yüksek basınçlı döküm yöntemi ile otomobil jant üretiminin alçak basınçlı döküm yöntemi ile otomobil jant üretimine alternatif olabileceği kanaatine varılmıştır. Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile üretilen jantın yüzey özelliklerinin ve mekanik özelliklerinin daha yüksek olması, ısıtma işlem gereksiniminin azalması ve talaşlı işlem proses adımlarının azalması beklenmektedir. Gerçeğe yakın sonuçlar üreten MagmaSoft ile yapılan çalışmalar sonucunda yüksek basınçlı döküm yönteminde gerekli koşulların sağlanması halinde otomobil jant üretiminin başarı ile gerçekleşeceğine karar verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alçak Basınçlı Döküm Yöntemi, Alüminyum, Jant, MagmaSoft 5.4, Yüksek Basınçlı Döküm Yöntemi.

MODELING OF ALUMINUM ALLOY AUTOMOBILE WHEEL PRODUCTION BY HIGH PRESSURE DIE CASTING

ABSTRACT

Decreasing the weight of the automobiles have been the main focus for automobile manufacturers since the legal obligations were put in force regarding with CO₂ emission in the vehicles powered by both petroleum-derived fuels and electricity. Therefore the usage of alluminium alloys in automative industry have been in increasing up to our day. In order to decrease the weight, Al-Si alloys have been used in manufacturing of automobile wheels with low pressure die casting. The main automative industry players determine the features of the products and the whole specifications in their manufacturing methods. At the same time, they also accept new innovation ideas to produce the same products with lower costs. Within this approach, the idea of manufacturing automobile wheels with high-pressure casting methods have been put forward in order to bring a new perspective to rim manufacturing and to provide added value to the manufacturers. It is known that manufacturing methods with high pressure die casting have advantages against low pressure die casting but due to process requirements it is also known that high pressure die casting have some limitations. In order to support this idea of innovation, first, by engineering calculations on injection, it is analyzed if it is feasible or not to mold the automobile wheels by high pressure die casting. Some simulations have been carried out in MagmaSoft to analyse the casting after proper cast and mold components designs have been made on high pressure die casting machines. It is found out that high pressure casting method is 5 times faster and more successful than low pressure method. In addition, it is expected that the surface features and the mechanical features of the wheel will be better; the necessity for heat treatment will be less; machining process steps will be less. As a result of the studies carried out via MagmaSoft that gives an accurate results, in case the necessary conditions provided for high pressure die casting, it is decided to have good results in manufacturing automobile wheels.

Keywords: Low Pressure Die Casting, Aluminum, Wheel, MagmaSoft 5.4, High Pressure Die Casting.

GİRİŞ

Otomobil üreticileri güvenlik ve konfordan taviz vermeden yakıt tüketimi az olan araçlar geliştirmek için çalışmaktadır. Bu çalışmalarda alüminyum, magnezyum, titanyum, gibi hafif metaller ön plana çıkmaktadır. Otomobil ana ve yan sanayi üreticileri maliyet, kolay işlenebilme ve şekillendirme, parlama ve alev almazlık, estetik, elektrik iletkenliği, üretim kolaylıkları, korozyona karşı gösterdiği direnç ve dönüştürülebilir özelliği ile geri dönüşüme olan katkılarından dolayı alüminyum kullanımını yıllar içinde arttırmıştır. İlave olarak yolcu güvenliği için alüminyum ve alaşımları beklentileri karşılamakta, çarpışma anında enerji sönmüleyebilen yüksek darbe emiş özelliğinden dolayı tercih sebebi olmaktadır [1].

Üstün özelliklerinden dolayı alüminyum alaşımları otomotiv sektöründe binek araçların jantlarının üretiminde tercih edilmektedir. Alüminyum alaşımlı jant üretimi ülkemizde 25 yıl önce 20.000-25.000 adet seviyelerindeyken bugünlerde 9.000.000 üretim kapasitesine ulaşmış ve ilerleyen yıllarda da artış göstermesi beklenmektedir. Alüminyum alaşımlı binek araç jant üretiminin merkezi haline gelen İzmir’de faaliyet gösteren firmalar CMS, Componenta, Cevher Jant ve Maxion İnci Jant Grubu olup, yerli ve yabancı ana sanayi firmalarına orijinal ekipman üretimi gerçekleştirmektedirler [2].

Ekolojik dengenin bozulmasına karşılık alüminyum çevrenin korunmasına destek olmaktadır. Petrol türevi yakıtlara bağımlı olan otomotiv sektöründe CO₂ salınımının küresel ısınmaya etkisi göz önüne alındığında, otomobil ağırlıklarının azaltılması gereklilik haline gelmiştir. Bu nedenle otomotiv sektöründe alüminyum kullanımı artmış ve otomobil başına alüminyum kullanımı yıllara göre lineer artış göstermiştir. Günümüzde ağırlık azaltmak amacı ile Al-Si alaşımları otomobil jant üretiminde kullanılmaktadır. Genellikle alçak basınçlı döküm yöntemi ile üretilen alüminyum alaşımlı jantlar için ötektik altında bulunan Al-Si alaşımları kullanılmaktadır. A356 olarak bilinen AlSi7Mg ve AlSi11Mg alaşımları en yaygın kullanılan otomobil jant alaşımlarıdır. AlSi9Mg alaşımının kullanım oranı düşük olsa da otomobil jant üretiminde kullanılmaktadır [3, 4].

Mühendislik problemleri barındıran jant üretim prosesi inovatif yaklaşımlara açıktır. Araç sayısının eksponansiyel artış gösterdiği günümüz piyasasında rekabetin yolu yenilikçi çözümlerden geçmektedir. Rekabet, kaliteli ürünü en hızlı şekilde, mümkün olan en ucuza üretmeyi gerektir [1].

Bu çalışmada, otomobil jantlarının yüksek basınçlı döküm yöntemi ile üretimi fikri kapsamında, MagmaSoft 5.4 simülasyon programında simülasyon çalışmaları yürütülmüştür. Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile otomobil jant üretimi ve simülasyonu ile ilgili literatürde örnek çalışmaların olmaması, farklı bir üretim yöntemi ile jant üretiminin araştırılıyor olması çalışmaya özgünlük kazandırmaktadır. Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile jant üretiminde, alçak basınçlı döküm yöntemine kıyasla yüksek kontrollü katılma yönlendirmesi yapmak mümkündür. Yüksek basınçlı döküm yöntemi kontrollü katılma ile üretim süresinin azalması, gelişmiş mikroyapısal özelliklerle ısı işlem maliyetlerinin ortadan kalkması açısından otomobil jant üretiminde avantaj sağlayacaktır.

1. ALÜMİNYUM

Hafif metaller grubunda yer alan alüminyum (Al) yoğunluğu $2,7\text{g/cm}^3$, atom numarası 13 ve gümüş renginin tonlarında gri olup yer kabuğunun %50'sini oluşturan oksijen (O) ve yer kabuğunun %27'sini oluşturan silisyum (Si) elementlerinden sonra en çok bulunan elementtir. Aynı zamanda metal grupları arasında yer kabuğunda en çok bulunan birinci elementtir. Yeryüzünden saf olarak elde edilemeyen alüminyum oksit bileşikleri ve silikat mineralleri halinde çıkartılmaktadır. Metalik alüminyumun üretilmesi için birincil ve ikincil alüminyum üretimi olmak üzere iki farklı üretim yöntemi bulunmaktadır. Boksit cevherinden elde edilen alüminyum birincil alüminyum olarak tanımlanırken, kullanım ömrü tamamlandıktan sonra geri dönüşüm yöntemleri ile üretilen alüminyum ikincil alüminyum olarak tanımlanmaktadır [5, 6].

Yer kabuğunun %8'lik kısmını kapsayan alüminyum elementinin endüstriyel üretimi 1880'li yıllarda başlamıştır. Yer kabuğundan çıkartılan cevher halde ki alüminyumdan haddelenerek folyo haline getirilen alüminyumun üretimi kısa zaman aralığında geliştirilmiştir. Ülkemizde elektrik elektronik sektörden sağlık sektörüne, inşaat sektöründen havacılık sektörüne, kimya sektöründen otomotiv sektörüne ve tüm bu sektörlerin çeşitli basamaklarında kullanımı gün geçtikçe artan alüminyum ve alüminyum alaşımları günümüzde çelik sektörü ile karşılaştırılacak kadar büyük bir hacime ulaşmıştır [6].

1.1. Alüminyumun Tarihçesi

Metalik alüminyumun keşfi diğer metal malzemelere göre çok yenidir. Yaklaşık 200 yıl geçmişi olan alüminyumun diğer metallere göre geç keşfedilmesinin sebebi ise alüminyumun doğada oksitli bileşikler halinde bulunmasından kaynaklanmaktadır. Antik Yunan tarihçi ve yazar olan Herodot ilk olarak alüminyum bileşikleri için alume hakkında açıklamalar yapmıştır. 1750'lerde Marggraf alüminyum bileşikleri ile kil bileşiklerinde aynı metal olduğunu tespit etmiştir. 1780'lerde De Merveau, Marggraf'ın atıf yaptığı bu metale alumine adını koymuştur. 1800'lü yılların başlarında Humphrey Davy yapmış olduğu çalışmalar sonucunda alumine olarak adlandırılan metale alüminyum demeyi önermiştir. Alüminanın bileşiminde oksijene

bağlı olarak bir metalin olduğunu düşünmesine rağmen elektroliz yöntemi ile alüminayı ayrıştırma çalışmalarında yanlış yolu izlediği için alüminyum ayıramamıştır. Katot malzemesi olarak demir kullandığı için alüminanın ayrışması sonucunda demir ve alüminyum içeren bir alaşım elde etmiştir, alüminyum olarak adlandırdığı metali yalnız başına elde edememiştir [6, 7].

1820'lerin başında Fransa'nın Les Baux ilçesinde alüminyum için ham madde olan boksit cevherini bulan M.Pierre Berthier, bulduğu cevherin kimyasal formülünü $Al_2O_3 \cdot H_2O$ olarak bildirmiştir. 1825'te Hans Christian Oersted, alüminyum klorür redükleyerek metalik alüminyum üreten ilk fizikçi bilim adamı olarak kayıtlara geçmiştir. 1827 yılında Friedrich Wöhler su olmayan alüminyum kloriti saf potasyum ile redükleyerek alüminyum özelliklerine uygun daha fazla metal eldesi sağlamış ve alüminyum eldesinde kimyasal yöntemlerden elektrolitik yöntemle geçişi sağlamıştır. 1845 yılında Wöhler elektrolitik yöntem ile bilye formunda daha yüksek miktarda alüminyum elde etmeyi başarmış, sonrasında çeşitli bilim adamları elektrolitik yöntemle metalik alüminyum elde etme yöntemini geliştirmişlerdir [6].

1850'li yıllarda devlet desteğini arkasına alan ünlü bilim adamı Henry Sainte-Clarie Deville endüstriyel anlamda katı kütle olarak alüminyum eldesinin temellerini atmış ve 200 ton alüminyum üretimi gerçekleştirmiştir [6].

1880'li yıllara kadar çeşitli çalışmalar yürütülmüş fakat metalik alüminyum endüstride yer alamamıştır. 1887'de Paul Louis-Toussaint Heroult ve Charles Martin Hall birbirlerinden habersiz Fransa'da ve Amerika'da aynı çalışmaları yürütmüşlerdir. Birbirinden habersiz yürütülen iki çalışmada da alüminyum, alüminanın kriyolitte çözünmesinden sonra elektrolitik parçalanma sonucunda elde edilmiştir. Bu iki elektroliz çalışması ile birlikte alüminyum fiyatlarında düşüş meydana gelmiş ve endüstride yer almaya başlamıştır. 1887 yılından bugüne birincil alüminyum üretimi yapan entegre tesisler, Heroult ve Hall'un geliştirmiş olduğu yöntemi kullanmışlardır [6, 7].

1887 yılında Karl Bayer, Bayer Prosesi adında alüminyum oksidin boksitten elde edilmesi ile ilgili prosesin patentini almıştır. 1888 yılında ise endüstriyel faaliyetler başlamıştır [7, 8].

Endüstriyel anlamda alüminyum kullanımı 1889 yılında evlerde kullanılan çatal, bıçak, tencere, tabak vs. mutfak takımlarının üretilmesi ile başlamıştır. 1893 yılında Londra’da bulunan Eros Heykeli’nin yapımında olmak üzere sayısız sanat eserinde alüminyum döküm yöntemi ile imal edilmiş ürünler kullanılmıştır. 1894 yılında alüminyumdan bisiklet üretimi gerçekleştirilmiştir. 1890-1900 yılları arasında deniz ulaşım araçlarında ve inşaat sektöründe kullanılmaya başlayan alüminyum 1900’lü yıllarda otomotiv sektöründe kullanılmaya başlamıştır [6, 8].

1906 yılında Alfred Wilm alüminyum alaşımlarının zaman içinde yaşlanarak sertleşebilir olduğunu keşfetmiş ve bu alaşımlara Duralumin adı verilmiştir. Alüminyum alaşımlarının bu özelliğinin bulunması ile kullanımı geçmiş yıllara göre hızla artış göstermiş ve alüminyum artık mühendislik malzemelerinin üretiminde tercih edilmeye başlamıştır [8].

1910 yılından itibaren haddeleme yöntemi ile folyo üretimi, içecek ve yiyeceklerin saklaması için kutu üretimi ile gıda sektöründe kullanımı başlanmıştır [8].

1930’dan sonra alüminyum ekstrüzyon yöntemleri geliştirilmeye başlanmış, günümüzde inşaat sektöründen gıda sektörüne geniş yelpazede ekstrüze olmuş alüminyum ürünlerinin kullanımı yaygınlaşmıştır. 1980’li yıllarda alüminyumun günümüz şartlarında ki en önemli özelliği geliştirilmiş olup geri dönüşümü ile ikincil alüminyum üretimi endüstride önem kazanmıştır [8].

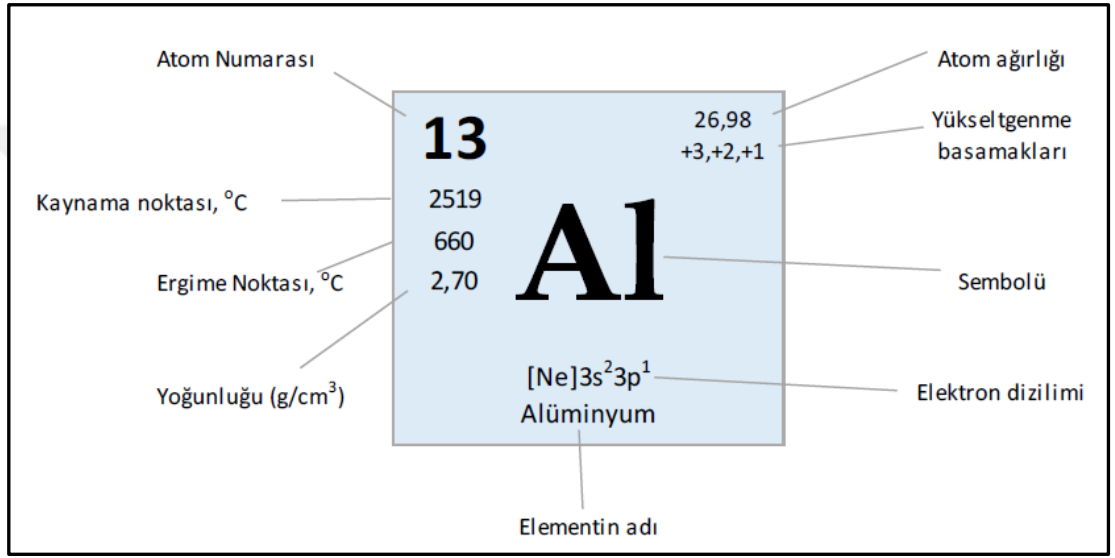
Tüm bu gelişmelerle birlikte günümüzde demir ve çelikten sonra en çok ve en yaygın kullanılan metalik malzeme olan alüminyumun endüstriyel kullanımı hızla artmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda alüminyumun özellikleri her geçen gün iyileştirilmeye ve geliştirilmeye imkân sağlamıştır. Maliyet, kolay işlenebilme ve şekillendirme, parlama ve alev almazlık, estetik, elektrik iletkenliği, üretim kolaylıkları, korozyona karşı gösterdiği direnç, geri dönüşüm özellikleri ve ekolojik dengenin korunmasına olan katkılarından dolayı alüminyum en önemli mühendislik malzemelerden biri haline gelmiştir [1, 6].

1.2. Alüminyumun Genel Özellikleri

Endüstriyel kullanımının başlamasından bu zamana yaklaşık 150 yıl geçen alüminyumun diğer metaller ile kıyaslandığı zaman çok genç olmasına rağmen demir

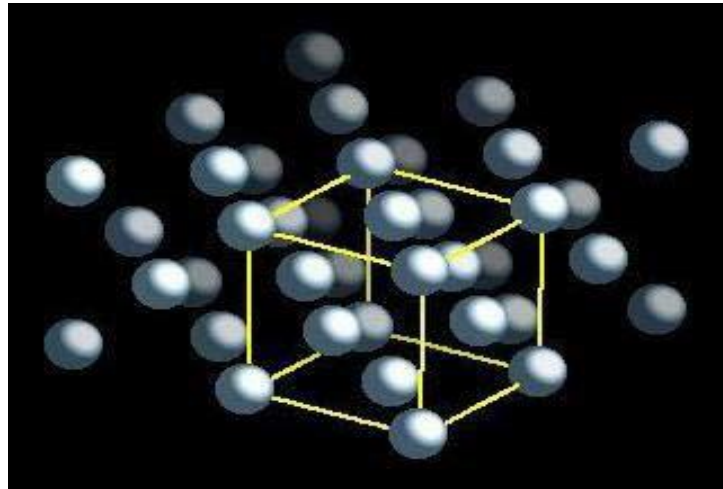
ve çelikten sonra en yaygın kullanılan metal haline gelmesinde kuşkusuz ki sağladığı üstün özellikler bulunmaktadır. Genel özellikleri incelendiği zaman birçok mühendislik uygulamasına uygun ve ekonomik olması tercih edilmesinde ki en büyük etkidir [9].

Elektronlarının yüksek çekim kuvvetinden dolayı gümüş rengi tonlarında gri renkte, manyetiklik özelliği olmayan, periyodik tablonun 3A grubun metallere olan alüminyumum Şekil 1.1.'de kimyasal özellikleri gösterilmiştir [5, 9].



Şekil 1.1. Alüminyumun kimsayal özellikleri [5]

Kristalografik atomik yapısı yüzey merkezli kübik olan alüminyumun şematik kristalin yapısı Şekil 1.2.'de gösterilmiştir [9].



Şekil 1.2. Alüminyumun yüzey merkezli kübik atomik yapısının şematik gösterimi [9]

Özgül ağırlığı incelendiği zaman alüminyumun özgül ağırlığı $2,69 \text{ g/cm}^3$, demir ve bakır metallere özgül ağırlıkları sırası ile $7,87 \text{ g/cm}^3$, $8,93 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Kıyaslama yapıldığı zaman ağırlığı demir ağırlığının yaklaşık %35'i, bakır ağırlığının %30'u kadardır. Yapılan araştırmalar otomobillerin ağırlığında yapılan %10'luk ağırlık azaltma çalışmasının %10'a kadar yakıttan kazanım sağladığını ortaya koymuştur. Diğer yandan yakıt tüketiminin azaltılması CO₂ emisyonunun azalmasını sağlamaktadır [6, 9, 10].

Korozif özellikleri incelendiğinde zaman anodik malzemelerin arasında oksijene afinitesi en yüksek metallere biri olmasına karşılık oda sıcaklıklarında yüzeyinde oluşan oksit tabakası alüminyumun korozyona karşı dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Oluşan bu oksit film tabakası angstrom mertebesinde ince olmasına rağmen alüminyum dış kimyasal tehditlere karşı korunmaktadır. Bu özelliği alüminyum demir ve çelik yerine tercih edilmesine sebep olmaktadır [6, 7, 9].

Elektrik iletkenliği incelendiği zaman $0,377 \text{ cm}\Omega \times 10^6$ (37 siemens) olan alüminyum öz kütle ile oran yapıldığı zaman yoğunluğundan dolayı bakırdan ağırlıkça daha iyi iletken malzeme olduğu görülmüştür. Bakırdan daha ucuz ve kütle başına iletkenliğinin bakırdan daha yüksek olması elektrik ile ilgili mühendislik uygulamalarında alüminyumun tercih edilmesini sağlamıştır [6, 7, 9].

Isıl iletkenliği incelendiği zaman $2,37 \text{ W/cmK}$ olan alüminyumun, özgül ağırlık ve ekonomik koşullar göz önüne alındığında metal malzemeler arasında ısıl iletkenliği yüksek olduğu (çelik malzemelerden 6 kat daha fazla) saptanmıştır. Yüksek ısıl iletkenlik özelliği alüminyumun çeşitli endüstri alanlarında tercih edilmesini sağlamıştır. Bunun yanında ısıyı ve ışığı yüksek oranda yansıtıyor olması nedeni ile yaygın olarak kullanımı tercih edilmiştir [6, 9].

Şekillendirme ve işleme özellikleri incelendiği zaman alüminyum atomik düzende yüzey merkezli kübik yapısı ve kayma düzlemlerinin fazla olması sebebi ile yüksek oranda şekillendirme özelliğine sahiptir [6, 9].

Mekanik özellikleri incelendiğinde çeşitli alaşımlama ve çeşitli ısıl işlem yöntemleri ile geniş mekanik özellik spektrumu gösteren saf alüminyumun Tablo 1.2.'de bazı mekanik özellikleri gösterilmiştir [6].

Tablo 1.1. Saf alüminyumun bazı mekanik özellikleri [11]

Mekanik Özellik	Değeri
Yüzde Uzama Değeri (A)	%30
Çekme Mukavemeti (R_m)	75 MPa
Sertlik Değeri	17 HBW

Tablo 1.1.'de bazı mekanik özellikleri verilen saf alüminyumun alaşımlama ve ısıtım işlem tasarımları sonucunda çekme mukavemeti 600 MPa değerlerine, sertlik değerleri 100 HBW değerlerine kadar ulaşmaktadır. En önemli mekanik özelliği ise elastisite modülüdür. Çelik malzemelerin elastisite modülünün 3'te 1'ine eşit olduğundan çelik malzemelerden 3 kat daha fazla uzama özelliği göstermektedir [6, 11].

Geri dönüşüm özelliği incelendiği zaman, birincil alüminyum üretimi için harcanan enerjinin %5'i kadar enerji tüketimi ile ikincil alüminyum üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu özelliği alüminyumun en çok tercih edilme sebeplerinden biri olmuştur [10].

Tüm bu üstün özelliklerinden dolayı alüminyum alaşımlarının mühendislik uygulamalarında ki kullanımı keşfedildiği günden bugüne sürekli artış göstermiştir.

1.3. Alüminyum Alaşımları

Saf alüminyum düşük dayanım ve stabil olmayan mekanik özelliklerinden dolayı mühendislik uygulamalarında bazı problemler yaratmaktadır. Alaşımlama teknikleri saf alüminyumun mikroyapısal özelliklerini değiştirip, mekanik özelliklerini geliştirilmesi ile saf alüminyumun olumsuzlukları ortadan kalmakta ve üstün özelliklere sahip olmaktadır [12, 13].

Alüminyum ile alaşımlanan alaşım elementlerinin mikroyapısal ve mekanik unsurlar üzerinde kuvvetli etkiye sahip olduğu saptanmıştır. Alüminyumun çok geniş yelpazede özellikler sergileyen, uluslararası alanda kullanılan 300'den fazla alaşımı bulunmaktadır ve bu alaşımların gösterdikleri üstün mekanik, fiziksel ve tribolojik özellikler sayesinde alüminyum endüstriyel anlamda büyük önem kazanmıştır. Geniş aralıkta üstün özellikler sergileyen alüminyum alaşımlarının bazı özellikleri Tablo 1.2.'de verilmiştir [12, 13].

Tablo 1.2. Alüminyum alaşımlarının bazı özellik aralıkları [13]

Özellik	Değer Aralığı
Akma Mukavemeti (Mpa)	20-455
Çekme Mukavemeti (MPa)	70-505
Uzama Değeri (%)	1-30
Sertlik Değeri (HBW)	30-150
Elektrik İletkenlik (%IACS)	18-60
Isıl İletkenlik (W/m · K at 25 °C)	85-175
Lineer Termal Genleşme Katsayısı (20-100 °C)	(17,6-24,7)x10 ⁻⁶ /°C
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2,57-2,95

Üstün özelliklere sahip olan alüminyum alaşımlarının sınıflandırılmasında çeşitli standartlar kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan standart Alüminyum Birliği'nin (AA: Aluminium Association) bildirmiş olduğu standart olmakla birlikte DIN, ASTM, Fransız Standartları da mevcuttur. Alüminyum alaşımları sınıflandırılırken döküm ve dövme alaşımları olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Tablo 1.3. ve Tablo 1.4.'de döküm ve dövme alaşımlarının gruplandırılması gösterilmiştir [6, 9].

Tablo 1.3. Alüminyum döküm alaşımlarının sınıflandırılması [9]

Döküm Alaşımlarının Sınıflandırılması
1xx.x (en az %99,00 saflıkta saf alüminyum)
2xx.x (alüminyum-bakır alaşımları)
3xx.x (alüminyum – silisyum ve bakır ve/veya magnezyum alaşımları)
4xx.x (alüminyum – silisyum alaşımları)
5xx.x (alüminyum – magnezyum alaşımları)
6xx.x (bu alaşım grubu kullanılmamaktadır)
7xx.x (alüminyum – çinko alaşımları)
8xx.x (alüminyum – kalay alaşımları)
9xx.x (alüminyum – diğer alaşım elementleri)

Tablo 1.4. Alüminyum dövme alaşımlarının sınıflandırılması [9]

Dövme Alaşımlarının Sınıflandırılması
1xxx (en az %99,00 saflıkta saf alüminyum)
2xxx (alüminyum-bakır alaşımları)
3xxx (alüminyum – mangan alaşımları)
4xxx (alüminyum – silisyum alaşımları)
5xxx (alüminyum – magnezyum alaşımları)
6xxx (alüminyum – magnezyum – silisyum alaşımları)
7xxx (alüminyum – çinko alaşımları)
8xxx (alüminyum – diğer alaşım elementleri)
9xxx (bu alaşım grubu kullanılmamaktadır)

Alüminyum Birliği, alüminyum alaşımlarını iki ana gruba ayırırken dört rakam ile çeşitli tanımlamalar yapmıştır. Döküm alaşım gruplarından 1xx.x grubu saf alüminyumu göstermesine rağmen sınıflandırmada yer almaktadır. Bu grubun 2. ve 3. hanelerindeki rakamlar %99 saflıktaki alüminyumun ondalık kısmını temsil etmektedir. Diğer döküm alaşım guruplarında 2. ve 3. haneler özel alaşımları ifade etmektedir [14].

Döküm alaşım grupları 3. haneden sonra bir nokta ile dövme alaşımlarının gösterimden farklılık göstermektedir. Noktadan sonra gelen rakam dökme ürününün durumunu ifade etmektedir. Rakam 0 ise döküm, 1 ise ingot, 2 ise özellikleri değiştirilmiş ingot olarak döküm alaşımlarını tanımlamaktadır. 1xx.x grubunda 2. ve 3. hanelerindeki rakamlar %99 saflıktaki alüminyumun ondalık kısmını temsil ederken 2xx.x ve 9xx.x aralığındaki tüm gruplarda 2. ve 3. hanelerindeki rakamlar alaşımın ayrıntılarını ifade etmektedir. Dövme alaşımları tanımlanırken kullanılan birinci rakam gruplandırılmayı, ikinci rakam alaşımın geçmişini ve içerdiği katkı miktarını, üçüncü ve dördüncü rakam ise alüminyumun saflık derecesini temsil etmektedir [6, 9].

Döküm prosesi metalurjik anlamda sıvı metalin kalıbın içine dolumu ve katılaşması olmak üzere iki ana kısımdan oluşmaktadır. Dolum fazında sıvı metalin dökülebilirliği ve akışkanlığı, katılaşma fazında ise alaşım grubuna ait faz diyagramlarında bulunan solidüs ve likidüs eğrilerinin doğru bir şekilde anlaşılması gerekmektedir. Dökülebilirlik, müşteri kalite spesifikasyonlarına bağlı kalarak katılaşmanın sağlandığı döküm işlemlerini ifade etmektedir. Akışkanlık ise faz diyagramlarında bulunan likidüs eğrisinin trendine göre değişkenlik gösteren, matematiksel olarak ölçülebilen bir işlemdir. Katılaşma kısmında ise sıvı metal ile katılaşan bölgeler arasında besleme, dökümün kalitesini belirleyen unsurdur. Sıvı metalin katılaşan kısmı beslemesinin geliştirilmiş olduğu alaşımlarda solidüs ile likidüs eğrileri arasında kalan aralık dardır. Bu durum ötektik kompozisyona yakınlığı, katılaşma öncesinde sıvı metalin yüzdesinin fazla olmasını dolayısı ile beslemenin geliştirilmiş olduğunu ifade etmektedir [13].

Tüm bu metalurjik etkenler göz önünde bulundurulduğu zaman döküm ve dövme olmak üzere her iki ana alaşım grubunda bulunan alaşımlarda faz yapıları ve çözünürlükleri esas alınarak ısı işlem uygulanabilir ve ısı işlem uygulanamaz olarak

iki alt gruba ayrılmıştır. Solidüs ile likidüs aralığında yeterli katı çözeltili oluşturma imkânı sağlayan alaşımlara ısı işlem uygulanabilmektedir. Çökelti sertleşmesi olmayan alaşımlarda soğuk deformasyon ile yüksek mukavemet özellikleri elde edilir. Isıl işlem uygulanan alüminyum alaşımları yüksek sıcaklıklarda alaşım elementleri ile katı çözeltili oluşturmaktadır. Alaşım elementlerinin çözünürlükleri düşük sıcaklıklara inildiği zaman azalmakta, çökelti oluşumu gerçekleşmektedir. Tablo 1.5.'te alüminyum alaşımlarına uygulanan ısı işlem ve soğuk deformasyon işlemlerinin tanımlamaları gösterilmiştir [9].

Tablo 1.5. Alüminyum alaşımlarına uygulanan temper uygulamaları [9, 10]

Kısaltma	Açıklaması
F	İmal edildiği şekilde
O	Tavllanmış (Mümkün olan en yumuşak şartlarda)
H	Soğuk şekillendirilmiş
H1X	Sadece soğuk şekillendirilmiş (x soğuk şekillendirme miktarına ve mukavemetlendirmeye işaret eder.)
H12	Soğuk şekillendirme, 0 ve H14 temperleri arasında, ortalarda bir çekme dayanımı sağlar
H14	Soğuk şekillendirme, 0 ve H18 temperleri arasında bir çekme dayanımı sağlar
H16	Soğuk şekillendirme, H14 ve H18 temperleri arasında ortalarda bir çekme dayanımı sağlar
H18	Soğuk şekillendirme
H19	Soğuk şekillendirme, H18 temperleme ile elde edilen çekme dayanımından 2000 psi fazla dayanım sağlar
H2X	Soğuk şekillendirilmiş ve kısmen tavllanmış
H3X	Düşük sıcaklıkta yapının yaşlanmasını önlemek için soğuk şekillendirilmiş ve dengelenmiş
W	Çözeltili ısı işlemi görmüş
T	Yaşlandırılmış
T1	İmalat sıcaklığından soğutulmuş ve doğal olarak yaşlandırılmış
T2	İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış
T3	Çözeltiye alma ısı işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve esas olarak kararlı bir duruma doğal yaşlandırılmış
T4	Çözeltiye alma ısı işlemi uygulanmış ve esas olarak kararlı bir duruma doğal yaşlandırılmış
T5	Yüksek sıcaklıkta şekillendirildikten sonra yapay yaşlandırılmış
T6	Çözeltiye alınıp yapay yaşlandırılmış
T7	Çözeltiye alınıp ve kararlılaştırılmış
T8	Çözeltiye alınıp, soğuk işlenmiş ve yapay yaşlandırılmış
T9	Çözeltiye alınıp, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlenmiş
T10	İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış

Alaşımlar ısıll işleme uygun ise temperleme olacağı için ‘‘T’’, soğuk deformasyona uygun ise pekleşme olacağı için ‘‘H’’ ile gösterilmiştir [9, 10].

1.3.1. Alaşım elementlerinin alüminyum alaşımlarına etkileri

Alüminyum alaşımlarına ilave edilen alaşım elementleri, alaşıma olan etkilerine göre majör (ana) alaşım elementleri, minör alaşım elementleri ve empürite (katışkı, istenmeyen) alaşım elementleri olarak 3 farklı sınıfa ayrılmaktadır. Ana alaşım elementleri parçanın geliştirilmek istenen özelliklerine en önemli etkisi bulunan ve dökümünü etkileyen elementlerdir. Bu elementler silisyum, bakır ve magnezyumdur. Minör alaşım elementleri katılaşmada önemli rol oynayarak mikroyapısal unsurlara etki eden ve metalurjik oluşumların, dönüşümlerin gerçekleşmesini teşvik eden alaşım elementleridir. Bu elementlerden en önemlileri titanyum, bor, stronsiyum, berilyum, mangan, krom, nikel ve kalaydır. İstenmeyen alaşım elementlerinin döküm operasyona birtakım olumlu etkileri olsada parça özellikleri üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu alaşım elementleri demir ve çinkodur [14].

Silisyum (Si) yüksek akışkanlık ve düşük çekme miktarı sayesinde alüminyum alaşımlarına üstün dökülebilirlik özelliği kazandırmaktadır. Aynı zamanda yoğunluğu 2,34 g/cm³ olup alaşımda toplam ağırlığın azalmasına katkı sağlamaktadır. Alüminyum alaşımlarının termal genleşme katsayısını düşürmektedir. Alüminyum alaşımlarına üstün özellikler kazandıran silisyum tüm bu gelişmelerin yanında işlenebilirliği kötü etkilemektedir [12].

Bakır (Cu) atmosferik çalışma şartlarında ve yüksek çalışma sıcaklıklarında alüminyum döküm alaşımlarının mukavemet ve sertlik özelliklerini arttırmaktadır. Ayrıca alüminyum matrisinin sertliğini arttırdığı için alüminyum alaşımlarının işlenebilirlik kabiliyetini de geliştirmektedir. Bakır genellikle alüminyumun korozyon direncini azaltmakta ve bazı alaşımlarda gerilme korozyonuna olan hassasiyeti arttırmaktadır [12].

Magnezyum (Mg), alüminyum alaşımlarının mukavemet, deformasyon ile sertleşme ve korozyon direnci özelliklerini geliştirmektedir. Silisyum ile oluşturduğu Mg₂Si bileşiği ısıll işlem sonucunda mukavemet artışı sağlamaktadır. Dayanım ve süneklik

kombinasyonu sağladığı için otomotiv sektöründe kullanılan alüminyum alaşımlarında magnezyum tercih edilmektedir [12].

Nikel (Ni) bazı alüminyum alaşımlarının yüksek sıcaklık mukavemetini ve sertliğini arttırırken bazı alüminyum alaşım gruplarında aynı etkiyi yaratmamaktadır [12, 15].

Kalay (Sn) alüminyum alaşımlarında yatak, burç parçalarında sürtünmeyi azaltmak amacı ile kullanılmaktadır. Alaşım içinde oluşan kalay fazı 227,7 °C gibi çok düşük bir sıcaklıkta ergimeye başlar. Yatak ve burç malzemelerinin çalışma koşullarında, aşırı ısındığı acil durumlarda sürtünen yüzeylere kısa süreli sıvı yağlama sağlamaktadır [12, 15].

Titanyum (Ti) ve bor (B) alüminyum alaşımlarında tane inceltme işlemi amacı ile kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımlarına titanyum tek başına eklendiği zaman $TiAl_3$ oluşturarak katılaşmada heterojen çekirdeklenmeye destek vermektedir. Bu sayede çekirdeklenmenin başlaması hızlanarak çekirdek sayısı artmakta ve katılaştıran hacimde daha çok sayıda, daha küçük boyutlu taneler oluşmaktadır. Titanyum ile bor bir arada kullanıldığı zaman tane inceltme işlemi daha efektif hale gelmektedir. TiB_2 ve $TiAl_3$ çekirdekleyicilerinin, tane inceltme işleminde yalnız başına olan $TiAl_3$ 'den daha iyi olduğu değerlendirilmektedir [12, 15].

Stronsiyum (Sr), sodyum (Na), kalsiyum (Ca) ve antimon (Sb) alüminyum-silisyum alaşımlarında oluşan ve mekanik özellikleri olumsuz etkileyen iğnesel formdaki ötektik silisyum fazının morfolojisini değiştirmek amacı ile kullanılmaktadır. Modifiye olan ötektik silisyum fazının morfolojisi ince katmanlı ve lifli hale gelmektedir. Bu sayede mekanik özellikler üzerindeki olumsuz etki ortadan kalkmaktadır [15].

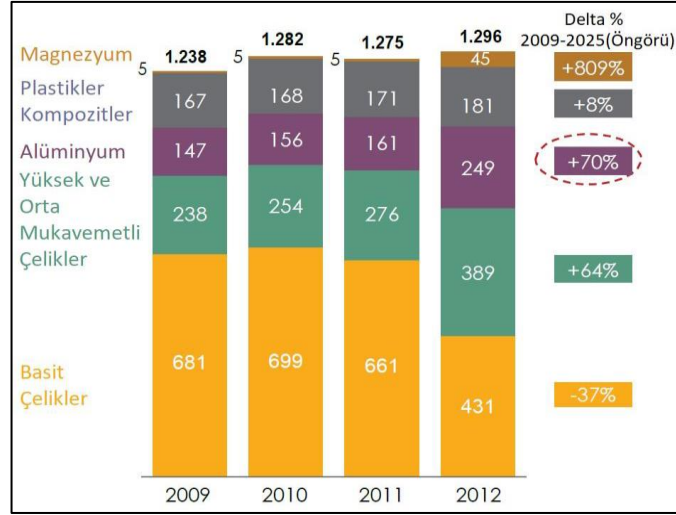
Mangan (Mn) ve krom (Cr), yalnız veya kombinasyonları olarak uygulanan alaşım elementleri, alüminyum döküm alaşımlarının mikroyapısında bulunan ve yapıda kırılabilirlik yaratan demirce zengin Al_5FeSi fazının morfolojisini değiştirerek iğnemsiz formundan küresel bir $Al_{15}(MnFe)_3Si_2$ olmasını sağlamakta ve alaşımın süneklik özelliklerini geliştirmektedir [12, 15].

Demir (Fe) alüminyum alaşımlarının çoğunda bir safsızlık olarak bulunur ve döküme faydası dokunan bir empürite elementidir. Alüminyum matrisinin içinde düşük çözünürlüğe sahip olduğu için mekanik özellikleri olumsuz etkileyen intermetalik bileşikler oluşturmaktadır. Bu durum alaşımın mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Ancak alüminyum döküm alaşımının cinsine göre değişkenlik göstermekle birlikte belirli sınırlar içinde bulunan demirin, basınçlı döküm sistemlerinde kalıp yapışmalarının önüne geçtiği ve yüzey kalitesine olumlu etkiler yarattığı bildirilmiştir. Alaşımda bulunan demir, alüminyum ve silisyum ile çözünmeyen fazlar oluşturarak malzemede gerilimler meydana getirmektedir. Bu durum sünekliği azaltmaktadır. Mikroyapıdaki hacmi ve boyutları katılaşma koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Yüksek basınçlı dökümde yüksek katılaşma hızı nedeni ile oluşacak bu fazlar belirlenen konsantrasyon oranlarının dışına çıkılmadığı takdirde mekanik özellikleri olumsuz etkilememektedir [15].

Çinko (Zn) alüminyum döküm alaşımlarına bilinçli ve kontrollü ilave edilerek 7xx.x serisi alüminyum alaşımları oluşturulmuş olsada bunlar henüz basınçlı döküm uygulamaları için uygun olmamaktadır. Çinko, hurda esaslı birçok ikincil basınçlı döküm alaşımında safsızlık olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle çinko oldukça nötrdür; alaşımın özelliklerini iyileştirmez veya azaltmaz. Yoğunluğu alüminyumun yoğunluğundan fazla olduğu için alaşımın kütle yoğunluğunu arttırdığı bilinmektedir. Yüksek çinkolu ikincil (hurdadan gelen) alaşımlar genellikle çekici görünmektedir çünkü düşük çinkolu versiyonlara göre daha ucuz olarak bilinmektedir. Ancak maliyet farkı çok küçükse, bu çekicilik yanıtıcı olabilmektedir [12, 15].

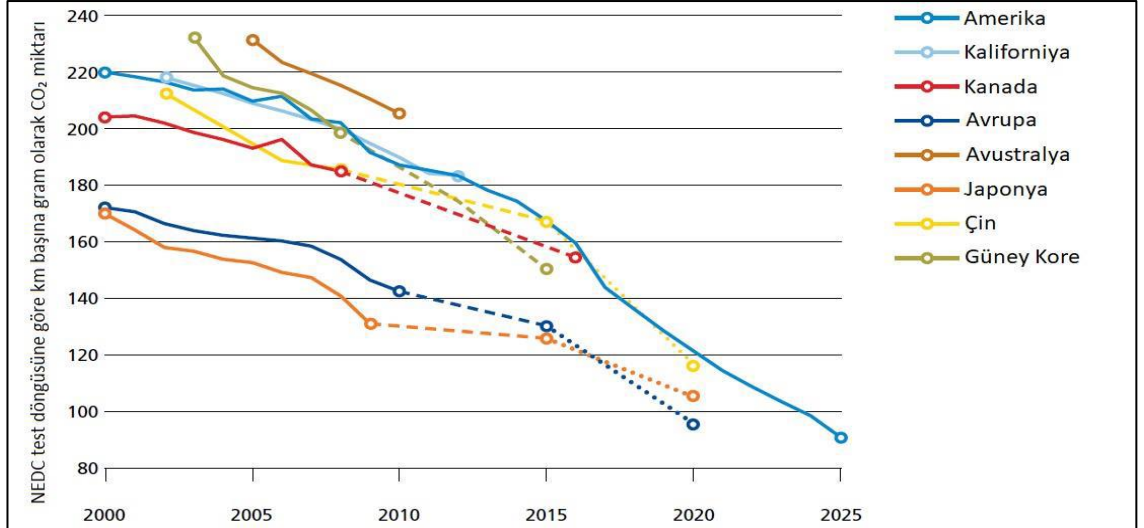
1.3.2. Otomotiv endüstrisinde alüminyum alaşımları

Alüminyum alaşımları volan dişlisi, vites kutusu, şaft, diferansiyel, aks ve diğer güç aktarma organlarında, otomobillerin yapı malzemelerinde yoğun olarak tercih edilmektedir. Yüksek basınçlı döküm yöntemi kompleks geometrilere ve dar boyutsal toleranslara sahip olan bu otomotiv bileşenlerinin üretimine imkân vermektedir. Küresel anlamda alüminyum alaşımlarının otomobillerde kullanımının her geçen gün artış göstermesi beklenmektedir. Şekil 1.3.'de Amerika'da kullanılan otomobillerde kullanılan malzemelerin ağırlıklarının ortalaması ve bu oranlara göre 2025 yılında alüminyum alaşımlarındaki düşünülen artış gösterilmiştir [16].



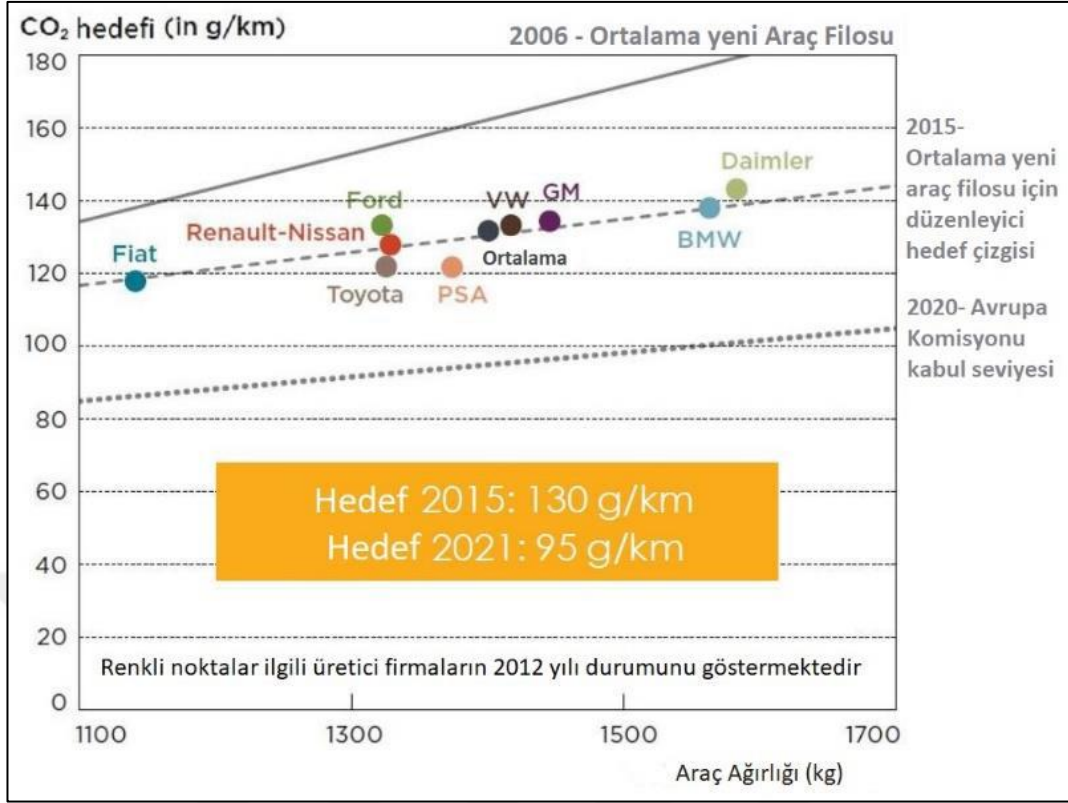
Şekil 1.3. Farklı malzeme ağırlıklarının ortalaması ve 2025 öngürüsü [16]

Ekolojik dengenin bozulmasına karşılık alüminyum çevrenin korunmasına destek olmaktadır. Petrol türevi yakıtlara bağımlı olan otomotiv sektöründe, CO₂ salınımının küresel ısınmaya etkisi göz önüne alındığında, otomobil ağırlıklarının azaltılması gereklilik haline gelmiştir. 2020 yılına kadar Avrupa otomobil kaynaklı CO₂ yayınında, kilometrede 9 grama kadar düşmüştür. Şekil 1.4.'de ülkelerin 2025 yılına kadar düşürmeyi hedefledikleri CO₂ yayını gösterilmiştir [16, 17].



Şekil 1.4. Ülkelerin CO₂ yayınında 2025 yılına kadar düşüş öngörü grafiği [16]

Otomobil ana sanayi üreticileri 2015 yılında CO₂ yayını ile ilgili standartlara uyum sağlamış olup Şekil 1.5.'de görüldüğü gibi hedefler doğrultusunda çalışmalara devam etmektedir [16].

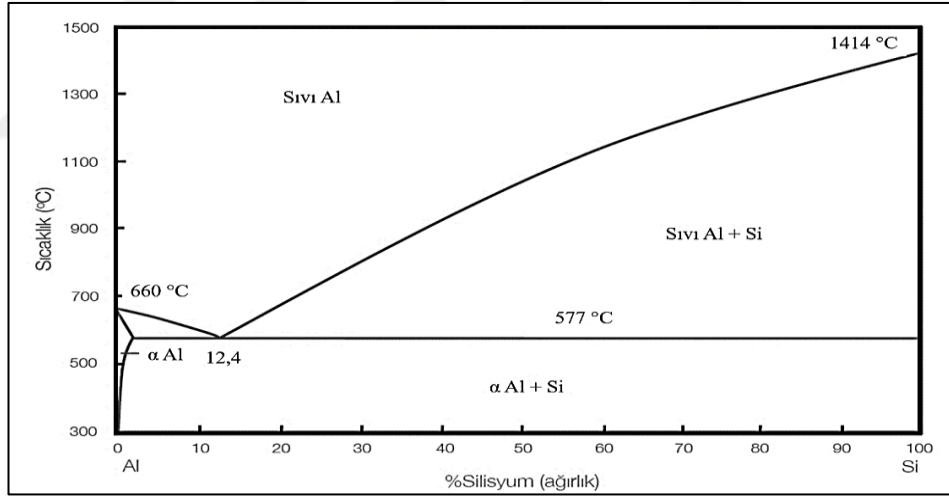


Şekil 1.5. Otomotiv ana sanayi üreticilerinin CO₂ emisyon çalışmaları [16]

Otomobillerde yapılacak olan %15'lik ağırlık azaltma çalışması, %25'lik yakıt tasarrufu sağlayabileceği için ağırlık azaltma çalışmaları otomotiv endüstrisinde önem kazanmıştır ve ana sanayi firmalarının en önemli hedefleri haline gelmiştir. Bu nedenle otomotiv sektöründe çelik malzemelerden alüminyum malzemelere geçiş konusunda yoğun çalışmalar yürütülmektedir ve alüminyum üstün özelliklerinden dolayı büyük talep görmektedir. Yapılan ağırlık azaltma çalışmaları yakıt tasarrufunun yanında CO₂ yayımının azaltılması içinde büyük katkı sağlamaktadır [16, 17].

Bu gelişmeler doğrultusunda ana sanayi otomobil üreticileri alüminyum kullanımında atak haline geçmiştir. Ana sanayi üreticilerinin çelikten alüminyuma geçişi ile önem kazanan alüminyum, geri dönüştürülebilir özelliğinden dolayı otomotiv endüstrisinde daha popüler hale gelmiştir. Güvenlik anlamında çelikten daha fazla şekil değiştirme ve enerji emilimi ana sanayi üreticilerinin alüminyuma olan düşkünlüğünü arttırmıştır. Şekil 1.6.'da otomobillerde kullanılan alüminyum komponentler ve yüzdeleri gösterilmiştir [10, 16].

özellikle kullanılan alaşımlar AlSi7Mg ve AlSi11Mg'dur. Magnezyum (Mg), Al-Si alaşımlarının mukavemet, deformasyon ile sertleşme ve korozyon direnci özelliklerini geliştirmektedir. Dayanım ve süneklik kombinasyonu sağladığı için Al-Si alaşımlarında magnezyum en çok tercih edilen alaşım elementi olmuştur. Geniş yelpazede farklı özellikler sergileyen Al-Si alaşımlarının özellikleri tane inceltme işlemleri, aşılama işlemleri, kompozisyonel standart aralıkları, katılaşma prosedürü, uygulanan ısıl işlemler vb. faktörlere kuvvetle bağlıdır [1, 12]. Al-Si alaşımlarının ikili denge diyagramını incelendiğinde alüminyuma katılan silisyum miktarına göre ötektik altı, ötektik ve ötektik üstü olmak üzere üç farklı grup ortaya çıkmaktadır. Şekil 1.8.'de gösterildiği gibi Al-Si denge diyagramını 577 °C ötektik sıcaklığa ve %12,6 Si ötektik bileşime sahiptir. Mikroyapısında ötektik Al-Si fazı bulunan alaşımlarda yüksek sıcaklık mukavemeti elde edilmektedir. Jant üretiminde kullanılan alaşımlarda silisyum oranı genelde %11'in altında yani ötektik altı olup mikroyapılarında Al-Si ötektik fazı ile alüminyum dendritleri bulunmaktadır [3].



Şekil 1.8. Alüminyum-silisyum ikili denge diyagramını [3]

Jant üretiminde yüksek mekanik özelliklerin elde edilmesi, tasarlanan ürününün emniyet ve müşteri kalite spesifikasyonları içinde olması kaliteli üretim gerçekleştirmeyi ifade etmektedir. Yüksek basınçlı döküm yöntemi, alçak basınçlı döküm yöntemi ile karşılaştırıldığında katılaşma süresi çok kısa sürede tamamlanmaktadır. Bu sayede mikroyapıda bulunan alüminyum katı çözeltisinin ve silisyum dağılımının homojenizasyonunun optimum hale gelmesi beklenmektedir. Yüksek katılaşma hızı mekanik özelliklerin iyileşmesine ve seri üretim şartlarında jant üretimine avantaj sağlayacağı düşünülmüştür.

2. DÖKÜM TEKNİĞİ VE TARİHÇESİ

Döküm tekniği insanların ihtiyaçları doğrultusunda metal malzemelerin eritildikten sonra belirlenmiş modelin içine dökülmesi ile gerçekleştirilen şekillendirme yöntemidir ve kullanımı tarih öncesi çağlara dayanmaktadır. Tarih öncesi çağlardan bugüne döküm yöntemi teknolojinin gelişimi ile paralel olarak gelişmiş, eritme ve kalıba dökümü prensibi değişmemiştir. Metal malzemelerin keşfedilmesi ve kullanımına başlanmasının milattan önce 6000'li yıllara dayandığı düşünülmektedir. Şekillendirilmesi kolay olduğu için altın, gümüş, bakır metalleri basit kap kaçak eşyalarında kullanılmıştır. En eski döküm yönteminin kum kalıba döküm yöntemi olduğu bilinmektedir [18, 19].

Eski çağlarda odun ateşi ile eritme yapılan eritme ocaklarında bakır eritildikten sonra pişirilmiş kilden yapılan kalıplara dökülürdü. İkel yöntemler ile oluşturulan açık kalıplar basit, tek parçalı parçaların üretimine izin verirken, dairesel şekilli ürünlerin üretimi için birden fazla parçadan oluşan kalıpların kullanımı ile döküm yöntemi ilk gelişmeleri göstermiştir [18].

Milattan önce 2000'li yıllarda içi boş parça üretmek için kilden maçalar yapılmaya başlanmıştır. Aynı zamanda mum modellerin kullanıldığı hassas döküm yöntemi geliştirilmeye başlanmıştır. Bu gelişmeleri çok parçalı kalıplarla karmaşık parçaların üretimi takip etmiştir. En eski izlerin Anadolu topraklarında görüldüğü döküm yöntemi savaşlar ve göçebe yaşam ile Avrupa'ya ulaşmıştır [18].

Avrupa'da, ilk döküm çalışmaları kiliselere çan dökmek olmuştur. Ayrıca İtalya döküm işlemini yazılı hale getirmeye başlamış ve sanatsal eserler oluşturmuşlardır. Ülkemizde döküm yöntemi ile ilgili ilk önemli uygulamalar askeri amaçlı olup, Fatih Sultan Mehmet zamanında kurulan top dökümhanesinde gerçekleştirilmiştir. Cumhuriyet'in ilan edilmesinden sonra devlet desteği ile otomotiv ve inşaat sektörüne hizmet edecek büyük dökümhaneler kurulmuştur. Günümüzde, ülkemizde küçük ve büyük ölçekte çok sayıda dökümhane bulunmaktadır [18].

2.1. Yüksek Basıncılı Döküm Yöntemi ve Tarihçesi

Çelik malzemelerden hareketli ve sabit olmak üzere iki yarım halinde oluşturulan kalıplara eriyik metalin, piston ile basınç altında doldurularak katılaştırıldığı döküm yöntemi basınçlı döküm yöntemi olarak tanımlanmaktadır. Basınç ile eriyiğın kalıba kısa süre zarfında doldurulması ve katılaşması sayesinde basınçlı döküm kompleks parçaların seri üretimine imkân sağlamaktadır [19, 20].

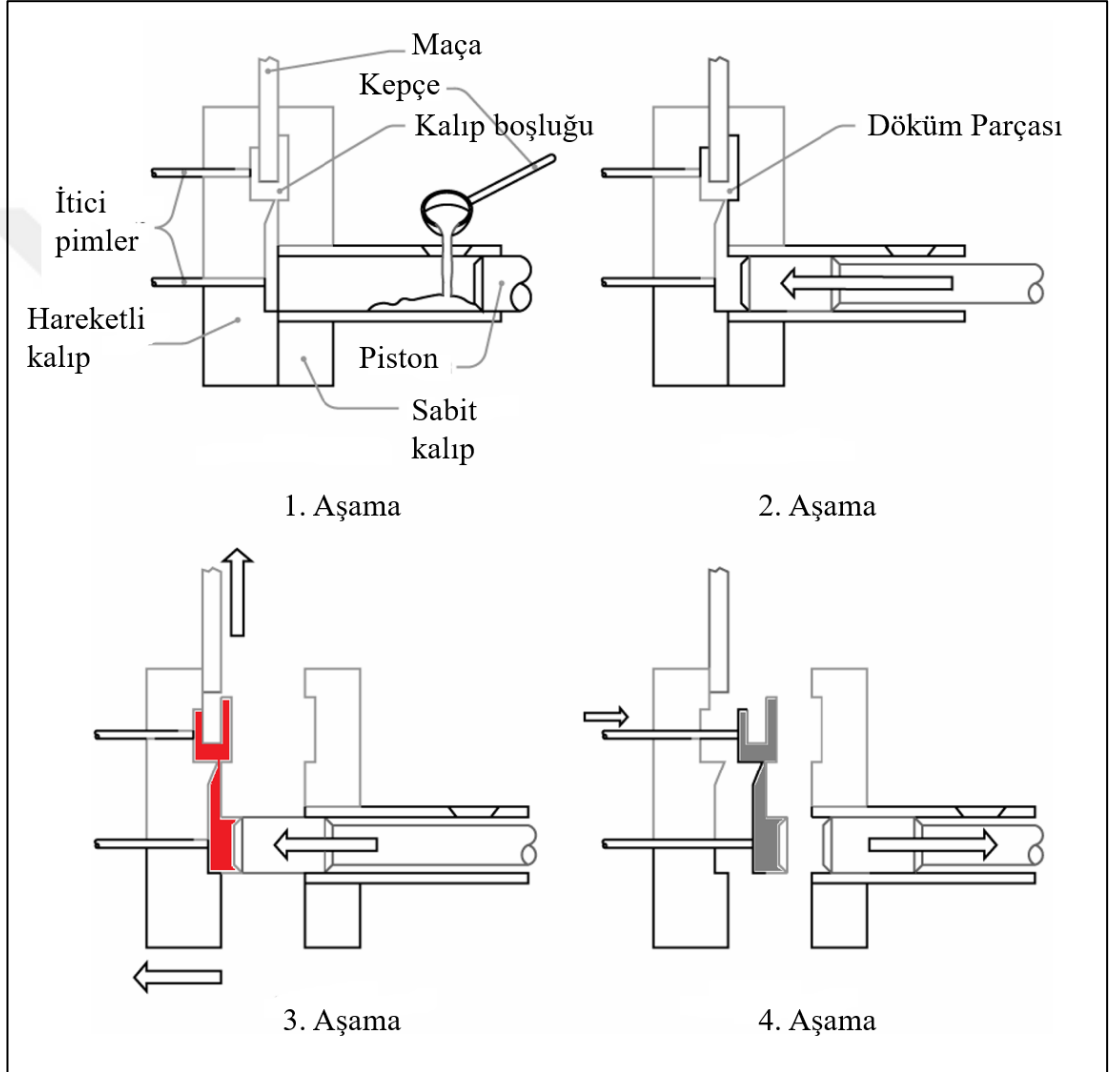
1850'li yıllarda birkaç makine üreticisi elle çalışan basınçlı döküm makine imalatı yapmışlardır. Basınçlı döküm yöntemi ile parça üretiminde ilk ticari uygulamalar 1892'de fonograflar ve yazar kasa parçalarının üretimi ile gerçekleştirilmiştir. Endüstride kurşun ve bakır alaşımlarından motor komponentlerinin üretimi ile basınçlı döküm yöntemi gerçek anlamda kullanılmaya başlamıştır. Bu gelişmeleri takiben çinko alaşımları basınçlı döküm ile dökülmeye başlamıştır. Çinko alaşımları ile basınçlı dökümde yüksek ergime derecesine sahip metallerin dökülebileceğini anlayan dökümcüler 1915 yılında ilk defa alüminyum alaşımlarını basınçlı dökümde kullanmaya başlamışlardır. Basınçlı döküm yöntemi ile üretilen maske, tüfek benzeri savaş ekipmanları ile basınçlı döküm yöntemi 1. Dünya Savaşı sırasında önem kazanmıştır [20, 21].

Teknolojik gelişmelere paralel olarak gelişen basınçlı döküm yöntemi günümüzde vazgeçilmez döküm yöntemleri arasına girmiştir. Sürekli geliştirilen basınçlı döküm tezgâhları çağımızın gereksinimlerini karşılayan parçaların üretimine olanak sağlamıştır [20].

Basınçlı döküm yönteminin başarılı olabilmesi için etkenler döküm tezgâhı, basınçlı döküm kalıbı ve dökülecek malzemenin kimyasal kompozisyonudur. Bu etkenlerin optimum şartları sağladığı zaman kalite gereksinimlerini karşılayan kompleks parçaların kaliteli bir şekilde üretilmesi mümkün hale gelmiştir [19].

Yüksek basınçlı döküm yönteminde (HPDC) soğuk hazneli basınçlı döküm makineleri kullanılmaktadır. Bu yöntem ile ergime derecesi yüksek olan alüminyum, magnezyum, bakır alaşımları dökülmektedir. Bu yöntemde harici bir ergitme fırınında ergitilen metal alaşımı dozajlama ocaklarında bekletilmektedir. Sıvı metal, dozajlama ocağından kepçe ya da huni yardımı ile hazneye dökülmekte, piston yardımı ile kalıp

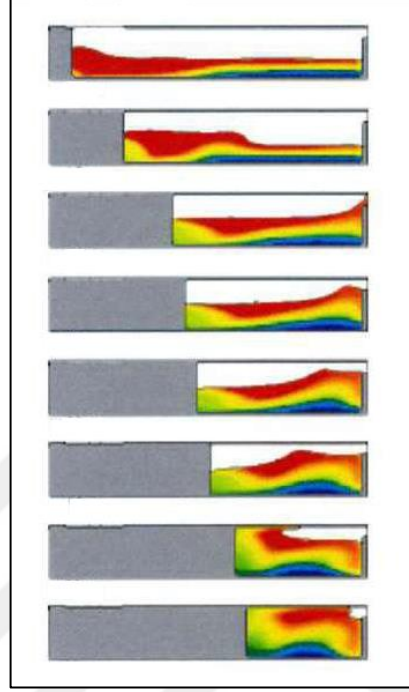
boşluğuna doldurulmakta, katılaşma gerçekleşene kadar basınç altında bekletilmektedir. Metalin kalıba dolumunu gerçekleştiren piston hareketi yatay eksendedir. Katılaşma tamamlandıktan sonra kalıp yarımları birbirinden ayrılmakta ve kalıpta bulunan iticiler yardımı ile parça kalıptan ayrılmaktadır. Şekil 2.1.'de yüksek basınçlı döküm yöntemi ile parça üretiminin 4 aşaması şematik olarak gösterilmiştir [21].



Şekil 2.1. Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile parça üretim aşamalarının şematik gösterimi [21]

Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile döküm işlemi 3 farklı evreden oluşmaktadır. Bu evreler 1. faz, 2. faz ve 3. faz olarak adlandırılmaktadır. Dozaj ocağından hazneye aktarılan sıvı metalin dalgalanmasının durması (enjeksiyon gecikme), türbülans oluşturmadan, sıvı metal içine hava kapmasına neden olmadan hazne içindeki sıvı

metalin düşük hızda piston ilerlemesiyle seviyesinin yükselmesi ve kalıp boşluğuna doğru ilerlemesi 1. faz olarak tanımlanmaktadır. 1. fazda piston ve hazne içindeki sıvı metalin hareketi şematik olarak Şekil 2.2.'de gösterilmiştir [22].

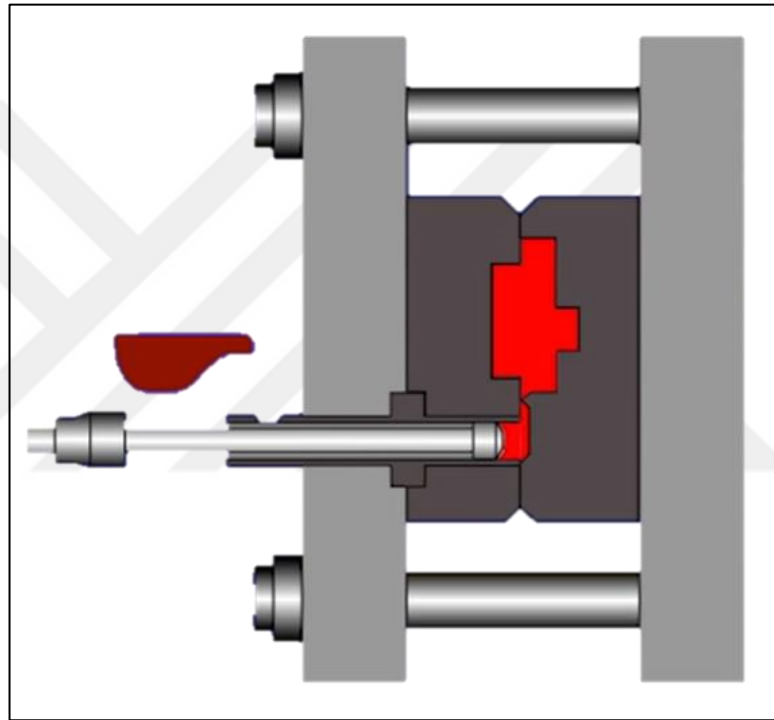


Şekil 2.2. 1. fazda piston ve hazne içindeki sıvı metalin hareketi şematik gösterimi [22]

Sıvı metal dozaj ocağından hazneye aktarıldıktan sonra sıvı metal sıcaklığı azaldığından sıvı metalin kısa süre içinde kalıp içine dolumunu gerçekleştirmek gerekmektedir. Piston ilerleme hızı düşük ise haznede hava ile temas halindeki sıvı metal oksitlenerek ve soğuyarak haznede geri kalan sıcak madene karışır. Bu durumda nihai üründe çeşitli kalitesizlikler ortaya çıkmaktadır. Piston ilerleme hızı yüksek ise haznedeki sıvı metalde türbülans oluşmakta ve sıvı metal içine hava hapsolmaktadır. Hapis olan bu hava nihai üründe döküm boşlukları şeklinde kalitesizlik ortaya çıkartmaktadır. Bu kalitesizlikleri ortadan kaldırmak için hazne doluluk oranı, pistonun hızı, ivmelenmesi ve ikinci faza geçiş noktası parametreleri 1. fazda yüksek basınçlı döküm yönteminin başarısını belirleyen en önemli etkenler olarak bilinmektedir [22].

Sıvı metal hazne içine dolduktan sonra sırası ile yolluk ve parçanın dolumu gerçekleşmektedir. Pistonun ivmelenerek yolluktan kalıp boşluğunu milisaniyeler

mertebesinde yüksek hızda sıvı metal ile doldurması 2. faz olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.3.'de 2. faz ile kalıp dolumu şematik olarak gösterilmiştir. 2. faz başlangıç noktası parça kalitesi için yüksek basınçlı döküm yönteminde en önemli parametrelerden biri olarak bilinmektedir. 2. faz sıvı metal kalıpta parçanın oluşacağı boşluğa girdikten sonra başlarsa üretilen parçada kalitesizlikler ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle ikinci faz başlangıç noktasının doğru saptanması gerekmektedir. Bu kritik konum üretilen parçanın geometrik özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.



Şekil 2.3. 2. faz ile kalıp dolununun şematik gösterimi [22]

Kalıp boşluğunun %100 sıvı metal dolması ile birlikte piston hızı durmakta ve 3. faz olarak tanımlanan yüksek basınç uygulanan faza geçiş yapılmaktadır. 3. fazda sıvı metal basınç altında katılaştırılmaktadır. Katılaşma, ısı transferi sonucunda sıvı metalin katı hale geçişi olması nedeni ile 3. fazda uygulanan yüksek basınç kadar kalıp içinden ısıyı transfer etmesi amacı ile oluşturulan kalıp soğutma kanallarının tasarımı ve içinden geçirilen ısı transfer yağının da özellikleri önem kazanmaktadır [22].

Başarılı döküm yapabilmek için kalıp kapama basıncının, metal enjeksiyonu sırasında kalıp içinde oluşan basınçtan büyük olması gerekmektedir. Döküm sırasında kalıp birleşme yüzeylerinden dışarıya metal çıkmaması, uygulanan tüm basınç ile kalıbın

içinde sıkıştırılması yüksek basınçlı dökümün temel esaslarından biridir. Aynı zamanda bu durumun iş sağlığı ve güvenliği açısından olumsuz durumlar oluşturma ihtimali bulunmaktadır [20].

Günümüzde yüksek basınçlı döküm tezgâhlarında hareketli ve sabit döküm kalıplarına hareket hidrolik sistemler ile sağlanmaktadır. Hidrolik prensiplerle hareketli kalıp sabit kalıp ile birleştirilmekte ve kitlenmektedir. Döküm işlemi tamamlandıktan sonra hareketli kalıp aynı hidrolik prensiplerle açılmaktadır [20].

2.1.1. Yüksek basınçlı döküm yönteminin avantajları

Yüksek basınçlı döküm yönteminin sağlamış olduğu avantajlar aşağıda belirtildiği gibidir:

- Nihai ürüne yakın parça üretimine imkân sağladığı için talaşlı imalatta malzeme kaybının önüne geçme imkânı sağlamaktadır.
- Yüksek basınçlı döküm kalıpları yüksek maliyetli olmasına rağmen yüksek üretim hızı ve adetleri parça başına denk gelen birim maliyeti düşürerek yüksek basınçlı döküm yöntemini diğer yöntemlerden avantajlı hale getirmektedir.
- Kompleks parça üretimi yapılmaktadır.
- Boyutsal toleransların dar olduğu parçaların üretimi yapılabilmektedir.
- Parça salkım oranı yüksek olduğundan üretilen malzeme kaybı diğer döküm yöntemlerine göre daha azdır.
- Üretim prosesi olarak diğer döküm yöntemleri ile kıyaslandığı zaman yüksek basınçlı döküm yöntemi ile daha temiz bir üretim yapmak mümkündür.
- İnce kesitli parçaların üretimi gerçekleştirilmektedir. 1 milimetreye yakın incelikte parça dökümüne müsaade etmektedir.
- Yüksek yüzey kalitesine sahip parçalar üretilebilmektedir.
- Seri üretime uygun döküm imkânı sağlamaktadır.

- Yüksek verimlilikte (işçilik ve malzeme kaybının önüne geçerek) üretim yapılmasına imkân sağlamaktadır.
- Yüksek mekanik özelliklere sahip parça üretimine imkân sağlamaktadır.
- Hızlı katılaşma sayesinde ince taneli mikroyapı elde edilebilmektedir.
- Birkaç gram mertebesinde kilogram mertebelerinde parça dökümüne imkân sağlamaktadır [16, 20].

2.1.2. Yüksek basınçlı döküm yönteminin dezavantajları

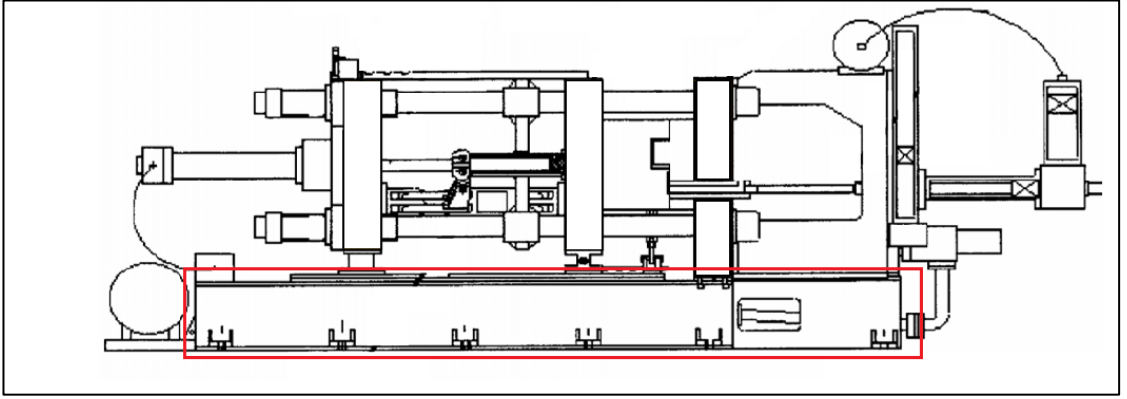
Yüksek basınçlı döküm yönteminin sağlamış olduğu dezavantajlar aşağıda belirtildiği gibidir:

- Dökülen parça büyüklükleri tezgâh plaka büyüklükleri ve kitleme tonaj kapasiteleri ile sınırlıdır. Büyük parçaların dökümüne izin vermemektedir.
- Vakum sistemi olmayan döküm kalıplarında kalıp içinde oluşan gaz basıncı döküm parçalarında döküm boşluğuna sebep olabilmektedir. Bu durum çeşitli kalitesizlik maliyetlerini beraberinde getirmektedir.
- Yüksek basınçlı döküm yönteminin yatırım maliyetleri diğer döküm yöntemleri ile kıyaslandığı zaman oldukça yüksektir.
- Kalıp dolup hızının çok yüksek olması ve katılaşmasının çok kısa sürede gerçekleşmesi yüksek basınçlı döküm yönteminde dökülebilecek alaşımları kısıtlamaktadır. Bu özelliklerden dolayı yüksek basınçlı döküm yöntemi dökülebilirlik yeteneği yüksek, katılaşma sırasında gerilimlerden dolayı çatlak oluşturma eğilimi olmayan alaşımların dökümüne müsaade etmektedir [14, 16, 20].

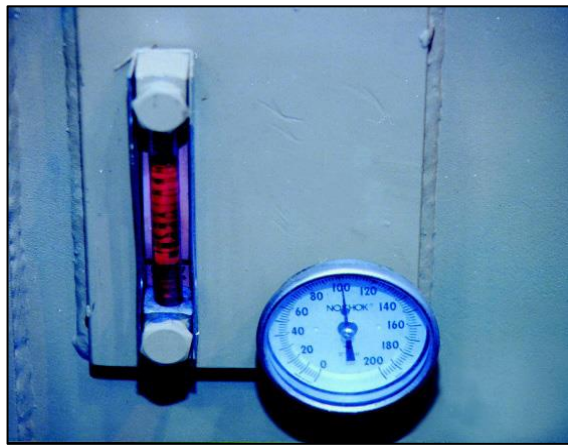
2.2. Yüksek Basınçlı Döküm Tezgâhı ve Yardımcı Ekipmanları

Yüksek basınçlı döküm makineleri mekanik, elektrik, hidrolik, pnömatik ve güvenlik sistemlerinden oluşan çok karmaşık bir yapıya sahiptir. Yapısal bileşenler yüksek basınçlı döküm sisteminin iskeletini oluşturmakta ve diğer tüm makine bileşenlerini taşımaktadır. Bu makinelerin tabanının esas amacı tüm makine bileşenlerini

desteklemektir. Taban şekli genelde dikdörtgen prizması şeklinde imal edilmekte ve makine boyunca uzanmaktadır. Yüksek basınçlı döküm tezgâhlarının tabanının arka bölgesinde sisteme güç veren hidrolik sıvının rezervuarı olan çelik tank bulunmaktadır. Makine çalıştığı zaman sistem ısısından etkilenen yağ ısınır. Sistemsel sıkıntılar yaşanmaması için hidrolik yağın 50 °C sıcaklığı geçmemesi önerilmektedir. Güvenli sınırın üstündeki sıcaklıklarda yağ fonksiyonelliğini kaybeder ve yanma direnci azalacağından iş sağlığı ve güvenliği açısından risk oluşturmaktadır. Tezgâh fonksiyonlarının verimli yerine getirilmesi için sistem hareketlerinin kaynağı olan hidrolik yağların temiz ve önerilen sıcaklık aralığında çalıştırılıyor olması gerekmektedir. Şekil 2.4.'te yüksek basınçlı döküm tezgâhının iskelet kısmı ve yağ tankı kısmı, Şekil 2.5.'te yağ temizliğini ve seviyesinin kontrol edildiği gözetleme camı ve yağ sıcaklığının ölçüldüğü termometre gösterilmektedir [21].



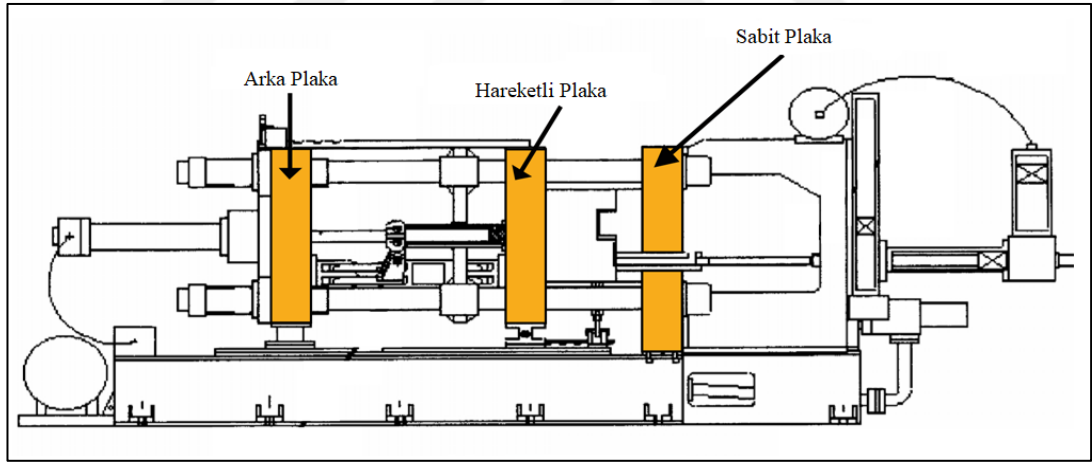
Şekil 2.4. Yüksek basınçlı döküm tezgâhı, iskelet ve yağ tanklarının şematik gösterimi [21]



Şekil 2.5. Yağ temizliği ve seviyesinin kontrol edildiği gözetleme camı ve yağ sıcaklığının ölçüldüğü termometre [21]

Enjeksiyon tezgâhları mengene grubu ve enjeksiyon grubu olmak üzere iki ayrı bölgeye ayrılmaktadır. Mengene grubu kalıp hareketli kısmının, genellikle elektrik motorunun, pompaların bulunduğu bölgedir. Enjeksiyon grubu ise akümülatörlerin ve enjeksiyon mekanizmasının bulunduğu bölgedir. Döküm tezgâhının iskeleti mengene ve enjeksiyon gruplarının hepsini fonksiyonellikleri bozulmayacak şekilde taşımak zorundadır. Bu fonksiyonelliklerin korunabilmesi için sistemin kurulacağı zeminin terazide olması gerekmektedir [21].

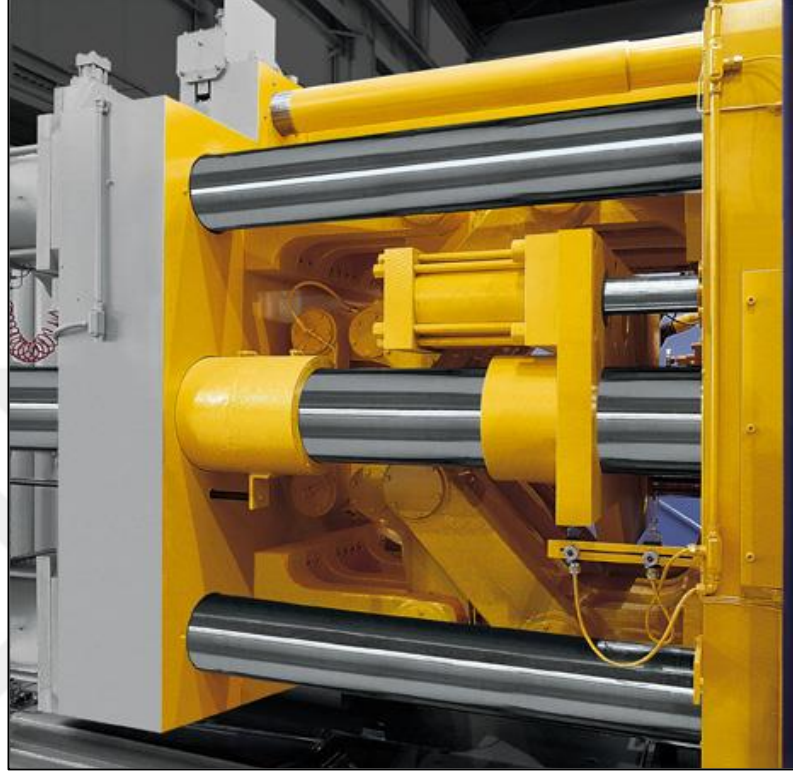
Şekil 2.6.'da gösterildiği gibi yüksek basınçlı döküm tezgâhlarında arka plaka, hareketli plaka ve sabit plaka olmak üzere 3 plaka bulunmaktadır ve bu plakalar tezgâh iskeleti üzerinde çalışırlar. Sabit plaka üzerine sabit kalıp yarımı, hareketli plaka üzerine hareketli kalıp yarımı bağlanmaktadır. Hareketli plaka ve hareketli kalıp her döküm çevriminde açılıp kapanma hareketini gerçekleştirir. Arka plaka ile hareketli plaka arasında makas grubu bulunmaktadır. Arka plaka, döküm kalıbının kalınlığına göre ileri geri oynayarak eksen ayarı yapılmasını sağlamaktadır [21].



Şekil 2.6. Yüksek basınçlı döküm tezgâhlarında bulunan plakaların gösterimi [21]

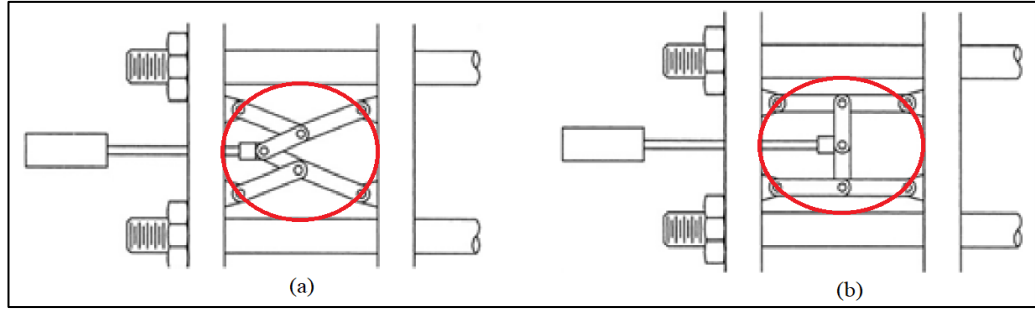
Tipik döküm tezgâhlarında Şekil 2.7.'de gösterildiği gibi 4 adet kolon mili bulunmaktadır. Kolon milleri plakaların dört köşesinden geçen ve yüksek basınçlı döküm tezgâhını koordineli bir şekilde çalıştırmayı sağlamaktadır. Hareketli plaka bu miller doğrultusunda, sabit plakaya göre paralel hareketini gerçekleştirmektedir. Kolon millerinin boyutu ve dayanıklılığı döküm tezgâhının büyüklüğünü belirlemektedir. Her çevrimde, enjeksiyon sırasında oluşan yüksek gerilim kolon millerini etkilemektedir. Enjeksiyon sırasında kalıp üzerinden kilitleme sistemine gelen yük karşısında kalıbın açılmadan rijit kalması kolon milleri sayesinde olur.

Kolon milleri, tezgâhta oluşan gerilimleri karşılamayacak dayanımda ise kolon millerinde hasarlanma gerçekleşir ve kaliteli döküm yapmak imkânsız hale gelmektedir [21, 22].



Şekil 2.7. Enjeksiyon döküm tezgâhı üzerindeki kolon millerinin görünümü [21]

Makas grubu, arka plaka ile hareketli plaka arasında bağlantıyı sağlayan, üreticisine göre görsel olarak farklılıklar olsa bile fonksiyonu aynı olan, kalıbın kapanması ve kilitlemesi sırasında mekanik kuvvet oluşturan ekipman grubu olarak bilinmektedir. Kolon milleri üzerinde hareketli plaka ve kalıbı sabit tutmak ve yüksek basınç altında döküm işlemini gerçekleştirmek için büyük kuvvete ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kuvveti hidrolik silindirler ile karşılamak imkânsızdır çünkü oluşan kuvvet için gerekli olan silindir büyük ebatlarda olmaktadır. Arka plaka ile hareketli plaka arasında bulunan makas grubu döküm sırasında oluşan büyük kuvvetleri karşılayarak başarılı döküm yapılmasına imkân sağlamaktadır. Şekil 2.8.'de arka plaka ile hareketli plaka arasında bulunan makas grubunun kilitlememiş ve kilitlemiş halleri gösterilmiştir [21, 22].

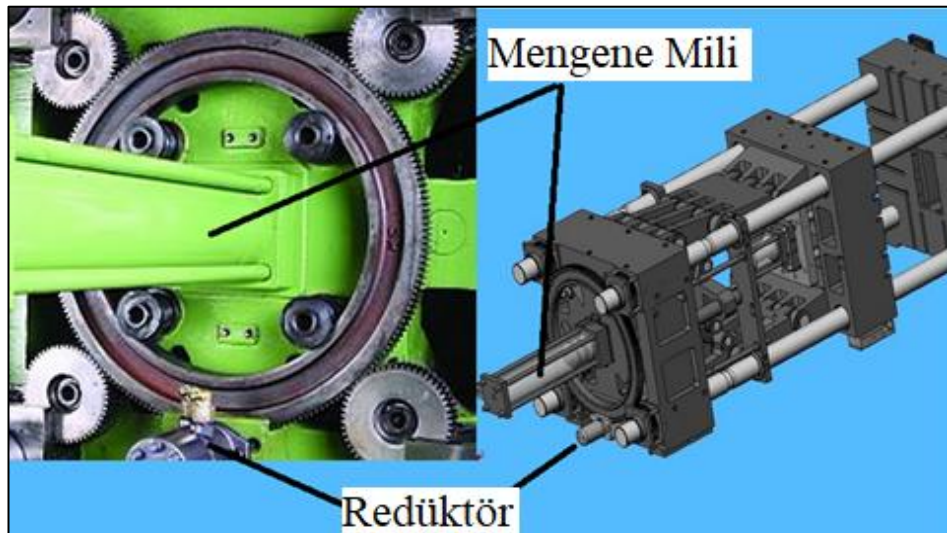


Şekil 2.8. Makas grubunun (a) kitlenmemiş (b) kitlenmiş şematik gösterimi [22]

Günümüzde 2 plakalı yüksek basınçlı döküm makineleri kullanılmaktadır. Hareketli kalıp yarımını açıp kapatmak amacı ile hidrolik silindirler kullanılmaktadır. Bu tip döküm tezgâhlarında bütün kolon millerinde ayrı ayrı hidrolik silindirler kullanılmaktadır. Bu çalışma şekli kalıbın daha hızlı kapanmasına bütün kolon millerinde eşit kapama kuvveti avantajı sağlamaktadır [21].

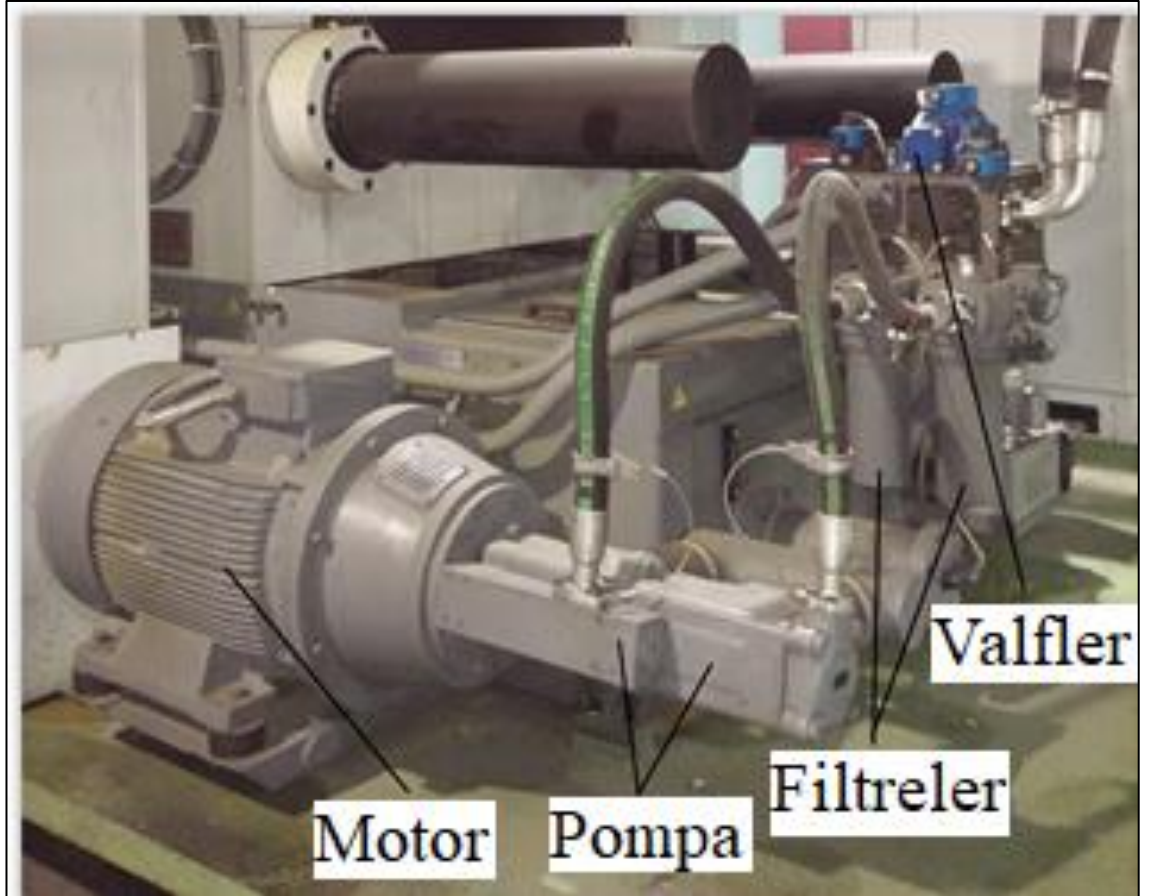
Mengene mili; arka plaka üzerine sabitlenmiş hidrolik pistondur. Mengene mili, mengene kilitleme sistemi elemanlarından olan makas sistemini hareket ettirir. Bu makas sistemi, hareketli kalıpta üzerinde bulunduğu hareketli plakayı tahrik ettikten sonra kalıbın kapanarak baskının yapılmasını, akabinde açılarak basılmış olan parçanın kalıptan alınabilmesini sağlamaktadır [21, 22].

Redüktör, tüm hareketli tarafın (hareketli plaka, makas grubu, arka plaka vb.) tezgâha bağlanan kalıbın genişliğine göre ayarlanması ve/veya kalıp değişimleri sırasında aralığın genişletilmesi için kullanılmaktadır [21, 22].



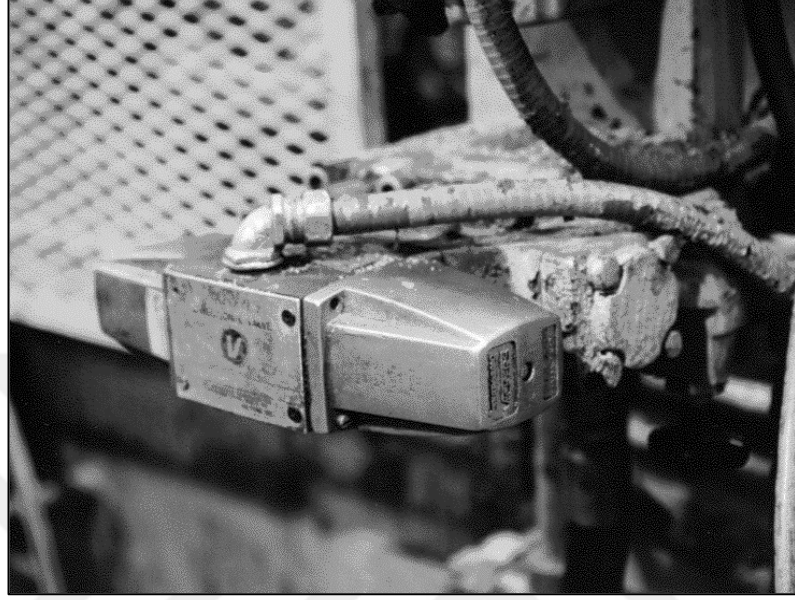
Şekil 2.9. Mengene mili ve redüktör gösterimi [22]

Yüksek basınçlı döküm makinesini çalıştırmak ve kontrol etmek amacı ile elektrik enerjisi kullanılır. Yüksek basınçlı döküm makinesinin elektrik sistemi, operatör kontrol panelinin de bağlı olduğu tüm ekipmanlara enerjinin yönlendirildiği sistemlerdir. Makinenin tüm yardımcı ekipmanları sinyalizasyonu ana elektrik panosu ile gerçekleştirmektedir. Elektrik motoru veya motorları doğrudan hidrolik pompalara bağlı olup, elektrik enerjisi hidrolik enerjiye dönüştürülerek, hidrolik hatlara basınç altında beslenmekte ve döküm makinesine güç kaynağı olmaktadır. Hidrolik pompa veya pompaları yüksek basınçlı döküm tezgâhının arka kısmında hidrolik yağ tanklarının yakınında yer almaktadır. Elektrik motorları yüksek voltaj ile çalışmaktadır. Bu elektrik çarpma tehlikesini göz önünde bulundurarak bu alan daima temiz ve kuru tutulmalıdır. Hidrolik sistem, elektrik motoruna bağlı iki yollu pompa, boşaltma valfleri, akış kontrol valfleri, akümülatör doldurma valfleri, yön valfleri, itici silindiri, kalıp hidrolik maçaları gibi yardımcı donanım valflerinden oluşmaktadır. Şekil 2.10.'da elektrik motoru ve hidrolik pompanın olduğu sistem gösterilmiştir [21].



Şekil 2.10. Elektrik motoru ve hidrolik pompa grubu gösterimi [21]

Yüksek basınçlı döküm tezgâhında hidrolik yağ akışının miktarını ve yönünü elektrik sinyalizasyon ile kontrol eden, Şekil 2.11.'de gösterilen selenoid valfler kullanılmaktadır [21].



Şekil 2.11. Yüksek basınçlı döküm tezgâhında kullanılan selenoid valf gösterimi [21]

Elektrik kontrol sisteminin en önemli ekipmanı limit anahtarlarıdır ve switch olarak adlandırılmaktadır. Yüksek basınçlı döküm tezgâhının neredeyse her yerinde bulunan bu switchler tüm hareketli bileşenlerin konumlarını algılayarak sistemin güvenli ve kontrollü bir şekilde çalışmasına olanak sağlamaktadır. Şekil 2.12.'de yüksek basınçlı döküm tezgâhında kullanılan limit anahtarlarına örnek gösterilmiştir [21].

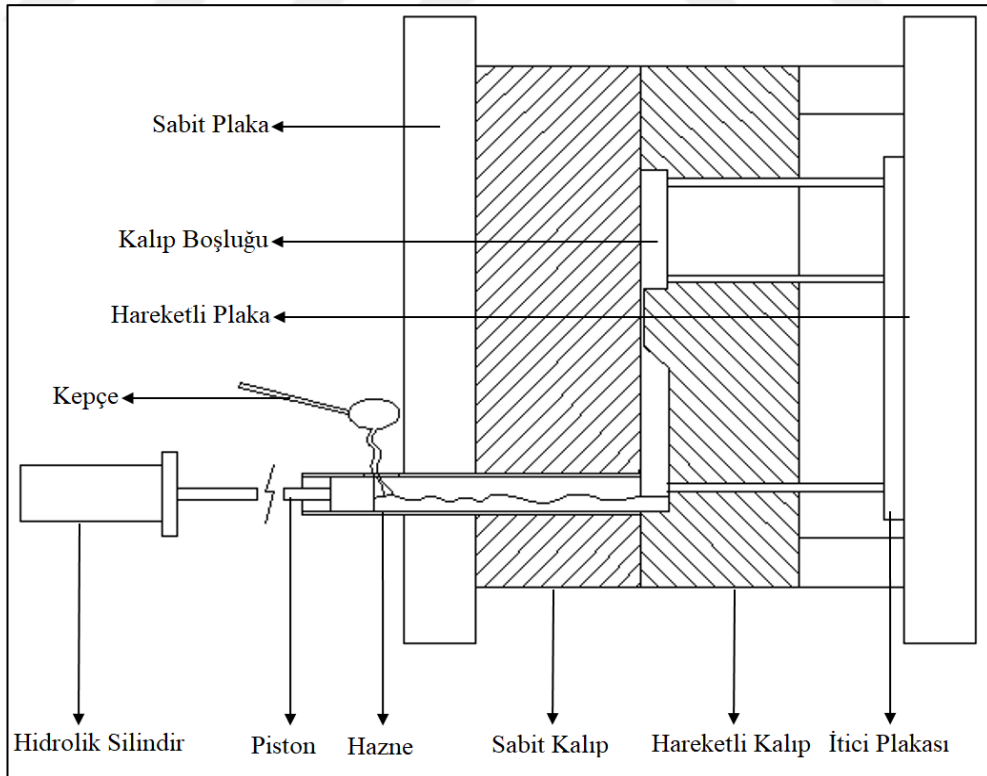


Şekil 2.12. Limit anahtarları / switchlerin gösterimi [21]

Yüksek basınçlı döküm tezgâhlarında hidrolik yağ sıcaklığını ayarlanan değerde tutmaya yarayan veya belirlenen sınırların dışına çıkmasına engel olan ısı eşanjörü kullanılmaktadır [21].

Yüksek basınçlı döküm tezgâhlarında kullanılan hidrolik silindirler tezgâhın açılıp kapanmasında, sıvı metalin kalıp içine enjeksiyonunda, döküm kalıbı üzerinde bulunan maçaların ileri geri hareket etmesinde, itici plakasının ileri geri hareket etmesinde ve daha birçok hareketli sistemi hareket ettirmek için kullanılmaktadır [21].

Akümülatörler, hidrolik silindir, piston, piston kolu ve hazne yüksek basınçlı döküm tezgâhının enjeksiyon grubu bileşenleridir. Akümülatör yüksek basınca dayanıklı çelik kaptır ve içi kısmen hidrolik yağ, kısmen azot gazı ile doldurulmuştur. Yağ ve gazı birbirinden ayıran basınçlı kap içinde piston bulunmaktadır. Yüksek basınç değerlerini elde etmek amacı ile akümülatörler kullanılmaktadır. Basınç arttırıcı akümülatörler, enjeksiyon vuruş yaptıktan sonra hidrolik sıvı basıncını attırmaktadır, bu sayede dökümü yapılan metalik malzemeler yüksek basınç altında katılaştırılmaktadır [19, 21].



Şekil 2.13. Enjeksiyon grubu şematik gösterimi [19]

Şekil 2.13.'te en basit halinin şematiği gösterilen yüksek basınçlı döküm tezgâhlarında parça üretimi için ilave makine ve ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu makine ve ekipmanlar basınçlı döküm yöntemi ile parça üretim sürelerini iyileştirme niteliğindedir. Yüksek basınçlı döküm yöntemi makine parkuruna bakıldığı zaman en karmaşık döküm yöntemlerinden biridir. Metalik malzemenin eritilmesinden net parçanın yolluk ve hava ceplerinden ayrılmasına kadar ergitme fırını, bekletme fırını, gaz alma ünitesi, bekletme ocağından döküm haznesine sıvı metal taşıma hunisi, piston yağlayıcı, parça çıkarıcı robot, parça kontrol kamerası, soğutma tankı, kalıp ısıtıcı, vakum cihazı, jet cooling cihazı, trim pres ekipmanları kullanılarak kompleks parça üretimi gerçekleştirilmektedir [21].

2.2.1. Ergitme ocakları

Ergitme fırınları külçe, hurda ve geri dönüştürülecek alüminyumun mümkün olan en kısa sürede, en yüksek verimlilikle ve en az yanma kaybıyla ergitme işlemi gerçekleştiren yüksek basınçlı döküm yönteminin en önemli ekipmanlarından [23].

Ergitme fırınları doğal gaz ile çalışan, ısının alüminyum alaşımına doğrudan transfer edildiği şaft tipi alüminyum ergitme fırınlarıdır. Şekil 2.14.'de örneği gösterilen şaft tipi ergitme fırınları, içinde ayrı ergitme ve bekletme havuzları, ergitme havuzu üzerinde yer alan ergitme şaftı (bacası), şaft çıkışında yer alan baca damperi ve şaft kapısı düzeneği (yükleme kapısı), mal yüklemek için asansör ve mal yükleme arabaları, tapalı veya hidrolik silindir ile devrilerek mal alma yöntemi, PLC kontrolü ve panolarından oluşmaktadır [23].

Yanma için gerekli hava ve gaz, brülörün çıkış noktasında karışarak alevi oluşturur. Gaz olarak kullanılan doğal gaz CH_4 (metan) + C_2H_6 (etandan) karışımından oluşmaktadır. Reaksiyon sonucunda ortaya ısı enerjisi çıkar. Isının bir kısmı doğrudan alevden alüminyum külçelere transfer olurken, bir kısmı da fırının duvarlarından yansiyarak metale transfer olmakta ve alüminyum alaşımlarının ergitme işlemini gerçekleştirmektedir. Aynı zamanda şaft tipi ergitme fırınlarında yanma sonucu oluşan atık baca gazından maksimum seviyede yararlanılır. Baca gazı ile ergitilecek malzeme ön ısıtma işlemine girer ve birim ergitme maliyeti düşürülmüş olmaktadır [23].



Şekil 2.14. Şaft tipi ergitme ocağı [23]

Ergitilen alüminyum alaşımlarında genellikle metalik olmayan kalıntılara rastlanır. Bu kalıntılar alüminyum matris tarafından ısıtılmadığı için çözülmüş gazın gözenek oluşturması için en uygun yerleri oluştururlar. Aynı zamanda sıvı metalin akışkanlığını olumsuz yönde etkilemektedirler. Eğer sıvı metal bu halde iken döküm gerçekleştirilirse oksit ve inklüzyonların çoğu döküm yapısında döküm boşlukları olarak karşımıza çıkacak ve üretilen ürünün mekanik ve korozyon dayanımlarını olumsuz yönde etkileyecektir. Bu nedenle Şekil 2.15.’te gösterildiği gibi cüruf alma işlemi uygulanarak yapıya oksit ve inklüzyonların geçişi engellenmektedir [23].



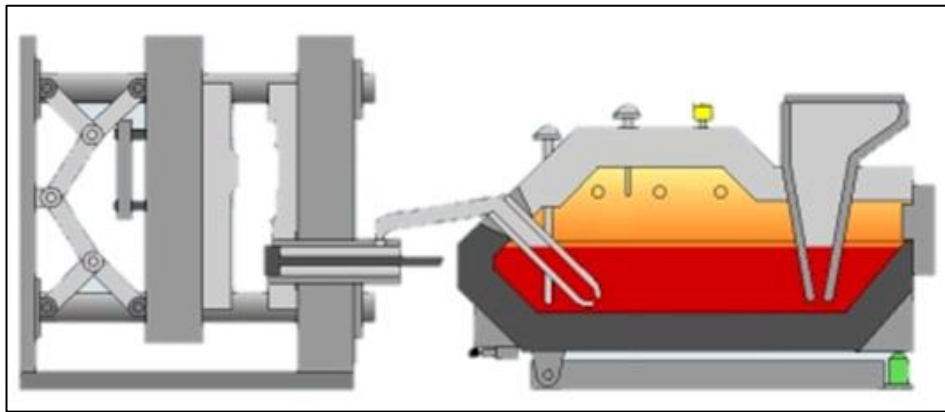
Şekil 2.15. Cüruf alma işlemi [23]

2.2.2. Dozajlama/Bekletme ocakları

Yüksek basınçlı döküm yönteminin kullanıldığı dökümhanelerde alüminyum alaşımları, şaft tipi ergitme fırınında ergitildikten sonra Şekil 20.'de gösterilen dozaj/bekletme ocaklarına aktarılmaktadır. Metalin transfer edildiği mesafenin kısa olması için yüksek basınçlı döküm tezgâhının bitişiğine yerleştirilen bu ocakların amacı sıvı metalin sıcaklığının, bileşiminin istenen aralıkta kalmasını ve döküm sırasında hava basıncı ile hazne içine istenen miktarda dökülmesini sağlamaktır. Dozaj/bekletme ocakları, ergitme fırınlarının daha çok kendi kullanım amaçları için kullanılmasına ve verimliliğinin arttırılabilmesine imkân sağlamaktadır [23].

Elektrik veya fosil yakıtlarla çalışan 2 tip dozaj/bekletme ocağı vardır. Modern yüksek basınçlı döküm yapan dökümhanelerde dozaj/bekletme ocakları elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Bu tip fırınların fosil yakıt kullanılan fırınlar ile kıyaslandığında en önemli avantajı temiz eriyik alüminyum eldesi sağlamaktadır. Elektrik ocağı ortamında hiçbir yanıcı ürün bulunmadığından, cüruf oluşumu ve gaz birikmesi daha azdır. Sonuç olarak da eriyik kaybı daha az meydana gelmektedir [23].

Elektrik rezistanslı fırınların içinde, çevresine tel dolanmış rezistanslar bulunmaktadır. Bu tellerden elektrik akımı geçtiği zaman, telin elektrik akımına karşı olan direnci ısı üretmekte ve fırın içi sıcaklığı arttırmaktadır. Rezistans sıcaklığı kızaracak dereceye kadar yükselmektedir. Kızaran rezistans ısıyı taşıma ve ışıma yolu ile fırının içine yaymakta bu sayede eriyik alüminyumun sıcaklığı korunmuş olmaktadır. Bu tip fırınlar sıvı metal ve fırın atmosfer sıcaklığını ölçen iki adet sıcaklık ölçer termokupl ile donatılmıştır [23].



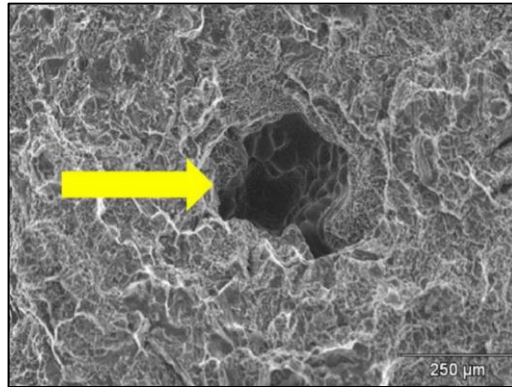
Şekil 2.16. Dozajlama/bekletme ocağının şematik gösterimi [23]

Taşınım ve ışınım yolu ile sıcaklığın ayarlandığı bu tip fırınlarda metal banyosu periyodik olarak temizlenmelidir. Isı transferinin yüksek verimlilikte gerçekleşmesi için fırın içinin dolu ve temiz olması gerekmektedir [21].

Elektrikli dozajlama fırınlarında fırın iç basıncının artırılması ile sıvı metal seviyesi yükselir tezgâhın haznesine metal transferi gerçekleştirilir. Bu transfer launder olarak adlandırılan oluklardan yapılmaktadır. Bu transfer sırasında önemli olan sıvı metalin minimum enerji kaybederek dökülmesi ve her çevrimde sıvı metal miktarını tutarlı olacak şekilde döküm haznesine ulaştırmaktır. Belirlenen metal miktarından çok veya az metal transfer edilmesi durumunda çeşitli döküm problemlerini beraberinde getireceği saptanmıştır [21].

2.2.3. Gaz alma ünitesi

Sıvı alüminyumun hidrojen çözünürlüğü nedeni ile yapıda bulunan hidrojen, katılaşmada gaz boşluğu olarak çökelmektedir. Sıvı alüminyumun hidrojen çözünürlüğü, katı alüminyumun hidrojen çözünürlüğünden düşüktür. Bu nedenle katılaşma sırasında çözünen hidrojen iyonları, içtiğimiz gazlı içecekler de olduğu gibi, dışarı atılmaktadır ve Şekil 2.17.'de görüldüğü gibi nihai yapıda döküm boşluğu olarak karşımıza çıkmaktadır [14].



Şekil 2.17. Alüminyum alaşımında oluşan gaz gözeneği [14]

Sıvı metal ile tepkimeye girmeyen ve sıvı alüminyum içinde çözünmeyen argon (Ar) veya azot (N) gazlarını sıvı alüminyum içinden geçirmek en sık kullanılan gaz giderme yöntemidir. Sıvı metal içine döner rotor ile verilen bu soy gazlar sıvı metal potasının dibinden yukarıya doğru ufak kabarcıklar halinde çıkarlar. Potanın dibinden yukarı

doğru çıkan bu kabarcıklar hidrojen ile birleşerek büyük kabarcıklar haline gelirler. Büyük kabarcıklar haline gelince sıvı metal basıncını yenen kabarcıklar yüzeyden sıvı metali terk etmekte ve sıvı metal içinde bulunan gaz bileşiminden arındırılmış olmaktadır. Şekil 2.18.'de Gaz giderme istasyonunun görseli gösterilmiştir [14].



Şekil 2.18. Gaz alma işleminin görseli [14]

2.2.4. Kalıp yağlama ünitesi

Yüksek basınçlı döküm kalıplarının ömrünü artırmak ve başarılı döküm yapabilmek için her çevrimde yüzey ayırıcılar kullanarak yağlama işlemi gerçekleştirilmektedir. Yağlama işlemi sonucunda döküm kalıbının yüzeyi etkin madde ile film tabakası şeklinde kaplanmaktadır. Oluşan bu film tabakası sıvı alüminyum ile çelik kalıp malzemesi arasında koruyucu film tabakası görevi görür ve dökülen parçanın kalıptan rahat bir şekilde çıkmasına yardımcı olmaktadır. Uygulanmaması durumunda kalıp ömrünün azalmasına, çelik ile alüminyum etkileşmesi sonucu yapışma probleminin oluşmasına ve başarısız döküm gerçekleşmesine sebep olmaktadır. Kalıp ayırıcı olarak kullanılan malzemenin kalıp yüzeyine homojen bir şekilde dağılması, çok ince bir film tabakası oluşması, kalıp ve sıvı metal ile etkileşmemesi, döküm parça yüzeyinde lekelenmelere neden olmaması, çalışma ortamına zehirli gazlar açığa çıkartmaması gerekmektedir [20, 21].

Belirlenen miktardan fazla yapılan kalıp yağlama işlemi kalıp yüzeyinde çeşitli artık birikmelere, yanmalara ve beraberinde ısı transferinin olumsuz etkilenmesine, kalıp içinde buhar oluşumuna ve döküm boşluğuna neden olabilmektedir [21].

Yağlama işleminin diğer bir avantajı ise ısı transferine yardımcı olmasıdır. Sıvı metalin kalıp içine girip, katı halde çıkması ısı transferi ile gerçekleşmektedir. Bu ısı enerjisi, kalıbın içinde bulunan soğutma kanalları ve yağlama işlemi ile kalıptan transfer edilmektedir. Bu işlem her çevrim tekrarlanmaktadır [21].

Yağlama işlemi manuel olarak el yordamı ile robotik kollarla ve lineer hareket etme yeteneğine sahip sistemler ile yapılabilmektedir. Şekil 2.19.'da robotik kol ve lineer hareket ile yağlama yapabilen sistem görüntüleri gösterilmiştir [21].

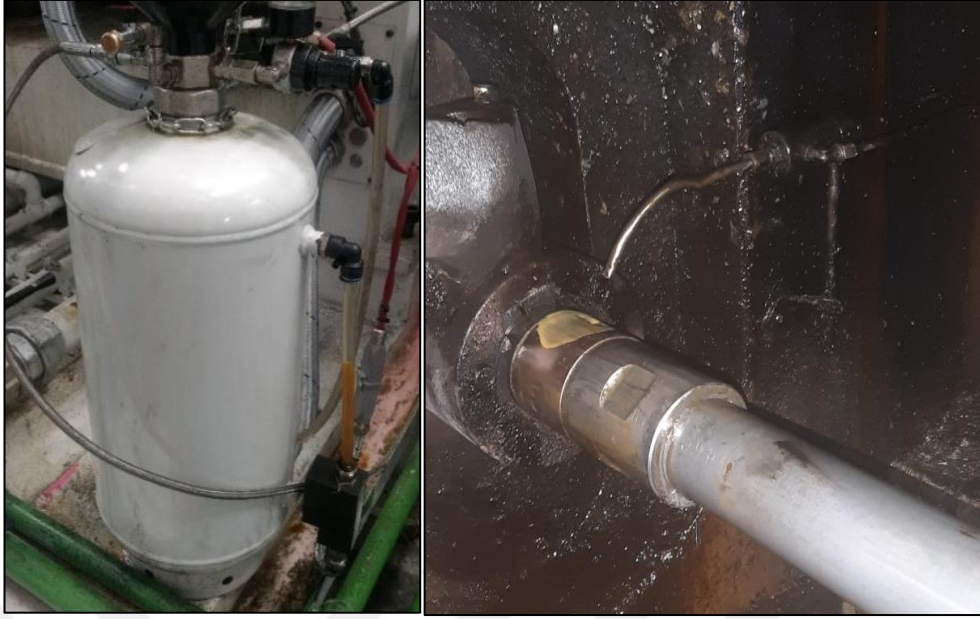


Şekil 2.19. Yağlama sistemi görselleri [21]

Yağlama malzemesinin kalıp yüzeyine püskürtülmesi, yağlama cihazının ucuna monte edilen nozullar ile gerçekleştirilmektedir. Bu nozullardan çıkan yağlayıcının püskürtülme miktarı, şekli, mesafesi, süresi yüksek basınçlı döküm yönteminin başarısını etkileyen önemli etkenlerden olduğu saptanmıştır [21].

2.2.5. Piston yağlama ünitesi

Döküm haznesinin üzerinde monte edilen nozul sayesinde her çevrimde sıvı metalin kalıp içine dolumunu gerçekleştiren, genelde bakır esaslı alaşımlardan üretilmiş pistonu Şekil 2.20.'de gösterildiği gibi yağlama işlemi gerçekleştirilmektedir. Piston yağlama işlemi yüksek basınçlı döküm sırasında pistonun hazne içinde sorunsuz hareket etmesini sağlamak amacı ile uygulanmaktadır [21].



Şekil 2.20. Piston yağlama tankı ve sistemi görselleri [21]

2.2.6. Parça alma robotları

Yüksek basınçlı döküm tezgâhından aldığı sinyallerle çalışan otomatik parça alma robotları, otomatik hatların kurulumunda, insan gücünün yetersiz kaldığı durumlarda, hücre sistemlerinde vb. durumlarda kalıptan parçayı alarak sonraki operasyon adımlarına transfer işlemlerinde kullanılmaktadır. Yağlama sistemlerinde olduğu gibi parça alma kolları veya parça alma robotları yapılacak iş ve oluşturulacak sistemlerin kurulum amaçlarına göre seçilmektedir [21].



Şekil 2.21. 6 Eksenli parça alma robotu ve kalıptan parça çıkartma [21]

2.2.7. Parça kontrol kamerası

Yüksek basınçlı döküm yönteminde döküm tezgâhlarından çıkacak olan alüminyum döküm parçaların kontrolü için, Şekil 2.22.'de gösterilen, robot tarafından istenen pozisyona getirildikten sonra gerekli sinyalleri alarak, tanımlanan bölgelerin varlık tespitini yapay görüntüleme yöntemleri ile kontrol eden parça kontrol kameraları kullanılmaktadır. Parça üzerinde tanımlanan bölgelerin varlık kontrolünü yapan bu kontrol sistemi parça alma robotuna gerekli sinyalleri gönderip kontrol edilen parça sağlam ise bir sonraki operasyona, ıskarta ise ıskarta kasasına bırakmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda kontrol eden parça ıskarta olarak tanımlanırsa, döküm tezgâhı bir sonraki üretime başlamamaktadır. Döküm kalıbında parça kalma ihtimali göz önünde alınarak operatörün kalıpları kontrol etmesini ve döküm tezgâhını tekrardan döküme başlatma komutunu vermesi beklenmektedir [21] .



Şekil 2.22. Parça kontrol kamerası [21]

2.2.8. Soğutma tankı ünitesi

Yüksek basınçlı döküm ile ince et kalınlığına sahip parçalar üretildiği için parçalar kalıptan çıkartıldıktan sonra katılaşma sırasında boyutsal stabilite sağlanması amacıyla Şekil 2.23.'de gösterilen soğutma tankına sokulmaktadır. Döküm tezgâhı

hücresinde markalama trimleme vb. ikincil uygulamalar söz konusu olduğu için parça soğutma tankında boyutsal kararlılık kazandırılmaktadır. Bunun yanında tezgâh operatörünün parça göz kontrolleri sırasında parçayı kolaylıkla tutabilmesi için soğutma işlemi gerekli hale gelmektedir. En yaygın olarak kullanılan soğutma su ile yapılmaktadır. Bu işlemin bir dezavantajı korozif etkilerdir. Bu etkileri ortadan kaldırmak için kullanılan su özelliklerinin kontrol altında tutulması gerekmektedir [21].



Şekil 2.23. Parça soğutma tankı [21]

2.2.9. Kalıp ısıtma ünitesi

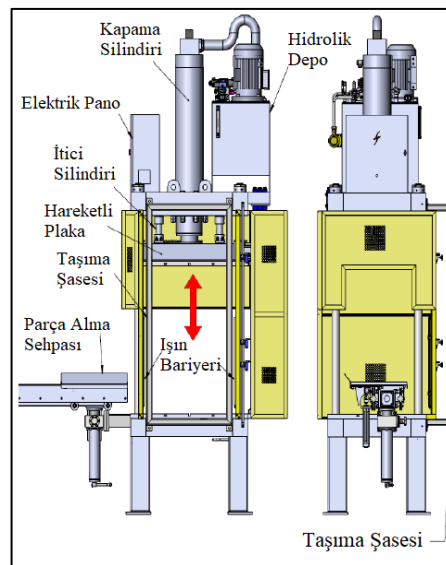
Yüksek basınçlı döküm kalıpları ile başarılı ve uzun ömürlü çalışabilmek için birtakım termal koşulların yerine getirilmesi gerekmektedir. Bu koşullar Şekil 2.24.'de gösterilen kalıp şartlandırıcılar ile sağlanmaktadır. Kalıp şartlandırıcılar kalıptaki termoregülasyon kanallarından geçirilen yağın set edilen sıcaklık değerinde tutulmasını ve bu sayede döküm kalıbının istenilen sıcaklık aralığında olmasını sağlar. Yüksek basınçlı döküm kalıpları döküm işlemi başlamadan önce set edilen sıcaklığa ısıtılmakta ve üretim sırasında da kalıp sıcaklığı korunmaktadır. Belirlenen sıcaklıkta döküm işlemi gerçekleştirilen döküm kalıpları sıvı metal ile karşılaştığı zaman termal şoka uğramamaktadır. Kalıp çeliklerinin düşük sıcaklık darbe dayanımları düşük, yüksek sıcaklıklarda darbe dayanımları yüksek olmaktadır [21].



Şekil 2.24. Kalıp ısıtıcı [21]

2.2.10. Trim pres ünitesi

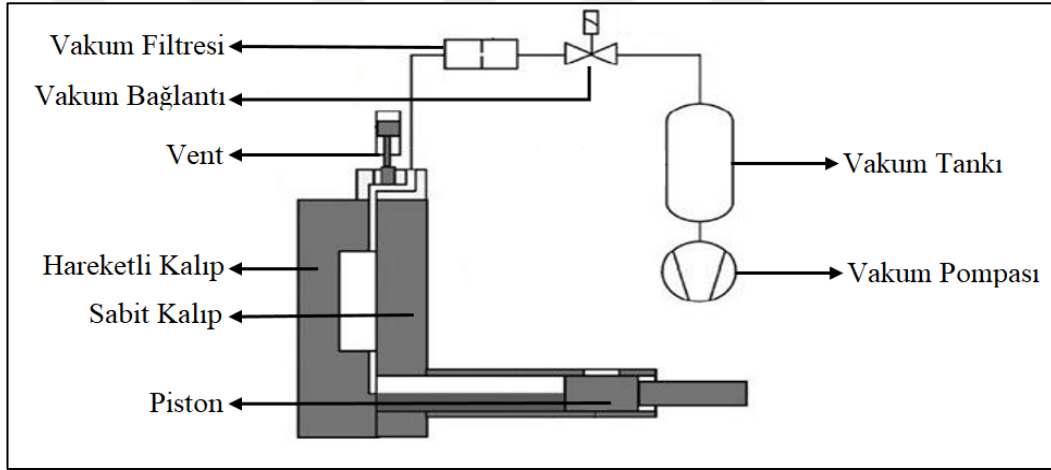
Yüksek basınçlı döküm tezgâhında başarılı parça üretilebilmesi için hava cebi, yolluk, topuk ve oluşabilecek çapaklar dökülen salkımda olması gereken bileşenlerdir ve döküm sonrası net parçadan uzaklaştırılıp tekrar ergitilmektedir. Dökümün başarılı bir şekilde gerçekleşmesi için kullanılan bu bileşenlerin döküm sonrası parçadan uzaklaştırılabilmesi için trim kalıpları kullanılmaktadır. Trim kalıpları, dikey yönde çalışan, hareketli ve sabit tarafı olan Şekil 2.25.'de gösterilen özel preslere bağlanarak çalıştırılmaktadır. Bu tezgâhlar trim pres olarak adlandırılmakta ve parça boyutu ile orantılı olarak uygulanacak kuvvet değerine göre seçilmektedir [21].



Şekil 2.25. Trim presin önden ve soldan şematik gösterimi [21]

2.2.11. Vakum ünitesi

Yüksek basınçlı döküm teknolojisi geliştikçe yeni ekipmanlar döküm tezgâhına dahil olmaya başlamıştır. Döküm kalıpları içinde sıkışan hava nihai üründe döküm boşluğu olarak kalitesizlik yaratmaktadır. Bu sorunun önünde geçmek için vakum sistemleri geliştirilmiştir. Vakum sistemi vakum tankı, vakum motoru ve hava emiş kontrolünü gerçekleştiren valflerden oluşmaktadır. Vakum tankının hacmi, vakum sistemin kapasitesini belirlemektedir. Vakum motorları ilk olarak vakum tankının havasını emmektedir. Daha sonra sisteme girilen süre ile vakum valfleri hava geçişine izin vermekte ve döküm kalıpları içindeki hava, vakum tankının içine dolarak kalıp içi hava vakum edilmektedir. Vakum işlemi Şekil 2.26.'da gösterildiği gibi genelde döküm kalıplarının üst kısmından gerçekleştirilmektedir [22].

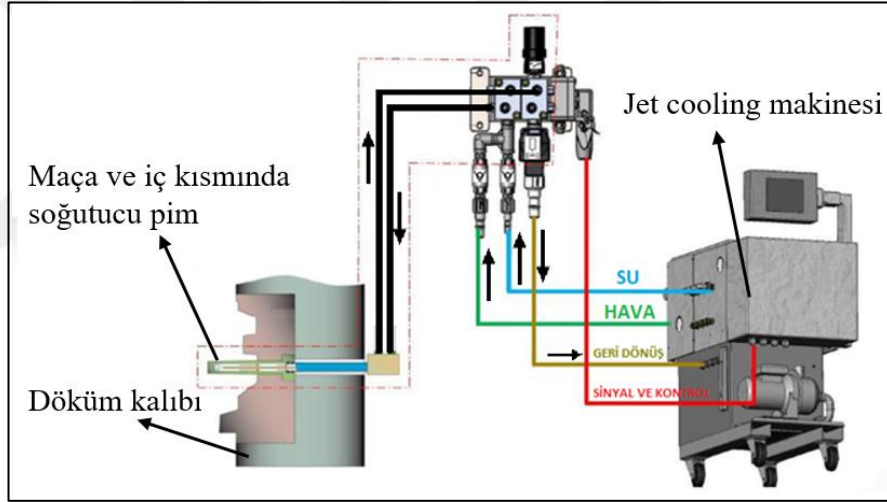


Şekil 2.26. Vakum ünitesinin şematik gösterimi [22]

2.2.12. Jet cooling ünitesi

Döküm kalıplarında kalıp açma yönünde paralel olmayan boşlukların oluşturulması için hareketli parçalar kullanılmaktadır ve bu parçalar maça olarak adlandırılmaktadır. Maça üzerinde ve kalıp çekirdeğinde bulunan ince bölgeler, pimler döküm sırasında yüksek sıcaklık değerlerine ulaşırlar ve sıvı metal ile etkileşme girerler. Bu durum döküm parçalarda çeşitli kalitesizlikler oluşturmakla birlikte pim ömrünün kısılmasına neden olmaktadır. Her bir döküm çevriminde, kalıp üzerindeki pimlere yüksek debili ve basınçlı su verilerek döküm sırasında bu pimlerin aşırı ısınmasının engellenmesi, pim ömürlerinin uzatılması ve döküm malzemesinin kalıp çeliğine yapışmasına engel olarak kaliteli parça üretilmesi için Şekil 2.27.'de gösterilen jet

cooling makineleri kullanılmaktadır. Her döküm çevriminde pimlere basınçla püskürtülen su çevrim sonunda hava ile sisteme geri dönerek soğutulmaktadır, bir sonraki çevrime tekrar soğuk su püskürtülmektedir. Pimlerde ve diğer bağlantılarda sızdırma ihtimaline karşı jet cooling makineleri her çevrimde kaçak testi yapmaktadır. Soğutma işlemi bittikten sonra hatta bulunan su hava ile tahliye edilmektedir. Çevrim başlangıcında tüm pimlere belirli bir süre boyunca basınçlı hava verilmektedir. Dönüş valfi kapatılarak pimlerde basınçlı hava hapsedilmektedir. Belirli bir süre sonra pimlerde hava kaçağı olup olmadığı sensör yardımıyla kontrol edilmekte basınçta azalma var ise makine kaçak tespit edip alarm vererek bir sonraki döküm çevrimi için onay vermemekte ve döküm tezgâhı durmakta, gerekli kontroller gerçekleştirilmektedir. Belirlenen süre sonunda hava basıncı istenen değer aralığında ise makine otomatik bir sonraki döküm çevrimine geçiş için onay vermektedir [24].



Şekil 2.27. Jet cooling ünitesi şematik gösterimi [24]

2.3. Yüksek Basınçlı Döküm Kalıpları ve Ekipmanları

Yüksek basınçlı döküm yönteminin en önemli bileşeni döküm kalıplarıdır. Kompleks parça üretilmesine olanak sağlayan bu döküm kalıplarının sıvı metalin kalıp boşluğuna girişine izin verme, sıvı metali istenen döküm parçası şeklinde tutma, sıvı metalin katılaşması için gerekli olan ısı transferini gerçekleştirme ve katılaştıran metalin kalıptan çıkartma olmak üzere 4 temel görevi bulunmaktadır. Kalıp tasarımları bu temel 4 görevi başarılı bir şekilde yerine getirmek üzere gerçekleştirilmektedir [21].

Sıvı metalin kalıp içine dolumu ve sıvı metalin kalıp içinde problemsiz bir şekilde kalarak katılaşmasını sağlayacak şekilde basınçlı döküm kalıpları hareketli ve sabit

olmak üzere iki yarımından oluşmaktadır. Bir bütün olarak düşünüldüğü zaman döküm kalıpları yüksek basınçlı döküm yönteminde ortaya çıkan yüksek kalıp kapama kuvvetlerine, yüksek sıvı metal hızına, yüksek kalıp içi basıncına dayanacak nitelikte olmalıdır [16, 19].

Dökülecek parçanın geometrik özelliklerine göre her döküm çevriminde bir adet parça ortaya koyan tek gözlü kalıplar, birden fazla ürün üretilen çok gözlü kalıplar veya farklı parçaların üretildiği çok gözlü kalıplar üretilebilmektedir. Her ne olursa olsun yüksek basınçlı döküm yönteminde kullanılan döküm kalıpları sabit kısım, hareketli kısım olmak üzere 2 esas kısımdan oluşmaktadır. Sabit kalıp içinden haznenin geçtiği ve sıvı metalin dolumu için pistonun hareket ettiği, döküm tezgâhının sabit kısmına bağlanan kalıp yarımıdır. Hareketli kalıp yarımı ise içinde itici plakasını, destek takozlarını bulunduran sabit kalıp ile birleştiği zaman döküm boşluğunun bütünü oluşturur ve döküm tezgâhının hareketli kısmına bağlanan diğer kalıp yarımıdır [21].

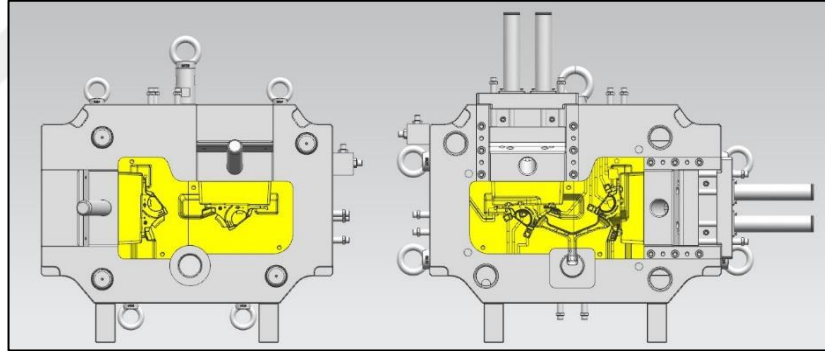
Hareketli kalıbın sabit kalıp üzerine tezgâh hareketli plaka yardımı ile getirilerek kapatılması sonucunda dökümü yapılan parçanın kalıp içinde döküm boşluğu oluşmaktadır. İki kalıp yarımı talaşlı imalat yöntemleri ile oluşturulmaktadır. Hareketli ve sabit kalıbın birleşme yüzeyleri mümkünse üretilecek parçanın en geniş kesitine denk getirilmeye çalışılır ve bu ayırım çizgisi parça ayrılma yüzeyi olarak tanımlanmaktadır. Kalıp yarımının işlenmesi sırasında işleme kalitesinin üst düzey olması gerekmektedir. Freze ile işlenen kalıp yarımının yüzey pürüzlülükleri, yüzeyde takım izi kalmayacak şekilde olmalıdır. Kalitesizlikler olması durumunda, hareketli ve sabit kalıp birbiri üzerine tam oturmayacak ve kalıp arasından sıvı metal kaçışına neden olacaktır. Bu durum iş sağlığı ve güvenliği açısından risk teşkil etmekle birlikte üretilen parçada kalitesizlik oluşturmaktadır [25].

Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile parça üretiminde müşteri kalite kriterlerine uygun parça üretebilmek için döküm kalıplarının kusursuz tasarlanmış olması, uygun malzeme seçilmesi, üstün işleme özelliğine sahip takımlarla sorunsuz tezgâhlarda işlenmesi ve döküm işlemine uygun parametrelerle alıştıırılması gerekmektedir. Tüm bu gerekliliklerin sağlanması durumunda kalite gereksinimlerini karşılayarak kompleks parçaların seri üretimi mümkün hale gelmektedir [19].

Şekil 2.29.'da 1 iticileri, 2 itici plakasını, 3 itici plakası merkezleme milini, 4 sabit kalıbı, 5 sabit ve hareketli kalıp merkezleme milini, 6 soğutma kanallarını, 7 çekirdeği (aplik), 8 sabit maçıyı, 9 mekanik maçıyı, 10 hareketli mekanik maça taşıyıcı plakasını, 11 mekanik maça boynuzunu, 12 maça kilitleme plakasını, 13 soğutucu pimi, 14 hazneyi, 15 merkezleme mili burcunu göstermektedir [25].

2.3.1. Kalıp çekirdeği ve hamili

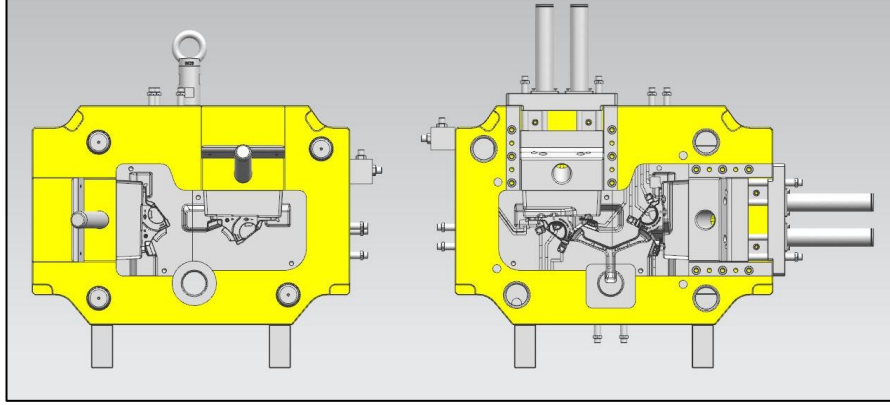
Kalıp çekirdeği, döküm parçasının formunun oluşturulduğu yani kalıp boşluğunun oluşturulduğu, sıvı metal ile direk olarak temas halinde olan kalıp çeliğidir, bazı dökümhanelerde aplik olarak tanımlanmaktadır. Çekirdek malzemesi olarak yüksek sıcaklıklarda (>200°C) yüksek süneklik ve tokluk özelliği gösteren, 44-46 HRC sertlik aralığında, 1.2343 sıcak iş takım çeliği ve muadilleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.30.'da gösterildiği gibi hareketli ve sabit kalıp hamillerinin içine monte edilen kalıp çekirdekleri tek parça veya birden fazla gözlü kalıplarda parçalı olmaktadır [16].



Şekil 2.30. Kalıp çekirdeklerinin görünümü [16]

Kalıp çekirdeğinin ve diğer tüm kalıp ekipmanlarının üzerine bağlandığı, kalıbı bir bütün olarak çalışmasına imkân tanıyan kalıp elemanı hamil olarak tanımlanmaktadır. Hamil malzemesi olarak 30 HRC sertlik seviyelerinde olan 1.2312 çeliği ve muadilleri tercih edilmektedir. Hamil malzemeleri sıvı metal ile temas halinde olmadığından ömürleri kalıp çekirdek ömürlerinden daha uzun olup, kullanılan hamil malzemesine bağlı olarak 1 hamil ile ortalama 3 çekirdek ömrü tükenmektedir. Şekil 2.31.'de gösterilen hamiller destekleyici, taşıyıcı plaka olarak da tanımlanmaktadır. Sabit ve hareketli olarak iki kısımdan oluşan kalıp hamilleri döküm kalıplarının hareketli ve sabit tezgâh plakalarına bağlanmasına yardımcı olmaktadır. Bunun için sabit ve

hareketli kalıp hamillerinin çevre bölgesinde bağlantı kanalları kalıp üretimi sırasında oluşturulmaktadır [16].

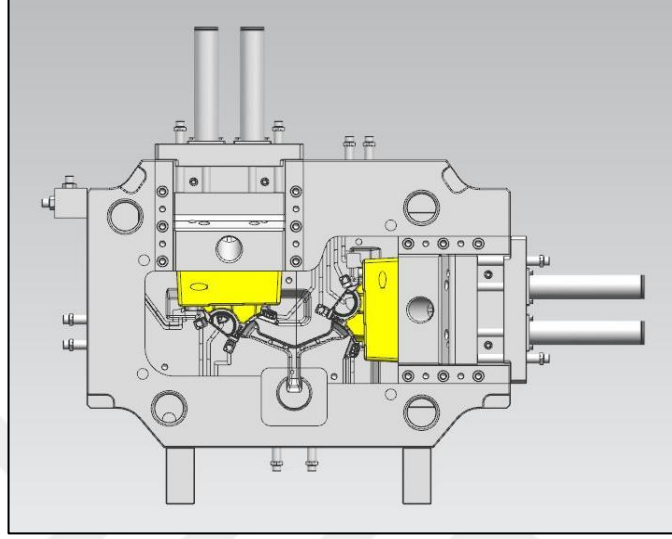


Şekil 2.31. Kalıp hamillerinin görünümü [16]

2.3.2. Maçalar

Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile üretilecek olan parçalarda tasarlanan boşlukların, parça içi ve parça dışı formlar kalıbın tek ekseninde açılıp kapanması ile oluşturulamıyorsa bu formların oluşturulabilmesi için maça olarak tanımlanan kalıp bileşenleri kullanılmaktadır. Sabit ve hareketli kalıp yarımına monte edilen maçalar esas olarak hareketli ve sabit olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Kalıp üzerine monte edilen sabit maçalar, hareketli ve sabit kalıpların hareket yönlerine paralel olmak zorundadır. Ancak bu şekilde döküm sonrasında üretilen parça kalıptan çıkartılabilir. Kalıp açma doğrultusuna paralel olmayan, herhangi bir açısı bulunan maçalar hareketli olarak tasarlanmak zorundadır. Bu hareketli maçalar kalıp üzerinde tasarlanan kızaklarda boynuzlar yardımı ile mekanik, kramayer (dişli) veya hidrolik silindirler ile hareket etmektedir. Maça hareket kursu 55 mm'den az ve kalıp kapalı iken maça figürünün altında itici bulunmuyor ise eğik milli mekanik maçaların kullanımı tercih edilmektedir. Bu koşulları sağlamayan maçaların hareketi hidrolik sistemler ile sağlanmaktadır. Döküm işlemi tamamlandıktan sonra kalıp açma doğrultusuna belirli bir açı yapan bu maçalar hareket tahrik sistemi tarafından geri çekilmektedir. Hareketli maçalar sabit kalıp üzerinde ise hareketli kalıp hareket etmeden açılmak zorundadır, hareketli kısımda ise kalıp hareket ettikten sonra açılabilirler. Maçalar geri pozisyonlarına geri gelmeden kalıp açılmamaktadır. Maçalar kapalı pozisyonda iken kalıp açma hareketi döküm kalıbı ve ekipmanlarında çeşitli hasarlanmalara neden olmaktadır. Şekil 2.32.'de gösterilen, maçaların sıvı metal ile temas eden kısımları

maça çekirdeği olarak tanılanmakta ve kalıp çekirdeği ile aynı malzemeden imal edilmektedir. Bu kısımların kalıp çekirdekleri gibi yüksek basınçlı döküm koşullarına dayanıklı olması ve yüzey kalitesinin yüksek olması gerekmektedir [27].

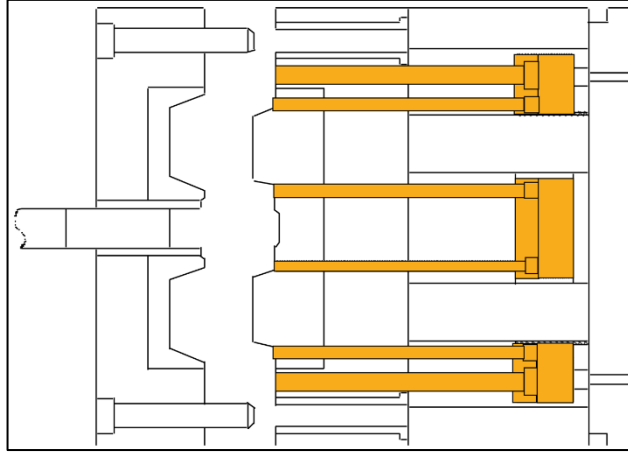


Şekil 2.32. Maça çekirdeklerinin görünümü [27]

Tasarımı başarılı bir şekilde tamamlanan hareketli maçaların en önemli görevi döküm sırasında kalıp içinde oluşan yüksek basınca karşı gelerek konumlarını koruyabilmektedir. Karşıt kalıpta (hareketli veya sabit) maçanın oturduğu yuva maça dayama yüzeyleri olarak görev yaparak maçaların döküm sırasında kitlenmesini ve kalıp içinde oluşan basınca karşı gelmesini sağlamaktadır [25].

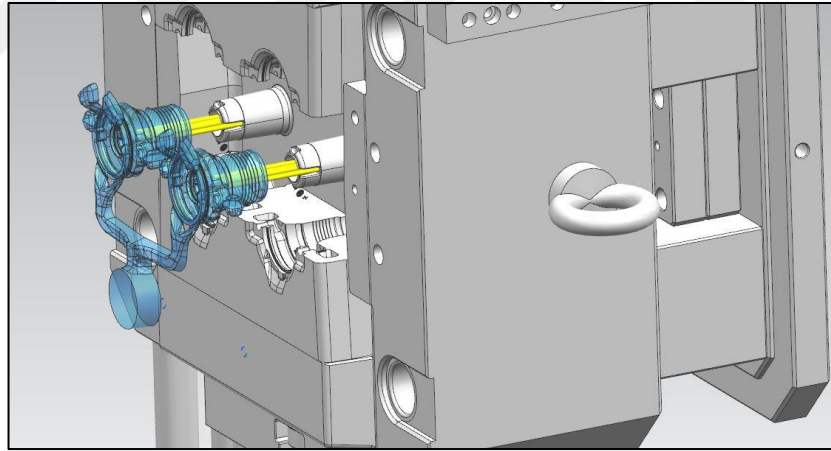
2.3.3. İtçiler

Yüksek basınçlı döküm yönteminde parça üretildikten sonra üretilen parçanın kalıptan çıkartılması en önemli aşamalardan bir tanesidir. Sıvı halden katı hale geçerken yaşanan hacim küçülmesinden kaynaklı, dökülen parçanın kalıp elemanlarını sıkarak kalıpta kalma ihtimali göz önünde bulundurularak katılma tamamlandıktan en kısa süre sonra itçiler ile parçanın kalıptan çıkartılması gerekmektedir. Aynı zamanda katılma süreci tamamlanmamış ise parçayı iten itici pimleri döküm parçasına batmaktadır. Şekil 2.33.'de itici sisteminin şematik çizimi gösterilmiştir. Bu nedenle kalıptan parçanın çıkartılması oldukça önemli bir aşamadır. İtçilerin döküm parçasının üzerinde minimum seviyede itici izi oluşturması ve parçaya uyguladığı itme kuvvetlerinin tüm parça genelinde dengeli oluşması gerekmektedir [16].



Şekil 2.33. İtici sisteminin şematik çizimi [21]

Üretilen döküm parça üzerinde iz bırakan itici pimleri kalite kriterlerine uygunluk sağlamak zorundadır. İtici piminin boyu uzun ise döküm parçasında batıklık, kısa ile döküm parçasında artı olacak şekilde kalitesizliklere sebep olabilmektedir. Şekil 2.34.'de döküm parçasının döküm kalıbından iticiler ile çıkartılması gösterilmiştir [21].



Şekil 2.34. Döküm parçasının döküm kalıbından iticiler yardımı ile çıkartılması [21]

İtici pimleri silindirik formda, ısıl işlem ile sertleştirilmiş şekilde kullanılmaktadır. 1.2343 nolu sıcak iş takım çeliğinden imal edilen itici pimlerine nitrasyon yöntemi ile yüzey sertleştirme işlemi uygulanmaktadır. İnce ve uzun yapısının çalışma sırasında oluşan gerilimlere maruz kaldığı zaman plastik deformasyona uğramaması için itici malzemeleri yüksek sertlik değerlerinde çalıştırılmaktadır. İtici pimleri itici plakalarından geçirilerek hareketli kalıba referanslanmaktadır. İticilerin itici plakasından çıkmaması için arkalarına dayama amacı ile stoper plakası monte

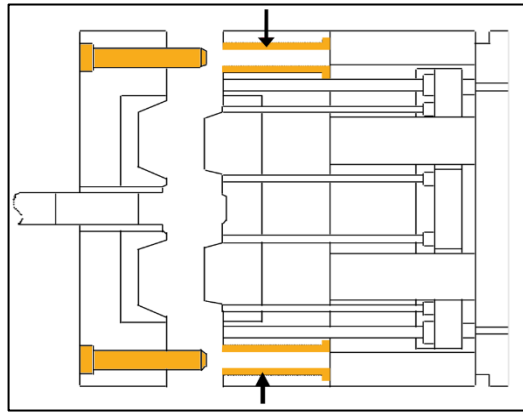
edilmektedir. İtici ve stoper plakasının hareketli kalıpta kasıtlı çalışmaması için plakalar 4 adet kılavuz mili ve burcu ile kalıba referanslanmaktadır. İki plaka arasında sabitlenen itici pimleri, itici plakalarından döküm parçasının olduğu kalıp boşluğu yüzeyine kadar uzanmakta ve plakalara bağlı hidrolik sistemler aracılığı ile hareket etmektedir [25].

İtici sistemi yüksek basınçlı döküm kalıplarının hareketli kısmına monte edilmektedir. Bu nedenle kalıpların hareketli yarımlarının arka kısmı boşaltılmış durumdadır. İtici sisteminin oluşturmuş olduğu bu boşluk yüksek basınçlı döküm kuvvetlerine karşı kalıp çeliğinde şekil değişimine neden olabilir. Oluşan bu kuvvetlere karşı destek olması nedeni ile itici sisteminin çalışma yönünde dairesel veya dikdörtgen kolonlar kullanılmaktadır [21].

2.3.4. Kalıp merkezleme milleri ve burçları

Kalıp merkezleme milleri hareketli ve sabit kalıp yarımlarının kapanırken birbirini hizalanmasını sağlamak amacı ile döküm kalıplarının dört köşesine monte edilen kalıp ekipmanlarıdır. Merkezleme millerine yataklık eden burçlar bulunmaktadır [27].

Kalıp merkezleme milleri 60-65 HRC sertlik aralığında olup, 1.1213 çelik malzeme kullanılmaktadır. Sertleştirme yöntemi olarak indüksiyon sertleştirme yöntemi tercih edilmektedir. Şekil 2.35.'de merkezleme milleri ve burçlarının şematik çizimi gösterilmiştir. Merkezleme milleri genellikle sabit kalıp yarımlarına monte edilmektedir. Çalışma şartları sırasında şekil değişimleri ve kalıp kitlenmelerinin önüne geçmek için ısıtıl işlem uygulanarak sertleştirilmektedir [27].



Şekil 2.35. Kalıp merkezleme mili ve burçlarının şematik gösterimi [21]

Çalışma şartlarına bağlı olarak döküm parçasını oluşturan kalıp çekirdeklerinin karşılıklı olarak pozisyonları değişkenlik gösterebilmekte buna bağlı olarak üretilen parçanın geometrik olarak tolerans dışına çıkmasına sebep olmaktadır. Toleransların dışına çıkmamak için merkezleme millerine ve burçlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Kılavuz milleri ve burçları kalıp çekirdeklerinin merkezlemesi için tek başına yeterli olmamaktadır. Kılavuz millerine ve burçlarına ilave olarak kalıp çekirdekleri çelik çeliğe gelecek şekilde merkezlenmektedir. Kalıp yarımalarını hizalarken, mekanik maçalı kalıplarda maça boynuz milinin maça taşıyıcısında bulunan yuvasına merkezlemesini, boynuzlarda gereksiz gerilmelerin oluşumunun önüne geçilmesini ve maça kitleme işleminin başarılı olmasını sağlamaktadır [21].

2.4. Yüksek Basıncı Döküm Kalıplarının Tasarım Süreci

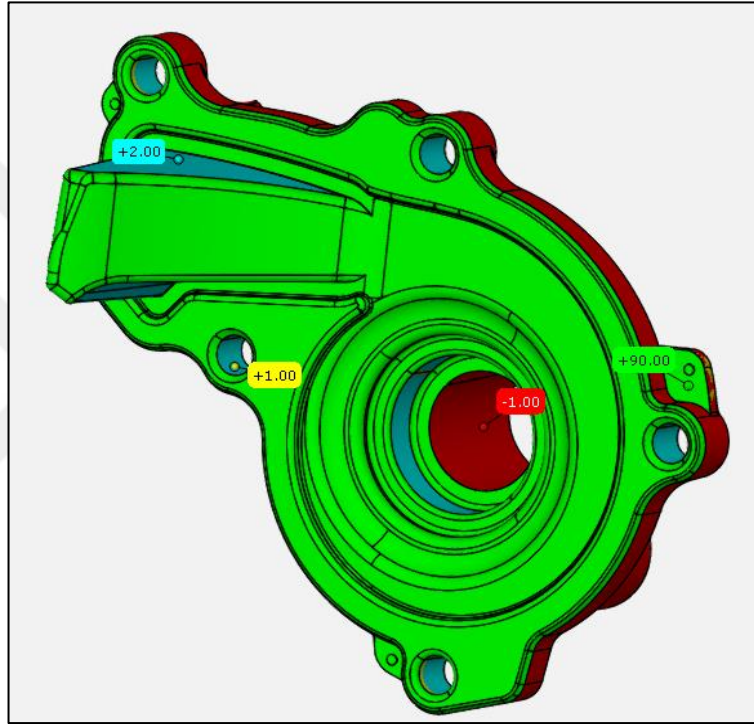
Kalıp tasarımı yaparken dökümü yapılacak olan parçadan beklenenler, bu beklentiler doğrultusunda kalıp dizaynının taslağı, oluşturulan taslak kalıba göre tezgâh ve dökülebilirlik çalışmaları yapmak gerekmektedir. Tüm bunlara ilave olarak yüksek basınçlı döküm yönteminin başarısı sıvı metalin akış rejimi nedeniyle tasarlanan yolluğa doğrudan bağlıdır. Tasarlanan yolluk türbülansa neden olmayan ve kalıp içindeki ilerleyiş sırasında sıvı metal içine hava hapsolmayacak şekilde olmalıdır. Tasarlanan yolluğun şekli, ebatları, sıvı metalin kalıbı doldurma süresi, yollukta oluşan sıvı metal hızları ve kalıp içinde oluşan yüksek basınç, alaşım, ısı transferi parametreleri yüksek basınçlı dökümde başarılı parça üretebilmek için göz önünde bulundurulması gereken faktörler olarak bilinmektedir [28, 29].

Yüksek basınçlı dökümde üretilen parçalar, kullanım alanlarına göre farklı parametrelerle üretilmektedir. Kullanımı sırasında mekanik gerilmelere maruz kalmayacak, emniyet parçası olarak tanımlanmayan parçalar 300 bar kalıp içi basıncı ile dökülürken, büyük ve emniyet parçası olarak tanımlanan (örneğin karter, su pompası vb.) parçalar 1300 bar kalıp içi basıncı ile dökülmektedir [26].

2.4.1. Çıkış açısı ve kalıp ayırım hattı

Tasarlanan döküm kalıpları, sıvı metal katılaştıktan sonra dökülen parçanın herhangi bir deformasyona uğramadan çıkışına izin vermesi gerekmektedir. Dökülen parçayı kalıp çekirdeğinden deforme olmadan ayırmak için çıkış açısı olarak tanımlanan bir

açı ile kalıp tasarlanmaktadır. Çıkış açısı, parçanın kalıptan deforme olmadan alınmasına müsaade etmekle birlikte büyüklüğü et kalınlığına göre değişkenlik göstermektedir. Çıkış açısı ile kalıp ayırım hattı arasında bir ilişki bulunmaktadır. Şekil 2.37.'de döküm parça üzerinde kırmızı renk ile gösterilen yüzeyler hareketli kalıptan ayrılan yüzeyleri, yeşil, mavi ve sarı renk ile gösterilen yüzeyler sabit kalıptan ayrılan yüzeyleri ifade etmektedir. Hareketli ve sabit kalıptan çıkacak yüzeylerin birleşim noktaları kalıp ayırım hattını oluşturmaktadır [26].



Şekil 2.36. Çıkış açılarının döküm parçası üzerinde gösterimi [25]

Üretilecek parça üzerinde bulunan figürler hareketli ve sabit kalıp çekirdekleri üzerinde oluşturulmaktadır. Parçanın döküm kalıbından sorunsuz bir şekilde çıkması için çıkış açılarının hareketli ve sabit kalıp üzerinde oluşturulması gerekmektedir. Sabit ve hareketli kalıpta bulunan çıkış açılarının birleştiği noktalar kalıp ayırım hattı olarak tanımlanmaktadır. Kalıp ayırım hattı diğer bir ifade ile hareketli ve sabit kalıp çekirdeklerinin birleştiği hat olarak tanımlanmaktadır. Kalıp ayırım hattı dökülecek parça geometrisine, proses kısıtlamalarına ve tasarımcının tecrübelerine bağlı kalarak parçadan parçaya değişkenlik göstermektedir. Kalıp ayırım hattının doğru tespit edilerek tasarlanması üretilen parçada çapak oluşumunun azalması ve çapak temizleme işlemleri için avantaj sağlamaktadır. Kalıp ayırım hattı ne kadar düz ve geniş

Alüminyum alaşımlarından üretilecek parçalarda çıkış açısı değerleri iç yüzeyler için 2° , dış yüzeyler için $1,5^\circ$, delik figürleri için 2° olarak seçilmektedir [30].

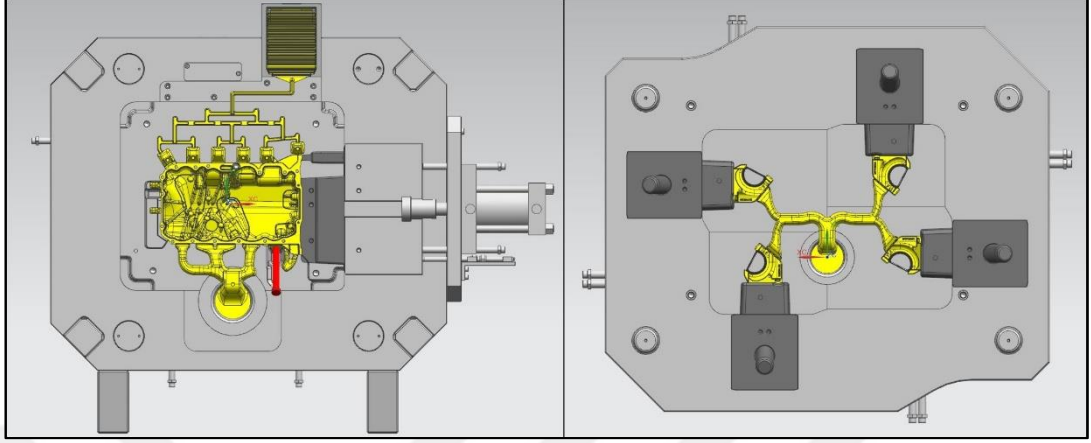
2.4.2. Göz sayısının belirlenmesi

Kabul edilip üretime geçecek olan projelerin üretim adetleri kalıp tasarımında önemli bir kriter olarak ortaya çıkmaktadır. Yüksek üretim adetli projelerde bir döküm kalıbında birden fazla parça üretimi yapmak istenmektedir. Döküm kalıbından çıkacak parça sayısı kalıp göz sayısı olarak tanımlanmaktadır. Göz sayısı ne kadar fazla ise üretim adedi yüksek, işçilikler düşük, verimlilik artmaktadır. Kalıp göz sayısının belirlenmesi için yüksek basınçlı döküm tezgâhlarının kapasitesi ve üretilecek parça geometrileri göz önünde bulundurulmaktadır. Üretilen parça geometrisinde kalıp açma yönüne dik ve açılı figürlerin oluşturulması için kullanılan maçalar kalıp göz sayısının belirlenmesinde en önemli faktördür. Dökülecek parçanın üretimi için kalıp açma yönüne açılı çalışması gereken birden fazla maça var ise o parça için tasarlanan kalıbın birden fazla gözlü tasarlanması zorlaşmaktadır. Çünkü kalıp açma yönüne açılı çalışan maçalar, birden fazla gözlü kalıplarda birbirlerinin çalışmasına engel olmaktadır [26].

Aynı zamanda üretilecek parçanın projeksiyon alanı kalıp göz sayısını belirleyen diğer bir faktördür. Kalıp açma yönünde açılı figürü olmayan düz parçaların yüzey alanı fazla ise yolluk ile birlikte tasarlandığı zaman döküm tezgâhlarının gerekli kitleme tonajını elde etmeme ihtimali bulunmaktadır. Projeksiyon alanı düşük olup, büyük boyuta sahip parçalar için tasarlanan kalıplar tezgâh plakalarına sığmamaktadır. Bu nedenle büyük ve düz parçalar tek gözlü olarak tasarlanmaktadır [26].

Parça figürlerinin oluşturulması için kalıpta zorunlu olan hareketli maçaların hareket yönleri birbirine paralel veya dik açılı ise kalıp göz sayısı birden fazla yapılabilmektedir. Birden fazla gözü olan kalıplarda, gözleri dolduran yolluk tasarımlarının simetrik olması gözler arasında oluşabilecek basınç ve hız farklılıklarının önüne geçerek tüm gözlerin kaliteli üretimine imkân sağlamaktadır. Bir göze giden yolluk uzunluğunun diğer göze giden yolluk uzunluğundan fazla olması sıvı metalin daha fazla yol gideceğini ifade etmektedir. Bu durum sıvı metal sıcaklığının düşmesine ve çeşitli kalitesizliklerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır [26].

Tüm bu parametreler göz önüne alınarak oluşturulmuş tek gözlü ve 4 gözlü iki farklı döküm kalıbı Şekil 2.39.'da gösterilmiştir.



Şekil 2.38. Tek gözlü ve dört gözlü döküm kalıbı örneği [26]

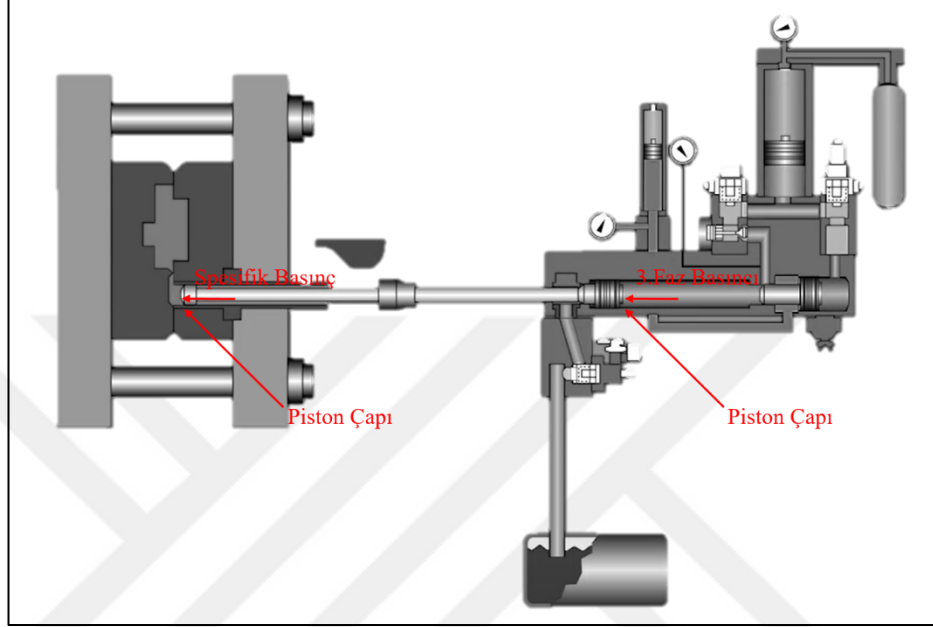
2.4.3. Boyutsal toleransların sağlanması

Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile üretilen parçaların et kalınlıkları düşük (<5mm), boyutsal toleransları oldukça dar aralıklardadır. Döküm kalıpları, set edilen sıcaklıklarda bir miktar genişleme, yüksek sıcaklıklarda dökülen sıvı metalin hacmi katılaştıktan sonra bir azalma gösterdiği için dar boyutsal tolerans aralığında kalmak kalıp tasarımı ile doğrudan ilişkilidir. Sıcaklık farklarından doğan bu hacimsel değişimler göz önüne alındığında, yüksek basınçlı döküm yöntemi ile üretilecek alüminyum alaşımlı parçaların final boyutunun, istenen boyutsal tolerans aralığında olması için kalıp üretiminde kullanılan parça datasının ölçülerini 0.006 oranında attırmak gerekmektedir [26].

2.4.4. Döküm yapılacak yüksek basınçlı döküm tezgâhının belirlenmesi

Kalıp tasarımı ile ilgili gereklilikleri göz önünde bulundurduktan sonra dökülecek parçanın hangi tezgâhta döküleceğine karar vermek gerekmektedir. Üretilecek parçanın hangi yüksek basınçlı döküm tezgâhında döküleceğine karar verirken dikkat edilmesi gereken önemli etken tezgâh kitleme kuvvetinin, yüksek basınç altında kalıp içi basınç kuvvetlerini karşı gelmesidir. Ancak bu şekilde sıvı metal kalıp içinde yüksek basınç altında sıkıştırılmakta ve kalite kriterlerine uygun parça dökümü gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.40.'da gösterildiği gibi döküm tezgâhının 3. faz basıncının piston koluna, piston kolundan kalıp içine aktarılan basınç spesifik basınç

olarak tanımlanmaktadır. Kalıp içinde oluşan spesifik basınç, tezgâh mafsallarını kilitli iken açmaya zorlamakta ve 2.3. nolu formüle göre hesaplanmaktadır. Aynı zamanda oluşan bu spesifik basınç hareketli maçalar üzerinden de kalıbı açmaya zorlamaktadır [26].



Şekil 2.39. Spesifik basıncın şematik gösterimi [26]

Spesifik Basınç = (3. Faz Basıncı x 2. faz silindirinin yüzey alanı) / enjeksiyon pistonunun yüzey alanı (2.3)

Dökümü yapılacak salkımın (topuk, yolluk, döküm parçası, hava cepleri) izdüşüm alanı projeksiyon alanı olarak tanımlanmaktadır. Buradan yola çıkarak tezgâh kitleme kuvveti; salkım bileşenlerinin projeksiyon alanlarının (parça, havacebi ve kanallar, topuk ve yolluk, maçalar) toplamı, spesifik basınç ve güvenlik faktörlerinin çarpımına eşittir. Burada maçaların dayama yüzeylerinin açılı olmasından dolayı açılı değerinin tanjant ile çarpımından bileşkeyi bulmak gerekmektedir. Bu hesaplamalar sonucunda elde edilecek kuvvetten daha fazla kitleme yapabilen tezgâh döküm yapmak için uygun olarak kabul edilmektedir [26].

2.4.5. Doldurma oranı

Dökümü yapılacak parçanın ağırlık ve öz kütlelerinden yola çıkarak hacmi hesaplanmaktadır. Parça hacminin, döküm tezgâhında kullanılan hazne iç hacmine

oranı yüksek basınçlı döküm yönteminde doldurma oranı olarak tanımlanmaktadır. Doldurma oranı yüksek basınçlı dökümde parça kalitesine direk etki etmektedir. Doldurma oranına bağlı olarak 1. faz hızı, 2. faza başlangıç noktası, hazne içinde oluşacak sıvı metal dalgalanması ayarlanmaktadır. Doldurma oranı 2.4. nolu formülden yola çıkarak hesaplanmaktadır. Kalıp tasarım aşamasında, dökülecek olan parça hacmine göre hazne çapı belirlenmektedir. Seçilen haznenin doluluk oranının parça geometrisine bağlı olmakla birlikte yüksek basınçlı döküm yöntemi için %30-50 arasında doldurma oranı uygun görülmektedir [26].

$$\text{Doldurma Oranı (\%)} = \left(\frac{\text{Salkım Hacmi}}{\text{Hazne İç Hacmi}} \right) \times 100 \quad (2.4)$$

2.4.6. Yolluk tasarımı

Yüksek basınçlı döküm kalıplarının tasarımında en önemli aşama yolluk tasarımının yapılmasıdır. Yolluk, sıvı metalin kalıp boşluğuna dolumu için tasarlanan bir geçit bölgesidir ve yüksek basınçlı döküm yönteminin başarısı ile doğrudan ilintilidir. Sıvı metalin yolluktan geçerek kalıp boşluğuna dolununun gerçekleştirdiği bölge gate (yolluk girişi) olarak tanımlanmaktadır. Yolluk giriş kesit alanı 2.5. nolu formülden anlaşılacağı üzere üretilecek parçanın parça ve hava cebi hacminden, yolluk giriş kesit hızından ve doldurma zamanından yararlanarak hesaplanmaktadır [26].

$$\text{Yolluk Giriş Alanı} = \frac{\text{Salkım Ağırlığı}}{\text{Metal Yoğunluğu} \times \text{Yolluk Giriş Kesit hızı} \times \text{Doldurma Zamanı} \times 0,1} \quad (2.5)$$

Hesaplamalar sonucunda elde edilen toplam yolluk giriş kesiti tasarımcının tecrübesi ve parça geometrisine göre sıvı metalin laminar akış ile dolum yapabileceği bölgelere yerleştirilmektedir. Gate alanları genellikle parçanın geniş yüzeylerine yerleştirilmektedir. Aksi takdirde kalıp boşluğuna hızla giren sıvı metal yön değişiminin olduğu kalıp yüzeylerine çarparak kalıp aşınmalarına ve çeşitli kalitesizliklere yol açacaktır. Parça geometrisine bağlı olarak düz ve geniş yüzeylere yerleştirilemiyor ise sıvı metal hızlarının düşürülmesi gerekmektedir. Parça geometrisi uygun olan, yolluk girişlerinin geniş ve düz bölgelere yerleştirilme imkânı olan parçalarda yolluk hızları 60 m/s'ye kadar çıkartılmaktadır. Kompleks geometriye sahip parçaların dökümünde vakum uygulanması gerekir ise bu durum sıvı metal hızının da

ayarlanmasını gerektirmektedir. Vakum uygulaması olan dökümlerde sıvı metal hızının 40 m/s hızlara düşürülmesi gerekmektedir [26].

Sıvı metalin kalıp boşluğuna dolununun başlamasıyla tamamı dolana kadar geçen süre kalıp doldurma süresi olarak tanımlanmaktadır ve 2.6. nolu formüle göre hesaplanmaktadır. Yüksek basınçlı döküm yönteminde sıvı metalin kalıp içine dolum süresi parça kalitesi için önemlidir. Sıvı metal dar kalıp boşluğundan geçerken kalıp duvarlarına temas etmekte ve sürekli olarak ısı kaybetmektedir. Bu nedenle dolum süresi önem kazanmaktadır. Kalıbın son noktasına kadar dolum gerçekleşmeden sıcaklığı düşen ve akışkanlığı kaybolan sıvı metal döküm parçasında kalitesizlikler meydana getirmektedir. Doldurma süresi hesaplanırken kullanılan formüller maksimum dolum süresini ortaya koymaktadır. İdeal dolum süresi ile maksimum dolum süresi karıştırmamak gerekmektedir. Formülasyonlar sıvı metalin akış mesafesini ve kalıp içi yön değişimlerini ele almamaktadır. Bu sebeple hesaplanan maksimum dolum süresi gate tasarımları için üst limit olarak kabul edilmektedir. Dökülecek parçadan istenen özelliklere ve kalite kriterlerine göre dolum süre ayarlanmaktadır. Yüksek yüzey kalitesi istenen parçalarda sıvı metalin akışkanlığının azalmaması için yüksek dolum hızlarına ihtiyaç duyulurken, porozite tolerans aralığı dar olması istenen parçalarda kalıp içi havanın hava ceplerine rahat çıkışını sağlamak için ortalama dolum hızlarına ihtiyaç duyulmaktadır [30].

$$t = K \times \left(\frac{T_i - T_f + SxZ}{T_f - T_d} \right) \times T \quad (2.6)$$

Burada:

K = kalıp çeliğine bağlı olarak türetilmiş ampirik katsayı

T = döküm parçasının et kalınlığı

t = maksimum dolum süresi

T_f = alaşımın minimum akış sıcaklığı

T_i = yolluk girişi metal sıcaklığı

T_d = sıvı metal temas etmeden önceki kalıp yüzey sıcaklığı

S = dolum sonundaki katı yüzdesi

Z = Katılma dönüşüm katsayısı, ($^{\circ}\text{C}/\%$)

Tf, dökülen alaşımın minimum hangi sıcaklıkta akacağı ile ilintili olmakta birlikte kalıp çeliğinin ısı iletkenliğine göre değişmektedir [30].

Dolum süresi formülünden anlaşılacağı üzere;

- Dökülen parçanın et kalınlığı ne kadar fazla ise dolum süresi o oranda artmaktadır. Et kalınlığı azaldıkça dolum süresi o oranda azalmaktadır.
- Metal sıcaklığı ne kadar yüksek ise dolum süresi uzayabilmektedir ancak çekinti ile ilgili kalitesizlik problemleri göz önünde bulundurulmalıdır.
- Kalıp sıcaklığı ne kadar yüksek ise dolum süresi o oranda uzayabilmektedir ancak yapışma ile ilgili kalitesizlik problemleri göz önünde bulundurulmalıdır.
- Dolum süresi ne kadar uzun sürerse dolum sonunda elde edilecek katı yüzdesi de o kadar fazla olacaktır.

Dolum süresi tespit edildikten sonra parçanın kalite kriterlerine uygun bir şekilde üretilebilmesi için minimum ne kadar yolluk giriş kesit alanına sahip olması gerektiği belirlenmektedir. Yolluk giriş kesit alanı belirlendikten sonra varsa yolluk kollarının kalınlıkları ve ana yolluk kolunun kesit alanı belirlenmektedir. Yolluk ve döküm parçasının döküm sonrasında parçaya hasar vermeden ayırma yapılabilecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Trim kalıpları ile trimleme işlemi yapılacaksa yolluk giriş kesit kalınlığının 3-4 mm'den fazla olması istenmemektedir. Aksi takdirde döküm parçası üzerinde derin koparma vb. kalitesizlik problemleri oluşmaktadır. Yolluk parçadan testere veya talaşlı imalat yöntemleri ile ayrılacaksa kalınlığın trimleme işlemi için bir önemi yoktur [26].

Yüksek basınçlı döküm yönteminde yolluk giriş bölgesi genellikle en ince kesite sahip olup katılma sırasında olan sıvı metalin 3. faz süresinde uygulanan yüksek basınç ile beslenmesinde önemli rol oynayan bölge olarak kabul edilmektedir. Bu bölge

katılaştıktan sonra döküm tezgâhı tarafından uygulanan yüksek basınç döküm parçasına iletilmemekte, parçanın sıvı bölgeleri sadece kalıba ısı transferi yaparak katılaşmaktadır. Basınç etkisi olmadan katılaştıran bu bölgelerde çekinti kaynaklı döküm boşluklarına rastlanma ihtimali bulunmaktadır [26, 30].

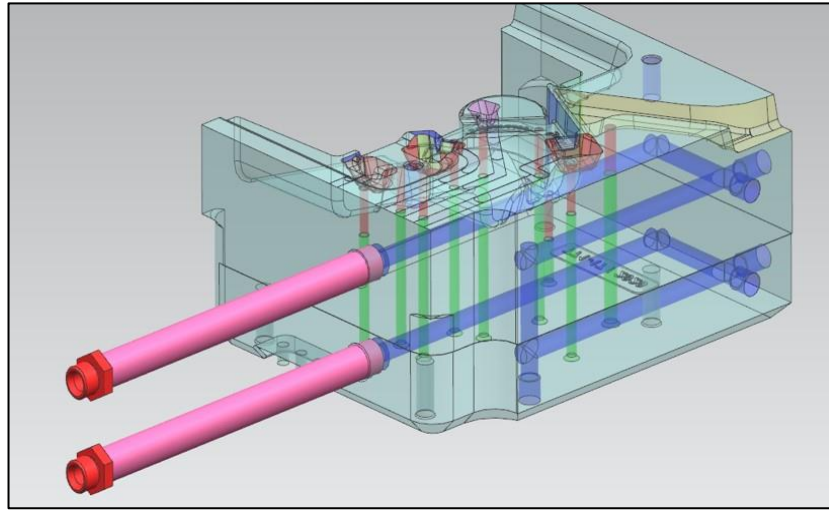
Yolluk giriş kesit alanını besleyen yolluk kolları ve ana yolluk kolu tasarlanırken sıvı metalin yolluktaki akış rejiminin laminer olması ve gate alanını yeterli sıvı metal ile beslemesi gerekmektedir. Gate alanlarını besleyen yolluk kolları, yolluk giriş kesit alanlarının ortalama 1.5-2 katı kalınlığında olacak şekilde tasarlanmaktadır. Ana yolluk ile yolluk girişlerini birbirine bağlayan ara yolluklar tasarlandıktan sonra hesaplanmaktadır. Ana yolluk kolunun kesit alanı, ara yolluk kesitlerinin toplamının ortalama 1.2-1.5 katı olacak şekilde belirlenmektedir [26].

2.4.7. Soğutma kanallarının tasarımı

Kalite standartlarına uyum sağlayacak nitelikte parça dökülebilmek için sıvı metalin belirli bir sıcaklıkta olması gerekmektedir. Bu sıcaklık, sıvı metalin akışkanlığını kaybetmeden kalıp boşluğunu doldurması için yeterli bir sıcaklık olmalıdır. Alüminyum alaşımları parça geometrisine göre değişkenlik gösterebilir 650-700 °C aralığında dökülmektedir. Bu sıcaklık aralığında kalıp boşluğuna dolan sıvı metal, üzerindeki enerjiyi iletim yolu ile çelik malzemedan imal edilmiş döküm kalıbına aktararak katılaşmaktadır. Bu ısı transferi sonucunda kalıp çeliği sıcaklığı yükselmektedir. Sıcaklığı yükselmiş olan kalıp çeliği, üstündeki ısı enerjisini bir sonraki döküm çevrimi için transfer etmelidir. Döküm kalıbına aktarılan bu ısı, kalıptan uzaklaştırılmazsa bir sonraki döküm çevrimlerinde döküm işlemi başarısızlıkla sonuçlanmaktadır. Bu başarısızlıklar ürün ve üretim kalitesine doğrudan etki etmektedir. Kalıp çeliğindeki ısının transfer edilmesi için kalıp içine termoregülasyon kanalları tasarlanmaktadır. Döküm sırasında bu kanallardan geçirilen ısı transfer sıvıları (su, yağ vb.) kalıptan ısı transferi gerçekleştirilerek alüminyumdan aktarılan ısının uzaklaştırılmasına ve kalıbın belirlenen sıcaklık aralığında çalışmasına imkân sağlamaktadır. Soğutma kanalı tasarlanmaması veya tasarlanan soğutma kanallarının kullanılmaması kalıp sıcaklığının yükselmesi, yüksek kalıp sıcaklıkları kalıpta alüminyum yapışması, geç katılaşma, kalıpta parça kalması, kalıp ömründe azalma, çekinti, boyutsal problemler vb. kalitesizlikler ortaya çıkartmaktadır. Diğer

tarafından kalıbın fazla soğutulması akış problemleri ile birlikte soğuk birleşme izleri, kalıpta parça kalma, kalıp boşluğunu doldurmama, yağlayıcı olarak kullanılan malzemenin etkinliğinin azalması, boyutsal problemler ortaya çıkartmaktadır. Buradan anlaşılacağı gibi yüksek basınçlı döküm yönteminde döküm kalıplarının ısı dengesi döküm işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için olmazsa olmaz parametre olarak bilinmektedir [26].

Isıl dengenin sağlanması için en bilinen yöntem matkap ile kalıbın delinmesidir. Şekil 2.36.'da soğutma kanallarına örnek resim gösterilmiştir. 10-16 mm çap aralığında olan bu delikler, kalıp boşluğuna ne kadar yakın delinirse o kadar kolay ısı transferi gerçekleşmektedir. Ancak kalıp mukavemeti göz önünde bulundurulmalıdır. Çelik yüzeyine 25 mm'den yakın açılan termoregülasyon kanalları çelik ömrünü olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu işlemin diğer bir kısıtlaması kalıpta bulunan itici delikleridir. Bu nedenle özenle soğutma kanalları tasarlanmalı, delikler birbirine çakışmamalıdır. Tüm bu kurallara ilave olarak soğutma kanallarının en doğru konumunun belirlenmesi için simülasyon sonuçları değerlendirilmekte ve optimum tasarım tercih edilmektedir [28].



Şekil 2.40. Termoregülasyon kanalları [28]

Yüksek basınçlı döküm kalıplarının farklı bölgelerinde farklı sıcaklıklar oluşmaktadır. Sıvı metalin temas ettiği çekirdek bölgesi, hamil bölgesine göre daha yüksek sıcaklıklara çıkma eğilimindedir. Kalıp genelinde belirlenen ısı dengenin sağlanması amacıyla soğuk bölgeler ısıtılırken, sıcak bölgelerde soğutma ihtiyacı olmaktadır. Bu şekilde kalıp ömrü uzamakta, kalite standartlarına uygun döküm işlemi

gerçekleştirilmektedir [28]. Döküm kalıpları soğutma kanallarının yanı sıra kalıpların döküm tezgâhı plakalarına iletim yolu ile yağlama sırasında kalıp yüzeylerine vurulan yağlayıcıyla ve hava ortamına ışıma ile ısı transferi gerçekleştirmektedir. Kalıp soğutucu kanalları tasarlanırken tüm ısı transferleri göz önünde bulundurularak hesaplama yapılmaktadır [26].

2.4.8. Hava cebi ve hava tahliye kanallarının tasarımı

Kalıp yarımaları kapanıp, piston döküm boşluğunu geçtikten sonra hazne içinde kalan havanın ve döküm sırasında oluşan gazların, döküm yapılacak parçanın içinde çeşitli kalitesizliklere yol açmaması için havanın parçadan uzaklaştırılacağı hava tahliye kanalları ve hava cepleri tasarlanmaktadır. Sıvı metal kalıp dolumu sırasında asla kalıp içinde bulunan havanın önüne geçmemelidir ve hava ile birbirlerine karışmamalıdır. Bu durum doğru yolluk tasarımı ve parametre tasarımı ile sağlanmaktadır. Aksi takdirde nihai parçada hava sıkışmasından kaynaklı porozite oluşumları gözlemlenmektedir. Kalıp içinde sıkışan hava sıvı metal akışına karşı direnç oluşturarak kalıp dolumuna engel olmaktadır [25].

Kalıp içinden tahliye edilmesi için hareketli ve sabit kalıp arayüzeyinden, çıkış olacak şekilde hava tahliye kanalları tasarlanmaktadır. Tasarlanan hava tahliye kanalları havanın geçişine izin verirken alüminyum geçişine izin vermeyecek derinlikte olması gerekmektedir. Bunun için hava tahliye kanalları genelde 0,1-0,5mm kalınlık aralığında yapılmaktadır. Sıvı alüminyumun bu kanallardan geçmesi, kalıp açma kuvvetlerini arttırırken aynı zamanda iş sağlığı ve güvenliği açısından risk teşkil etmektedir. İtici pimleri de yuvaları ile arasındaki boşluktan hava firarı sağlayarak hava tahliyesine yardımcı olan kalıp ekipmanlarıdır [25].

Hava tahliyesi ve çeşitli diğer görevleri üstlenmesi amacı ile hava cepleri tasarlanmaktadır. Dolum sırasında tahliye kanallarından dışarı çıkamayan hava ve oluşan gaz dökümün son noktalarına yerleştirilen hava ceplerine atılmaktadır. Hava cebi sıvı metalin son dolduğu bölgelere tasarlanmaktadır. Hava ceplerinin birbirine bağlanması durumu çeşitli riskler içermektedir ancak vakum uygulamalarında tek bir bölgeden vakum yapılacağı için hava cepleri birbirlerine kanallar ile bağlanmaktadır. İlk dolan hava cepleri, son dolan hava ceplerinin karşısında bir direnç oluşturacaktır.

Bu nedenle hava ceplerini birbirlerine bağlarken simülasyon çalışmaları yaparak doğru bağlantının sağlanması gerekmektedir [31, 32].

Hava cepleri döküm parçasında sıvı metal dolununun son noktalarına <1mm kalınlıkta bir kanal ile bağlanmaktadır. Toplam hava cebi ağırlığının, üretilen parça ağırlığının ortalama %20'si kadar olması tavsiye edilmektedir. Tasarlanan hava ceplerinin çevrim sonunda kalıptan çıkabilmesi için itici pimler ile desteklenmesi gerekmektedir. Hava cebi tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta sıvı metalin en son ulaştığı noktaya hava ceplerinin yerleştirilmesi olarak bilinmektedir [28].

Kalıp içi boşluğunda sıkışan atmosfer gazının, yağlamadan çıkan buharların hava ceplerine dolduktan sonra tekrar kalıp boşluğuna dönmemesi için hava tahliye kanalları genelde hava ceplerinin bitim noktalarına tasarlanmaktadır [28].

3. JANT ÜRETİM TEKNİKLERİ

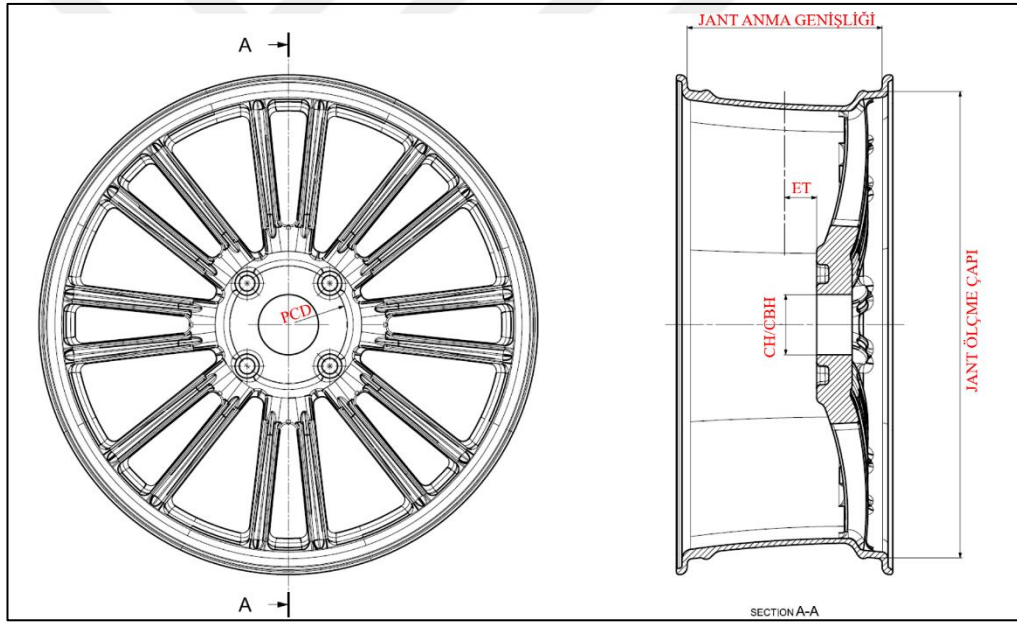
Jantlar stil yüzeyi ile müşterileri görsel olarak etkileyen, modifiye amacı ile kullanılan bir bileşen olsa da esas olarak otomobillerin ve yolcuların güvenliğini etkileyen, birtakım yasal gereklilikleri sağlaması gereken en kritik emniyet parçası olarak bilinmektedir. Jantlar, araçlarda oluşan dönme hareketinin tekerlere iletilirken aks sistemi ile tekerler arasında aracı görev görmektedir. Tork transferi gerçekleştirirken aynı zamanda araçların yük dengesini oluşturmak, sürüş sırasında oluşan darbeleri absorbe etmek gibi görevleri de bulunmaktadır. Lastiklerin üretimi ile ilk fikri ortaya atılan jantın temeli eski taş çağında atılmıştır. Birbirinden farklı yöntem, ham madde ve stil yüzeyleri ile üretilen jantlar araç ve yolcu güvenliği açısından en önemli komponentlerden biridir. Günümüz otomobillerinde kullanımı yaygınlaşan jantların temelleri Karl Benz tarafından atılmıştır. İlk olarak üretilen jantlar ahşap malzemeden üretilmiş olup bisiklet jantlarına benzemektedir. Modern anlamda metal malzemelerden jant üretimi sac şekillendirme yöntemleri ile 20. yüzyıl başlarında gerçekleştirilmiştir. 1950'li yıllardan sonra araç ağırlıklarının azaltılması trendi ile alüminyum alaşımli otomobil jant üretimi otomotiv sektöründe önemli bir yer kazanmıştır. Güvenlik ve müşteri gereksinimlerinin yüksek seviyelerde olduğu günümüzde güvenliği göz ardı etmeden petrol türevi yakıtların tüketiminin azaltılması için yoğunluğu düşük, dayanımı kalite standartlarına uygun jant üretimi hedef olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda üstün özelliklerinden dolayı alüminyum alaşımli jant üretimi yaygınlaşmıştır [1, 33].

Jantlar, tek parça olarak üretilen tubeless otomobil jantlarından, 6 parçalı 25" çapında ağır iş makinaları jantlarına kadar farklı formlarda ve farklı özellikleri karşılayacak biçimde üretilmektedir. Jant üretiminde yaygın olarak kullanılan üç üretim yöntemi dövme, sıvama (Flow-forming) ve alçak basınçlı döküm yöntemidir. Otomobil ve hafif ticari araç jantları üretilirken ham madde olarak alüminyum ve titanyum alaşımları, üretim yöntemi olarak alçak basınçlı döküm yöntemi tercih edilmektedir. Otobüs, kamyon ve ağır iş makinelerinin jantları üretilirken ham madde olarak çelik malzemeler tercih edilirken genel olarak flow-forming (sıvama) yöntemi kullanılmaktadır. Dövme yöntemi ile jant üretimi maliyetli bir proses olduğu için

yüksek performanslı ve yüksek dayanıma ihtiyaç duyulan, motor sporlarında kullanılan araç jantlarının üretiminde tercih edilmektedir [3, 34].

3.1. Otomobil Jantlarının Yapısı ve Teknik Tanımlar

Jantlar, lastiklerin monte edildikleri lastik yüzeyleri ve kullanıcının görmüş olduğu stil yüzeyleri olmak üzere iki kısım olarak tanımlanmaktadır. Stil bölgesini lastik oturma yüzeyine birleştiren tüm kollar feder, federlerin arasında bulunan boşluklar ise pencere olarak tanımlanmaktadır. Federlerin arka kısımlarında, dayanım özelliklerinden taviz vermeden ağırlık ve gerilim yığılmasını azaltmak amacı ile çeşitli boşaltma işlemleri yapılmaktadır. Lastik oturduğu yanaklar ön ve arka flanş bölgesi olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.1.'de otomobil jantlarının yapısı genel olarak gösterilmiştir [35].



Şekil 3.1. Otomobil jantlarının yapısı ve genel tanımlamaların gösterimi [36]

Otomobillerde aks başının, fren disklerinin ve jantın monte edildiği bölge poyra olarak tanımlanmaktadır. Jantların bu poyraya bağlanması için bir cıvata türü olan bijonlar kullanılmaktadır. Bijonlar jant göbeğinde bulunan deliklerden geçerek poyra üzerinde bulunan yuvalara sıkılmaktadır. Bijon deliklerinin merkez noktalarından geçirilen hayali çember taksimat dairesi (P.C.D.-pitch circle diameter) olarak tanımlanmaktadır. Taksimat dairesinin olduğu göbek bölgesinde yağmur suyu tahliyesi, ağırlık azaltma gibi nedenlerle dayanım özelliklerinden taviz vermeyecek şekilde kanal ve boşaltmalar

yapılmaktadır. Ürün kataloglarında bijon ölçüsü 4x100, 5x100 olarak verilmektedir. Bu tanımlamalarda ilk kısım bijon sayısını ikinci kısım ise taksimat dairesinin çapını ifade etmektedir [34, 35].

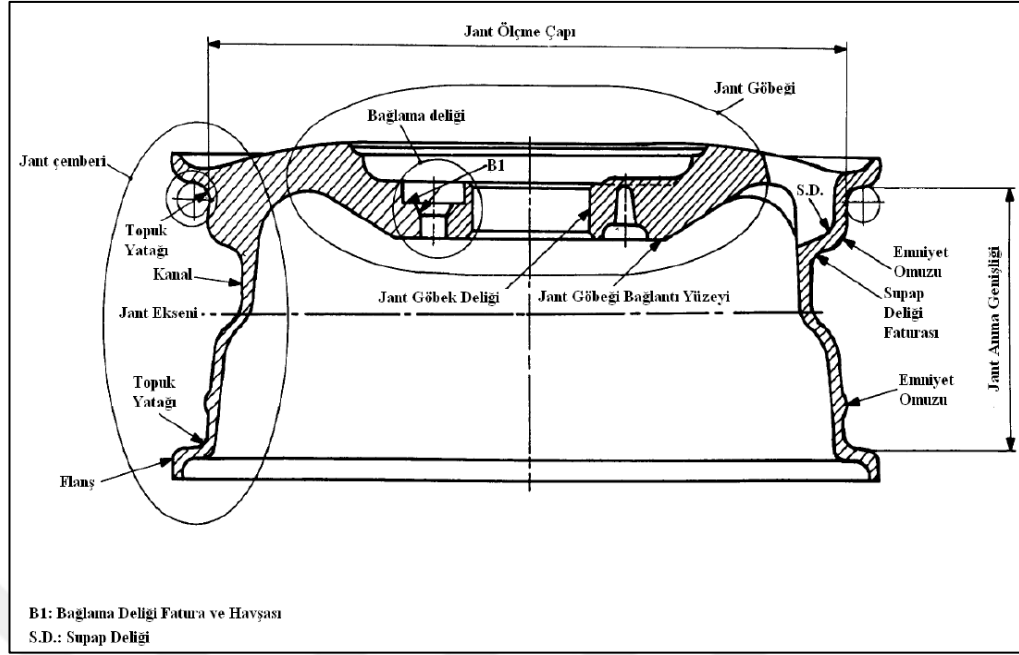
Lastik yüzeyinin tam orta noktasından geçirilen hayali bir eksenin göbek bölgesinin poyraya birleştirildiği yüzeye uzaklığı ofset (ET-Einpress tiefe) olarak tanımlanmaktadır [35, 36].

Göbek bölgesi poyraya birleştirilirken oturturulduğu çap ölçüsü poyra çapı (CH/CBH-centre hole/bore diameter) olarak tanımlanmaktadır. Aynı zamanda göbek ölçüsü olarak da tanımlanmaktadır [35].

Yukardaki genel tanımlamalara ilave olarak tablo 3.1.'de otomobil jantlarında kullanılan teknik terimler ve açıklamaları yapılmış, bu teknik terimler tablo 3.1.'de gösterilmiştir [36].

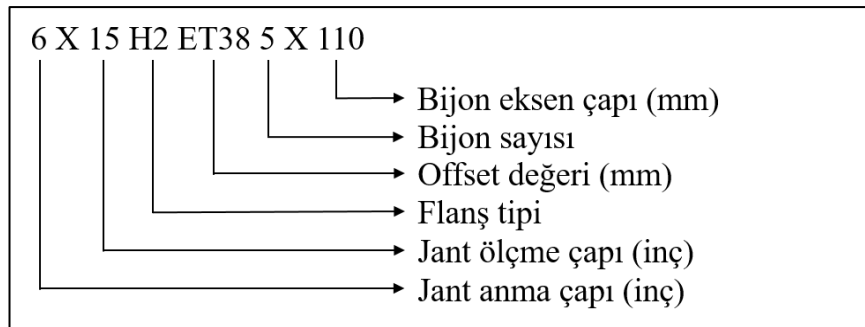
Tablo 3.1. Otomobil jantlarında kullanılan teknik terimler ve açıklamalar [36].

Teknik Terim	Açıklama
Jant Çemberi	Lastiğin monte edildiği ve destek görevi gören bölüm.
Jant Tabanı	Lastik yüzeyi olarak tanımlanan, flanş, topuk ve kanallardan oluşan bölüm.
Flanş	Lastiğin jant üzerinde durmasına destek veren iki tarafta da bulunan bölüm.
Topuk Yatağı	Lastiği radyal doğrultuda destekleyen bölüm.
Kanal	Lastiğin flanşlardan ve topuklardan geçmesini sağlayan bölüm.
Supap Deliği	Lastiği şişirmek için supabın geçirildiği deliktir.
Supap Deliği Faturası	Supabın yuvasına oturmasını ve sızdırmazlık sağlayan bölüm.
Jant Anma Genişliği	Jantların genişliğini ifade eden bu değer, flanşların iki içi yüzeyi arası mesafedir.
Jant Anma Çapı	Jantların tanımlanmasında kullanılan
Jant Ölçme Çapı	Jantın topuk yatağı boyunca uzanan çemberinin çapıdır. Jantların tanımlanmasında kullanılan bu değer genelde inç olarak ifade edilmektedir.
Jant Göbeği	Jantın otomobillerin aks ile bağlantısını sağlayan bölümdür.
Jant Göbek Deliği	Jantın otomobillere bağlanması sırasında merkezleme yapan deliktir.
Bağlama Deliği	Jantların otomobillere bağlanırken kullanılan bijonların geçirildiği deliklerdir.
Bağlama Deliği Faturası ve Havşası	Jantların poyraya tam oturması için bağlama deliklerinin içine oluşturulan kısımlardır.
Jant Göbeği Bağlantı Yüzeyi	Poyra ile birleşen yüzeydir.
Emniyet Omzu	Tubeless tipi lastiklerde yataklama görevi gören bölüm.



şekil 3.2. Otomobil jantlarında kullanılan teknik terimlerin gösterimi [36]

Alüminyum alaşımlı otomobil jantlarının standartları Avrupa Lastik ve Jant Teknik Organizasyonu (ETRTO) tarafından belirlenmektedir. Bu organizasyon jantlar için birtakım tanımlamalar ve sınıflandırmalar yapmaktadır. ETRTO tarafından, alüminyum alaşımlı jantların sınıflandırılmasında kullanılan tanımlamalar şekil 3.3.'de gösterilmiştir [1].



şekil 3.3. Alüminyum alaşımlı jantların ETRTO tarafından yapılan sınıflandırılması [1]

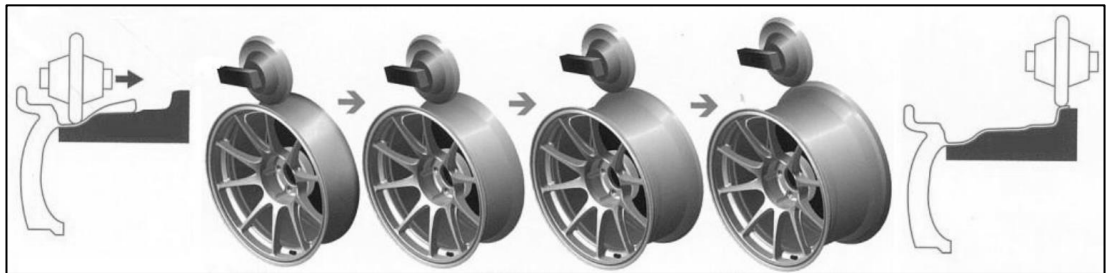
3.2. Soğuk şekillendirme Yöntemi ile Jant Üretimi

İki veya daha fazla parçalı jantlar genel olarak iki kısımdan oluşurlar. Bunlardan birincisi lastik montajının yapıldığı kasnak kısmı, ikincisi poyraya bağlanan ve kasnağı taşıma görevi gören göbek kısmıdır. İki veya daha fazla parçadan oluşan jantlarda da tek parçalı jantlar gibi lastiğin dayandığı ve jant ile uyum içinde çalışması için flanş

bölgeleri bulunmaktadır. Flanş bölgeleri jant üzerinde bulunan lastiğin yataklanmasını, janta tutunmasını ve hava sızdırmazlığını sağlayan en kritik bölgelerden biri olarak tanımlanmaktadır [34, 38].

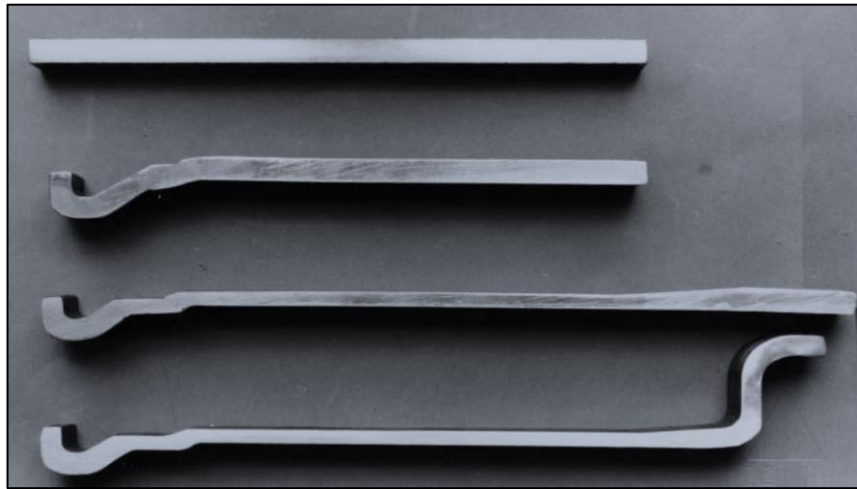
Tek parçalı jantlarda üretim prosesi, döküm kalıbı üretildikten sonra ergitme, döküm ısıl işlem, talaşlı imalat, boya ve çeşitli test adımlarından oluşmaktadır. İki ve daha fazla parçalı jantlarda ise üretim prosesi farklılık göstermektedir. İki ve daha fazla parçalı jantlarda kasnak kısmı ve göbek kısmı ayrı üretim yöntemleri üretildikten sonra birleştirilir ve bu şekilde nihai jant elde edilmektedir. Bu şekilde üretilen jantların üretiminde çoğunlukla sıvama (flow forming) olarak adlandırılan soğuk şekillendirme yöntemi tercih edilmektedir ve ham madde olarak çelik sac malzemeler kullanılmaktadır. Geçmişte otomobil jantlarının üretiminde de kullanılan soğuk şekillendirme yöntemi ile jant üretimi günümüzde daha çok ağır iş makinelerinde kullanılan jantların üretiminde tercih edilmektedir. Kasnak üretim yöntemi çelik sac ham maddenin belirlenen ölçülerde kesildikten sonra kıvrılarak gerekli formun kazandırılması, silindirik form kazandırıldıktan sonra alın kaynağı ile birleştirilmesi ve ardından sıvama tezgâhlarında uygun takımlar ile sıvanması şeklinde özetlenmektedir. Sıvama işlemi tamamlanan kasnak kısmı, göbek kısmı ile birleştirildikten sonra çeşitli delik açma vb. nihai işlemlerden geçirilerek jant kullanıma hazır hale gelmektedir [1, 34, 37].

Şekil 3.4.'de gösterildiği gibi tek parçalı jantlarda aynı zamanda flow forming yöntemi ile üretim yapılmaktadır. Döküm yöntemi ile göbek bölgesi üretilip, kasnak kısmı için fazla malzeme döküm yönteminde bırakılmaktadır. Sonrasında 300°C civarına ısıtılarak sıvama işlemi ile kasnak bölgesi oluşturulmaktadır. Yüksek performanslı araçlar için tercih edilmekte olan bu yöntem ile yüksek dayanıma sahip jantlar üretilmektedir [36, 38].



Şekil 3.4. Tek parçalı jantlarda flow forming yöntemi [36]

Soğuk şekillendirme yöntemleri ile jant üretiminde ilk aşama giyotin kesme işlemidir. Üretilecek jantın boyutlarına göre giyotin tezgâhında kesilen sac malzemeler kıvrıldıktan sonra alın kaynak işlemine tabi tutulmaktadır. Alın kaynak yöntemi lastiği taşıyan kasnak kısmının en önemli üretim aşamalarından birisi olarak tanımlanmaktadır. Kaynak prosesinde oluşabilecek kalitesizlikler araç ve yolcu güvenliğini riske atmaktadır. Bu nedenle çeşitli kalite kontrol işlemlerinden geçirilmektedir. Aynı zamanda yüksek elektriksel akım ile eriyik hale getirilen kaynak kısımlarından çapak alma ve tesviye işlemlerinin kalite standartlarına uyum sağlayacak şekilde yapılması gerekmektedir. Alın kaynak işleminden sonra kasnağın dairesellik ve çap ölçüsünün istenen değer aralığında olması için kalibre tezgâhlarında kalibre edilmektedir. Ön hazırlıkları tamamlanan kasnak malzemesi sıvanmak üzere sıvama tezgâhlarına transfer edilmektedir. Sıvama tezgâhlarında sıvama röleleri dönme hareketi ile yarı mamul olan kasnağı kalıbın formuna dönüştürmektedir. Derin çekme yönteminin kalitesel gereklilikleri sağlamaması ve yüksek maliyetli olması nedeni ile tercih edilen sıvama yöntemi müşteri spesifikasyonlarına uygun olan kasnak üretimine imkân sağlamaktadır. Bu şekilde üretilen kasnaklar merkez eksenini boyunca simetrik, çeşitli bölgelerde istenen çeşitli et kalınlıklarında, yüksek yüzey kalitesine sahip, ölçüsel olarak dar tolerans aralıklarında ve kalite standartlarına uygun iç yapı özelliklerine sahip olarak üretilmektedir. Yukarıda tanımlanan proses adımları ile üretilmiş ve nihai hale gelmiş jant kasnağının ham maddeden nihai haline gelene kadar geçirmiş olduğu kesitindeki şekil değişimleri Şekil 3.5’de gösterilmiştir [1, 34, 37].



Şekil 3.5. Sıvama yönteminde kasnağın nihai hale gelene kadar ki şekil değişimi [34]

Jantın diğerk bir kısmı olan göbek bölgesinin üretiminde derin çekme ve sıvama olmak üzere iki farklı şekillendirme yöntemi kullanılmaktadır. Derin çekme yöntemi ile jant göbeği üretiminde hidrolik pres kullanılmaktadır. Derin çekme yönteminde ham madde ilk olarak pul formunda kesildikten sonra preslerde derin çekilerek tüm kesit boyunca homojen kalınlığa sahip kap şeklinde jant göbeği oluşturulmuş olur. Sıvama yöntemi ile jant göbeği üretim ise kasnak sıvama yöntemine benzemektedir. İlk olarak pul şeklinde kesilen ham madde rölelerin dönme hareketi ile kalıba doğru sıvanır ve bu sayede kompleks yapıya sahip jant göbeği üretimi gerçekleştirilmektedir [34, 38].

Soğuk şekillendirme yöntemleri ile üretilen göbek ve kasnak kısımları birbirlerine çeşitli yöntemlerle birleştirilerek nihai jant haline getirilmektedir. Kasnak ve göbek montajında en kritik nokta parçaların ölçüsel anlamda birbirine uyumlu olmasıdır. Uyum sağlanamazsa araç ve yolcu güvenliği riske atılmış olabilir. Kasnak ve göbek geçmişte perçin ile birleştirilirken günümüzde Şekil 3.6.'da gösterilen kaynak teknolojisinin gelişmesi ile otomasyon halinde montaj işlemi gerçekleştirilmektedir [1, 34].

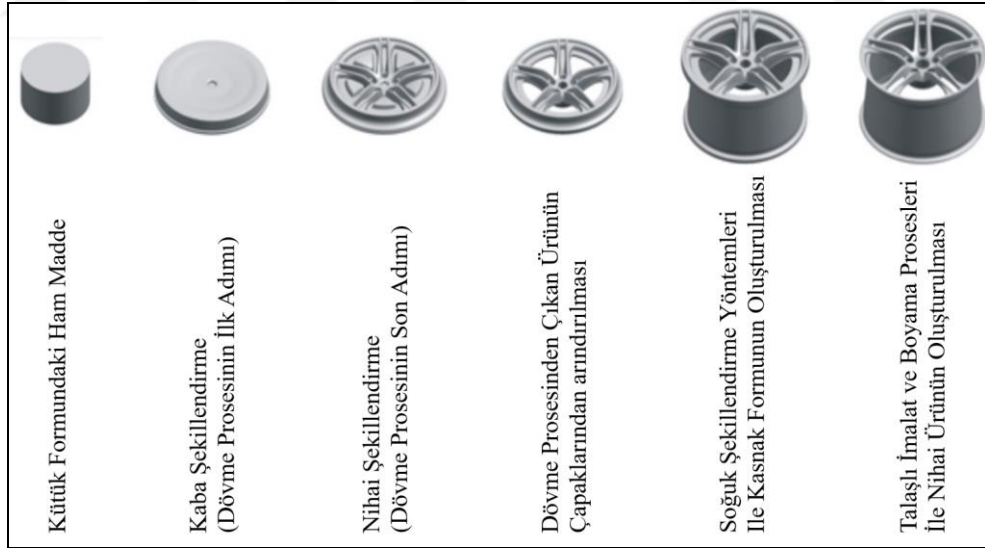


Şekil 3.6. Kaynak ile kasnak ve göbek montajının gösterimi [34]

Kasnak ve göbeğin birleştirilmesinin ardından jantlara çeşitli delik delme ve çapak alma operasyonları uygulanmaktadır. Bu operasyonları takiben üretimin son proses aşaması olan kimyasal temizlik ve boya uygulaması yapılmaktadır. Kullanıma hazır hale getirilen jant kalite standartları gereği birtakım testlere tabi tutulmakta ve onay alan jantların sevkiyatı gerçekleştirilmektedir [34].

3.3. Dövme Yöntemi İle Jant Üretimi

Dövme yöntemi ile jant üretimi ardışık preslerden geçen ham maddenin nihai jant haline gelmesi ile gerçekleştirilmektedir. Seri halde dövme preslerinden geçen jant malzemesi daha sonrasında çeşitli çapak alma ve talaşlı imalat yöntemleri ile kullanıma hazır hale gelmektedir. Dövme yönteminde çeşitli ham maddeler kullanılsada en yaygın olarak kullanılan ham madde alüminyum ve magnezyum alaşımları olmakla birlikte tüm ham maddelere uygulanan dövme prosesi prensipte aynıdır. Kütük formunda üretilen alaşımlar en yüksek plastisiteye ulaştığı sıcaklığa ısıtıldıktan sonra dövme preslerinde kademe kademe nihai hale getirilmektedir. Kullanılan ham maddenin kimyasal kompozisyonuna göre ve istenen dayanım özelliklerine göre döküm yöntemi ile üretilen jantlara uygulandığı gibi dövme yöntemi ile üretilen jantlara da ısıl işlem uygulanmaktadır. Dövme işlemi ile göbek bölgesi formu oluşturulduktan sonra kasnak bölgesi soğuk şekillendirme (flow foring) yöntemleri ile oluşturulmaktadır. Son olarak talaşlı imalat ve boya proseslerinden geçen jantlar kullanıma hazır hale gelmektedir. Şekil 3.7.'de dövme yöntemi ile jant üretim adımları gösterilmiştir [36].



Şekil 3.7. Dövme yöntemi ile jant üretim prosesi [36]

Döküm yöntemi ile üretilen jantlar ile dövme yöntemi ile üretilen jantlar karşılaştırıldığı zaman %20 daha az et kalınlığı ile üretilebildiği için ağırlık kazancı ön plana çıkmaktadır. Gövde ve kasnak bölgesini birleştiren topuk bölgesinde dahi alüminyumun atomik düzeninin dövme yönünde aynı düzende olması jant genelinde

eş dayanım elde edilmesini sağlamaktadır. Ağırlıktan kazanç sağlanırken dayanım özelliklerinden taviz vermemesi yüksek performanslı spor araçlarında dövme yöntemi ile üretilen jantların tercih edilmesine sebep olmaktadır. Döküm alaşımlarından diğer bir üstünlüğü iç yapısının gözeneksiz olarak üretilmesidir. Üstün özelliklere sahip gözeneksiz iç yapı sayesinde dövme yöntemi ile üretilen jantlarda yüksek yorulma direnci ve darbe direnci elde edilmektedir. Sportif faaliyetlerde kullanılan araçların yanında yüksek dayanım değerlerinin gerekli olduğu ağır iş makinelerinde de kullanımı tercih edilmektedir [39, 40].

Dövme yöntemi ile jant üretiminin en büyük dezavantajı yüksek maliyetli olmasıdır. Üretim aşamaları, döküm yöntemi ile jant üretimi aşamalarına kıyasla daha detaylı olması, daha uzun zaman alması, daha fazla makine ve teçhizat gerektiriyor olması vb. sebeplerle birim jant maliyetlerini yükseltmektedir. Bu nedenle sadece önemli araçlarda kullanımı tercih edilmektedir [1].

3.4. Alçak Basıncı Döküm Yöntemi İle Jant Üretimi

Otomotiv sektöründe CO₂ salınımının küresel ısınmaya etkisi göz önüne alındığında, otomobillerde ağırlıklarının azaltılması gereklilik haline gelmiş ve alüminyum alaşımları otomobil jant üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. Alüminyum alaşımlı otomobil jantlarının üretiminde geçmişte gravite döküm yöntemi tercih edilmekte iken günümüzde sıvı metalin hava ile temasını ortadan kaldırdığı, yüksek yüzey ve mekanik özellikler sağladığı ve yüksek üretim adetlerinin elde edilmesinden dolayı alçak basınçlı döküm yöntemi (LPDC) tercih edilmeye başlamıştır [41].

Alçak basınçlı döküm yöntemi ile otomobil jantlarının üretimi için jant ham maddesinin giriş kalite kontrolü, ham maddenin hazırlığı, tane inceltme işlemleri, gaz giderme işlemi vb. ön hazırlık işlemleri yapılmaktadır. Mühendislik hesaplamaları ve simülasyon çalışmaları ile tasarlanan alçak basınçlı döküm kalıpları çeşitli kaplama işlemlerinden sonra tezgâha bağlanarak döküme hazır hale gelmektedir. Döküm tezgâhında döküm işlemi tamamlandıktan sonra ısıtma işlemi, talaşlı imalat, boyahane proseslerinden geçen jantlar nihai hale gelmektedir. Bu üretim süreçlerinden geçerken kalite standartlarına uyum sağlaması amacı ile çeşitli testlere tabi tutulduktan sonra otomobillerde kullanımına onay verilmekte ve müşteriye sevk edilmektedir. Tüm bu üretim prosesleri detaylı olarak aşağıda açıklanmıştır [41, 42].

3.4.1. Ham madde temini ve giriş kalite kontrol

Otomobil jant üretimi için yaygın olarak tercih edilen ham maddeler alüminyum-silisyum alaşım sistemleridir. Al-Si ikili sisteminin özellikleri üretim prosesi sırasında uygulanan tane inceltme işlemine, modifikasyon işlemine, alaşım elementlerine, üretim parametrelerine ve ısıl işleme bağlı olmakla birlikte otomobil jant üretimi için en çok tercih edilen sistemler AlSi7Mg, AlSi11Mg ve nadir olarak AlSi9Mg sistemleridir [1].

Jant üretiminde kullanılacak olan alüminyum alaşımları üretici firmalarından tedarik edilmekte olup üretime alınmadan önce birtakım kontrollerden geçmektedir. Tedarikçi firmalardan tedarik edilen alüminyum alaşımli ham maddelere birtakım kontroller giriş kalite birimi tarafından yapılmaktadır. Alüminyum ham maddeler için her şarjdan, ayrı paletlerden olmak üzere numuneler alınmaktadır. Gelen parti, ambar görevlisi tarafından teslim alınıp sayıldıktan sonra bilgileri fabrikanın sistemine girilmektedir. Tedarik edilen alüminyum alaşımli külçelerin ilk olarak uygun ambalajlı olup olmadığı kontrol edilmektedir. Şekil 3.8.'de gösterildiği gibi ambalajlamada her külçe bağının uygun renk kodu ile boyalı olması, su geçirmeyecek şekilde naylon poşet ile örtülü olması, külçe ve bağların uygun ebatlarda olduğu kontrol edilmektedir. Alüminyum külçelerin, külçe görsel kontrol talimatına uygunluğu kontrol edilir. Master alaşımli külçe yüzeyleri temiz, oksidasyon izlerinden yoksun, makro kalıntılar içermeyecek şekilde olmalıdır. Yüzeyde derin çekintiler, delikler, süreksizlikler gözlemlenmemelidir [42].



Şekil 3.8. Jant üretiminde kullanılan Al-Si alaşımli külçeler [42]

Seçilen numunelerin spektrometrede kimyasal analizlerini yapmak üzere numune hazırlanmaktadır. Hazırlanan numune analizlerinin ortalama değerleri alınarak, standartlarla karşılaştırılmaktadır. Kimyasal kompozisyonu standartlara uygun olan külçelere ışık mikroskobu ile makro süreksizlik kontrolü yapılmaktadır. Tüm giriş kalite kontrollerinden onay alan ham maddeler ergitilmek üzere ergitme birimine transfer edilmektedir [42].

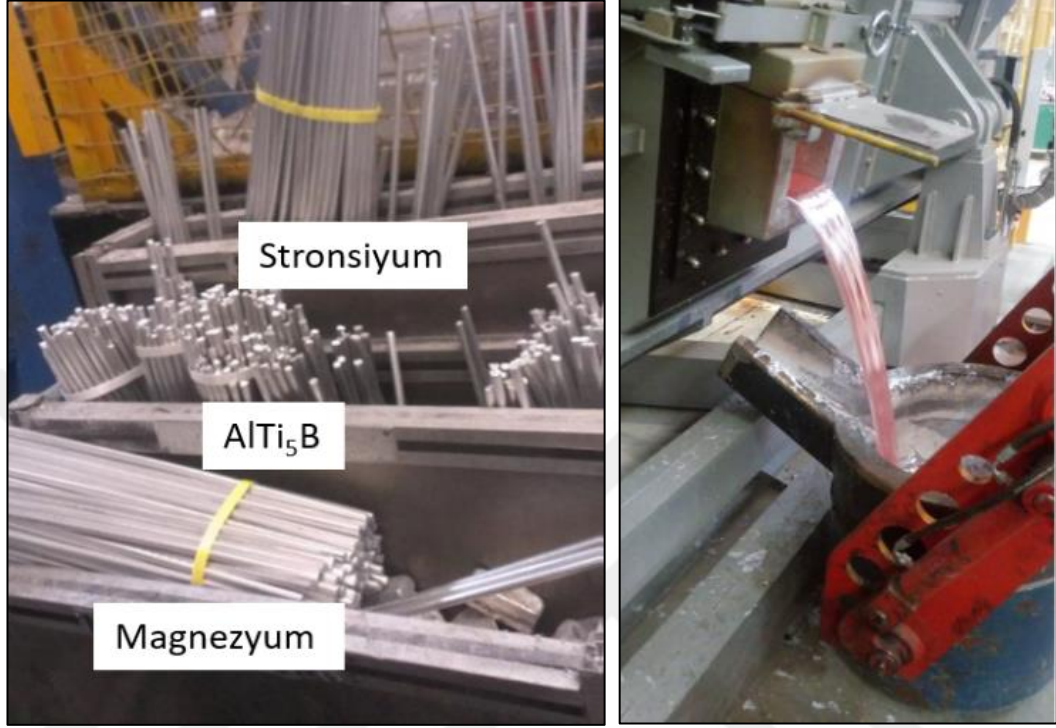
3.4.2. Ergitme bölümü

Alçak basınçlı döküm yönteminde tercih edilen ergitme uygulamaları ile yüksek basınçlı döküm yönteminde tercih edilen ergitme yöntemleri aynı olup, ergitme prensipleri detaylı bir şekilde 2.2.1. numaralı “Ergitme ocakları” başlığında anlatılmıştır.

Kullanılan ham maddelerin ergitme işlemi farklı fırınlarda gerçekleştirilmektedir. Jant malzemesi olarak yaygın kullanılan AlSi7Mg ve AlSi11Mg alaşımları farklı ocaklarda ergitilmektedir. Ergitme fırınlarında külçelerle birlikte üretimden gelen hurdalarda ergitilirken amaç en kısa sürede, en yüksek verimlilikle ve en az yanma kaybıyla ergitme işlemi gerçekleştirmektir. Üretimi besleyen ana ergitme ocakları doğal gaz ile çalışan şaft tipi ergitme ocakları olmakla birlikte, bunun yanında potalı ve elektrikli ergitme ocakları da tercih edilmektedir. Ergitme işleminden sonra kalite kontrol planlarında yazan periyotlarda spektrometre analizi ile ergimiş metalin kimyasal kompozisyonu kontrol edilmektedir [42].

Şekil 3.9.’da gösterildiği gibi ergitme işlemi tamamlanan sıvı metale, gaz alma işlemine götürülmeden önce çeşitli ön işlemler yapılmaktadır. Alaşım geneline homojen bir şekilde yayılması için gaz alma işleminden önce mikroyapı modifikasyonu için magnezyum (Mg), stronsiyum (Sr), tane inceltme için AlTi5B ilavesi yapılır. Tane inceltme işlemi mikroyapıda bulunan tane sınırlarını arttırarak dislokasyon ilerlemesi için daha yüksek enerjilere ihtiyaç oluşturmaktadır. Bu doğrultuda ürünün mukavemet değerleri yükselmektedir. Sr ilavesi ile yapılan modifikasyon işlemi ise mikroyapıda köşeli ve iğnesel yapıda bulunan iç yapı unsurlarının küreselleştirilmesine, tokluk ve mukavemet değerlerinin artışına sebep olmaktadır. Mg iç yapıda Mg₂Si fazı ile mekanik dayanım arttırdığı için ilave edilmekle birlikte sınır değerlerinin üstüne çıkması halinde darbe dayanımına olumsuz

etki edeceğinden kontrollü bir şekilde ilave işlemi gerçekleştirilmektedir. Dayanım artışı sağlarken yapıya süneklik kazandırması magnezyum alaşım elementinin jant üretiminde kullanılmasına sebep olmaktadır [1, 42].



Şekil 3.9. Sıvı metal transferi ve alaşıma ilavelerin yapıldığı bölüm [42]

Alçak basınçlı döküm yönteminde sıvı metal transferi ve gaz alma işlemleri yüksek basınçlı döküm yönteminde tercih edilen yöntemlerle aynı olup, sıvı metal transferi ve gaz alma işlemleri detaylı bir şekilde 2.2.3. numaralı “Gaz alma ünitesi” başlığında anlatılmıştır.

Ergitme, tane inceltme, modifikasyon, gaz alma ve çeşitli kalite kontrol işlemlerinden geçen sıvı metal alçak basınçlı döküm tezgâhının altında bulunan bekletme/dozajlama ocağına transfer edilmektedir [41].

3.4.3. Alüminyum alaşımlarında tane inceltme ve modifikasyon işlemi

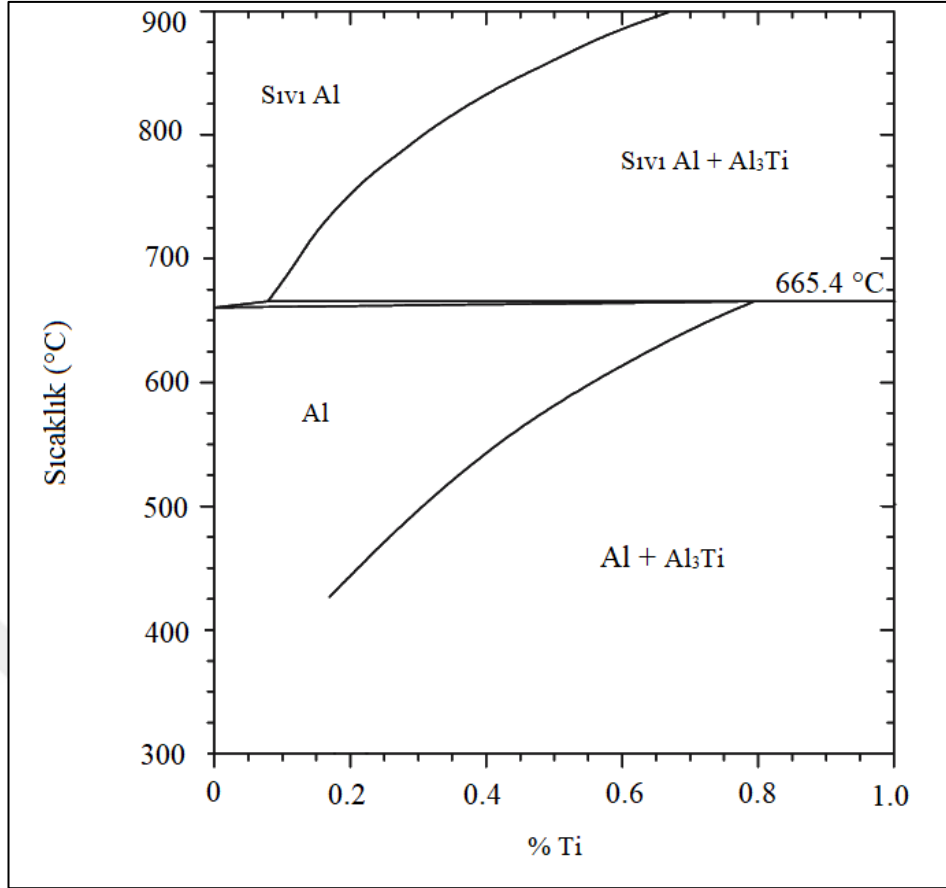
Jant üretiminde kullanılan Al-Si alaşımlarının özellikleri Al-Si ötektik yapısına, alüminyum dendritlerinin yapısına ve dolayısıyla soğutma hızına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle tane inceltme işlemi alçak basınçlı jant üretim yönteminde önem teşkil etmektedir. Katılmış Al-Si alaşımlarının mikroyapısı incelendiği zaman dendritik katılma gösteren alüminyum ve aralarında ötektik

silisyum fazı gözlemlenmektedir. Dendritik katılaşmanın boyutu katılaşma hızı ile doğru orantılı olarak değişmektedir [1].

Jant üretiminde taneler oluşurken ilk olarak çekirdeklenme gerçekleşir. Katılaşmış yapıda görülen bütün taneler yabancı bir çekirdekleyici etrafında çekirdeklenmeye başlar ve bu çekirdeklenme heterojen çekirdeklenme olarak tanımlanmaktadır. Pratikte sıvı metalin katılaşma süreci heterojen çekirdeklenme ile meydana gelmektedir. Çekirdekleyici görevi gören partiküller ile çekirdek arasında bulunan yüzey enerjisi ne kadar düşük ise sıvı metalin çekirdekleyici ıslatma oranı o doğrultuda artmakta ve çekirdeklenme işlemi için optimum şartlar sağlanmış olmaktadır. Çekirdeklenme etkisinin optimum seviyede olması için çekirdekleyici malzeme ile oluşan çekirdeklerin metalurjik olarak kristal yapılarının benzerlik göstermesi gerekmektedir [1].

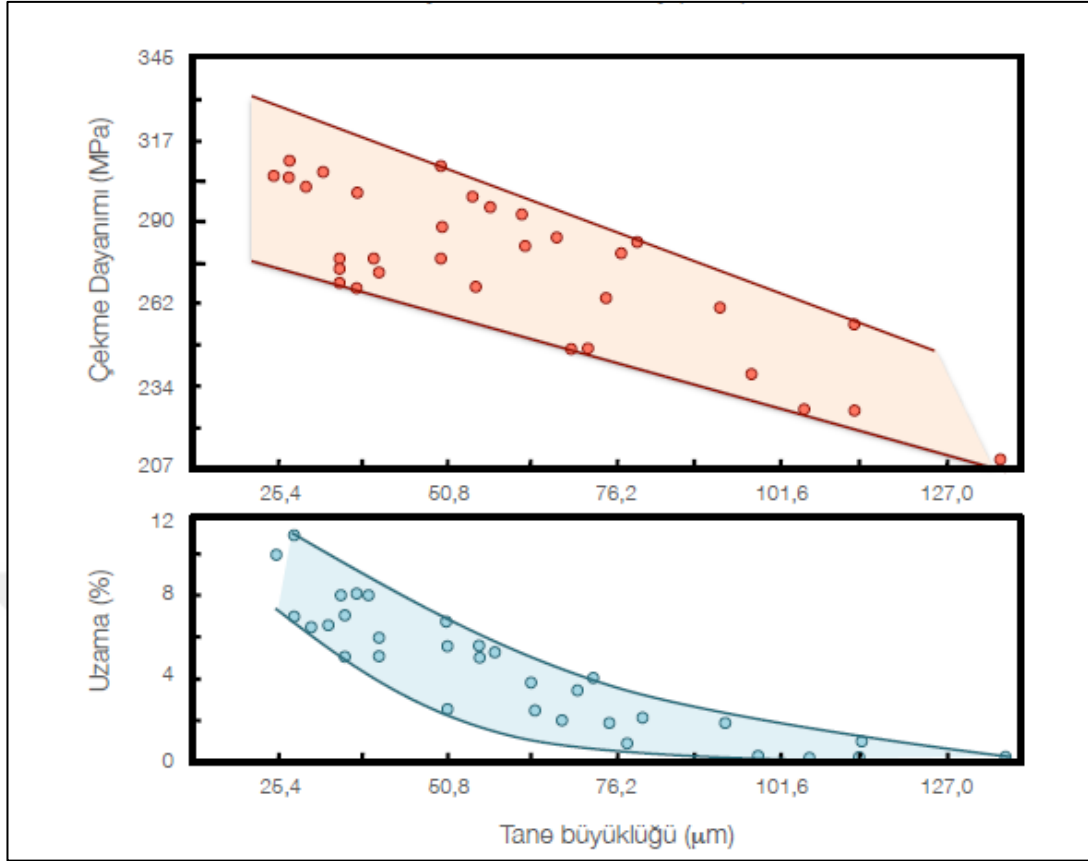
Tane boyutu, tane inceltme işlemlerine bağlı olduğu kadar katılaşmanın hızı dolayısıyla ile döküm yöntemi ile ilişkilidir. Döküm parçalarında hızlı katılaşma bölgelerinde ince taneli mikroyapılar gözlemlenirken, yavaş katılaşan bölgelerde kaba taneli mikroyapılar gözlemlenmektedir. Alçak basınçlı döküm yönteminde katılaşma hızının düşük olmasından dolayı kimyasal metalurjik yöntemler ile tane inceltme işlemi yapılmaktadır [43].

Bu şekilde otomobil jant üretimi mümkün olmaktadır. Jant üretiminde kullanılan Al-Si alaşımlarında heterojen çekirdeklenmeyi teşvik eden titanyum (Ti) alaşım elementi, %0,02-0,15 aralığında kullanılmaktadır. Eriyikte yeterli miktarda bulunan Ti, sıvı alüminyum ile reaksiyon göstererek $TiAl_3$ fazını oluşturmaktadır. $TiAl_3$ fazı, sıvı alüminyumun heterojen çekirdeklenmesine uygun yöreler oluşturarak çekirdeklenme oranını arttırmaktadır. Bu doğrultuda yapıda bulunan tane sayısı, tane sınırı artırılarak yapısal özelliklerin artışı sağlanmaktadır. Al-Ti ikili faz diyagramı Şekil 3.10.'da gösterilmiştir. İkili faz diyagramından anlaşılacağı üzere $665^{\circ}C$ sıcaklıkta, $TiAl_3 + Sıvı \rightarrow \alpha(Al) + Sıvı$, peritektik reaksiyonu gerçekleşmektedir. Yapıda bulunan $TiAl_3$ partiküllerini saran sıvı alüminyum heterojen olarak katılaşarak tane inceltme işlemi gerçekleştirilmiş olmaktadır [43].



Şekil 3.10. Al-Ti ikili sisteminin faz diyagramı [43]

Titanyumun yanında bor (B) alaşım elementinin yapılmış çalışmalarda tane inceltici olarak Al-Si alaşımlarında görev yaptığı tespit edilmiştir. Son yıllarda Al-Si alaşımlarında popüler olarak kullanılan tane inceltici alaşımlar Al-Ti-B içeren master alaşımlardır. Özellikle AlTi5B1 master alaşımının, eriyik içinde oluşturmuş olduğu TiAl₃ ve TiB₂ çekirdekleyici partikülleri, tane inceltme işlemini efektif bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Yüksek ergime derecesine sahip olan bu partiküller alüminyum kristallerinin çekirdekleneceği birer yüzey olarak görev yapmaktadır. Titanyumun ön alaşımlı olarak ergiyik Al-Si ikili sistemlerine ilave edilmesinin diğer bir avantajı titanyumun silisyum ile oluşturacağı intermetaliklerin engellemesidir. Bu sayede ötektik Si fazının bileşiminin değişkenlik göstermesinin önüne geçilmektedir. Tane inceltme işlemi kırılğan intermetalik fazların, kaba dendritler arasında oluşan mikro porozitelerin oluşumunu engellemektedir. Al-Si alaşımlarında tane boyutunun değişmesi ile çekme dayanımı ve uzama miktarının değişimi Şekil 3.11.'de gösterilmiştir [42, 43].

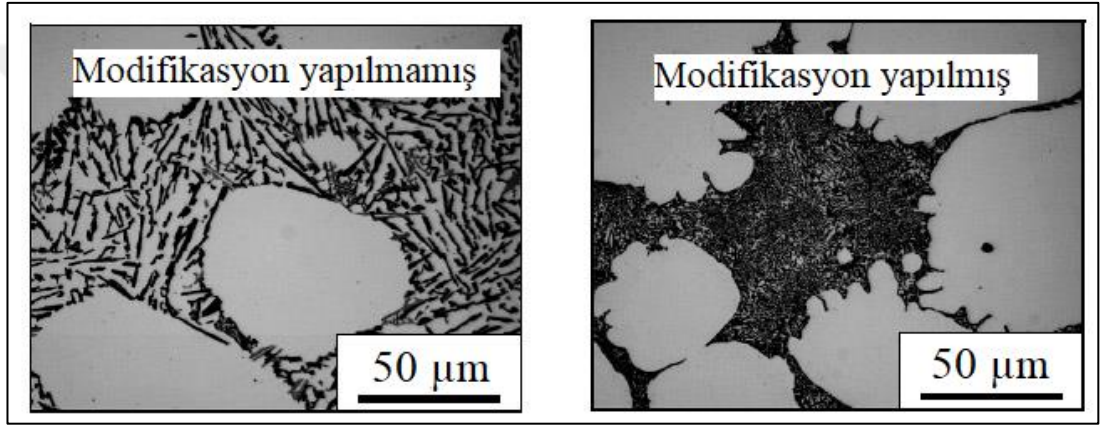


Şekil 3.11. Tane boyutunun çekme dayanımı ve uzamaya olan etkisi [14]

Tane inceltme amacı ile ilave edilen katışkılarının tane inceltme etkinliğini kısıtlayan en önemli parametre zamandır. Tane incelticilerin etkinliği zaman içinde azalmaktadır. İlave edilen partiküller eriyik içinde askıda kalarak homojenlik sağlasa bile bir süre sonra dibe çökme ve topaklanma eğilimi göstermektedir. Bu nedenle tane inceltme işleminden sonra süreyi efektif kullanmak gerekmektedir. Bir diğer risk ise alüminyum eriyiğinde zirkonyum bulunmasıdır. Zirkonyum, titanyum ile reaksiyona girerek tane inceltici partiküllerin modifikasyonuna neden olup, tane inceltme prosesini olumsuz etkilemektedir [14].

Ticari olarak kullanılan alüminyum döküm alaşımlarının %90'ı silisyumun sağlamış olduğu yüksek akışkanlıktan dolayı Al-Si esaslı alaşımlardır. Silisyumun sağlamış olduğu bu yüksek akışkanlık sayesinde kompleks ve ince et kalınlığına sahip parçaların dökümü yapılmaktadır. Al-Si ötektiği yüksek akışkanlığın yanında mikroyapısında modifiye işlemlerine olanak sağladığı için de tercih edilmektedir. Çünkü modifikasyon sayesinde geniş aralıkta çeşitli mekanik özellikler sergileyebilmektedir. Silisyum, alüminyum alaşımlarına akışkanlık kazandırırken bir

yandan da katılaşmada ki çekinti kaynaklı porozitelerin oluşumunu azaltmaktadır. Alüminyum-Silisyum alaşımlarında en önemli modifikasyon elementi stronsiyum (Sr) olarak bilinmektedir. Ötektik silisyum fazının morfolojisini iğnesel formdan küresel forma modifiye ederek nihai parçada üst düzey mukavemet süneklik kombinasyonu sağlamaktadır. Bu modifikasyon işlemi yavaş soğuma hızına sahip döküm yöntemlerinde efektif olarak gözlemlenirken, katılma hızı yüksek döküm yöntemlerinde etkisini azaltmaktadır. Çünkü hızlı katılma ötektik silisyum fazının iğnesel formda katılmasına engel olmaktadır. Şekil 3.12.'de modifiye edilmeden önce ve edildikten sonra alınmış Al-Si mikroyapıları gösterilmiştir [42].



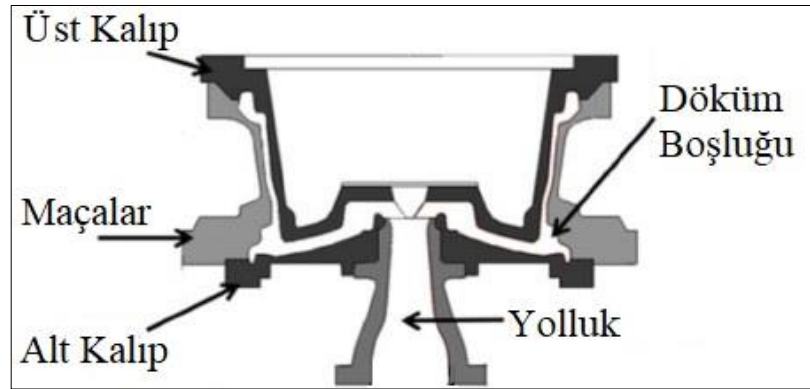
Şekil 3.12. Modifikasyon yapılmış ve yapılmamış Al-Si mikroyapıları [14]

Şekil 3.13.'de mikroyapıda beyaz, birbirine bağlı bölgeler alüminyum dendritleri olarak tanımlanırken dendritler arasında bulunan iğnemsî yapılar ötektik Si fazı olarak tanımlanmaktadır. Modifikasyon işlemi sonucunda mikroyapıda ki alüminyum fazında değişikliğe sebep olmayan stronsiyumun, ötektik Si fazı üzerinde büyük etkileri gözlemlenmektedir. İğnemsî ve köşeli olan ötektik fazın incelmesi ve küreselleştiği belirlenmiştir. Bu modifikasyon dayanım ve süneklik değerlerini optimum seviyelere çıkartmaktadır. Aynı modifikasyon sodyum (Na), antimon (Sb) alaşımlama ile yapılabılırken pratikte yaygın olarak Sr tercih edilmektedir. Tane inceltme işleminde olduğu gibi modifikasyon işleminde de süre kısıtlayıcı bir parametre olarak bilinmektedir. Stronsiyumun modifikasyon süresi, Na ve Sb alaşım elementleri ile karşılaştırıldığında daha uzun sürmektedir. Bu modifikasyon işlemi ötektik altı ve ötektik Al-Si alaşımlarında etkili olduğu için jant üretiminde tercih edilmektedir. Pratikte Sr modifikasyonu için 50-300 ppm aralığında stronsiyumun etkili olduğu bilinmekle birlikte soğuma hızına göre oran değiştirilmektedir.

Stronsiyum, AlTi5B1 master tane inceltici alaşımı gibi master alaşımli bir şekilde sıvı alüminyum alaşımına ilave edilmektedir ve en çok tercih edilen master alaşım AlSr15 olarak bilinmektedir [1, 42].

3.4.4. Alçak basınçlı döküm yöntemi ile jant üretiminde kullanılan döküm kalıpları ve poteyaj kaplama

Alçak basınçlı döküm yöntemi ile jant üretiminde kullanılan döküm kalıpları alt kalıp, üst kalıp ve yan maçalar olmak üzere 3 ana bileşenden oluşmaktadır. Alt kalıp, alçak basınçlı döküm tezgâhının alt plakasına bağlanan, jantın stil yüzeninin ve yolluğun geçtiği boşluğun oluşturulduğu kalıptır. Jant federlerinin iç kısmında olması gereken markalama figürlerinin işlendiği, jantın fren sistemleri ile ilişkisinde belirleyici görev alan kalıp, üst kalıp olarak tanımlanmaktadır ve alçak basınçlı döküm tezgâhının hareketli üst plakasına bağlanmaktadır. Yan maçalar, tezgâhın sabit plakasına monte edilen, döküm sırasında kapanıp katılma sonrası açılan, jantın lastik oturma yüzeyinin oluşturulduğu kalıp kısımları olarak tanımlanmaktadır. Kalıpların iç kısımlarına üretilecek parçaya özel hava soğutma kanalları tasarlanmakta ve katılma kontrol altına alınmaktadır. Alçak basınçlı döküm yöntemi ile jant üretiminde kullanılan kalıpların genel hatlarını tanımlayan şematik Şekil 3.13.'de gösterilmiştir [36].



Şekil 3.13. Jant kalıplarının şematik gösterimi [36]

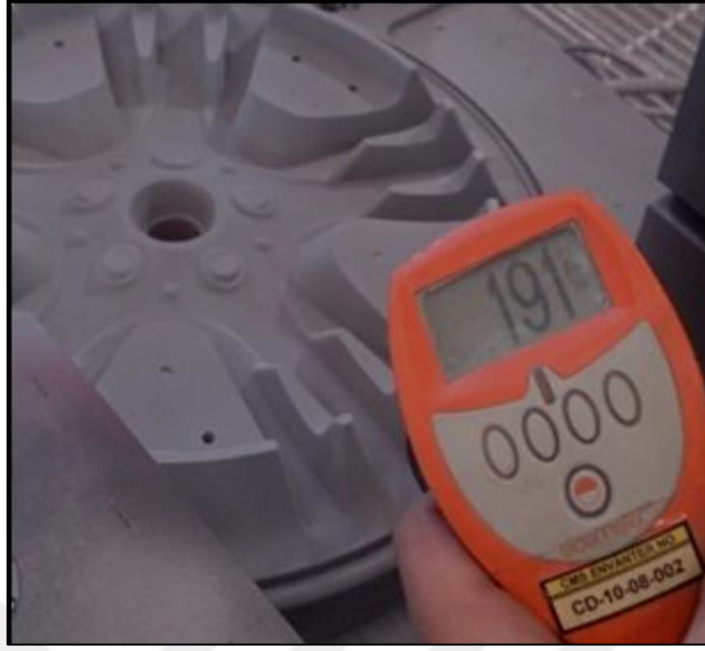
Şekil 3.14.'de gösterildiği gibi sıcak iş takım çeliklerinden üretilen jant kalıplarının sıvı metal ile temas eden yüzeylerine kaplama uygulanmaktadır. Poteyaj olarak adlandırılan bu kaplamanın esasında birkaç temel fonksiyonu bulunmaktadır. Seramik esaslı olan kaplama malzemeleri, refrakter görevi görerek kalıp çeliği ile sıvı metal

arasında ısı bariyeri oluşturmaktadır. Böylece sıvı metalin katılaşmadan tüm kalıbı problemsiz bir şekilde doldurması sağlanmaktadır. Isı transferini kontrol altına alan bu kaplama malzemesinin ikinci bir fonksiyonu ise pütürlü yüzeyi sayesinde sıvı alüminyumun kalıp dolarken önünde oluşan alüminyum oksit tabakasını yırtmaktır. Bu sayede sıvı metal katılaşmadan kalıbın tüm boşluklarını doldurmaktadır. Metalurjik prosesin kontrolünü sağlayan bu kaplama yöntemi aynı zamanda kalıp çeliği ile alüminyumun arasında bir arayüzey oluşturarak kalıp ömrünü uzatmaktadır [4].



Şekil 3.14. Alt kalıp poteyaj kaplama işleminin görseli [4]

Kalıplara uygulanan kaplama malzemeleri kullanım yerlerine göre farklılık gösterse de temel olarak bağlayıcı, seramik partiküller ve su bileşenlerinden oluşmaktadır. Hazırlanan kaplama karışımı püskürtmeli tabancalarla ve fırçalar ile belirlenen bir sıcaklıkta (180-200°C) kalıplara tatbik edilmekte olup el emeğine dayanmaktadır. Bu nedenle ustalık gerektirmektedir. İnsan yeteneğine bağlılık gösteren kaplama prosesi belirlenen kaplama kalınlıklarının dışına çıkılması halinde üretimde çeşitli kalitesizlikler meydana getirmektedir. Kaplama işleminden sonra kaplama kalınlığı ölçüm cihazları ile kontrol edilmekte olup tüm kalıp yüzeylerinde homojen olmasına dikkat edilmektedir. Kaplamanın kalınlıkları kalıp çeliğine, tasarımına ve üretilecek parçanın geometrik figürlerine bağlı olarak değişkenlik göstermekle birlikte 50 ile 250 µm aralığında değişmektedir [44].



Şekil 3.15. Kaplama kalınlığının ve kaplama sıcaklığının ölçümü [4]

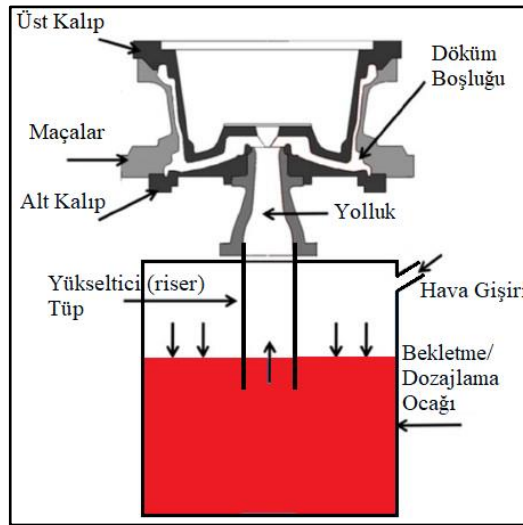
Belirli bir döküm çevrimi sonucunda (<500 çevrim) aşınarak ömrünü tamamlayan kaplamalar nedeniyle kalıplar alçak basınçlı döküm tezgâhlarından indirilerek tekrar poteyaj kaplama yapılmak üzere ilgili birime gönderilmektedir. Kaplama kalınlığının alt sınıra ulaşması ile birlikte üretilen jantlarda kalitesizliklerin ortaya çıkması nedeniyle kaplama kalınlığına dikkat etmek gerekmektedir [4].

3.4.5. Alçak basınçlı döküm

Otomobil jant piyasasının öngörülere göre 2025 yılında 50,54 milyar \$'a ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu büyüme jant pazarında %5,52'lik bir büyümeye denk gelmektedir. Bu jant pazarının %54'ü sağladığı yüksek avantajlardan dolayı alüminyum alaşımlı döküm jantlara ait olduğu bilinmektedir. Alüminyum alaşımlı jantlar kalite ve müşteri memnuniyeti açısından değerlendirildiğinde mekanik özellikler, haza sızdırmazlığı ve yüzey özellikleri ön plana çıkmaktadır. Günümüzde kalite ve müşteri standartlarına olan gereklilikleri sağlayarak alüminyum alaşımlı otomobil jant üretimine imkân sağlayan döküm yöntemi alçak basınçlı döküm yöntemidir (LPDC) [45]. Geçmiş yıllarda gravite yöntemi ile gerçekleştirilen otomobil jant üretimi, günümüzde artan müşteri istekleri, yüksek kalite gereksinimleri, ağırlık azaltma ve dayanım artırma talepleri ile yerini alçak basınçlı döküm yöntemine bırakmıştır. Seri üretime uygunluğu ile tercih edilmekte olan alçak basınçlı döküm

yöntemi aynı zamanda gravite döküm yöntemine kıyasla safsızlıklardan arınmış sıvı metal ile döküm imkânı sağlamaktadır. Alçak basınçlı döküm yöntemi, döküm tezgâhının altında yer alan bekletme/dozajlama ocağında ki sıvı metal yüzeyine uygulanan basınç ile (ortalma 1 bar) sıvı metalin yükseltici (riser) tüpten geçerek kontrollü olarak kalıba dolumu esasına dayanmaktadır. Şekil 3.16.'da alçak basınçlı döküm tezgâhının şematik çizimi gösterilmiştir. Dolum sırasında uygulanan basınç kalıbın ve üretilen parçanın geometrik özelliklerine göre değişkenlik göstermekle birlikte dikkatle belirlenmesi gereken bir parametredir. Soğuk birleşme hataları ve türbülans oluşturmadan kalıp içine sıvı metal doldurulmaktadır. Kontrollü bir şekilde dolum tamamlandıktan sonra bekletme ocağında uygulanan basınç ortadan kaldırılarak sıvı metalin yükseltici tüpten geri gelmesi sağlanmaktadır. Dengeli katılaşmanın gerçekleşmesi için tasarlanmış soğutma kanallarından hava ile soğutma gerçekleştirilir, katılaşma tamamlandıktan sonra kalıp hareketli kısımları açılarak alçak basınçlı döküm yöntemi ile üretilmiş jant kalıptan ayrılmaktadır [42, 45].

Kalıp yarımları ayrıldıktan sonra üretilen jant üst kalıp ile birlikte yukarı kalkmakta ve iticiler yardımı ile kalıptan çıkartılmaktadır. Katılaşma tamamlanmasına rağmen yüksek sıcaklıkta kalıptan çıkan jant (300 - 400°C) bir sonraki operasyon adımlarına taşınması ve işlem görebilmesi için su soğutma tanklarına daldırılarak işlem yapılabilecek sıcaklıklara (50-100°C) düşürülmektedir. Aynı zamanda sıcaklıktan kaynaklanan boyutsal ve iç yapısal değişkenliklerin önüne geçilmektedir [35, 42].



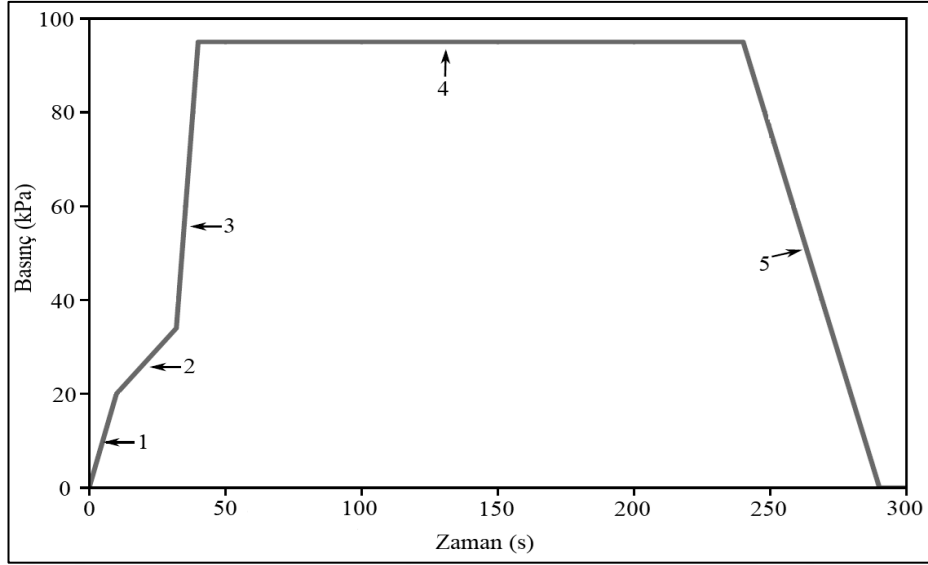
Şekil 3.16. Alçak basınçlı döküm tezgâhının şematik görüntüsü [45]

Sıvı metal kapalı bir düzenek içinde hareket ederek kalıp içine dolumu tamamlandıktan sonra tekrar kapalı düzenek içinde bekletme ocağına geri dönüş yapmaktadır. Bu şekilde için sıvı metalin hava ile teması minimum olduğu gibi, dikey yolluk sayesinde sıvı metalin hava ile temas etmeyen kısmı kalıp içine doldurulmaktadır. Bu nedenle bu yöntem üretilen jantlarda oksit inklüzyonları ile karşılaşma ihtimalini en aza indirirken günümüz kalite standartlarına uyum sağlamaktadır [14].

Alçak basınçlı dökümde başarılı bir döküm gerçekleştirmek için bekletme ocağının sıcaklığı, doldurma basıncı, soğutma kanalları ve kanallardan geçirilen soğutucu malzemeler, kalıp yarımalarının açılma zamanları, sıvı metalin akış hızı parametrelerinin optimum kombinasyonu ile döküm tezgâhı çalıştırılmaktadır [45].

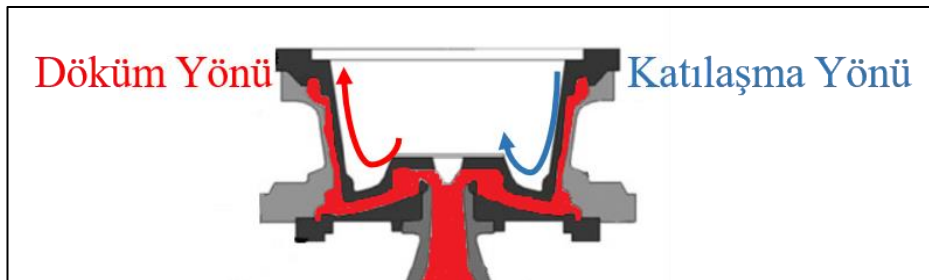
Şekil 3.17.'de alçak basınçlı döküm tezgâhında elde edilen tipik bir doldurma basınç grafiği gösterilmiştir. Basınç grafiği incelendiği zaman 5 ayrı aşamadan oluştuğu gözlemlenmiştir. Basınç grafiğinin 1 numara ile gösterilen bölümünde dozajlama/bekletme ocağının iç atmosferi basınçlandırılmakta ve sıvı metalin yükseltici (riser) tüpünde yükselmesi sağlanmaktadır. Ocak içi basınçlandırma işlemi hava veya argon, azot gibi soy gazlar ile yapılmaktadır. Sıvı metal kalıp boşluğunun girişine geldiği zaman 2. kademe basınçlandırma uygulanmaktadır. Bu aşamada yüzey türbülansını azaltmak ve kalitesizliklerin önüne geçmek amacı ile basınç hızlanması bir miktar azaltılmaktadır [45].

Bu sayede nihai ürün içinde oksit filmlerinin, hava sıkışmasından kaynaklı porozitelerin önüne geçilmektedir. Sıvı metal kalıp içine girip jant figürünü doldurmaya başladığında 3. kademe basınçlandırma işlemi devreye girer ve basınç hızla arttırılarak en yüksek seviyeye çıkartılmaktadır. Kalıp boşluğu %100 sıvı metal ile dolduktan sonra katılaşmanın tamamlanması için en yüksek basınçlandırma seviyesinde 4. Kademe boyunca beklenmektedir. Son olarak 5. kademede fırın içine verilen hava, argon veya azot gazı serbest bırakılarak atmosfere salınmaktadır ve kalıp içinden jant çıkartılmaktadır [45].



Şekil 3.17. Alçak basınçlı döküm tezgâhında dolum basınç grafiği [45]

Şekil 3.17.'de gösterilmiş olan grafik incelendiği zaman döküm çevrimi sırasında kalıp içi dolum 50 saniyeye kadar tamamlanmakta, katılaşmanın tamamlanması için 200-250 saniye beklenmektedir. Katılaşma sürecinde kontrollü katılaşmanın gerçekleşmesi için tasarlanmış soğutma kanallarından geçirilen soğutucu malzemeler sıvı metalin kalıp çeliğine aktarmış olduğu ısı enerjisini kalıptan uzaklaştırmak için görev almaktadırlar. Şekil 3.18.'de gösterildiği gibi alçak basınçlı döküm yöntemi ile otomobil jant üretiminde katılaşma yönü sıvı metalin kalıba dolum yönünün tam tersi yönde gerçekleşmektedir. Jant tasarımında et kalınlığının keskin değişiklik gösterdiği ve et kalınlığı fazla olan bölgeler sıcak kalan, katılaşma sırasında meydana gelen hacim küçülmesinden kaynaklı çekinti döküm boşluklarının en çok rastlandığı bölgelerdir. Otomobil jantlarının topuk bölgeleri, stil yüzeyleri ve göbek bölgeleri çekinti boşluğu oluşma ihtimali en yüksek olan bölgeler olarak tanımlanmaktadır. Bu kalitesizliklerin önüne geçebilmek için sıcak kalan bu bölgelerde ekstra soğutma sistemleri uygulanmaktadır [1].

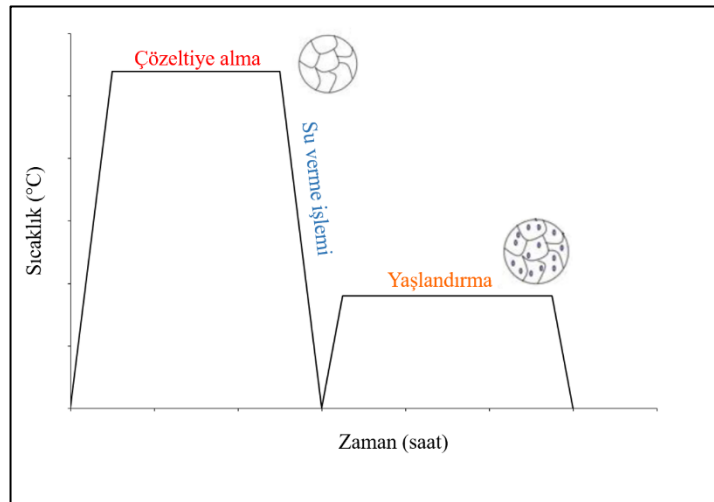


Şekil 3.18. Katılaşma yönünün şematik gösterimi [1]

Alçak basınçlı döküm yöntemi ile üretilen ve kalıptan çıkartılan alüminyum alaşımlı otomobil jantlarının kaba çapakları temizlendikten sonra iç yapılarında varsa iç yapı kusurlarını kontrol etmek amacı ile müşteri şartnamelerinde yazan kriterlere bağlı olarak x-ray kontrolü yapılmaktadır. X-ray kontrolünden önce zımbalama işlemi ile göbek bölgesinde bulunan yolluk kısmı janttan ayrılmaktadır. Otomobil üzerinde emniyet parçası olarak kullanılan alüminyum alaşımlı jantlar %100 x-ray kontrolüne tabi tutulmaktadır. X-ray kontrolünden onay alan parçalar bir sonraki üretim proseslerine aktarılmaktadır. Isıl işlem görecektir jantlar ısıl işlem atölyelerine, ısıl işlem görmeyecek jantlar ise talaşlı imalat atölyelerine sevk edilmektedir [42].

3.4.6. Otomobil jantlarına uygulanan ısıl işlem

Alüminyum alaşımlı otomobil jantlarının döküm özelliklerinin ısıl işlem yöntemleri ile geliştirilebilmesi kullanım alanını genişletmektedir. Uluslararası platformda kabul görmüş, alüminyum birlikleri tarafından standart hale getirilmiş ısıl işlem yöntemleri alüminyum alaşımlı jant üretiminde de kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımlı jant üretiminde genel olarak T6 ısıl işlem yöntemi kullanılmaktadır. Bu ısıl işlem yöntemi ile alüminyum alaşımlı jantların mikroyapılarında bulunan ötektik silisyum fazının iğnesel morfolojisi küresel morfolojiye dönüştürülürken yapıya süneklik kazandırmaktadır. Mikroyapının bu gelişimi jantların kırılma tokluğunu arttırırken yapıda oluşan çökeltiler jantın akma değerini yükseltmektedir. T6 ısıl işlemi Şekil 3.19.'da gösterildiği gibi çözeltiye alma, su verme ve yapay yaşlandırma olmak üzere 3 ana aşamadan oluşmaktadır [46].



Şekil 3.19. T6 ısıl işleminin sıcaklık-zaman grafiği [6]

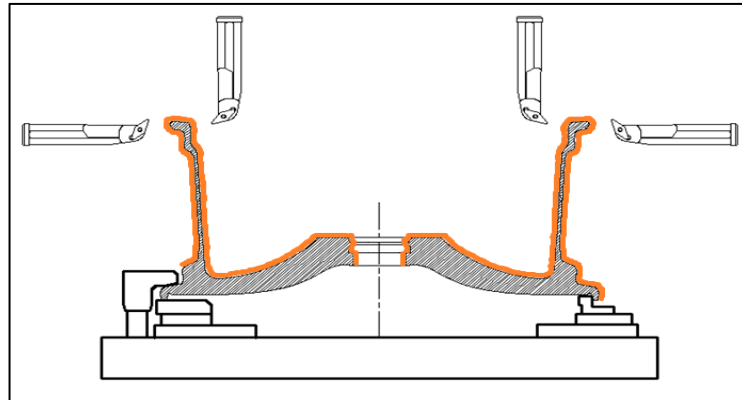
Çözeltiye alma işlemi sırasında difüzyon mekanizmalarını aktif hale getirmek için Al-Si alaşımları için gerekli olan yüksek sıcaklık değerlerine (500-550°C) çıkmak gerekmektedir. Çözeltiye alma sıcaklığı Al-Si ikili faz diyagramından yola çıkarak ötektik sıcaklığın altında bir sıcaklık olmalıdır. Çıkkılan yüksek sıcaklıkta difüzyon mekanizmalarının aktif hale gelmesi ile birlikte ilk olarak magnezyum bakımından zengin fazlar çözünmektedir. Ardından, yaşlanma sonrasında yüksek akma dayanımı elde edebilmek amacı ile Mg ve Si alaşım elementleri Al matrisi içinde homojen olacak şekilde çözünmektedir. Aynı zamanda ötektik silisyum fazının küresel morfolojiye dönüşümü gerçekleşmektedir. Bu işlem jant üretimi için pratikte ortalama 5 saatte gerçekleşmektedir. Çözeltiye alma işlemi sırasında çıkılan sıcaklık ve çıkılan sıcaklıkta ki bekleme süresi mikroyapısal ve mekanik özellikleri direkt olarak etkilemektedir [47].

Çözeltiye alma işleminde tüm alaşım elementleri Al matrisi içinde çözüldükten sonra oda sıcaklığına düşecek şekilde su verme işlemi gerçekleştirilmektedir. Su verme işlemi sonrasında aşırı doymuş katı çözelti elde edilmektedir. Su verme işlemi sırasında soğuma hızı ne kadar yüksek olursa yapay yaşlandırma sonucunda o kadar yüksek mekanik özellikler elde edilmektedir. Aşırı hızlı soğuma parçada distorsiyona veya kılcal çatlakların oluşumuna sebep olmaktadır. Bu nedenle karmaşık şekilli parçalarda aşırı soğuma hızına dikkat edilmektedir. Gerekirse su yerine ısı transfer katsayısı daha düşük ortamlarda su verme işlemi gerçekleştirilmektedir. Su verme işleminden sonra yapay yaşlandırma işlemi yapılmaktadır. Göreceli olarak daha düşük sıcaklıklarda (120-210°C), çözeltiye alma süresinden daha uzun ısıtma uygulanarak aşırı doymuş katı çözüldükte ki çözülmüş alaşım elementlerinden çökelti oluşturulmaktadır. Yapay yaşlandırma, üretim prosesine ve beklentilere bağlı olarak kademeli olarak yapılabilir. Jant üretiminde kullanılan alüminyum alaşımlarında Al matrisi içinde Mg_2Si atomları sıcaklıkla birlikte yüksek enerjili konumdan düşük enerjili konumlarına geçmek için kümelenmeye başlamaktadır. Kümelenmeye başlayan atomlar yapay yaşlandırma sürecinde büyüyerek kararlı çökelti fazını oluştururlar. Yüksek enerjiye sahip tane sınırlarına yerleşen çökelti fazları (Mg_2Si) malzemenin dayanım özelliklerini arttırmaktadır. Yapay yaşlandırma süresi ve yapay yaşlandırma sıcaklığı alüminyum alaşımlı otomobil jantlarının mekanik özelliklerini doğrudan etkilemektedir [46].

Isıl işlem ile alüminyum alaşımlı otomobil jantlarına üstün özellikler kazandırılırken aynı zamanda birim üretim maliyetinin artışı göz ardı etmemek gerekmektedir. Isıl işlem uygulanmadan talaşlı imalata gönderilen jantların üretim süreci yaklaşık 6 dakika süre ile tamamlanırken ısıtılma işlemi uygulamasına tabi tutulan jantların aynı proses aşamasına kadar olan üretim süreci 10 saatten fazla sürebilmektedir. Bu nedenle uygulanan ısıtılma işlem yöntemleri jant üretiminde üretim performansını düşürürken, üretim maliyetlerini yükseltmektedir [46].

3.4.7. Alüminyum alaşımlı jantların talaşlı imalat süreci

Isıl işlem uygulanan jantlar ısıtılma işlem sonrası, ısıtılma işlem uygulanmayan jantlar x-ray kontrolünden sonra talaşlı imalat atölyesine sevk edilmektedir. Talaşlı imalat atölyesine getirilen jantlar “brüt jant” olarak tanımlanmaktadır. Jantlar, otomatik işleme tezgâhlarında işlenerek “net jant” olarak tanımlanan, işleme teknik resimlerinde belirtilen nihai ölçülerine getirilmektedir. Şekil 3.20.’de gösterildiği gibi jantların lastik oturma yüzeyleri, stil yüzeylerinin arka kısımları (feder arkaları), poyra oturma yüzeyi, supab deliği, bijon delikleri ve göbek bölgeleri işlenmektedir. Şekil 3.20.’de jantın tezgâha bağlanma stili örnek olarak gösterilmiştir. Farklı bölgelerin işlenmesi sırasında farklı bölgelerden işleme tezgâhına bağlanmaktadır. İşleme sırasında otomatik işleme tezgâhlarında bulunan kesici takımların hareketleri üzerinde yapılacak iyileştirme çalışmaları işleme süresini kısaltarak üretim hacmine katkı sağlanmaktadır. Talaşlı imalat atölyesinden sonra jantlara ölçülerinde ve formlarında değişikliğe sebep olacak başka bir operasyon uygulanmamaktadır. İşleme operasyonundan sonra nihai tesviye işlemleri yapılmaktadır. Tesviye işleminden sonra balans ve sızdırmazlık kontrolü yapılmaktadır [48].



Şekil 3.20. Jant işleme yüzetlerinin şematik gösterimi [48]

Stil yüzeyi işlenen jantların talaşlı işlem prosesi boya prosesinden sonra yapılmaktadır. Boyahane boyama prosesinden çıkan stil yüzeyi işlemeli jantlar, ön yüzeyinin işlenmesi için talaşlı imalat atölyesine geri gönderilmektedir. Stil yüzeyi işlenen jantlar vernik uygulaması için tekrar boya atölyesine gönderilmektedir. Şekil 3.21.'de ön yüzeyi işlenmiş jant örneği gösterilmiştir [1].



Şekil 3.21. Stil yüzeyi işlenmiş jant [1]

Talaşlı imalat atölyesinde işlenen jantlar birtakım kontrollerden geçirilmektedir. Bu kontrollerden en önemlisi sızdırmazlık/kaçak testidir. Sızdırmazlık güvenlik karakteristiği olduğu için bu test üretilen tüm jantlara %100 uygulanmaktadır. Bu test sulu ortamda veya gaz ile yapılmaktadır. Sızdırmazlık testinde en yaygın kullanılan gaz helyum gazıdır. Test sırasında belirli bölgelerinden sızdırmazlığı sağlanan jantlar basınçlı gaz ortamına maruz kalmaktadır. Manometrelerden gaz basınç değerleri okunarak kaçak verip vermediği kontrol edilmektedir [42].

Sızdırmazlık testinden onay alan jantlara %100 balans kontrolü yapılmaktadır. Kalite kontrol planlarında, ürüne göre belirlenen ağırlıklar jantlara takılmakta ve jantlar balans kontrol ünitesinde döndürülmektedir. Dönme hareketi sırasında jantın salgı durumu kontrol edilmektedir. Kalite kontrol planlarında belirlenen aralıkta kaçıklık değerine sahip olan jantlar boyahane atölyesine gönderilmeden önce tesviye edilmektedir [35].

Tesviye işlemi boya işleminden önce yapılan son kontrolleri içermektedir. Döküm veya talaşlı imalattan gelip sonraki prosesleri olumsuz etkileyecek olan kusurların kontrolü gerçekleştirilmektedir. Bir önceki üretim proseslerinden gelebilecek çapaklara, yüzeyde oluşabilecek kusurlara ve keskin köşelere final işlemi uygulanarak jantlar boyahaneye gönderilmektedir [1, 42].

3.4.8. Alüminyum alaşımlı jantların boya süreci

Alüminyum alaşımlı otomobil jantlarının boya prosesi jant yüzeyini hazırlama, astar olarak kullanılan toz boyama, istenen rengin verildiği yaş boyama ve vernik işlemi olmak üzere dört temel adımdan oluşmaktadır. Alüminyum alaşımlı jantların boya işlemi görsel açıdan müşteri memnuniyetini sağlarken aynı zamanda jantı korozif etkilerden koruyarak ömür kazancı sağlamaktadır [35, 42].

Boyanacak yüzeylerin hazırlanma aşaması boyahanenin en önemli proseslerinden bir tanesidir. Yüzey hazırlama işlemi boya prosesinin başarısı ile doğrudan ilişkilidir. Önceki üretim aşamalarından gelen, jantın yüzeyinde bulunan ve boya prosesini olumsuz etkileyen her türlü artık bileşenin jant yüzeyini terk etmesi sağlanmaktadır. Döküm ve talaşlı imalat atölyelerinde jant yüzeyinde kalan istenmeyen bileşenler, sıcak bir tünel içinde su ve çeşitli kimyasallar ile yıkanıp kurutulduktan sonra jantlar askılar ile toz boya prosesine gönderilmektedir. Toz boyama işlemi jant yüzeyinde bir astar tabaka oluşturmaktadır. Yaş boyama öncesi jant yüzeyinin pürüzlülüğünü azaltan kuru boyama işlemi jantın korozif etkilerden korunmasını sağlamaktadır. Tamamen otomasyona bağlı robotik sistemlerle gerçekleştirilen toz boya aşamasından sonra jantlar toz boyanın kürlenmesi için boya fırınına koyulmaktadır. Kürlenme işlemi tamamlandıktan sonra yaş boya aşamasına geçmek için jantlar soğutulmaktadır. Sıvı/yaş boyama adımı toz boyama ile benzerlikler göstermektedir. Otomatik tabancaların yüksek katman hassasiyeti ile sıvı boyama işlemi gerçekleştirildikten sonra yaş boya içinde bulunan çözücü bileşenlerin uçması sağlanmaktadır. Son olarak tabancalar ile vernikleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Boya işlemi tamamlanan jantlar toz boya prosesinden sonra olduğu gibi yaş boyanın kürlenmesi için fırınlarda bekletilir. Kürlenme işlemi tamamlandıktan sonra soğutulularak final kontrol hatlarına sevk edilmektedir [35, 42].

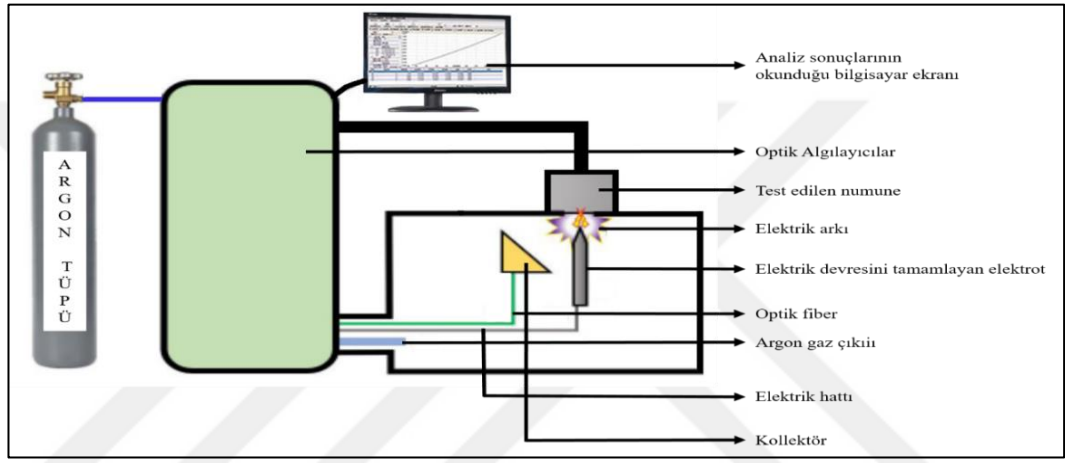
3.4.9. Alçak basınçlı döküm yöntemi ile üretilen jantlara uygulanan testler

Alüminyum alaşımlı otomobil jantları müşteride albeni yaratan görsel parçalar olmasının yanında otomobil üzerinde çalışma sırasında otomobil ağırlıkları ve yol koşullarından kaynaklı statik ve dinamik olarak çeşitli gerilmelere maruz kalmaktadır. Bu nedenle alüminyum alaşımlı otomobil jantları estetik anlamda kullanıcıyı memnun ederken, çalışma koşulları sırasında üzerinde oluşan gerilimleri karşılayabilecek dayanıma sahip olması gerekmektedir [36, 42, 49].

Bu bağlamda jantların üretim süreçleri bittikten sonra müşteri standartları ve ulusal kabul görmüş standartlar çerçevesinde birtakım testlere tabi tutulmaktadır. Hangi üretim yöntemi ile üretilirse üretilsin jantların üzerine oluşan kuvvetler aynıdır. Jantlar, araç hareket ederken aracın seyrini, sürücü ve yolcuların can güvenliğini etkileyen temel bileşenlerden biri olduğu için kalite standartlarına ve şartnamelere bağlı kalarak çeşitli testlerden geçmek zorundadır [36, 42, 49].

Nihai ürünün standart alaşım spektrumlarına uyum sağladığını kontrol etmek amacıyla optik emisyon spektrometresi ile alaşım elementlerinin yapı içindeki oranları tespit edilmekte ve standartlara uyum sağladığı doğrulanmaktadır. Optik emisyon spektrometrelerinde uyarma iki elektrot arasında elektrik boşalımı (ark) ile sağlanır. Elektrotlar metal veya grafitten oluşur. Test edilen numune metal ise elektrotlardan biri yerine kullanılır. İletken olmayan numuneler test öncesinde grafit tozu ile taşlanır ve çanak şeklindeki alt elektrota yerleştirilir. Ark prosesi buharlaştırma sırasında numunenin bir kısmını tüketir ve numune üzerinde koyu renkte pürüzlü bir nokta oluşturur. Bu nedenle optik emisyon spektrometresi (OES) ile kimyasal bileşim kontrol etme yöntemi “yakma” olarak da tanımlanmaktadır. Kontroller müşterinin talep ettiği standart şartnameler doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. Alaşım içinde bulunan elementler elektrik arkına maruz bırakıldığı zaman farklı karakteristiklerde/dalga boylarında ışımaya yapmaktadır. Bu ışımalar yüksek sıcaklıkta bulunan atomlarda dış yörüngede bulunan elektronların, yüksek bir enerji seviyesine çıkması ve sonra kendi enerji seviyesine dönerken belli dalga boyundaki kendine özgü ışımayı yapması sonucu meydana gelmektedir. Bu ışımalar neticesinde optik emisyon spektrometresi ile alaşımın kimyasal kompozisyonu tespit edilmektedir [35, 50].

Şekil 3.22.'de optik emisyon spektrometresinin şematik görüntüsü gösterilmiştir. Alaşımda bulunan tüm elementler tespit edilene kadar elektrik akımı oluşturulmaktadır. Optik emisyon spektrometresi ile küçük atom numaralı elementler tespit edilmektedir. Atom numarası yüksek olan elementlerin analiz edilebilme hassasiyeti düşüktür. Elektrot ucu metal fırçalarla her ölçüm sonrası temizlenerek elektrik akımı verimli hale getirilmektedir. Oluşturulan elektrik arkının kararlı olması, ışıklardan oluşturulan plazmanın havadan etkilenmemesi için ortama argon gazı verilmektedir [50].



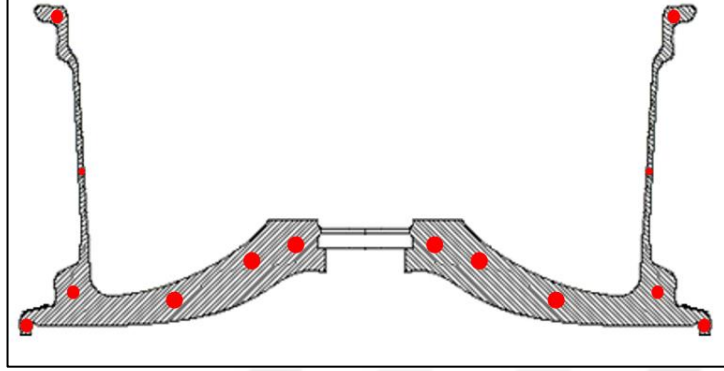
Şekil 3.22. Optik emisyon spektrometresinin şematik gösterimi [50]

Alüminyum alaşımlı otomobil jantlarının sertlikleri Brinell sertlik ölçüm metodu ile tespit edilmektedir. Sertlik ölçüm yöntemlerinin tümünün çalışma mantığı birbirine benzer olup, malzeme özelliklerine göre seçim yapılmaktadır. Alüminyum alaşımlı otomobil jantlarında tercih edilen Brinell sertlik ölçme yönteminde malzeme üzerine standartlarda belirtilen yük miktarı ve yüklenme süresi, yüksek sertlikteki küresel bilye ile uygulanarak malzeme yüzeyinde iz oluşturulmaktadır. Oluşturulan dairesel izin çapı, uygulanan kuvvet ve bilye çapından yola çıkarak 3.1. nolu formüle göre malzemenin sertliği belirlenmektedir. Günümüzde kullanılan sertlik ölçüm cihazları ölçümlerini dijital ortamda hesaplamakta olup, otomatik olarak kullanıcı ekranlarına yansıtmaktadır. Brinell sertlik ölçüm yöntemi ASTM E10 ve ISO 6506 standartlarında detaylı bir şekilde tanımlanmış olup bu standartlara uygun şekilde sertlik ölçümleri gerçekleştirilmektedir [35, 42].

$$HB = \frac{2xF}{\pi D x (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

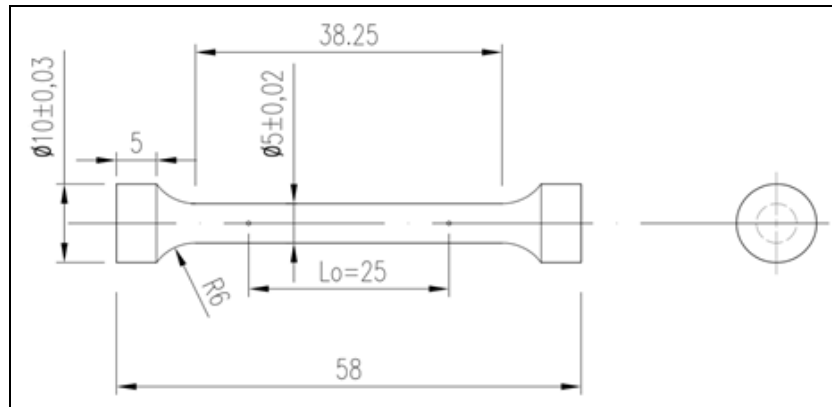
3.1.

Alüminyum alaşımlı jantların sertlik testleri müşteri kalite şartnamelerinde istenen kriterlere bağlı kalmak şartı ile Şekil 3.23.'de belirtildiği gibi jant kesiti boyunca yapılmaktadır [42].



Şekil 3.23. Jant üzerinde sertlik ölçüm bölgelerinin gösterimi [42]

Alüminyum alaşımlı otomobil jantlarının mekanik özellikleri için otomotiv ana sanayi firmaları tarafından limit aralıkları belirlenmiştir. Jant üreticileri döküm yöntemi ile üretilen jantların mekanik özelliklerini çekme testi ile kontrol ederek müşteri şartnamelerinde bulunan değer aralığında olduğunu kontrol etmektedir. DIN 50125 standartına göre alüminyum alaşımlı döküm jantlarından Şekil 3.24.'de gösterildiği gibi çekme testi numuneleri hazırlanmaktadır. Döküm yöntemi ile üretilen jantların çekme numunesi alınan referans bölgelerini müşteriler belirlemektedir. Çekme testinde elde edilen akma gerilmesi, çekme gerilmesi ve kopma uzaması gibi mekanik özellikler malzemeye ait, dayanımı temsil edebilecek temel verileri oluşturmaktadır ve müşteri şartnamelerine uyum sağlamak zorundadır [42].



Şekil 3.24. Standartlarda yer alan çekme numunesinin teknik resmi [35]

Döküm yöntemi ile üretilen otomobil jantlarının mikroyapılarını incelemek amacı ile metalografik tekniklerle numuneler hazırlanmaktadır. Zımparalama, parlatma ve dağlama işlemlerinden sonra numuneler ışık mikroskobu altında metalurjik unsurlar göz önünde bulundurularak incelenmekte ve müşterilerin belirlediği standart mikroyapı görüntüleri ile karşılaştırılmaktadır. Müşteriden müşteriye farklılıklar gösterse de jant üzerinde metalurjik inceleme yapılan bölgeler genellikle lastik yüzeyleri, göbek, bijon, feder, iç ve dış flanş kısımlarıdır. Döküm prosesi sırasında uygulanan tane inceltme ve modifikasyon işlemlerinin etkinliği kontrol edilmektedir. Olumsuzlukların belirlenmesi halinde üretim süreçlerine müdahale etme durumu söz konusu olmaktadır [1, 35, 42].

Otomobil jantları nemli, kirli havalarda, tuzlu suda, alkalın asidik, bazik birçok koroziif ortamda çalışmaktadır. Korozyonun gerçekleşmesi için mutlaka anodik ve katodik davranan malzemeler ve elektrik iletiminin olduğu iletken bir çözelti gerekmektedir. Tüm korozyon gerekliliklerinin bulunduğu koroziif ortamlarda çeşitli kimyasal reaksiyonlar gerçekleşerek, jantlar zaman içinde kullanılmaz hale gelmektedir. Bu nedenle korozyona karşı olan dayanıklılık üretici firmalar tarafından belirlenmektedir. Üretici firmalar tarafından belirli standartlara bağlı kalarak jantların korozyona karşı dayanımları belirlenirken çevrimsel korozyon testi (DIN 50018), tuz püskürtme testi (ASTM B117, ISO 3227) ve nem testi (ASTM D2247, ISO6270-2) tercih edilmektedir. Genelde jantlara ASTM B117, ISO 3227 standartlarına ve müşteri isteklerine bağlı kalarak tuz püskürtme testi yapılmaktadır. Korozyon dayanımını belirlemek için yapılan tuz püskürtme testi jantların yüksek nemli ve belirli bir sıcaklıktaki ortam koşullarında sürekli olarak koroziif tuz püskürtülmesi esasına dayanmaktadır. Müşteri isteklerine bağlı kalmak şartı ile otomotiv sektöründe korozyon test süreleri 1-10 gün aralığında sürebilmektedir. Üretimi tamamlanan alüminyum alaşımlı jantlara gerçek çalışma koşullarını temsil etmek amacıyla sert cisimler ile çizik vb. hasarlar verilmektedir. Korozyon deneyi sırasında test numunesi ve temas ettiği tüm bileşenler tuz püskürtme deney düzeneğine yerleştirilmektedir. Test sırasında gözle görülebilir belirgin korozyon belirtileri olmamasına dikkat edilmektedir. Test sonunda müşteri spesifikasyonlarında belirtilen bölgelerde jantın fonksiyonlarını yerine getirmesine engel olacak herhangi bir korozyon belirtisi olmaması istenmektedir [36].

Otomobiller seyir halinde iken yolcu ve araç güvenliğinden taviz vermeden oluşabilecek yanıl yüklerle karşı alüminyum alaşımlı jantların dayanımını belirleyebilmek amacı ile ISO 7141 standartlarına bağı kalacak şekilde darbe testi yapılmaktadır [49].

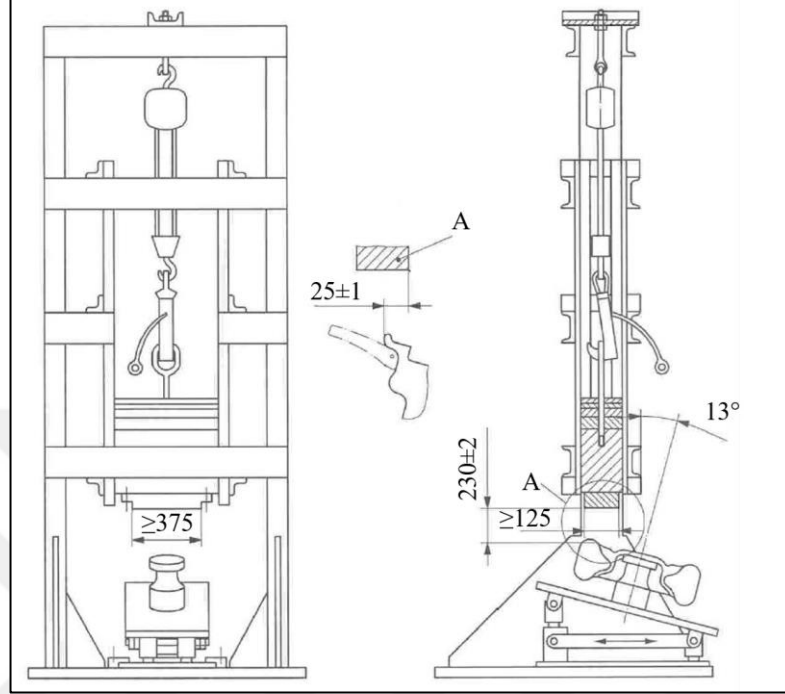


Şekil 3.25. 13° Darbe test düzeneğinin görseli [51]

Darbe testi, lastikli jant üzerinde yapılmaktadır. Bu nedenle teste girecek alüminyum alaşımlı otomobil jantına uygun bir lastik seçimi yapılmaktadır. Janta takılan lastik standartlarda ve müşteri spesifikasyonlarında belirlenen hava basıncı ile şişirilmektedir. Lastik ve jant uyumu sağlandıktan sonra jant poyraya bağlanır gibi tezgâha bijonlarla belirlenen tork değeri ile bağlanmaktadır. Darbe testi, Şekil 3.26.'da gösterildiği gibi belirli bir yükün serbest düşme yaparak jant flanşına çarpması esasına dayanmaktadır. Serbest düşmenin başlayacağı yükseklik standartlara ve müşteri şartnamelerine bağı olarak değişmektedir. Çekiç ağırlığı ise 3.2 nolu formüle göre hesaplanmaktadır [49].

$$D=0.6xW + 180kg \quad (3.2)$$

Formülde D, kg cinsinden düşen cismin ağırlığını W, üretici firma tarafından belirlenen jantın statik kuvvetini yani taşıdığı yükü ifade etmektedir [35].



Şekil 3.26. Darbe testi sisteminin çizimi [49]

Darbe testinin başarılı olarak kabul görmesi için jantın göbek ve feder bölgesinde sıvı penetrant testi sonucunda gözle görülen herhangi bir kırılma ve çatlamanın olmamasına, flanş, feder bölgesi ve lastik yüzeyi bölgesinde hasar oluşmamasına, lastik hava basıncının belirli bir süre içinde azalmamasına dikkat edilmektedir. Test sırasında kullanılan jant otomobillerde kullanıma uygun değildir, test ürünü olarak ayrılmaktadır. Darbe gören yüzeyde oluşabilecek hasarlanmalar darbe izi olarak kabul edilebilmektedir [36].

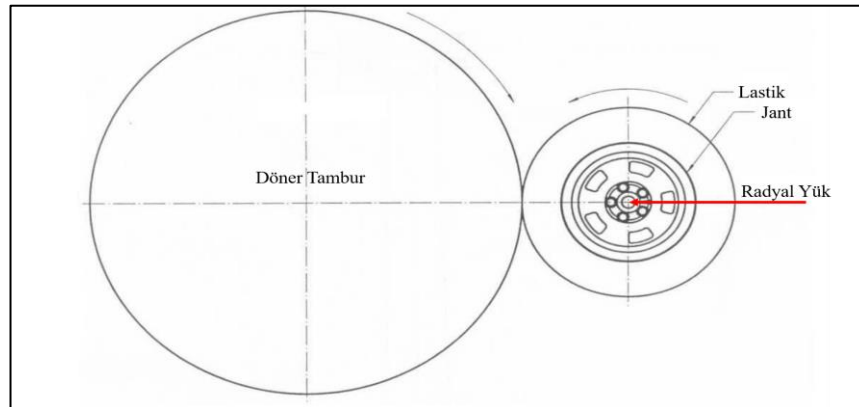
Alüminyum alaşımlı otomobil jantları kullanım ömürleri boyunca çeşitli yüklerle maruz kalarak çalışmaktadır. Jantlar üzerinde tekrarlı olarak oluşan gerilme ve titreşimler belirli bir tekrar sonrasında hasarlanma ile malzemenin kullanılmaz hale gelmesine sebep olmaktadır. Bu olay malzeme biliminde yorulma olarak tanımlanmaktadır. Yorulma hasarları, elastik sınırlar dahilinde oluşan tekrarlı gerilmeler sonucunda oluşmaktadır. Yorulma ile ortaya çıkan hasarlanmalar çatlak çekirdeklenmesi, tekrarlı yükler altında mikro çatlakların makro boyuta gelmesi ve kırılmanın meydana gelmesi şeklinde üç aşamadan oluşmaktadır. Kullanım ömrü

boyunca alüminyum alaşımlı otomobil jantlarının yorulma karakteristiklerini belirlemek amacı çeşitli yorulma testleri yapılmaktadır [52].

Uluslararası standartlarla tanımlanmış, alüminyum alaşımlı jantların kullanım ömrü boyunca tekrarlı olarak maruz kaldıkları radyal gerilmelerden kaynaklı oluşacak yorulmanın belirlenmesi için dinamik radyal yorulma testi yapılmaktadır. Dinamik radyal yorulma testi yapılacak alüminyum alaşımlı otomobil jantına uygun bir lastik seçimi yapılmaktadır. Janta takılan lastik standartlarda ve müşteri spesifikasyonlarında belirlenen hava basıncı ile şişirilmektedir. Tambur üzerinde yuvarlanarak janta, düz sürüş sırasında oluşan gerilmeler oluşturulmaktadır. Radyal yorulma testi sırasında janta uygulanacak radyal gerilme 3.3. nolu formüle göre hesaplanmaktadır. Hesaplanan radyal kuvvet miktarı kadar jant merkezinden döner tambura kuvvet uygulanmaktadır. Hasar oluşuncaya kadar veya müşteri spesifikasyonlarında belirlenen kriterler doğrultusunda çevrim devam eder. Hasarlanmanın başlangıcında belirlenen çevrim sayısı radyal kuvvetlere karşı jantın yorulma dayanımını ifade etmektedir [36, 49, 52].

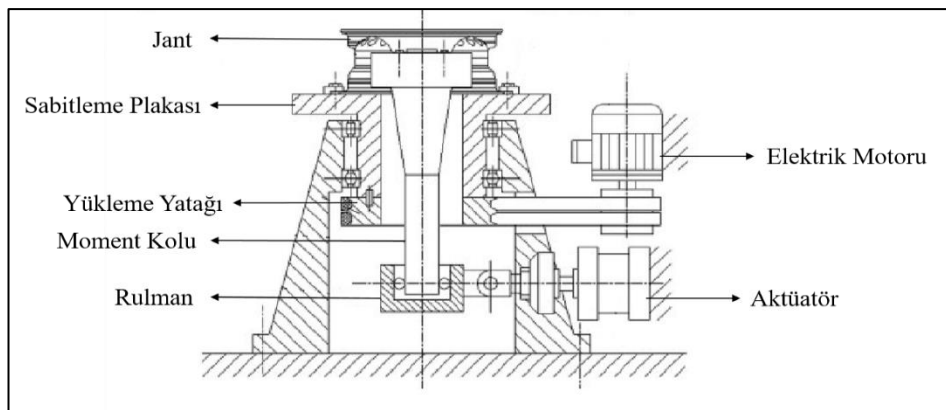
$$F_r = F_v \times k \quad (3.3)$$

Formülde F_r , radyal kuvveti F_v , jantın azami yük kapasitesini k , güvenlik faktörünü ifade etmektedir. Deney hızı, hız indeksine göre azami hız olarak seçilir ve alüminyum alaşımları için güvenlik faktörü 2-2,5 aralığında alınmaktadır. Deney sırasında lastik basınçlarında yükselme görülmektedir. Bu yükselme normal olarak kabul edilmektedir ve tekrar ayarlanmamaktadır. Şekil 3.27.'de dinamik radyal test düzeneğinin şematik çizimi gösterilmiştir [36, 52].



Şekil 3.27. Dinamik radyal yorulma testinin şematik gösterimi [36]

Dinamik radyal yorulma testi sonucunda janta sıvı penetrant uygulanarak çatlak kontrolü yapılmaktadır. Jantın test düzeneğine bağlanması sırasında bijonlara uygulanan tork değerlerinde kayıp olmaması kontrol edilmektedir. Son olarak darbe testinde olduğu gibi lastik hava basıncı test boyunca düşmemelidir. Bu kriterler radyal yorulma testin başarısını belirlemektedir. Belirtilen kriterlerin sağlamaması durumunun olduğu çevrim sayısı veya test süresi jantın radyal yorulma testi sonucunda yorulma dayanımı belirlemektedir [35, 36, 52]. Alüminyum alaşımlı jantların kullanım ömrü boyunca tekrarlı olarak maruz kaldıkları radyal gerilmelerden kaynaklı oluşacak yorulmanın belirlenmesi için uluslararası kabul görmüş testlerden birisi de dinamik viraj yorulma testidir. Aynı zamanda ömür testi olarak adlandırılmaktadır. Otomobillerin aks sistemi viraj dönerken olması gereken konumdan açısız olarak bir miktar yer değiştirmektedir. Oluşan bu yer değiştirme jant üzerinde eğilme momenti oluşturmaktadır. Dinamik viraj yorulma testi otomobillerin viraj seyirleri sırasında, jant üzerinde oluşan gerilmelere karşı yorulma dayanımı belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Diğer testlerden farklı olarak bu test lastiksiz jantlara uygulanmaktadır. Jantlar, Şekil 3.28.'de görülen dinamik viraj yorulma test düzeneğine göbek bölgesinden bijonlarla, iç flanş bölgesinden bağlantı elemanlarıyla müşteri şartnamelerinde belirtilen tork değerlerinde sıkılarak sabitlenmektedir. Bijon cıvatalarından janta iletilen kuvvetin değişkenlik göstermemesi için bijon cıvataları sıkılırken uygulanan tork değerinin test boyunca değişmemesine dikkat edilmektedir. Test düzeneğinde bulunan motor, kayışlar yardımı ile yükleme yatağına hareket vermektedir. Sabit dönme hızı müşteri şartnamelerine ve kalite standartlarına bağlı olarak belirlenmektedir. Bu dönme hareketi sırasında moment kolu yardımı ile janta eğilme kuvveti uygulanmaktadır [49, 53].



Şekil 3.28. Dinamik viraj yorulma test düzeneğinin şematik gösterimi [53]

Dinamik viraj yorulma testi sırasında janta uygulanacak gerilme 3.4 nolu formüle göre hesaplanmaktadır [36, 53].

$$M_{b \text{ maks}} = S \cdot F_v \cdot (\mu \cdot r_{\text{dyn}} + d) \quad (3.4)$$

$M_{b \text{ maks}}$: Jant üzerine etkiyen eğilme momenti

F_v : Maksimum statik taker yük

D : Offset mesafesi

r_{dyn} : Dinamik radyus

μ : Lastik ile yol arasındaki sürtünme katsayısı (0,7)

Dinamik viraj yorulma testi sonucunda janta sıvı penetrant uygulanarak çatlak kontrolü yapılmaktadır. Jantın test düzeneğine bağlanması sırasında bijonlara uygulanan tork değerlerinde kayıp olmaması (max. %30) kontrol edilmektedir. Test sırasında müşteri şartnamelerinde ve kalite standartlarında belirtilen eğilme momentine karşılık sorunsuz bir şekilde istenen çevrimin tamamlanması gerekmektedir. Bu kriterler dinamik viraj yorulma testinin başarısını belirlemektedir. Buradan yola çıkarak jantların ömürleri belirlenmektedir [36].

4. MALZEME VE YÖNTEM İLE BULGULAR

Çalışmanın bu bölümünde yüksek basınçlı döküm yöntemi ile alüminyum alaşımlı otomobil jant üretimi için yapılmış olan çalışmalar detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Jant modellerinin ve yüksek basınçlı döküm yöntemine uygun bileşenlerin tasarlanması için Siemens NX, GOM Inspect yazılımları kullanılmıştır. Mühendislik hesaplamalarının sonucunda tasarlanan modellerin doğrulanması amacı ile MagmaSoft 5.4 döküm simülasyon programı kullanılmıştır. Jant modellerinin belirlenmesi, literatür ve tecrübelerle ilgili olarak enjeksiyon mühendislik hesaplamalarının yapılması, uygun yolluk, hava cebi, soğutma kanallarının tasarlanması çalışmalarının doğrulanması için çeşitli simülasyon çalışmaları yürütülmüş ve simülasyonlarda elde edilen sonuçlar detaylıca analiz edilmiştir.

Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile otomobil jant üretiminde optimum kalıp tasarımının yapılabilmesine ve optimum üretim şartlarının belirlenmesine sanal ortamda yardımcı olan MagmaSoft simülasyon programı, başarılı kalıp ve üretim şartlarının belirlenmesinde, deneme yanılma yöntemleriyle ortaya çıkan maliyet artışlarının önüne geçerek üreticilere kolaylık sağlamaktadır. Enjeksiyon kalıplarının üretimine başlamadan yolluk, hava cebi, soğutma kanalları vb. tüm döküm bileşenlerinin nihai parça üzerindeki etkilerini direkt ortaya koyan bu simülasyon programı, üretim sırasında ki kalıp hazırlık aşaması, sıvı metalin kalıp içine dolumu ve katılma süreçleri ile ilgili kullanıcılara detaylı analiz yapma fırsatı sunmaktadır.

Simülasyon sonuçlarının kullanıcıyı doğru yönlendirebilmesi için en önemli faktör parça için simülasyon kurulumunu doğru ve eksiksiz bir şekilde tamamlamaktır. MagmaSoft simülasyon programının kum kalıba döküm, sürekli döküm, alçak basınçlı döküm, yüksek basınçlı döküm, hassas döküm vb. birçok döküm yöntemine ait modülleri bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında soğuk kamaralı yüksek basınçlı döküm modülü üzerinde çalışmalar yürütülmüştür.

Simülasyon kurulumunun ilk aşaması tasarlanan katı modellerin simülasyon yazılımına aktarımı ve tüm döküm bileşenlerinin tanımlanmasıdır. Tüm bu işlemler simülasyon programının geometri arayüzünde gerçekleştirilmektedir. Geometri

arayüzünde kalıp yarımları, maçalar, hazne, piston, topuk, yolluk, gate, jant modeli, hava cepleri ve diğer döküm bileşenleri sisteme tanıtılmaktadır. Simülasyon programı, katı model üzerinde simülasyon çalışmalarını yürütebilmek için sonlu elemanlar yöntemi ile çözümlene yapmaktadır. Bunun için geometri arayüzünde gerekli tanımlamalar yapıldıktan sonra mesh arayüzüne geçilmektedir.

Mesh arayüzü, simülasyonu yapılacak olan jantın ve diğer tüm döküm bileşenlerinin ölçüsel doğruluk esas alınarak küçük hücrelere bölündüğü arayüzdür. Girilen x, y, z değerleri doğrultusunda oluşturulan meshlerin (küçük hücrelerin) parçanın gerçek boyutlarını temsil ediyor olması mesh arayüzünde dikkat edilmesi gereken en önemli etkenlerden biri olarak bilinmektedir. Mesh arayüzünde ölçüsel uygunluğa ilave olarak birtakım mesh kalite unsurları bulunmaktadır. Örülen mesh ağında sıvı metalin geçişine engel olacak bölgelerin oluşması, katı modelin bir noktada hava ile temas ediyor olması, kübik veya prizmatik hücrelerin tek bir kenardan birbirlerine temas ediyor olması gibi birtakım problemler ortaya çıkabilmektedir. Mesh ağının, mesh kalite kriterlerine uyum sağlaması gerekmektedir. Aksi takdirde simülasyon sonuçları gerçekten, doğruluktan uzaklaşmaktadır.

Geometri arayüzünde tüm bileşenlerin sisteme tanımlanması ve mesh arayüzünde mesh ağının oluşturulmasının ardından tüm bileşenlerin malzeme özelliklerinin tanımlandığı, simülasyon çalışmasında ki üretim parametrelerinin ve simülasyondan alınması istenen sonuçların belirlendiği tanımlama arayüzüne geçilmektedir. Tanımlama arayüzü sırasıyla geometri arayüzünde tanımlanan tüm bileşenlerin malzemelerinin ve ısı transfer katsayılarının belirlendiği, üretimin kaç çevrim gerçekleştirileceğinin, döküm kalıbının döküm öncesinde ki hazırlık aşamalarının, dolumun ve katılma aşamalarının parametlerinin detayları ile tanımlandığı, tüm bu girdilere karşılık hangi simülasyon sonuçlarının alınacağı belirlendiği arayüzdür.

Yukarıda genel hatlarıyla tanımlanan simülasyon programında gerçekleştirilmiş olan tüm çalışmalar ve yüksek basınçlı döküm yöntemi için yapılmış tüm enjeksiyon mühendislik hesaplamaları alt başlıklar halinde detaylıca açıklanmıştır.

4.1. Farklı Jant Modellerinin Yüksek Basınçlı Döküm Yöntemi İle Üretiminin Araştırılması

Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile alüminyum alaşımlı jant üretimini analiz etmek için ilk olarak aynı yolluk tasarımı kullanılarak Şekil 4.1.'de gösterilen farklı jant modelleri üzerinde simülasyon çalışmaları yürütüldü. Yüksek basınçlı döküm yönteminde, farklı jant modellerinde sıvı metal dolun karakteristiği tespit edilmeye çalışıldı.



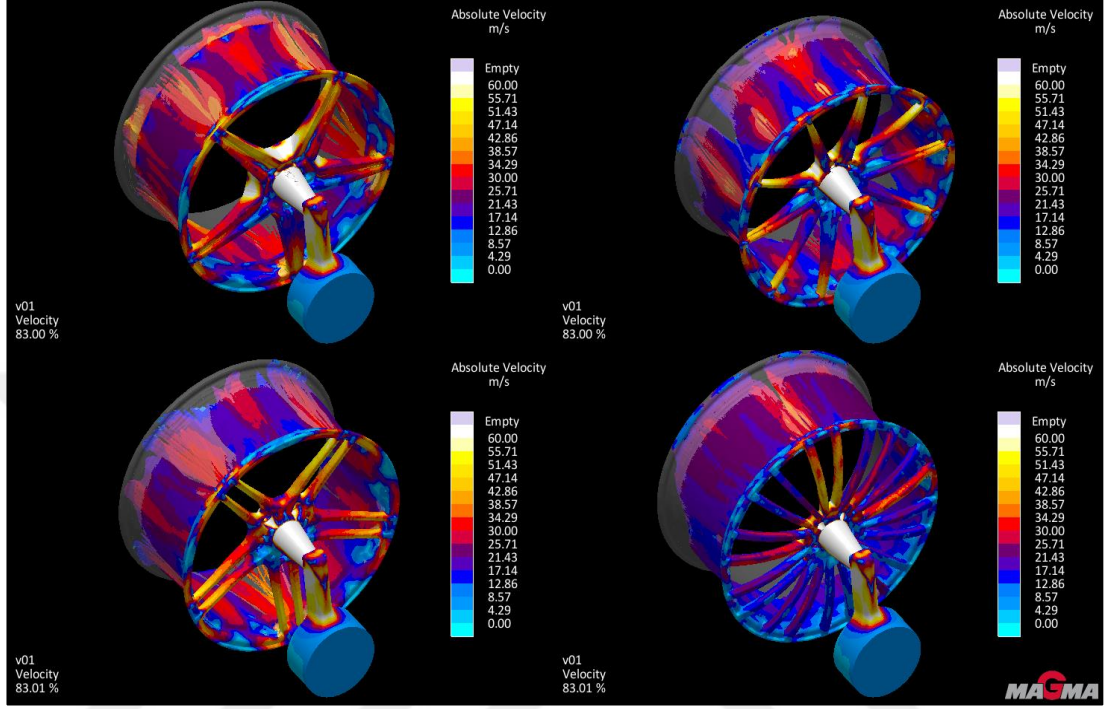
Şekil 4.1. Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile otomobil jant üretiminde çalışılan farklı jant modelleri

Farklı jant modellerinin yüksek basınçlı döküm yöntemi ile üretilebilirliği çalışmalarında ve diğer tüm simülasyon çalışmalarında döküm malzemesi olarak, yüksek basınçlı dökümde en çok tercih edilen alaşımlardan AlSi9Cu3(Fe) alaşımı seçilmiştir.

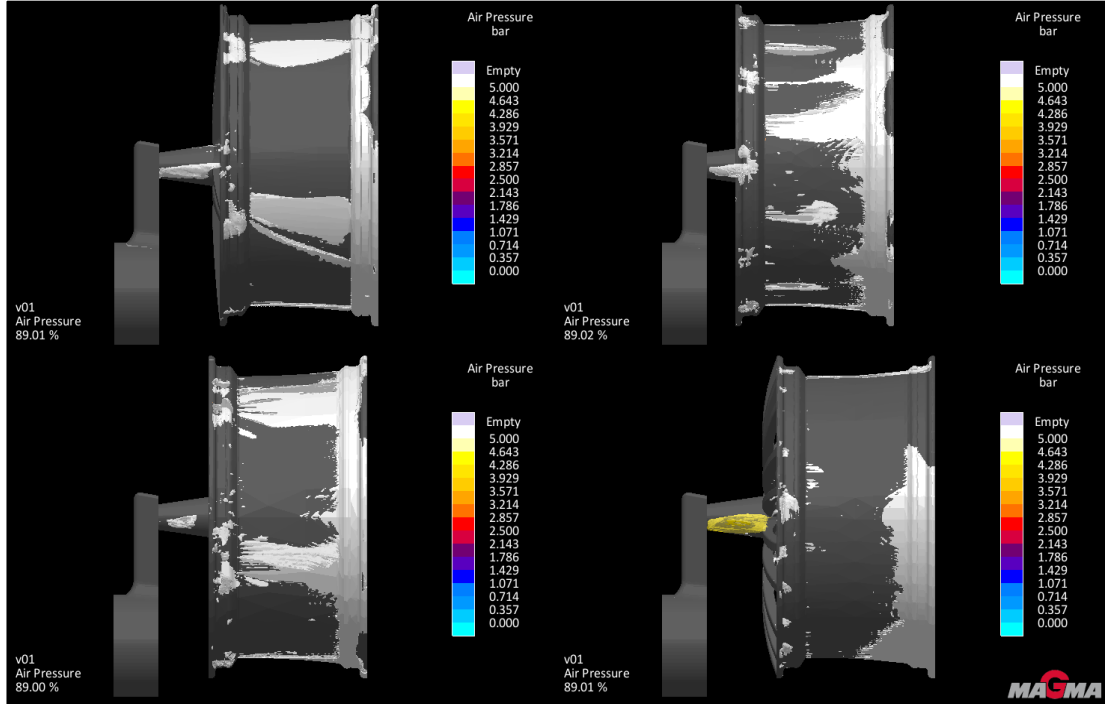
Simülasyon sonuçlarında ilk olarak hız sonuçları incelendi. Dört farklı jant modeli için hız sonuçlarında skala 0-60 m/s aralığına ayarlanmış ve dolunun %83 tamamlandığı andan görüntüler alınmıştır.

4 farklı jant modelinin dolun hız sonuçları incelendiği zaman Şekil 4.2.'de görüldüğü gibi stil yüzeyinde en fazla feder (kol) bulunan jant modelinde sıvı metal dolununun

diğer modellere kıyasla homojen bir şekilde gerçekteştiği gözlemlenmiştir. Jant genelinde sıvı metal hızının dengeli ilerlediği ve yüksek basınçlı döküm yöntemine uygun hızların elde edildiği tespit edilmiştir.



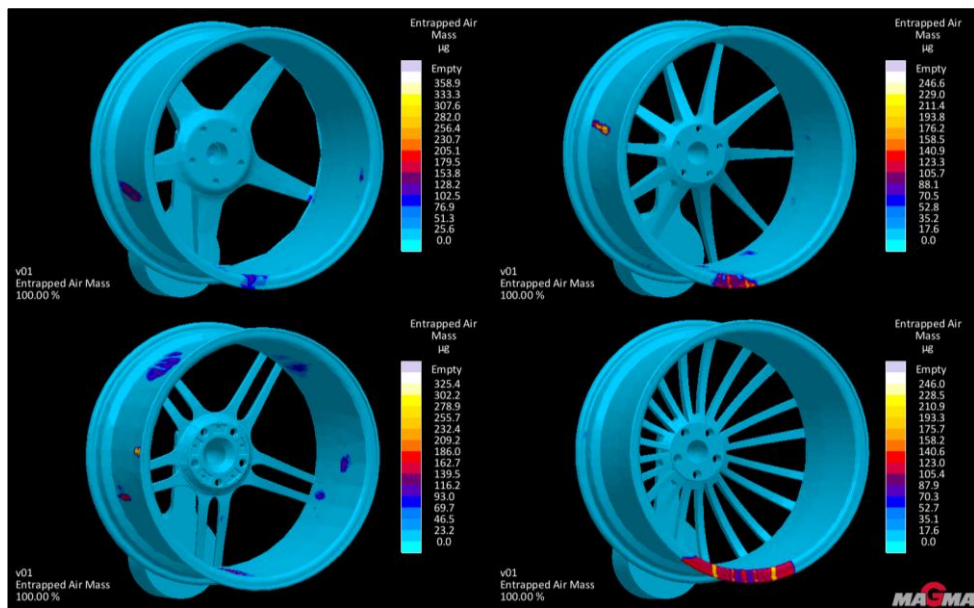
Şekil 4.2. Farklı jant modellerinden alınan dolum hız sonuçları



Şekil 4.3. Farklı jant modellerinde kalıp içi hava sıkışma sonuçları

Şekil 4.3.'de kalıp içinde sıkışan havanın yoğunlaştığı bölgeler incelendiği zaman hız sonuçlarını doğrulayan sonuçlara rastlanmıştır. En fazla feder sayısına sahip olan jant modelinde sıvı metal dolumu homojen bir şekilde gerçekleştiği için kalıp içinde sıkışan havanın kalıp dolumunun son noktasında olduğu gözlemlenmiştir. Farklı jant modelleri üzerinde yapılan simülasyon çalışmalarında hava cebi ve soğutma kanallarının tasarımı gerçekleştirilmeden dolum karakteristiği üzerine odaklanılmıştır. Bu nedenle kalıp içinde sıkışan havanın yüksek miktarda olması göz ardı edildi. Hedeflenen karakteristik sıkışan havanın kalıp boşluğunun son bölgesinde olması ve dağınık olmamasıdır. Bu hedef doğrultusunda feder (kol) sayısının en fazla olduğu jant modelinin en verimli model olduğuna karar verilmiştir. Sıvı metalin dolumda kalıp içi hızları ve kalıp içi hava sıkışma sonuçlarına ilave olarak sıvı metalin içinde kalan havanın kütle cinsinden sonuçları gösteren entrapped air mass simülasyon sonuçları incelenmiştir.

Şekil 4.4.'ten anlaşılacağı üzere fazla feder (kol) sayısına sahip olan jant modelinin içinde kalan hava kütesinin dolumun son noktasında bulunduğu ve hava cebi tasarımından sonra bu oluşumun ortadan kalkacağı öngörülmüştür. Diğer jant modellerinde jant geneline yayılmış bir şekilde çözünmüş hava kütlelerine rastlanmıştır. Hava cebi tasarımı bu duruma çözüm olmayacağı için emniyet parçası olan otomobil jantlarında feder sayısı fazla olan jant modelinin yüksek basınçlı döküm yöntemi için en verimli model olduğuna karar verilmiştir.



Şekil 4.4. Farklı jant modellerinde sıvı metal içinde çözünen hava sonuçları

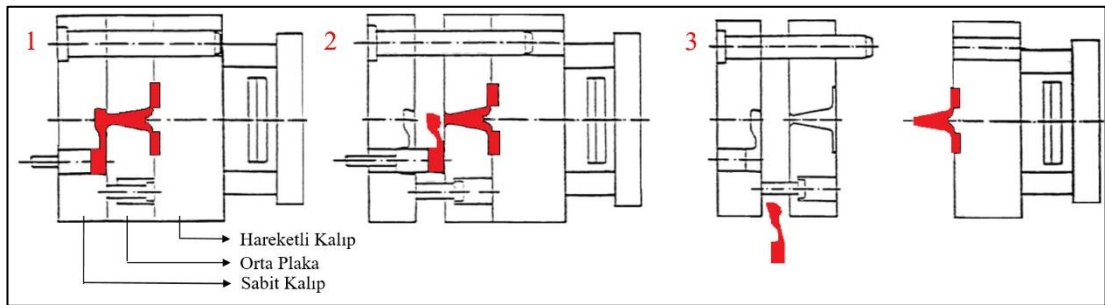
4.2. Yüksek Basıncılı Döküm Yönteminde Jant Üretimi İçin Yolluk Tasarımı

Jantın göbek bölgesinden ve dış flanşının bulunduğu bölgeden tasarlanan iki farklı yolluk tipi ile yapılmış olan simülasyon çalışmalarında jantın göbek bölgesinden giriş yaptığı yolluk tipinin, yüksek basınçlı döküm yönteminde jant üretimi için elverişli olan yolluk tipi olduğu bildirilmiştir [54].

Bu çalışmanın sonuçlarından yola çıkarak yolluk tasarım çalışmalarında yolluk giriş bölgesinin jantın göbek bölgesi olmasına karar verildi ve çalışmalara bu şekilde devam edildi. Jantın göbek bölgesinden yolluk girişi tasarlanırken proses gerekliliklerinden dolayı döküm kalıbının 3 plakalı yapılması zorunlu hale gelmiştir.

Şekil 4.5.'te gösterildiği gibi 3 plakalı kalıplarda hareketli kalıp ile kapanma sırasında temas eden, sabit kalıp yarımına monte edilen bir orta plaka bulunmaktadır. Bu orta plaka hidrolik veya yaylı mekanik sistemler ile sabit plaka üzerinde hareket etmektedir. Orta plaka, havuç (spure) yolluğun çalışmasını ve jant modelinin sabit kalıp tarafında oluşacak figürlerinin oluşmasını sağlamaktadır.

Şekil 4.5.'te 1 numara ile gösterilen şematik, 3 plakalı kalıplarda döküm işleminde dolum ve katılaşmanın tamamlandığı bir anı göstermektedir. Döküm işlemi tamamlandıktan sonra Şekil 4.5.'te 2 numara ile gösterilen şematikte olduğu gibi orta plaka, açılma kursu kadar hareketli kalıp ile birleşik halde hareket ederek havuç yolluğun kopmasını sağlamaktadır. Havuç yolluk ile ana yolluk kısmı birbirlerinden ayrıldıktan sonra topuk kısmından piston ile ileri ittirilen ana yolluk sabit kalıp ile orta plaka arasından çıkartılmaktadır. Orta plakanın kursu tamamlandıktan sonra Şekil 4.5.'te 3 numaralı şematikte gösterildiği gibi hareketli kalıp, tezgâha girilen değer kadar açılmakta ve üretilen jant yüksek basınçlı döküm tezgâhında bulunan kalıptan çıkartılmaktadır [55].



Şekil 4.5. Üç plakalı kalıplarda çalışma mantığının şematik gösterimi [55]

Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile jant üretiminde farklı jant modellerinin dolum karakteristikleri 4.1. nolu başlıkta anlatılan çalışma ile belirlendikten sonra yolluk optimizasyon çalışmalarına başlanmıştır. Yolluk tasarım çalışmalarında ve bundan sonra yürütülecek olan tüm simülasyon çalışmalarında Şekil 4.6.'da gösterilen 16 federli, 15", 4x100 ebatlarında jant modeli kullanılmıştır.



Şekil 4.6. Simülasyon çalışmalarında kullanılan jant modeli

Sıvı metalin tasarlanan yolluklarda ki dolum karakteristiği hız sonuçlarından incelenerek, birbirinden farklı yolluk versiyonları denenmiştir. Yollukta sıvı metalin akışı enjeksiyon mühendislik hesaplamaları ile optimize edilmiştir. Yapılan bu yolluk optimizasyon çalışmaları detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Farklı yolluk tasarımları ile gerçekleştirilen tüm simülasyon çalışmalarında Şekil 4.6.'da gösterilen jant modeli, aynı simülasyon parametreleri kullanıldı ve yollukta sıvı metalin akış karakteristiği optimize edilmeye çalışıldı. Yolluk tasarım çalışmaları kapsamında alınmış olan tüm simülasyon sonuç görüntüleri dolumun %65 tamamlandığı anda alınmıştır ve hız skalası 0-80 m/s olarak ayarlanmıştır.

Şekil 4.7.'de gösterilen yolluk modeli çalışmaya başlanan ilk yolluk modelidir. Bu yolluk tasarımında, yüksek basınçlı döküm tezgâhında bulunan soğuk kamaralı haznede enjeksiyon pistonunun sıvı metali itmeye başlaması ile sıvı metal düz yolluk kanalından geçerek havuç yolluk olarak tanımladığımız yolluğa gelmekte ve jant modelini göbek bölgesinden doldurmaktadır. Simülasyon sonuçları incelendiği zaman havuç bölgesinin genelinde sıvı metalin dolum sırasında akışının yolluk genelinde

homojen olmadığı, üst bölgede sıvı metal hızının 80 m/s ve üzerinde, alt bölgede ise 30 m/s ve altında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.7. İlk versiyon yolluk tasarımı ve simülasyon sonuçları

Sıvı metalin dolum hızlarının havuç yolluk bölgesinin genelinde birbirine eşit ve yüksek basınçlı döküm yöntemine uygun olması amacı ile havuç bölgesine $-Z$ yönünde 7° açı verilmiş ve Şekil 4.8.'de gösterilen yolluk tasarımı yapılmıştır. Şekil 4.8.'de gösterilen simülasyon sonucu yapılan değişikliğin havuç bölgesi genelinde sıvı metal hızlarının birbirine eşitlenmesi için bir çözüm olmadığını göstermiştir.



Şekil 4.8. 2. versiyon yolluk tasarımı ve simülasyon sonuçları

Şekil 4.8.'de gösterilen yolluk tasarımında havuç bölgesinin üst kısmında, sıvı metalin giriş yaptığı bölge daraltılarak sıvı metal hızı havuç yolluk genelinde eşitlenmeye çalışılmıştır. Bu tasarım ile yapılan simülasyon çalışmasının sonuçları Şekil 4.9.'da gösterilmiştir.

Yollukta havuç bölgesinin üst kısmının daraltılması, üst bölgede sıvı metal hızının arttığını, alt bölgede sıvı metal hızının önceki versiyonlara kıyasla azaldığını göstermiştir. Yapılan tasarım değişikliğinin havuç bölgesi genelinde sıvı metal hızlarının birbirine eşitlenmesi için bir çözüm olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.9. 3. versiyon yolluk tasarımı ve simülasyon sonuçları

Sıvı metalin havuç bölgesi genelinde birbirine eşit hızlarda ilerlemesi amacı ile Şekil 4.10.'da gösterildiği gibi havuç yolluğun alt bölgesinin daraltılması ve alt bölgede sıvı metal hızının artırılması hedeflenmiştir. Şekil 4.10.'da yapılan bu değişiklik ile elde edilen simülasyon sonuçları gösterilmiştir. Simülasyon sonuçları incelendiği zaman bu yolluk tasarımı ile havuç yolluk genelinde istenen sıvı metal hızlarının elde edilemeyeceği anlaşılmıştır.



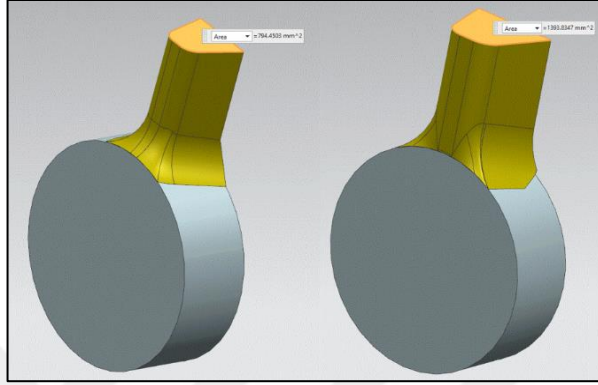
Şekil 4.10. 4. versiyon yolluk tasarımı ve simülasyon sonuçları

Havuç bölgesinden önce gelen düz yolluk kısmında yüksek hızların, havuç yolluğun alt ve üst bölgesinde sıvı metal hızlarının değişkenliğine sebep olacağı düşünülmüş ve düz yolluk kolunun kesit alanı %75 oranında artırılmıştır.



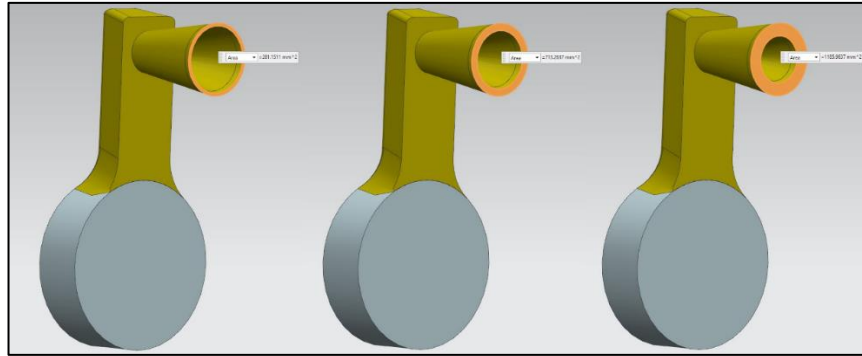
Şekil 4.11. 5. versiyon yolluk tasarımı ve simülasyon sonuçları

Düz yolluğun kesit alanının arttırılması ile elde edilen simülasyon sonuçları şekil 4.11.'de gösterilmiştir. Düz yolluk kolundaki sıvı metal hızının yolluk kolunun kalınlaştırılması ile azaldığı ancak havuç bölgesindeki sıvı metal akışında herhangi bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir. Şekil 4.12.'de düz yolluk kolunda ki kesit artışı gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Kesit alanı arttırılan düz yolluk

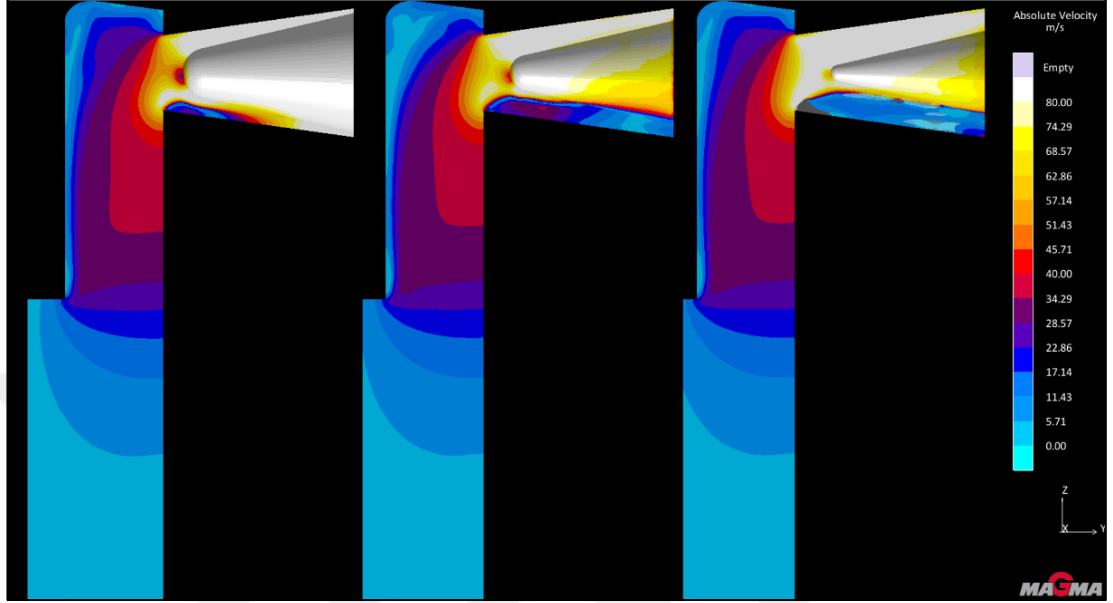
5. versiyonda belirlenen düz yolluk bölgesinin kesit alanı ile birlikte havuç bölgesinde farklı versiyonlar ile simülasyon çalışmalarına devam edildi. 6. versiyon yolluk tasarımında Şekil 4.13.'de gösterildiği gibi 3 farklı giriş kesit alanı ile simülasyon çalışmaları yürütülmüştür.



Şekil 4.13. Farklı yolluk giriş kesit alanlarının görüntüleri

Şekil 4.14.'de gösterilen simülasyon sonuçları yolluk giriş kesit alanının azalması ile sıvı metalin yolluk giriş kesitinde hızının yükseldiğini, yolluk giriş kesit alanının artması ile sıvı metalin yolluk giriş kesitinde hızının azaldığını ortaya koymuştur. En ince yolluk versiyonunda havuç yolluğun alt bölgelerinde de yüksek hızlı sıvı metal gözlemlenmiş ancak bu hız yüksek basınçlı döküm yöntemi için uygun olmamakla birlikte alt bölgede sıvı metal akışının ölü olduğu bölgelerin varlığı gözlemlenmiştir.

Havuç bölgesindeki sıvı metal akışının değişkenliği ile yolluk giriş kesit kalınlıklarının doğrudan bir ilişkisinin olmadığı havuç yolluğun alt bölgelerinde bulunan ölü bölgelerden anlaşılmıştır.



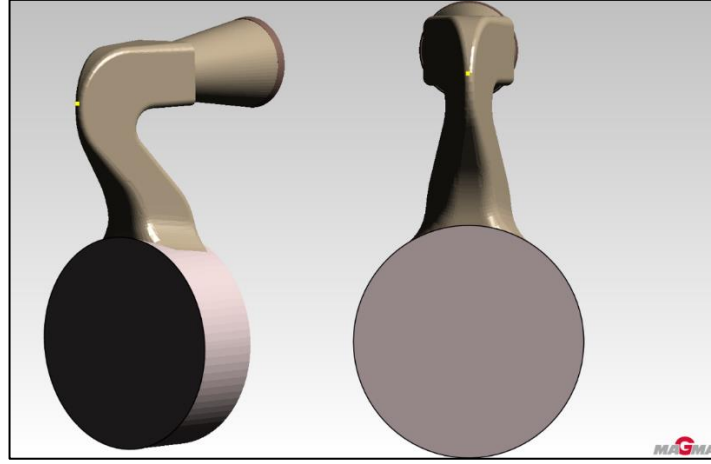
Şekil 4.14. 6. versiyon yolluk tasarımı ve simülasyon sonuçları

Şekil 4.15.'de gösterilen yolluk tasarımında düz yolluk kolunun kısaltılması ile sıvı metalin havuç yolluktaki akışı incelenmiştir. Simülasyon sonuçları incelendiği zaman düz yolluk kolunun kısaltılmasının, havuç yolluğun alt ve üst bölgesindeki hız farklılıklarını ortadan kaldırmadığı görülmüştür.



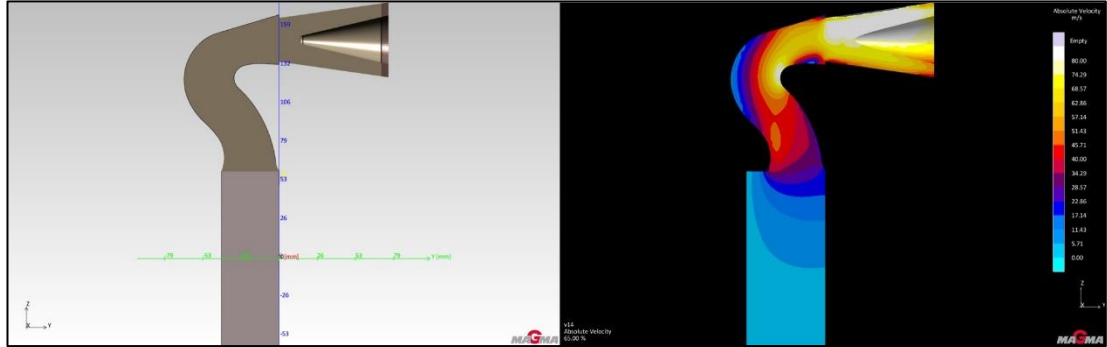
Şekil 4.15. 7. versiyon yolluk tasarımı ve simülasyon sonuçları

Düz yolluk kolu ile gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarında yolluğun havuç bölgesinde meydana gelen hız farklılıklarının önüne geçilemediği için düz yolluk kolunun tasarımından vazgeçilmiştir. Şekil 4.16.'da gösterilen, kuğu yolluk olarak adlandırılan tasarım değişikliğine gidilmiştir.



Şekil 4.16. 8. versiyon (kuğu yolluk) yolluk tasarımı

Kuğu yolluk olarak adlandırılan bu yolluk kolunun ilk tasarımı ile gerçekleştirilen simülasyon çalışmasında (8. versiyon) elde edilen sonuçlar Şekil 4.17.'de gösterilmiştir. Simülasyon sonuçları incelendiğinde kuğu yolluk formunun, havuç bölgesinin alt bölgesine sıvı metali yönlendirdiği ve havuç bölgesi genelinde sıvı metal hızlarının birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Sıvı metal akışının topuk bölgesinden yolluk girişi bölgesine kadar laminar ve homojen olarak sağlandığı görülmüştür.



Şekil 4.17. 8. versiyon kuğu yolluk tasarımı ve simülasyon sonuçları

Yolluk tasarımı adı altında, 4.2. nolu başlıkta anlatılan tüm simülasyon çalışmalarında simülasyon parametreleri aynı olup, değişiklik sadece yolluk modelinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bu şekilde ilerlemesinde ki amaç yolluk geometrisinin yüksek basınçlı döküm yönteminde jant modelini başarılı bir şekilde doldurmasıdır. Bu nedenle şekilsel olarak yolluk formu üzerinde çeşitli varyasyonların simülasyon çalışmaları yürütülmüştür. 8. versiyon sonunda kuğu formunda ki yollukta sıvı metal akışının, yüksek basınçlı döküm yönteminde jant üretimi için başarılı olacağı

düşünülmüş ve kuğu yolluk formu üzerinde enjeksiyon mühendislik hesaplamaları yapılmaya başlanmıştır. Yolluk tasarımının ilk adımı toplam yolluk giriş kesit alanının belirlenmesi olarak bilinmektedir. Bu hesap yapılırken 2.4.6. nolu başlığın altında, literatürden alınmış olan 2.5. nolu formülden yararlanılmıştır. İlk olarak Şekil 4.6.'da gösterilen jant modeli için sıvı metalin doldurma zamanı hesaplanmıştır. Doldurma zamanı hesaplanırken 2.6. nolu formülden yararlanılmıştır. Tablo 4.1.'de doldurma zamanı hesaplanırken kullanılan değerler gösterilmiştir.

Tablo 4.1.'de kullanılan sabit değerler alüminyum alaşımları için kullanılan sabit değerler olarak bilinmektedir [30].

Tablo 4.1. Doldurma zamanı hesaplanırken kullanılan değerler

Büyükük	Değeri
K (s/mm)	0,0346
T (mm)	3,5
Tf (°C)	580
Ti (°C)	650
Td (°C)	340
S (%)	15
Z (°C/%)	4,8

Tablo 4.1.'de verilen değerler 2.6. nolu formülde yerine konulduğu zaman doldurma zamanı 0,072 s olarak hesaplandı. Sıvı metalin kalıp boşluğunu tamamen doldurması için gerekli olan süre doldurma zamanı olarak tanımlanmakta ve yüksek basınçlı döküm yönteminin kalitesini belirleyen en önemli parametrelerden biri olarak bilinmektedir. Literatürde bulunan tüm formüller sıvı metalin akış mesafesini ve kalıp içi yön değişimlerini ele almamaktadır. Bu nedenle hesaplama sonucu ortaya çıkan doldurma zamanı ideal dolum süresini vermektedir. Parça geometrisine bağlı olarak bu değer değişkenlik gösterebilmektedir. Doldurma süresi hesaplandıktan sonra 2.5. nolu formül kullanılarak yolluk giriş kesit alanı hesaplandı. Tablo 4.2.'de yolluk giriş kesit alanı hesaplanırken kullanılan değerler gösterilmiştir.

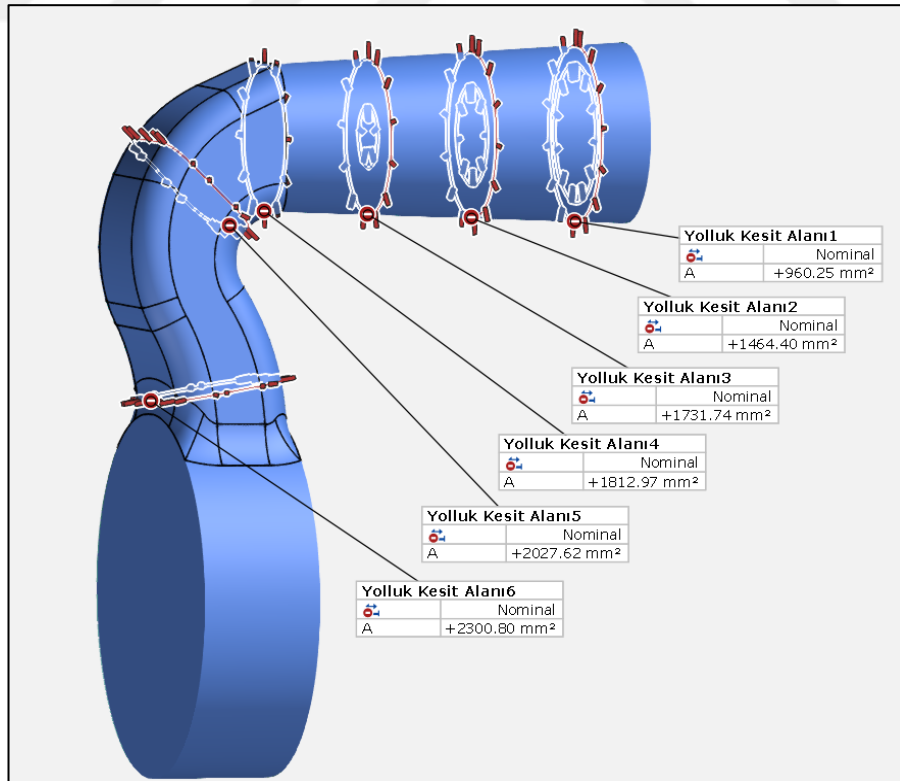
Tablo 4.2. Yolluk giriş kesit alanı hesaplanırken kullanılan değerler

Büyükük	Değeri
Metal yoğunluğu (g/cm ³)	2,7
Dolan hacmin ağırlığı (parça+hava cepleri) (g)	6579
Doldurma zamanı (ms)	72
Yolluk girişi sıvı metal hızı (m/s)	35

Şekil 4.6.'da verilen jant modeli için Tablo 4.2.'de kullanılan değerler ile yolluk giriş kesit alanı $9,67 \text{ cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Buradan yola çıkarak topuğa kadar olan yolluk kesitleri, literatürde belirtilen oran aralıklarında kalınlaştırılarak simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Enjeksiyon mühendislik hesaplamaları ve simülasyon sonuçlarından yola çıkarak başarılı jant dolumunu gerçekleştiren kuğu yolluk modeli Şekil 4.18.'de gösterilmiştir.

Şekil 4.18.'de gösterilen yolluğun kesit değişimleri incelendiği zaman, $960,25 \text{ mm}^2$ olan yolluk giriş kesit alanını 1,5-2 kat aralığında arttırılarak $1812,97 \text{ mm}^2$ olarak havuç yolluğun giriş kesit alanı belirlenmiştir. $1812,97 \text{ mm}^2$ olan havuç yolluğun giriş kesit alanı 1,2-1,5 kat aralığında arttırılarak $2300,80 \text{ mm}^2$ olarak ana yolluğun giriş kesit alanı belirlenmiştir.

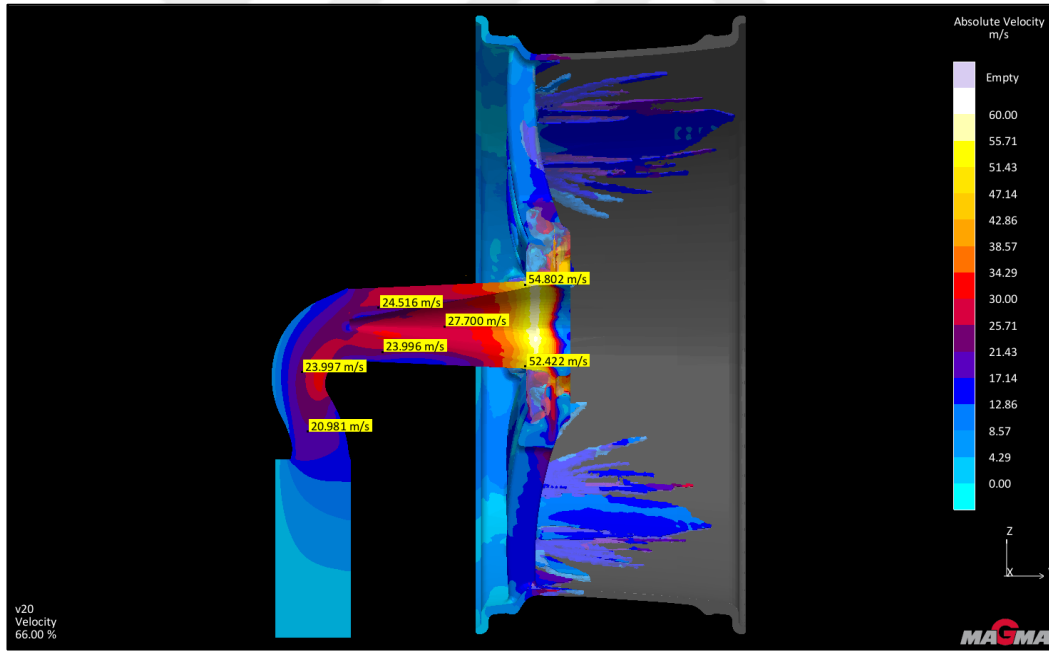
Yüksek basınçlı döküm yönteminde yollukta laminar akışı ve parçanın homojen dolumunu sağlamak, uygun sıvı metal hızlarını elde edilebilmek için kesit alanlarının ana yolluktan yolluk giriş kesitine gidildikçe belirli oranlarda azalması gerekmektedir. Bu orantılı kesit değişimi Şekil 4.18.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Yolluk boyunca kesit alanlarının değişimi

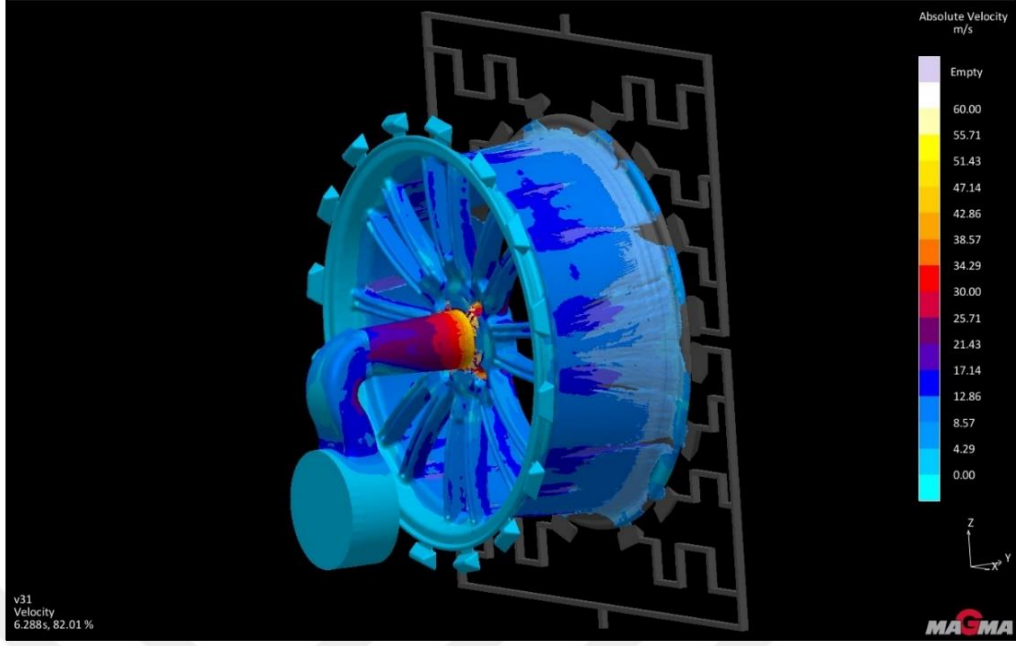
Enjeksiyon mühendislik hesaplamaları ile tasarlanan kuğu yolluk modelinin simülasyon sonuçları Şekil 4.19.'da gösterilmiştir. Dolumun %65'i tamamlandığı zaman alınmış olan simülasyon sonucunun görüntüsü, kuğu yolluk ile jant modelinin dolumu sırasında havuç yolluğun genelinde hızların birbirine eşit olduğunu göstermektedir.

Ana yolluk (kuğu yolluk), havuç yolluk ve yolluk giriş kesitlerinde ki sıvı metal hızları incelendiği zaman yüksek basınçlı döküm yöntemine uygun şartların oluştuğu tespit edildi. Literatüre ve edinilmiş tecrübelerle bağlı olarak yüksek basınçlı döküm yönteminde yolluk giriş kesitinde sıvı metal hızının üst limitinin parça geometrisine bağlı olarak değişmekle birlikte 60 m/s'yi geçmemesi önerilmektedir. Bu şekilde kalıp parça dolumunun başarılı gerçekleştiği bilinmektedir. Simülasyon sonuçları incelendiği zaman tasarlanan yolluğun bu hız sınırları içinde ve istenen orantıda topuktan yolluk giriş kesitine gelene kadar arttığı belirlenmiştir.



Şekil 4.19. Kesit alanlarının değişimine göre yollukta sıvı metal hızları

Şekil 4.20.'de tasarlanan kuğu yolluk ile yapılan nihai simülasyon çalışmalarının hız sonuçlarından yararlanarak jant modelinin dolumu gösterilmiştir. Dolumun % 82'sinin tamamlandığı anda alınan simülasyon sonucu sıvı metalin, jantın lastik oturma yüzeyindeki tüm bölgelerde birbirine yakın hızlarla, homojen bir dolum gerçekleştirdiğini göstermektedir.

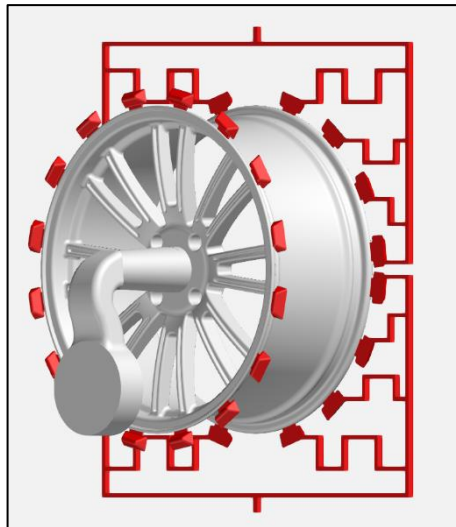


Şekil 4.20. Tasarlanan yolluk ile jant modelinin dolumu

Simülasyon sonuçları ve enjeksiyon mühendislik hesaplamalarından yola çıkarak yolluk tasarımı tamamlandıktan sonra hava cebi ve soğutma kanallarının tasarımları gerçekleştirilmiştir.

4.3. Hava Ceplerinin Tasarımı

Döküm kalıpları kapandığı zaman arasında kalan havanın, döküm sırasında su buharı ve kalıp ayırıcılardan oluşan gazların kalıptan uzaklaştırılması amacı ile hareketli kalıp ve orta plaka döküm yüzeylerine Şekil 4.21.'de gösterilen hava cepleri tasarlanmıştır.



Şekil 4.21. Hava cebi tasarımı

Otomobillerin ve yolcuların güvenliğini etkileyen, yasal gereklilikleri olan en kritik emniyet parçası jantların üretimi sırasında kalıp içinde hava sıkışmasından kaynaklı porozite oluşumlarını ortadan kaldırmak için simülasyon sonuçları incelendi ve sıvı metalin kalıpta son ulaştığı bölgeler belirlendi. Literatüre ve edinilmiş tecrübelerle ilgili olarak yüksek basınçlı döküm yönteminde hava ceplerinin başarılı çalışması için, maliyet azaltma adına yapılan ağırlık azaltma çalışmaları da göz önüne alındığında genelde parça ağırlığının %15-20'si aralığında olacak şekilde hava cebi tasarımı yapılmaktadır. Bu çalışmada da hava ceplerinin ağırlığı, 5556 g olan toplam parça ağırlığının %18,4'ü kadar tasarlandı ve simülasyon çalışmalarında belirlenmiş, sıvı metalin kalıpta son ulaştığı bölgelere yerleştirildi. Hava ceplerinin döküm parçası ile bağlantı noktalarının kalınlıklarının 1mm'den küçük olması dikkate alınarak parça ile hava cepleri birbirlerine bağlandı. Tablo 4.3.'de bileşen ağırlıkları verilmiştir.

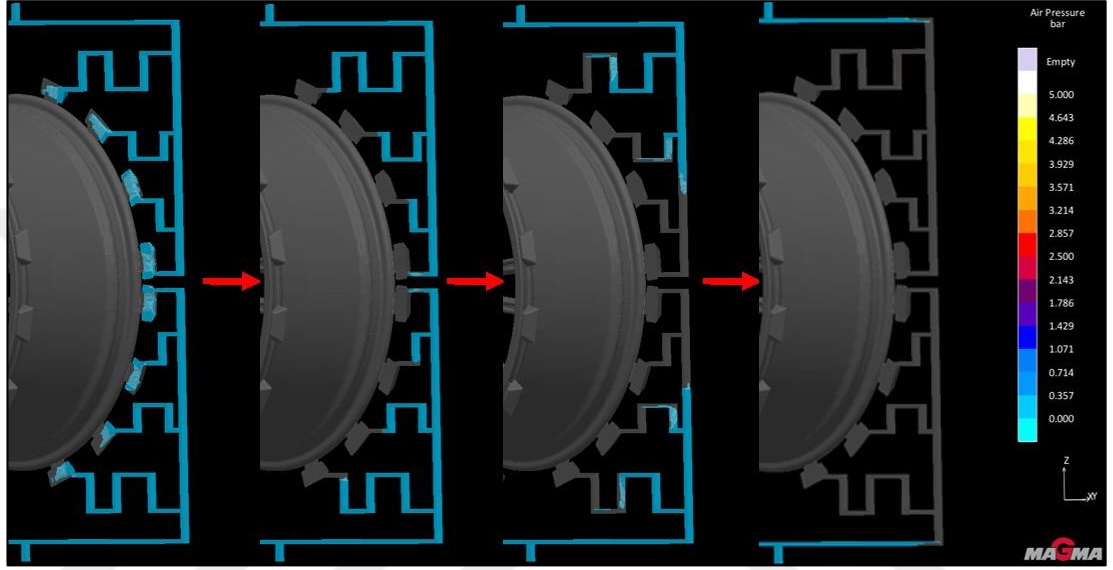
Tablo 4.3. Hava cebi, parça ağırlık değerleri

Bileşenler	Ağırlık (g)
Parça ağırlığı	5556
Hava cebi ve kanalların ağırlığı	1022

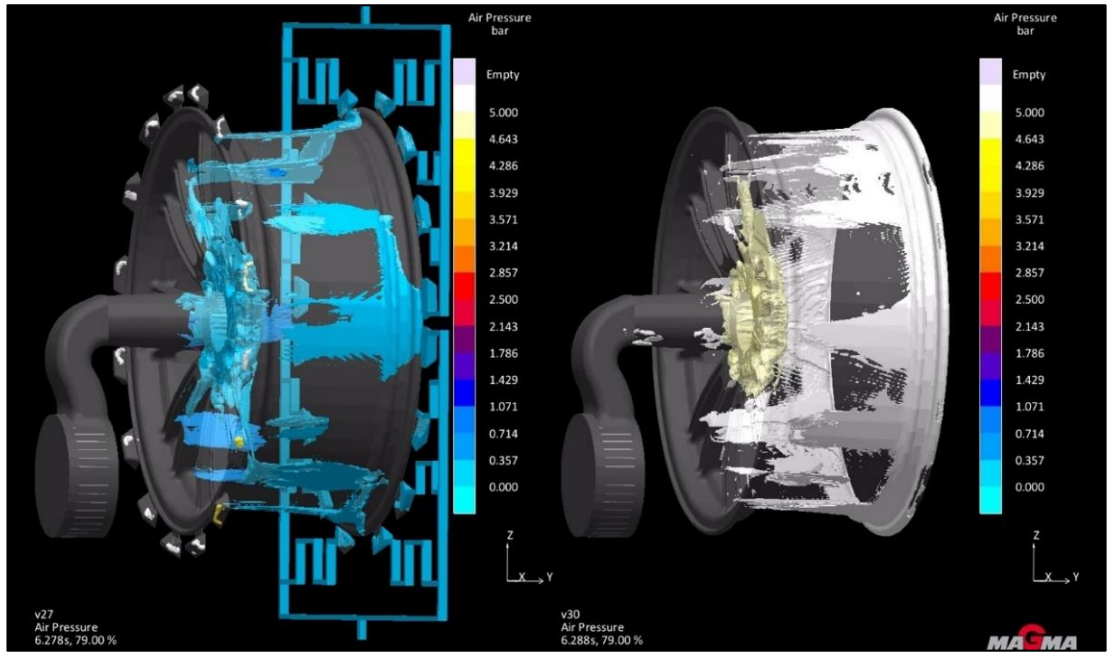
Yüksek basınçlı döküm yönteminin gereği olan yüksek basınç ve milisaniyeler mertebesindeki dolma süreleri, hava ceplerinin parça ile 1mm'den küçük bağlantı noktalarından yüksek hızda hava geçmesine sebep olmaktadır. Bu bağlantı noktalarının kalınlıkları, hava geçiş hızını etkilemektedir. Hava cebi ile parça bağlantı noktalarında kalınlıklar azaldıkça bölgeden süpürülen havanın hızının yükseldiği bilinmektedir. Bağlantı bölgelerinin kalınlığı belirli bir kritik değerin altında olduğunda bağlantı bölgelerinden süpürülen havanın hızı ses hızını geçerek şok dalgalarıyla ilişkilendirilen sonik patlamaya sebep olmaktadır. Bu şok dalgaları kalıp çeliğinde zaman içinde çatlak oluşumuna, deformasyona sebep olmaktadır. Bu nedenle bağlantı noktalarının kalınlıkları önem taşımaktadır.

İlk dolan hava cebinden, sıvı metal bağlı olduğu diğer hava cebinin önüne gelirse o hava cebinin önünde doluma karşı direnç oluşturmaktadır. Bu nedenle bilinçsiz bir şekilde hava ceplerinin birbirine bağlanması, dolumu olumsuz etkileyebilmektedir. Ancak vakum uygulamalarında tek bir bölgeden vakum yapıldığı için hava cepleri Şekil 4.22.'de olduğu gibi birbirlerine kanallar ile bağlanmaktadır. Bu nedenle hava

ceplerini birbirlerine bağlarken simülasyon çalışmaları yaparak doğru bağlantının sağlanması gerekmektedir. Yapılan simülasyon çalışmaları incelendiğinde hava cebi bağlantılarının başarılı bir şekilde çalıştığı, ilk dolan hava cebinin sonra dolan hava cebi önünde engel oluşturmadığı tespit edilmiştir. Şekil 4.22. sıvı metal önünde süpürülen havanın ilk dolan kanaldan son dolan kanala kadar adım adım ilerleyerek kanalların verimli çalıştığını göstermiştir.



Şekil 4.22. Dolumun %92, %94, %96 ve %98 anında kanallarda süpürülen hava

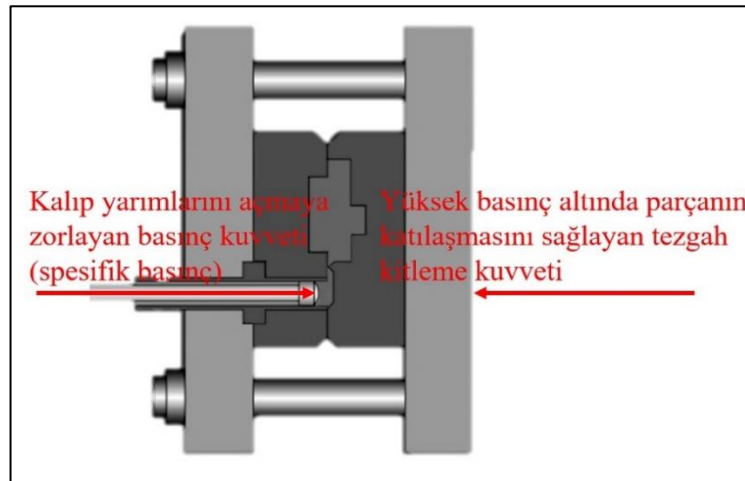


Şekil 4.23. Hava cebi tasarlanmış ve hava cebi olmayan simülasyon karşılaştırması

Şekil 4.23.'de tasarımı yapılmış olan hava ceplerinin olduğu ve hava ceplerinin olmadığı iki simülasyon çalışmasının karşılaştırılması gösterilmiştir. İki simülasyonda aynı parametreler ile çalıştırılmış olup aralarındaki tek fark hava ceplerinin olup olmamasıdır. Simülasyon sonuçlarında renkli bölgeler kalıp içi boşluklarda sıkışan havanın basınç değerlerini bar cinsinden göstermektedir. Yapılan çalışmalardan elde edilen tecrübelerle göre yüksek basınçlı döküm yöntemi için simülasyon sonuçlarında 5 bar ve üzerinde görülen hava sıkışmaları nihai parçada porozite olarak üreticilerin karşısına çıkmaktadır. Bu nedenle hava sıkışması sonuçlarında skala 0-5 bar olarak ayarlanmaktadır. Şekil 4.23.'de sağ tarafta, hava cebi olmayan simülasyon sonuçlarında beyaz renkli görülen yerlerde 5 bar ve üzerinde hava sıkışması olduğu tespit edildi. Şekil 4.23.'de sol tarafta, hava ceplerinin bulunduğu ve vakum ile gerçekleştirilmiş simülasyon çalışmasının sonucunda dolunun %79'u tamamlandığı zaman kalıp içi basıncın 1 bar ve altında olduğu tespit edilmiştir. Tüm bu sonuçlardan yola çıkarak Şekil 4.21.'de gösterilen hava cebi tasarımının kullanımına karar verilmiştir.

4.4. Tezgâh Seçimi ve Doldurma Oranı

Yolluk ve hava cebi tasarımı tamamlanan jantın yüksek basınçlı döküm yönteminde üretilebilmesi için gerekli olan tezgâh kapasitesi hesaplandı. Döküm tezgâhı seçiminde yapılan enjeksiyon mühendislik hesapları basit anlamda basınç kuvvetlerinin eşitliği prensibine dayanmaktadır. Şekil 4.24.'te gösterildiği gibi enjeksiyon grubu tarafından kalıpları açmaya zorlayan kuvvetin, mengene grubunun kitleme kuvveti tarafından karşılanması gerekmektedir.



Şekil 4.24. Tezgâh seçiminde hesaplanan kuvvetler

Mengene grubunun kitleme kuvveti, enjeksiyon grubu tarafından kalıpları açmaya zorlayan kuvvetten fazla olması gerekmektedir. Eşit olması durumunda kalıp yarımalarının birbirinden ayrılma durumu söz konusu olabilir. Bu riski göz önünde bulundurarak gerekli kuvvetin 1,1-1,3 katı fazla kitleme kuvvetine sahip bir tezgâh ile döküm işlemi gerçekleştirilmektedir. Gerekli tezgâhın bulunabilmesi için ilk olarak enjeksiyon grubunun döküm kalıbı içinde oluşturacağı kalıp içi basıncı (spesifik basınç) hesaplamak gerekmektedir. Spesifik basınç hesaplanırken 2.3. nolu formülden yararlanıldı. Tablo 4.4.'te spesifik basınç hesaplanırken kullanılan değerler gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Spesifik basınç hesaplanırken kullanılan veriler ve spesifik basınç

Veriler	Değerler
3. faz basıncı	640 bar
2. faz silindirin yüzey alanı	17,671 mm ²
Kalıba enjeksiyon yapan pistonun yüzey alanı	11,309 mm ²
Kalıp içi basınç (spesifik basınç)	1000 bar

Dökümü yapılacak jantın (topuk, yolluk, döküm parçası, hava cepleri ve maçalar) izdüşüm alanları (projeksiyon alanları) Tablo 4.5.'te gösterilmiştir. Yüksek basınçlı döküm kalıplarında spesifik basınç kuvvetini karşılayan maça yüzeyleri, maçaların kalıba dayandığı dayama yüzeyleri ile açılı olduğu için kalıbın açılması için bileşen kuvvet oluşturmaktadır. Hidrolik maçalı kalıplarda bu açı 10-15° aralığında seçilmektedir. Buradan yola çıkarak maçalarda kalıbın açılması için oluşan bileşke kuvvet hesaplanırken maçaların projeksiyon alanları, 679,36 cm²xtan (10)'dan, 119,79 cm² olarak hesaplamalara dahil edilmiş ve bu değerler Tablo 4.5.'te maça projeksiyon alanlarının yanında parantez içinde verilmiştir. Maçalar simetrik oldukları için bu durum iki maça için de geçerlidir.

Tablo 4.5. Salkım bileşenlerinin projeksiyon alanları

Salkım Bileşenleri	Projeksiyon alanı (cm ²)
Jant	772,08
Hava cebi ve kanallar	476,93
Topuk ve yolluk	182
Maça-1	679,36 (119,79)
Maça-2	679,36 (119,79)

Tablo 4.5.'deki verilerden yola çıkarak toplam projeksiyon alanı 1670,50 cm², Tablo 4.4.'deki verilerden yola spesifik basınç 1000 bar ve güvenlik faktörü 1,2 olarak alındığında tezgâhın minimum kitlemesi gereken kuvvet değeri 20046 kN olarak hesaplanmıştır. 1000 bar kalıp içi basınç ile dökümü modellenen jantın yüksek basınçlı döküm yöntemi ile dökülebilmesi için minimum 2050 ton kitleme kuvvetine sahip döküm tezgâhı kullanılmasına karar verilmiştir.

Döküm tezgâhlarında kullanılan haznelere enjeksiyon grubundan gelen hız ve basınç büyüklüklerinin yüksek basınçlı döküm kalıbına iletilmesinde aracı görev alan, yüksek basınçlı döküm yönteminin en önemli ekipmanlarından olup, dökülecek parçanın kalitesine doğrudan etki etmektedir. İstenen kalitede parça üretimi için enjeksiyon grubunun oluşturduğu hız ve basınç değerlerini döküm kalıbına ileten haznenin çapının ve hazne içine dökülen metalin hazneyi ne kadar doldurduğunun önemi büyüktür. Literatüre ve edinilmiş tecrübelerle ilgili kalarak yüksek basınçlı döküm yönteminde haznelere doluluk oranlarının %30-50 aralığında olması göz önüne alınmıştır. 2.4. nolu formülden yararlanarak hazne doluluk oranı %41 olarak hesaplanmıştır. 8917 g jant salkımı dozaj ocağından, 120 mm iç çapa ve 750 mm aktif hazne uzunluğuna sahip haznenin içine döküldüğü zaman haznenin %41'ini doldurduğu tespit edilmiştir.

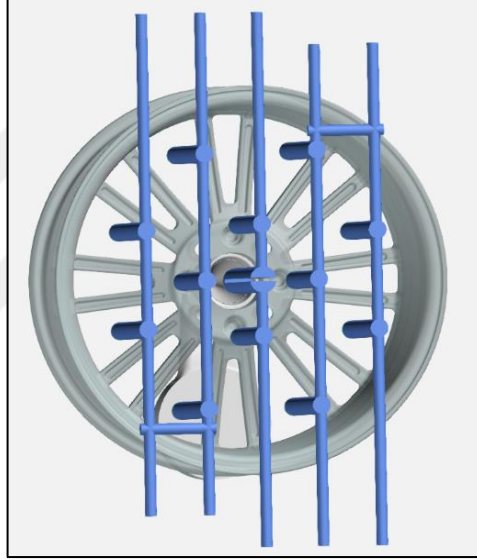
4.5. Soğutma Kanallarının Tasarımı

Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile jant üretimi sırasında ergiyik alüminyumun kalıbın %100'ünü kaliteli bir şekilde doldurması için gerekli olan sıcaklık değerinin simülasyon çalışmalarında 660°C olmasına karar verilmiştir. 660°C sıcaklık ile döküm işlemi gerçekleştirilirken sıvı metal ısı enerjisini kalıp çeliklerine ileterek katılaşma işlemi tamamlanmaktadır.

Isı iletimi ile birlikte sıcaklığı yükselen kalıplara yüklenen enerjinin uzaklaştırılması için soğutma kanalları tasarlanmış ve çeşitli simülasyon çalışmaları yürütülmüştür. Simülasyon çalışmaları ile parça kalitesinden taviz vermeden kalıptan ısı transferini sağlayacak soğutma kanallarının etkili olabilecekleri konular belirlenmiştir. Simülasyon çalışmalarının sonuçlarından elde edilen verilerden yola çıkarak tasarlanan soğutma kanallarının bazılarında su, bazılarında ısı transfer yağı geçirilmiş olup detaylar anlatılmıştır. Tasarlanmış olan soğutma kanalları ve içlerinden

geçirilen ısı transfer sıvıları kalıba yüklenen ısı enerjisini kalıptan uzaklaştırarak kalıbın jant üretiminde belirlenen sıcaklık aralığında çalışmasına imkân sağlamıştır.

Alçak basınçlı döküm yöntemi, yüksek basınç döküm yöntemi farketmeksizin jant üretiminde feder bölgeleri ve göbek bölgesi et kalınlığı fazla olan bölgeler olup kalite standartlarına uyum sağlama açısından kritik öneme sahip bölgeler olarak bilinmektedir. Bu bölgelerin et kalınlığı fazla olduğu için katılaşmada en son katılan bölgeler olduğu bilinmektedir. Bu geç katılmanın diğer bölgelerle dengeye gelmesi amacı ile Şekil 4.25.'te gösterilen soğutma kanalları tasarlanmış olup göbek soğutma olarak tanımlanmaktadır.



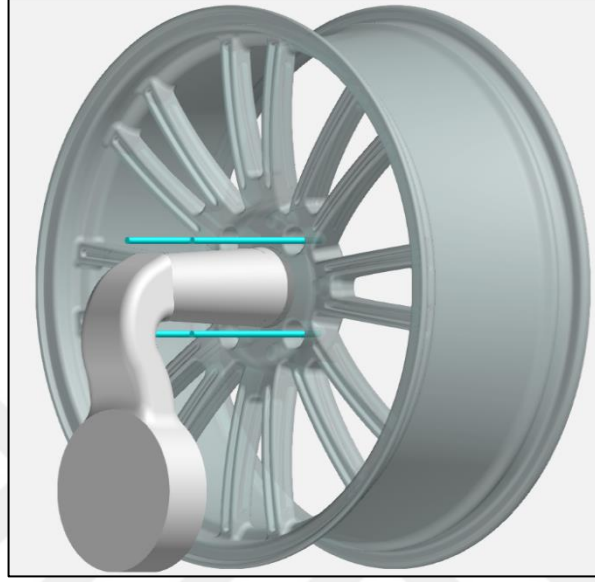
Şekil 4.25. Göbek soğutma kanalları

3 ayrı hat halinde $\text{Ø}16\text{mm}$ çapında tasarlanan, göbek bölgesi ve federlerin katılaşmasına hizmet eden soğutma kanallarından 120°C 'de ısı transfer yağı geçirilmiştir.

Bijon deliklerinin orta plakadan soğutulması amacı ile jet cooling olarak tanımlanan 4 adet $\text{Ø}6$ mm çapında jet soğutucu pim tasarlanmış olup Şekil 4.26'da gösterilmiştir. Bu pimler diğer soğutma kanallarından farklı olarak döküm işleminin belirlenen zaman aralığında soğutma işlemi yapmaktadır. 20°C sıcaklıkta, 20 bar basınçlı su ile bijon delik bölgelerine soğutma uygulamaktadır.

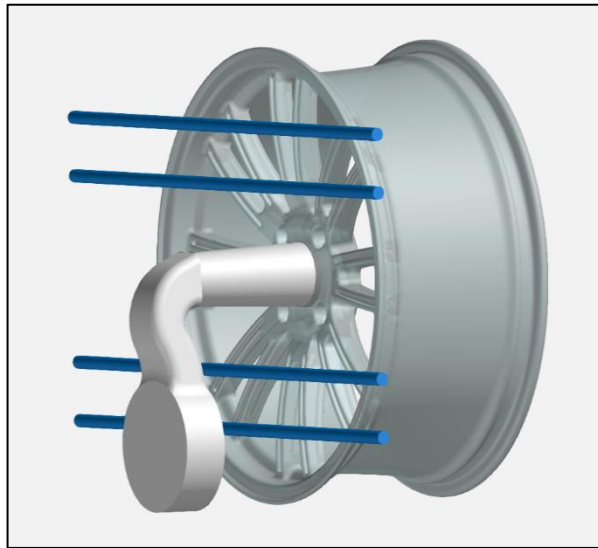
Bu soğutma işlemi jant üretimi için dökümün 32. ve 42. saniyeleri aralığında 10 saniye boyunca gerçekleştirilmiştir. Döküm kalıplarının yağlanması başlaması başlangıç

olarak kabul edilerek, o andan 32 saniye sonra devreye girerek 10 saniye boyunca 20°C sıcaklıkta ki suyu 20 bar basınçla pimlerden geçirerek soğutma işlemi yapılmıştır. Bu sayede et kalınlığı fazla olan ve en sıcak bölgelerde çekinti nedeni ile oluşabilecek döküm boşluklarının önüne geçilmesi hedeflenmiştir.



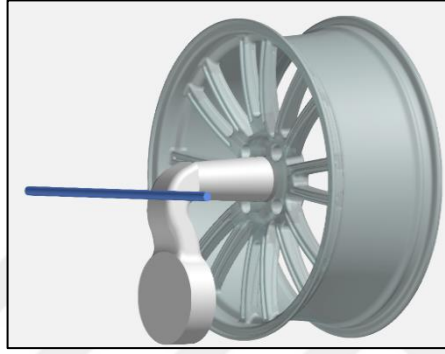
Şekil 4.26. Jet soğutucu pimler

Orta plaka kalıp çeliğine aktarılan ısı enerjisinin uzaklaştırılması amacı ile Şekil 4.27.'de gösterilen Ø16 mm çapa sahip 4 adet soğutma kanalı tasarlanmış ve simülasyon çalışması sırasında bu soğutma kanallarından 120°C'de ısı transfer yağı geçirilmiştir.



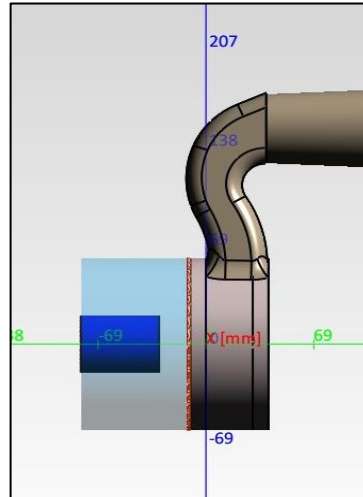
Şekil 4.27. Orta plaka soğutma kanalları

Jant üretimi için tasarlanan salkımın en kalın ve en geç katılaşılan bölgesi yolluğun topuk ve kuğu kısmıdır. Bu bölgelerin dengeli katılaşması için soğutma kanalları tasarlandı. Bu bölgelerin erken soğutulması döküm salkımının kalıptan erken çıkmasına, döküm çevriminin kısılmasına katkı sağlamaktadır. Şekil 4.28.'de kuğu yolluğun soğutulması için tasarlanan soğutma kanalı gösterilmiştir. Sabit kalıba tasarlanan bu soğutma kanalı Ø16 mm çapa sahip olup, döküm çevrimi boyunca sürekli olarak içinden 20°C'de su geçirilmiştir.



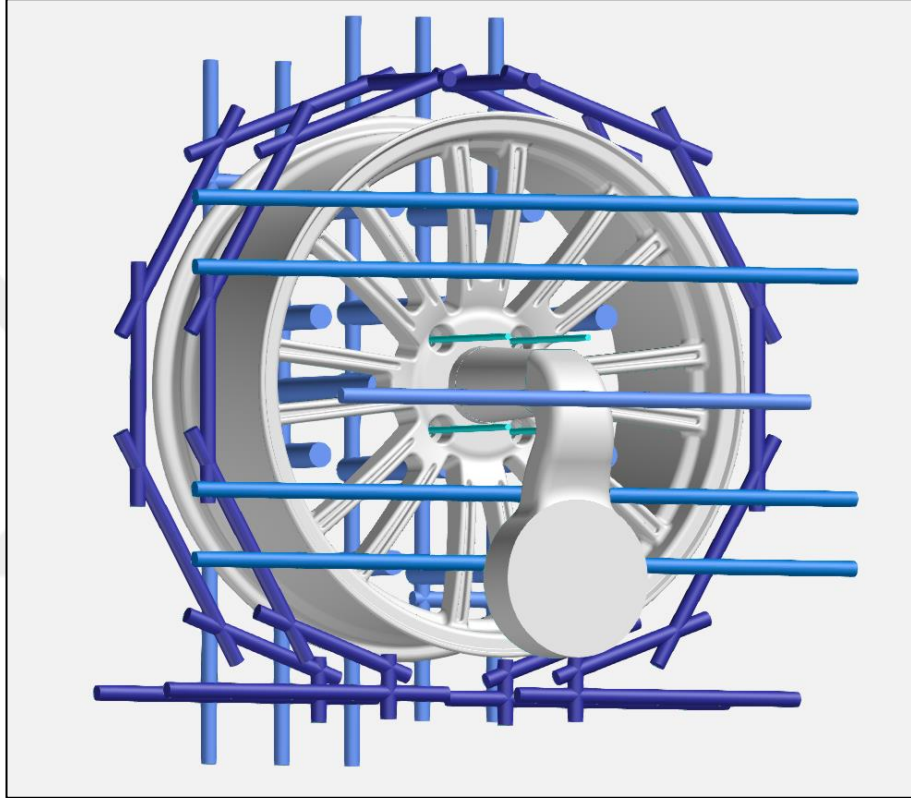
Şekil 4.28. Kuğu yolluk soğutma kanalı

Şekil 4.29.'da topuk bölgesinin katılaşması için tasarlanan soğutma kanalı gösterilmiştir. Topuk bölgesinin soğutulması için tasarlanan soğutma kanalı, diğer soğutma kanallarından farklı olarak enjeksiyon işlemini gerçekleştiren piston kolu içinden geçirilerek pistonu soğutacak şekilde tasarlanmıştır. Soğuyan piston ile topuk bölgesinin soğutulması sağlanmıştır. Ø8 mm çapında tasarlanan bu soğutma kanalından döküm çevrimi boyunca 20°C'de sürekli olarak su geçirilmektedir.



Şekil 4.29. Topuk soğutma

Şekil 4.30.'da tüm soğutma kanalları ve maçalar için tasarlanan soğutma kanalları gösterilmektedir. Lastik oturma yüzeylerinde ki dengeli katılaşmanın sağlanması amacı ile maça bölgelerine Ø16 mm çapında çevresel soğutma kanalları tasarlanmıştır. Döküm çevrimi boyunca sürekli olarak 120°C'de ısı transfer yağı geçirilen bu kanallar özellikle lastik oturma bölgelerindeki et kalınlığı fazla olan bölgelerin katılaşmasını, et kalınlığı ince olan bölgelerin katılaşması ile dengelemek amacı ile tasarlanmıştır.



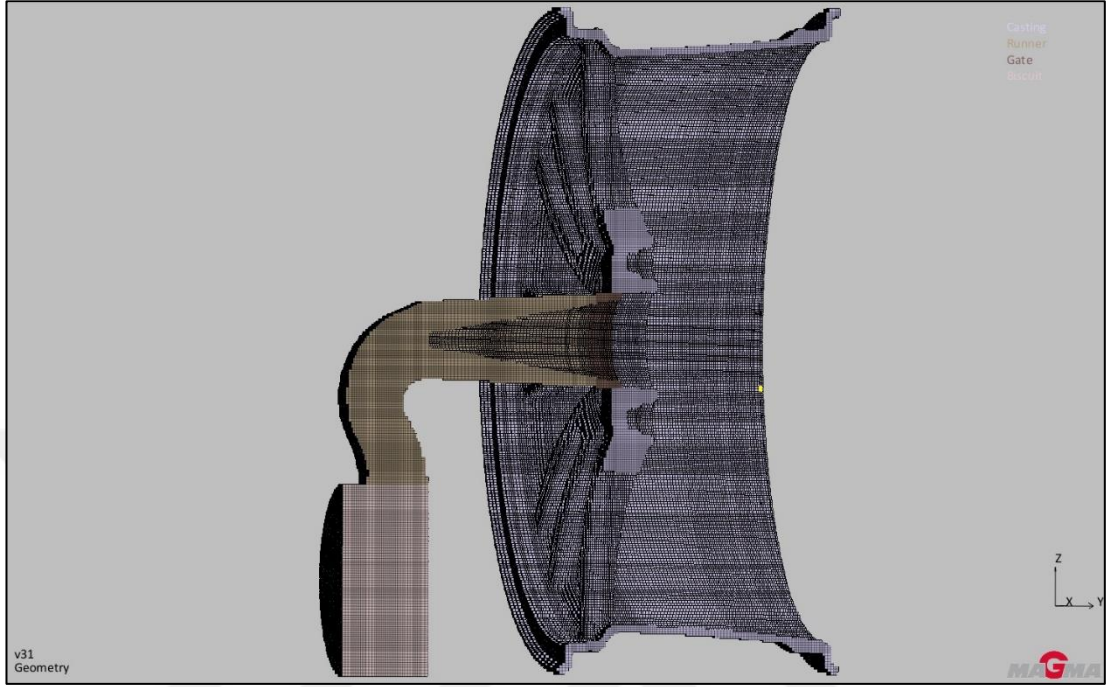
Şekil 4.30. Maça ve tüm soğutma kanalları

4.6. Nihai Simülasyon Çalışması

Şekil 4.30.'da yolluk ve soğutma kanalları tasarlanmış, tüm bileşenleri ile yüksek basınçlı döküm yönteminde üretilebilirliği araştırılan jant salkım datasının katı modeli gösterilmektedir. Bu jant modeli ve tüm salkım bileşenleri ile yapılan simülasyon çalışmalarının teknik detayları bu başlık altında detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

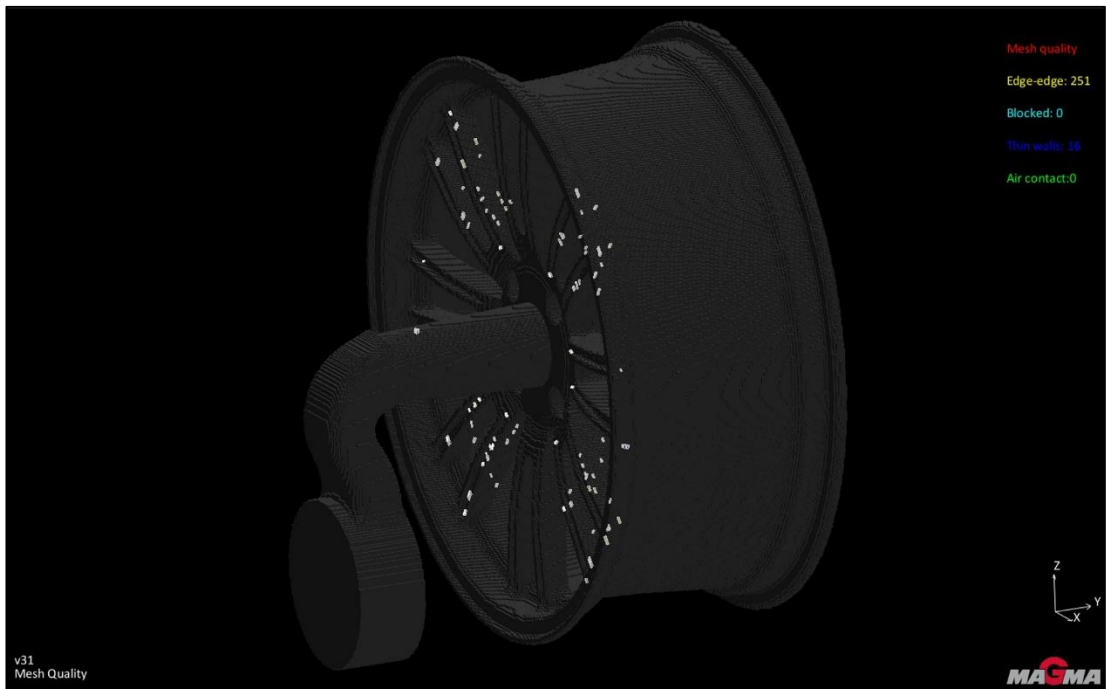
Nihai simülasyon çalışmasında ilk olarak geometri arayüzünde, tasarlanan katı jant modeli ve tüm salkım bileşenleri simülasyon yazılımına aktarılmış ve tanımlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Tanımlanan tüm salkım bileşenlerinde, sonlu elemanlar

yöntemi ile çözümlene yapılabilmesi için mesh arayüzünde mesh oluşturma işlemi gerçekleştirildi. Elde edilen mesh ağının kesit görüntüsü Şekil 4.31.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.31. Mesh ağının kesit görüntüsü

3 boyutlu prizmatik hücrelerden oluşturulan mesh ağının mesh kalite kriterlerine uyumlu olup olmadığı şekil 4.32.'de gösterilen görselden tespit edilmiştir.



Şekil 4.32. Mesh ağının kalite kriterlerine uyumu

Şekil 4.32.'de gösterilen bazı hata türleri simülasyon sonuçlarına etki etmektedir. Bu nedenle bazılarının kesinlikle olmaması istenmektedir. Air contact hatası sıvı metalin hava ile temas edeceğini yani kalıpta bulunan bir açıklıktan dolayı döküm işleminin gerçekleştirilemeyeceğini ifade etmektedir. Bu nedenle kesinlikle 0 olması istenmektedir. Çalışmada elde edilen mesh kalite sonuçlarına göre air contact hatasının uygun olduğuna karar verilmiştir. Blocked hatası ise mesh ağı üzerinde sıvı metal geçişine engel olacak şekilde mesh oluşumlarını ifade etmektedir. Bu nedenle blocked hatasının kesinlikle görülmemesi istenmektedir. Şekil 4.32.'de görüldüğü gibi elde edilen mesh ağında blocked hatasının olmadığı tespit edildi. Thin wall hatası bir ekseninde tek bir mesh hücrenin olduğunu ifade etmektedir. Edge-edge hatası ise iki mesh hücrenin sadece bir köşelerinin birbirine temas ettiğini göstermektedir. Thin wall ve edge-edge hatası sayıları çok yüksek olmadığı takdirde kabul edilebilir kalite problemleri olarak bilinmektedir. Data üzerinde bulunan ince figür, radyus vb. bölgelerde görülme ihtimali yüksek olan bu tarz hatalar dolum ve katılaşma aşamalarında simülasyon sonuçları üzerinde belirleyici bir değişkenliğe sebep olmamaktadır.

Kalite kriterlerine uygun olarak mesh ağı oluşturulan jant modelinin simülasyonunda tanımlama arayüzünde gerekli üretimsel parametreler tanımlanmıştır. Bu tanımlamalar detaylıca açıklanmıştır.

Tanımlama arayüzünde ilk olarak salkım bileşenlerinin malzemeleri ve çalışma sıcaklıkları tanımlanmıştır. Tablo 4.6.'da malzemeler ve çalışma sıcaklıkları gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Tanımlanan malzemeler ve çalışma sıcaklıkları

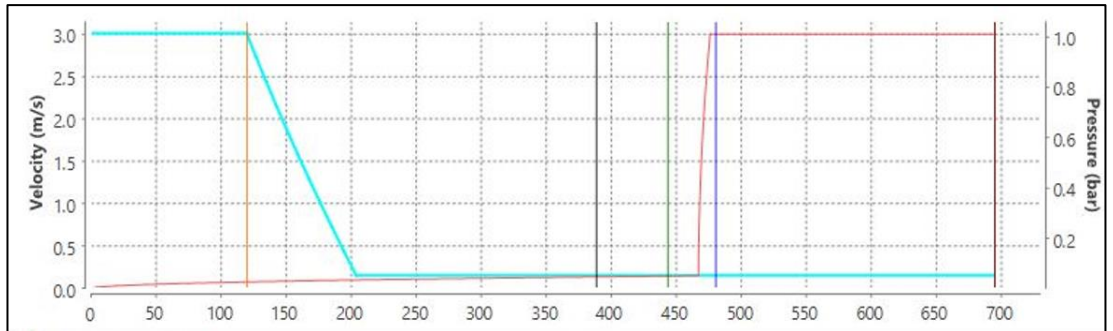
Bileşen	Malzeme	Sıcaklık (°C)
Jant salkımı	AlSi9Cu3(Fe)	660
Kalıp	X40CrMoV5-1	150
Jet soğutma kanalları	Su	20
Göbek ve maça soğutma kanalları	Yağ	120
Orta plaka soğutma kanalları	Yağ	120
Kuşu ve topuk soğutma kanalları	Su	20
Piston	CuCoBe	100

Salkım bileşenlerinin malzemeleri ve çalışma sıcaklıkları tanımlandıktan sonra simülasyon ortamında gerçekleştirilecek olan döküm işleminin üretim parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen parametreler Tablo 4.7.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.7. Döküm parametreleri

Parametreler	
Rejim çevrim sayısı	3
Sağlam ürün çevrim sayısı	1
Kalıp yağlama	18 saniye
Kalıp kuru hava üfleme	8 saniye
Kalıp kapanma	4 saniye
Enjeksiyon gecikme süresi	4 saniye
Vakum basıncı	50 mbar
1. faz hızı	0,15 m/s
2. faz hızı	3,0 m/s
2. faz başlangıç mesafesi	467mm
Dolum süresi	71,55 ms
3. fazda uygulanan kalıp içi basınç	1000 bar
3. faz süresi	10 saniye
Kalıp açma süresi (dolum bittikten itibaren)	14 saniye
Parça çıkartma süresi	8 saniye

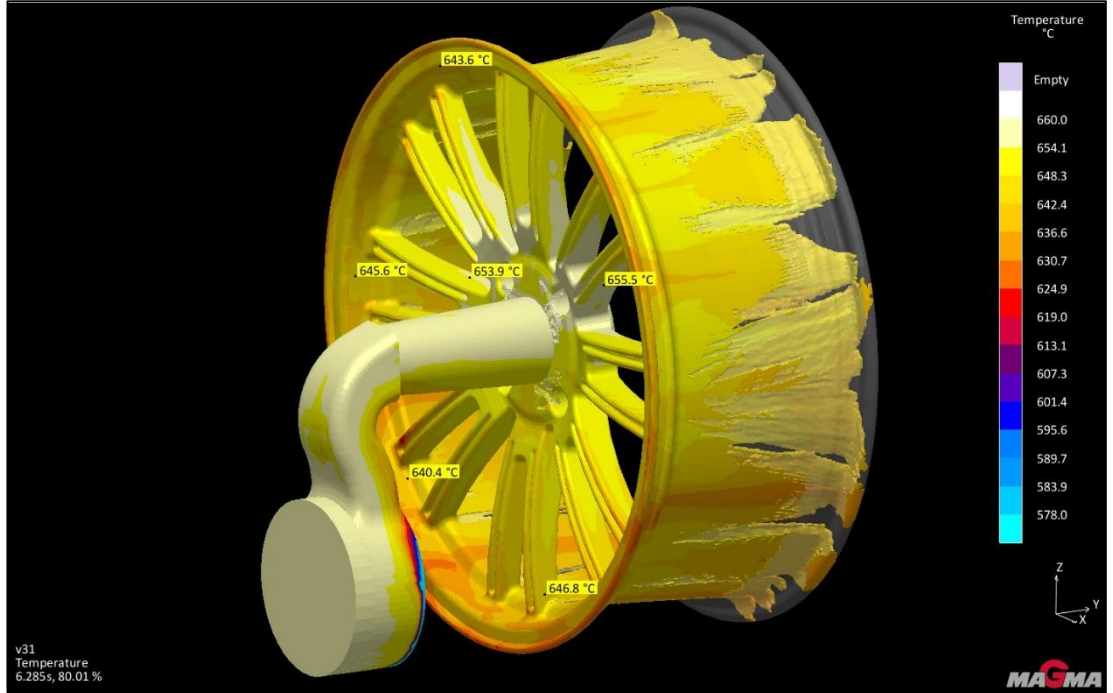
Tablo 4.7.'de verilmiş parametreler ile simülasyon çalışması yapılan jantın enjeksiyon grafiği Şekil 4.33.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.33. Enjeksiyon grafiği

Şekil 4.33.'te açık mavi eğri döküm sırasında gerçekleşen vakumu, turuncu çizgi hazne boşluğunun bittiği mesafeyi, siyah çizgi simülasyonun başladığı noktayı, yeşil çizgi haznenin dolduğu mesafeyi, koyu mavi çizgi sıvı metalin jant yolluk giriş bölgesini, kahverengi çizgi sıvı metalin kalıbı full doldurduğu mesafeyi, kırmızı çizgi pistonun mesafeye göre hızını ifade etmektedir.

Yapılan nihai simülasyon çalışmasında ilk olarak dolum evresinde ki sıcaklık sonuçları incelenmiştir. Dolum sırasında ki sıcaklık sonuçları incelenirken, skala sıvı metalin hazneye döküldüğü sıcaklık ile katılma sıcaklığı arasında ayarlandı. Bu sonuç dolum sırasındaki sıcaklık farklılıklarından kaynaklanan katmerli döküm hatalarının, soğuk birleşme hatalarının oluşabileceği bölgeleri belirlememize yardımcı olmaktadır. Şekil 4.34.'te dolum fazının %80 tamamlandığı anda alınmış bir sıcaklık görüntüsü gösterilmiştir. Görselde renkli kısımlar sıvı metalin sıcaklık değerini ifade etmektedir. Jant üzerinde farklı bölgelerde yapılmış ölçümler sonucu sıvı metal sıcaklığının jant genelinde 640-655°C aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bu sıcaklık dağılımının dolum fazında sıvı metal sıcaklığı ile ilgili herhangi bir kalitesel probleme neden olmayacağına karar verilmiştir.

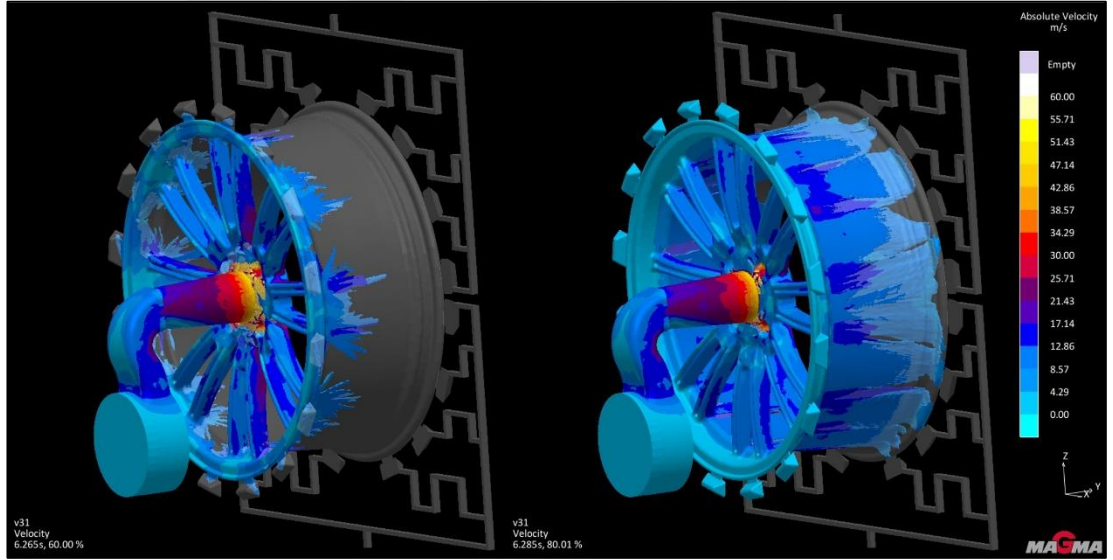


Şekil 4.34. Dolum fazında sıcaklık sonuçlarının gösterimi

Sıvı metalin kalıp içinde ilerlerken hızlarının incelendiği velocity sonuçlarından, dolumun %60 ve %80'inde alınmış iki görüntü Şekil 4.35.'te gösterilmiştir. Hız sonuçlarında inceleme yaparken, yüksek basınçlı döküm yönteminde istenen sıvı metal hız değerleri dikkate alınarak skala 0-60 m/s aralığında ayarlanmıştır. Sıvı metalin kalıp boşluğunu doldururken gereğinden fazla hızlanması durumunda akış rejiminin bozulması ve ekstra hava hapsolmaları meydana gelmektedir. Şekil 4.35.'te dolumun %60'ı tamamlandığı anda sıvı metal incelendiği zaman tüm federleri aynı

anda doldurarak lastik yüzeyine ulaşmış olması hızların tüm kollarda dengeli olduğunu göstermiştir. Aynı durum dolunun %80'i tamamlandığı anda da görülmüştür. Simülasyon sonuçlarında renkler sıvı metalin hızlarını ifade etmektedir. Sıvı metalin hızı simülasyon sonuçlarda düşük gibi görülsede aksine kararında bir akışın olduğu tespit edildi. Sıcaklık sonuçları ile birlikte incelendiği zaman sıvı metal sıcaklığının uygun aralıkta olduğu ve dolunun başarılı bir şekilde gerçekleştiğini ifade etmektedir. Diğer bir yandan hız sonuçlarının yüksek seyretmemesi sıçramaların olmayacağını, türbülanslı akışın oluşmayacağını ifade etmektedir. Bu sonuçlardan yola çıkarak dolun evresinde sıvı metalin hızlarının uygun olduğuna kararı verilmiştir.

Hız sonuçlarında incelenmesi gereken en önemli noktalardan biri ise yolluktaki sıvı metal hızının yüksek basınçlı döküm yöntemine uygunluğudur. Bu konu 4.2. nolu başlıkta yolluk tasarım optimizasyonu çalışmalarında detaylıca anlatılmış olup, dolun sırasında yollukta sıvı metal hızlarının uygun olduğu belirtilmiştir.



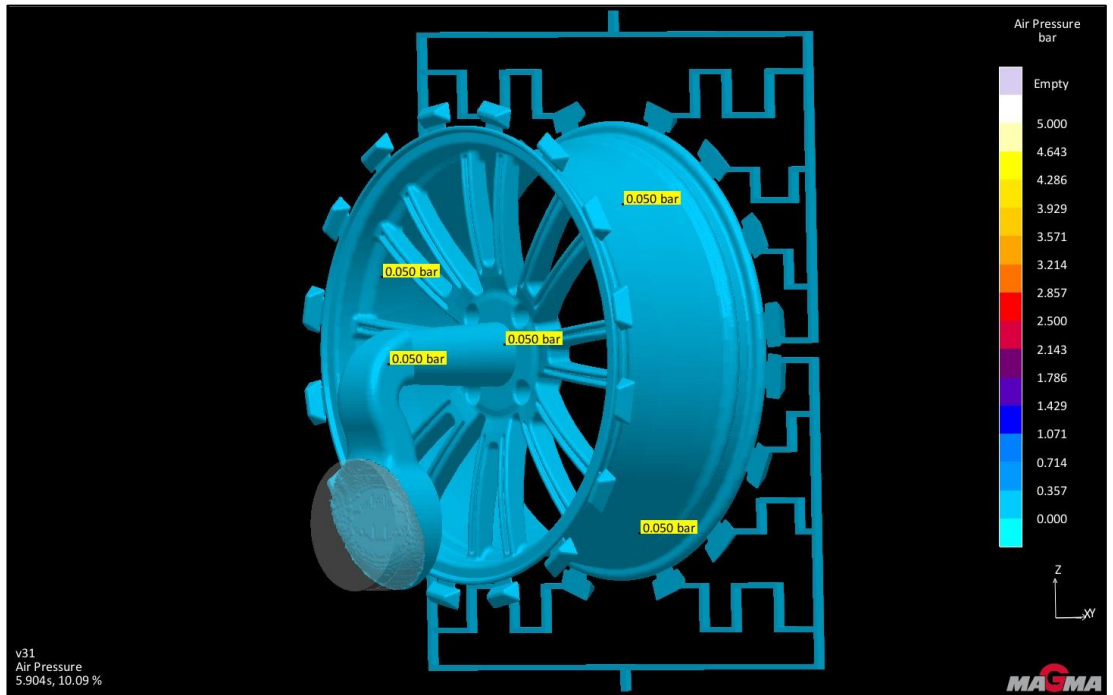
Şekil 4.35. Sıvı metal hızının, dolunun %60 ve %80'i tamamlandığı anda alınmış görüntüleri

Dolun sonuçlarında incelenmesi gereken en önemli sonuçlardan bir diğeri ise kalıp içinde sıkışan hava basıncını gösteren air pressure sonucudur. Air pressure sonucu kalıbın içine sıvı metal dolarken, sıvı metal kalıp içinde ilerlerken önünde süpürdüğü havayı, kalıbı terkedemeyen havanın basınç değerlerini göstermektedir. Hava basıncı sonuçlarında renkli kısımlar havayı, şeffaf kısımlar kalıba dolan sıvı metali temsil etmektedir. Yüksek basınçlı döküm yönteminde jant üretimi için yapılan simülasyon

çalışmalarında sonuçlar incelenirken tecrübeler ve tavsiyeler göz önünde bulundurularak skala 0-5 bar aralığında ayarlanmıştır. Kritik emniyet parçalarında 3 bar ve üzeri hava sıkışmalarının, üretilen parçada porozite olarak ortaya çıktığı bilinmektedir. Dolum sırasında yollukta oluşan hava aspirasyonu, sıvı metalin içine hava sıkışmasına ve nihai üründe porozite olarak ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bu vb. durumların olmaması için simülasyon sonuçları incelenirken mavi renk ile temsil edilen havanın tamamının sıvı metal önünde süpürülüyor olmasına dikkat edilmiştir.

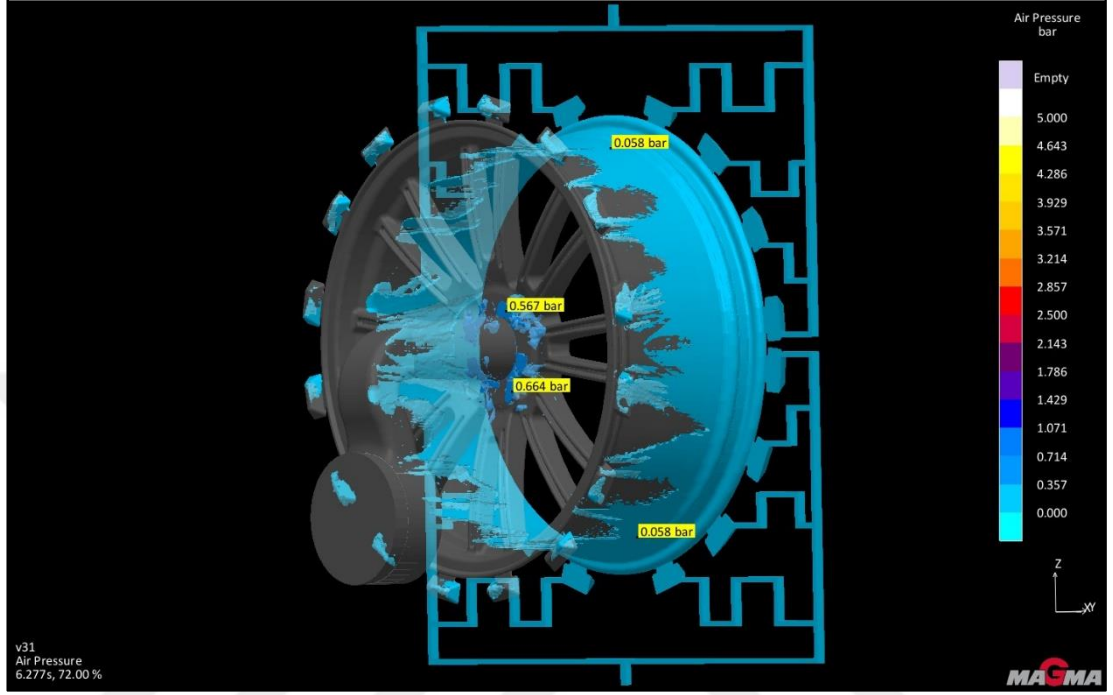
Yapılan simülasyon çalışmalarında kalıp içi hava basıncının 50 mbar seviyesine kadar vakumlanmasından dolayı yüksek basınçlı döküm yöntemi ile jant üretimi sırasında hava sıkışmasının bir problem teşkil etmeyeceği Şekil 4.36. ve Şekil 4.37.'de gösterilen simülasyon sonuçları ile doğrulanmıştır.

Şekil 4.36.'da gösterildiği gibi dolum evresinin başında, yani dolumun %10 tamamlandığı anda kalıbın farklı bölgelerinden alınan hava basıncı değerlerinin 0.05 bar olduğu tespit edilmiştir. Neredeyse kalıp içi hava basıncının yok olmasından (vakum ortamı) dolayı yüksek basınçlı döküm yönteminde jant dolumunun başarılı bir şekilde gerçekleşeceği tespit edilmiştir.



Şekil 4.36. Hava basıncı sonuçlarında dolumun %10'u tamamlandığı anda alınmış görüntü

Dolum fazının ilerleyen aşamalarında da kalıp içinde sıkışan hava basınç değerleri analiz edildi ve Şekil 4.37.'de dolumun %72'si tamamlandığı anda alınmış bir simülasyon sonucu gösterilmiştir.

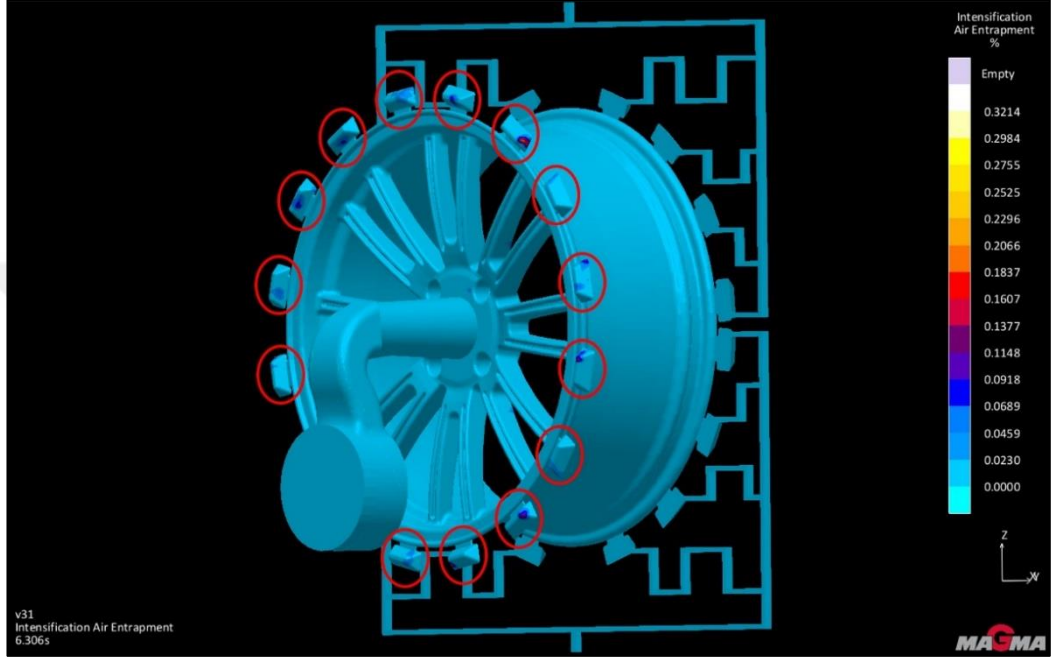


Şekil 4.37. Hava basıncı sonuçlarında dolumun %72'si tamamlandığı anda alınmış görüntü

Şekil 4.37.'de gösterildiği gibi kalıp içinde sıkışan hava basıncının sıvı metal ilerlemesi ile birlikte bir miktar arttığı ancak nihai parçada porozite olarak üreticilerin karşısına çıkacak seviyede olmadığı tespit edilmiştir. Göbek bölgesinde bulunan 0.567 bar ve 0.664 bar hava basıncının nihai parçada porozite olarak karşımıza çıkmayacağına karar verilmiştir. Gerçek döküm koşullarında hava firarının gerçekleştiği birçok hava firar bölgesinin (itici yuvaları vb.) simülasyonda simüle edilememesi nedeni ile bu tip hava sıkışmaları simülasyon sonuçlarında kabul edilebilir seviyede olup üretilen parçada porozite olarak ortaya çıkmadığı bilinmektedir.

Vakum uygulaması ile gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarının sonuçları analiz edildiğinde kalıp içi hava sıkışmalarının istenen seviyede olduğu, jant dolumunun başarılı bir şekilde gerçekleştiği kabul edilmiştir. Şekil 4.38.'de gösterilen intensification air entrapment sonucu katılaşma sırasında sıvı metal içinde çözünen hava miktarını ifade etmektedir. Bu simülasyon sonuçlarında kırmızı ve sarı bölgelerin

riskli bölgeler olduğu bilinmektedir. Sıvı metalin içinde çözünen hava yoğunluğunun orta plakada bulunan hava ceplerinde yoğunlaşması öngörüldü ve simülasyon sonuçları bu ön görüyü doğrulamıştır. Vakum olsa bile kalıp içinde kalan bir miktar havanın, hava ceplerine taşınmış olması tasarımın uygunluğunu ve dolumun başarılı bir şekilde gerçekleştiğini göstermiştir.



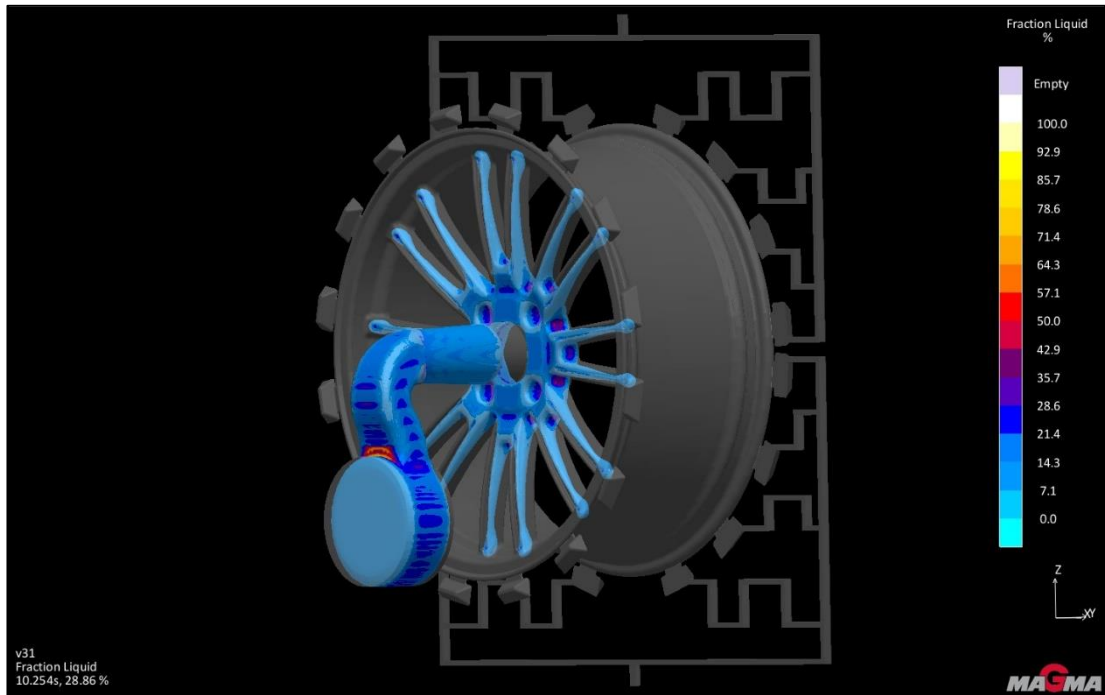
Şekil 4.38. Intensification air entrapment sonucu

Buraya kadar olan kısımda yüksek basınçlı döküm yöntemi ile alüminyum alaşımli otomobil jant üretiminin dolum fazı ile ilgili elde edilenler bulgular paylaşılmıştır. Bundan sonra paylaşılan simülasyon sonuçlarında yüksek basınçlı döküm yönteminde alüminyum alaşımli otomobil jant üretiminin katılma fazı ile ilgili elde edilen bulgular paylaşılmıştır.

Katılma sonuçlarında ilk olarak fraction liquid sonucu incelendi. Bu simülasyon sonucu katılma sırasında jantta kalan sıvı oranını göstermektedir. Yolluk girişleri katıldıktan sonra tezgâh tarafından uygulanan 3. faz basıncı parçaya iletilmemektedir. Bu nedenle bu sonuç incelenirken yolluk girişlerinin katıldığı süre 3. fazın etkili olarak kullanıldığı süreyi ifade etmektedir. Parçanın katılması sırasında yüksek oranda sıvı kalan bölgelerde çekinti kaynaklı döküm boşluklarının görülme ihtimali bulunmaktadır. Bu oluşumu ortadan kaldırmak için yolluk giriş kesitlerinin artırılarak 3. faz etkinliğini artırmak, soğutma kanallarının etkinliğini

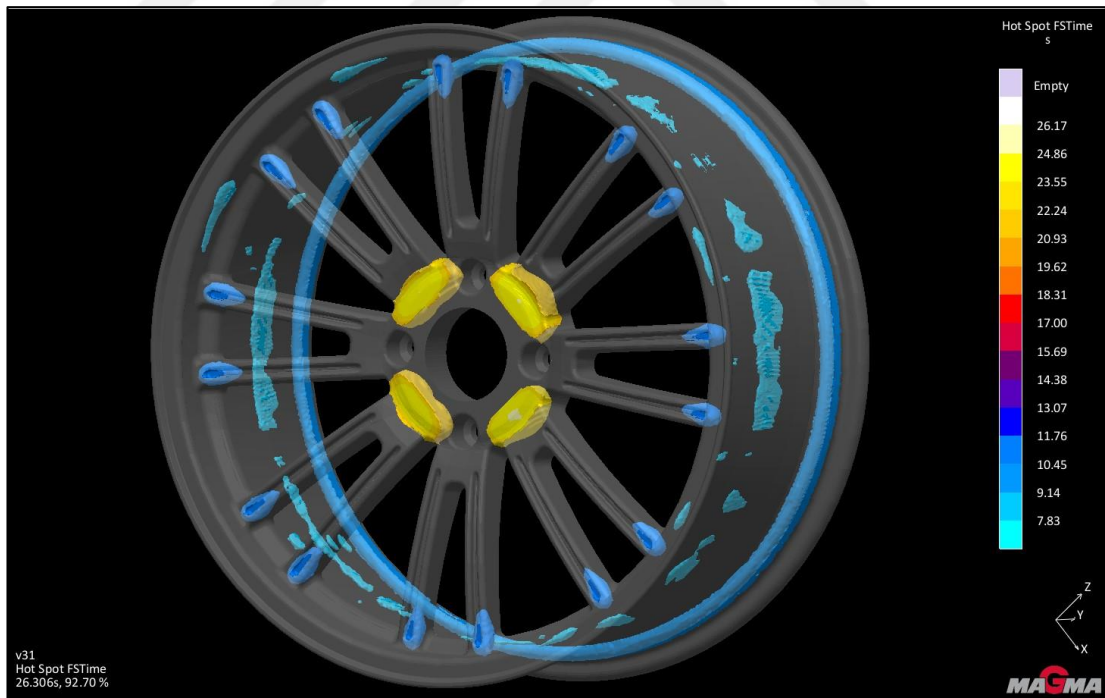
artırmak veya squeeze pin olarak tanımlanan ekstra sıkıştırmalar döküm kalıplarına ilave edilmektedir.

Şekil 4.39.'da yolluk girişinin katılaştığı anda alınmış olan fraction liquid sonucu gösterildi. Bu sonuçlarda kırmızı ve sarı tonlarında görülen bölgeler yüksek oranda sıvı içermekte olup, katılma sürecinde gerçekleşen hacim küçülmeden kaynaklı çekinti boşluğu görülme ihtimali olan bölgelerdir. Edinilmiş tecrübelerden yola çıkarak açık mavi olarak görülen bölgeler düşük oranda sıvı içermekte olup çekinti boşluğu oluşma ihtimali düşük olarak tanımlanan bölgelerdir. Alçak veya yüksek basınçlı döküm yöntemi fark etmeksizin jant modellerinin et kalınlığı fazla olan göbek ve feder bölgeleri tüm üreticiler için çeşitli riskler barındırmaktadır. Alçak basınçlı döküm yöntemi ile üretilen jant modellerinin katılma süreçlerinde de Şekil 4.39.'da sıvı olarak görülen bölgeler en geç katılma ve döküm boşluğu olma ihtimali yüksek olan bölgelerdir. Yüksek basınçlı döküm yönteminde de bu riskli bölgeler simülasyon sonuçlarında ortaya çıkmış olup çeşitli önlemler alınması gerektiğini bizlere göstermiştir. Gerçekte elde edilecek sonuçlar neticesinde dolumu optimum hale getirilen yolluk tasarımında yolluk giriş kesitlerinin artırılarak 3. faz etkinliğini artırma ve soğutma kanallarının etkinliğini artırma çalışmalarının katılma evresine katkı sağlayacağı düşünülmüştür.



Şekil 4.39. Yolluk girişi katılaştıktan sonra fraction liquid sonucu

Şekil 4.40.'ta gösterilen hot spot fs time sonuçları katılaşma sonunda sıcak kalan bölgelerin katılaşması için ne kadar süre daha basınç ile beslenmesi gerektiğini göstermektedir. Bu sonuçlar incelenirken sadece döküm parçasında en az ve en çok beslenmesi gereken süreler aralığında skala oluşturulmuştur. Buna göre skala ayarı yapıldıktan sonra elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Hot spot fs time sonuçlarının fraction liquid sonuçlarını doğrular nitelikte olduğu görülmüştür. Açık mavi tonlarında olan bölgeler katılaşmanın gereği sıcak kalan bölgeler olup döküm sonrasında katılaşmış parçada probleme rastlanmayan bölgeler olarak bilinmektedir. Mor, kırmızı ve sarı bölgeler katılaşma sırasında en sıcak kalan bölgeler olup daha fazla besleme ihtiyacı olan bölgeler olarak tanımlanmaktadır. Jant modelinde bu bölgelerin göbek bölgesinde gözlemlenmesi, bu bölgelerde döküm sonrasında hacimsel küçülme nedeniyle çekinti boşluklarının gözlemlenebileceğini göstermiştir. Gerçekte elde edilecek sonuçlar neticesinde dolumu optimum hale getirilen yolluk tasarımında yolluk giriş kesitlerinin artırılarak 3. faz etkinliğini artırma ve soğutma kanallarının etkinliğini artırma çalışmalarının bu riski ortadan kaldıracığına karar verilmiştir.



Şekil 4.40. HotSpot FS Time sonuçları

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada binek araçlar için alüminyum alaşımlı otomobil jantlarının yüksek basınçlı döküm yöntemi ile üretilebilirliği araştırılmıştır. Araştırmalar dijital ortamda Siemens NX programı ile modelleme, MagmaSoft programı ile simülasyon yaparak gerçekleştirilmiştir. Yüksek basınçlı döküm yöntemine uygun yolluk, hava cebi ve soğutma kanalları tasarımı yapılmıştır. Yüksek basınçlı döküm tezgâhlarında jant üretilebilmesi için enjeksiyon mühendislik hesaplamaları yapılmıştır. Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile otomobil jant üretimi ile ilgili literatürde çalışma bulunmadığı için yapılan çalışma, aynı yöntemi kullanmış diğer çalışmalar ile karşılaştırılamamıştır. Yapılan çalışmaların ilerletilmesi durumunda, yüksek basınçlı döküm yöntemi ile otomobil jant üretiminin alçak basınçlı döküm yöntemi ile jant üretimine bir alternatif olabileceği kanaatine varılmıştır.

Yüksek basınçlı döküm yöntemi modülünde gerçekleştirilmiş olan simülasyon çalışmalarında AlSi9Cu3(Fe) alaşımı ile 16 federli, 15", 4x100 ebatlarında jant modelinin döküm çevrimi 60 saniye içinde tamamlanırken, yapılan literatür araştırmalarında alçak basınçlı döküm yöntemi ile jant üretiminin ortalama 300 saniye içinde tamamlandığı tespit edilmiştir [45]. Bu iki yöntem karşılaştırıldığında alçak basınçlı döküm yöntemi ile 1 adet otomobil jant üretimi gerçekleştirilirken, yüksek basınçlı döküm yöntemi ile 5 adet otomobil jantı üretilebileceği ortaya çıkmıştır. Son yıllarda ülkemizde alüminyum alaşımlı jantların yıllık üretim kapasitesinin 9.000.000-10.000.000 seviyelerinde olduğu düşünülürse yüksek basınçlı döküm yöntemi ile mevcut kapasitenin 5 katına çıkabileceği, bu sayede üretim maliyetlerinin azalacağı ve ülke ihracat gelirine katkı sağlayacağı düşünülmüştür.

Birim üretim süresinin azalması ile metalurjik anlamda otomobil jant üretiminin farklı bir bakış açısı kazanacağı düşünülmüştür. Alçak basınçlı döküm yönteminde ortalama 250 saniyede katılaşma tamamlanırken, yüksek basınçlı döküm yönteminde uygun soğutma kanallarının tasarımı, yüksek ısı transfer miktarı ve yönlendirilmiş katılaşmaya olan hakimiyet ile 20 saniye içinde katılaşma tamamlanmaktadır. Katılaşmanın hızlı bir şekilde tamamlanması alüminyum matrisi içinde yüksek oranda ikincil alaşım elementlerinin çözünmüş olarak bulunacağını ifade etmektedir. Bu

durumun otomobil jantlarının mekanik özelliklerine yeni bir bakış açısı kazandıracığı düşünülmüştür. Literatür araştırmalarına göre jant üretiminde kullanılan T6 yapay yaşlandırma ısıtma işleminin ilk aşaması olan çözeltiye alma işlemine ihtiyaç duyulmayacağı fikrini ortaya çıkartmıştır.

Çözeltiye alma işleminin yapılmaması ısıtma işlemi prosesi ile ortaya çıkan maliyetlerde azalmaya neden olacağı gibi birim sürede üretilen jant adetlerinde de artış sağlayacağı düşünülmüştür.

Yüksek basınçlı döküm yönteminin alçak basınçlı döküm yöntemine göre en büyük avantajlarından bir tanesi katılma prosesinin kontrol hassasiyetinin çok yüksek olmasıdır. Hızlı katılma ile birlikte elde edilecek olan ince taneli mikro yapı otomobil jantların mekanik özelliklerini olumlu yönde etkileyeceği düşünülmektedir.

Alçak basınçlı döküm yönteminde jant kalıplarına poteyaj kaplama uygulama zorunluluğu bulunmaktadır. Aynı jant kalıbı ile maksimum 500 baskıdan fazla döküm gerçekleştirilememektedir. 500 baskı sonrasında uygulanan kaplamanın yenilenmesi gerekmektedir. Poteyaj kaplama işlemi ustalık gerektiren, insana bağımlı bir süreçtir. Yüksek basınçlı döküm yönteminde kalıp yağlama işlemi ile aynı kalıpta üretim durmaksızın, kalıp ömrü tamamlanana kadar parça üretmek mümkündür. Aynı zamanda poteyaj kaplamanın malzeme ve işçilik maliyetleri ortadan kalktığı için otomasyona uygun şekilde üretim maliyetleri azalacaktır.

Alçak basınçlı döküm yönteminde kalıbın poteyaj kaplanması, kalıp üzerinde katılma çizgilerinin oluşturulması vb. nedenlerle döküm prosesinden sonra elde edilen brüt jantları hedef yüzey özelliklerine ulaştırabilmek için birçok adımdan oluşan işleme prosesi uygulanmaktadır. Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile jant üretiminde elde edilecek yüzey kalitesi işleme prosesine olan ihtiyacı azaltmaktadır. Bu şekilde işleme prosesinde birim maliyetler azalırken, yüksek basınçlı döküm yönteminde, alçak basınçlı yönteminde ki brüt janttan çıkan geri dönüşüm malzeme miktarı azalacağı için ergitme prosesinde de verimlilik artışı sağlamak mümkündür.

Enjeksiyon mühendislik hesaplamalarından yola çıkarak yapılan hava cebi, yolluk ve soğutma kanalı tasarımları yüksek basınçlı döküm yöntemi ile otomobil jant

üretiminin dolum fazının başarılı bir şekilde gerçekleşeceğini simülasyon çalışmaları ile ortaya koymuştur.

Katılmanın yüksek hassasiyetle kontrol altına alınması ve çok kısa sürede tamamlanması için tasarlanan soğutma kanalları ile yapılmış olan simülasyon çalışmalarında alçak basınçlı döküm yöntemindeki katılma yönüne benzer bir katılma elde edilmiştir. Dış flanş bölgesinden göbek bölgesine doğru, dolum yönünün tersinde bir katılma profili sağlanmış olup simülasyon sonuçlarının yüksek oranda ki başarısı ortaya koyulmuştur. Tüm jant modellerinde olduğu gibi simülasyon çalışmalarında da keskin şekil değişimlerinin olduğu bölgeler, topuk bölgeleri, federlerin olduğu stil yüzeyi ve göbek bölgesi yüksek et kalınlığından olayı katılmanın en son tamamlandığı bölgeler olarak tespit edilmiştir. Tespit edilen bu bölgeler katılmadaki hacim küçülmesi nedeni ile oluşabilecek çekinti boşluğunun oluşabileceği riskli bölgeler olarak analiz edilmiştir. Yüksek basınçlı döküm yönteminin yönlendirilmiş katılma kabiliyeti yüksek olduğu için, alçak basınçlı döküm yönteminde de bulunan bu riski minimize ederek jant üretimini başarılı bir şekilde tamamlayacağına karar verilmiştir.

Ülkemizde üretim sektörüne yüksek katma değer sağlaması ve dünya genelinde otomobil jant üretimine yeni bir perspektif kazandırması amacı ile ortaya konan bu inovasyon fikrinin sanal ortamdan üretim sahalarına geçmesi için mevcut jant üreticileri ile yüksek basınçlı parça üreticilerinin iş birliği yapması, iş yapabilirliklerini birleştirmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Tarkun D., AlSi7Mg T6, AlSi7Mg Alaşımlarının Binek Araç Jant Malzemesi Olarak Kullanılabilirliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015, 381883.
- [2] Dal K., Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği Sektör Raporu, *Subcon Turkey*, 2012, 9, 101.
- [3] Kurban A. F., Çukur A., Dönmez A., Kaba M., Tane İncelmte İşleminin İyileştirilmesi ve Alçak Basınçlı Döküm Sistemiyle AlSi5Mg0.3 Alaşımlı Jant Üretimi, Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İzmir, 2017.
- [4] Topçuoğlu Ö.Y., Çe Ö.B., Aybarç U., Keşkiç M., Alçak Basınç Prosesinde Kullanılan Kalıp Kaplama Malzemesinin Metal Akışkanlığına Etkisi, 7. *Uluslararası Ankiros Döküm Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 11-13 Eylül 2014.
- [5] Eroğlu G., şahiner M., Dünyada ve Türkiye’de Alüminyum, *aluminum.pdf* (mta.gov.tr) (Ziyaret Tarihi: 13 Mayıs 2020).
- [6] Doğan E., 1050 ve 8006 Alüminyum Alaşımlarının Deformasyon ve Yeniden Kristalleşme Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006, 172134.
- [7] Kalaoğlu M. E., Bir Ağır Ticari Araca Ait Ön Süspansiyon Braketinin Alüminyum Döküm Yöntemine Uygun Olarak Yeniden Tasarlanması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2017, 467116.
- [8] <http://talsad.org.tr/aluminyum/aluminyum-ve-tarihce/>, (Ziyaret Tarihi: 22 Eylül 2020).
- [9] Eker İ., Alüminyum 7050 Alaşımında Homojenleştirmenin Mikroyapı, Mekanik ve Fiziksel Özellikler Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2019, 611539.
- [10] Başer T. A., Alüminyum Alaşımları ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı, *Mühendis Ve Makina*, 2012, **53**(635), 51-58.
- [11] DIN EN 1706, Aluminium and Aluminium Alloys-Casting-Chemical Composition and Mechanical Properties, *Deutsches Institut für Normung*, Berlin, 2013.

- [12] Rana R. S., Purohit R., Das S., Reviews on The Influences Of Alloying Elements On The Microstructure And Mechanical Properties Of Aluminum Alloys And Aluminum Alloy Composites, *International Journal Of Scientific And Research Publications*, 2012, 2(6), 1-7.
- [13] Kaufman J. G., Rooy E. L., *Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, And Applications*, 1st ed., Asm International, United States of America, 2004.
- [14] Çetin A., Alüminyum Döküm Alaşımaları, <https://muhendishane.org/projeler/dokumcunun-el-kitabi/>, (Ziyaret Tarihi: 24 Eylül 2020).
- [15] Apelian D., *Aluminum Cast Alloys: Enebling Tools for Improved Performance*, North American Die Casting Association, 2009.
- [16] Kenar O., Yüksek Basınçlı Döküm Prosesi İle Üretilen Alüminyum Otomotiv Parçalarında Kalıp Tasarım Değişkenlerinin Parça Döküm Kalitesi Üzerine Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2019, 549612.
- [17] Hirsch J. R., Recent Development in Aluminium for Automotive Applications, *Transactions of Nonferrous Metals Society Of China*, DOI: 10.1016/S1003-6326(14)63305-7.
- [18] <https://tudoksad.org.tr/dokum-tarihi>, (Ziyaret Tarihi: 04 Ekim 2020).
- [19] Duran S., Metal Enjeksiyon Yöntemi İle Üretilen Alüminyum Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2014, 373147.
- [20] TOPHANE ENDÜSTRİ MESLEK LİSESİ (meb.gov.tr), (Ziyaret Tarihi: 04 Ekim 2020).
- [21] NADCA, *Introduction to Die Casting*, North American Die Casting Association, 2016.
- [22] Kalkan İ. H., Al-Si Yüksek Basınç Döküm Alaşımalarında Fe İntermetaliklerinin Kalıp Ömrüne Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016, 434067.
- [23] İzgi N., Alüminyumun Geri Dönüştürülmesi ve Özelliklerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011, 350378.
- [24] <https://lethiguel.org/cooling-solutions.html>, (Ziyaret Tarihi: 12 Ekim 2020).
- [25] Yalçınkaya S. T., Metal Enjeksiyon Tezgâhına Ergimiş Metal Besleme Robotu Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006, 223090.

- [26] Özçelik G., Enjeksiyon Kalıp Tasarımı ve Mukavemet Hesapları, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2004, 151162.
- [27] MEGEP, *Temel Hafif Metal Enjeksiyon Kalıpları 1*, Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, Ankara, 2006.
- [28] Aslan O. B., Basınçlı Dökümde Kaliteyi Etkileyen Faktörlerin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007, 200863.
- [29] Abdu Y. A., Shafii T. M., Dubey K. K., Gupta U. K., Design and Analysis of Pressure Die Casting Die for Automobile Component, *Global Journal of Research in Engineering*, 2016, **16**(3).
- [30] NADCA, Gating-manual, North American Die Casting Association, 2006.
- [31] Aksel L., Metal Enjeksiyon Kalıplarında Yolluk Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2008, 178419.
- [32] Rajasekar K., Priya G., Design and Development of Pressure Die Casting Parts, *International Journal of Engineering Research and Technology*, 2015, **3**(26).
- [33] Başakar Z., Yeni Bir Arazi Taşıtı Jantı Tasarımı ve Gerilme-Yorulma Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 2019, 567901.
- [34] Oytaç M., Türkiye Jant Sanayi ve Jant Sanayinde Kullanılan Kalıp Çelikleri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2006, 184035.
- [35] Ayran E., Alüminyum Alaşımli Otomobil Jantlarında Deneysel Darbe Testlerinin Sonlu Elemanları Yöntemiyle Doğrulanması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2019, 610401.
- [36] Şirin U., Alüminyum Alaşımli Otomobil Jantının Dinamik Testinin Modellenmesi ve Doğrulama Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2017, 496517.
- [37] Biro C. D., Cidar Ezmeli Sıvama Yönteminde Şekillendirici Makara Sayısının Altı Adede Çıkarılmasının İşlem Karakteristikleri ile Parça Kalitesi Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011, 295866.
- [38] Erdoğan M. B., Flow Forming Yöntemi İle Alüminyum Jant Üretiminin İncelenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Jant Analizlerinin Yapılması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2019, 594167.

- [39] Quan G. F., Ren, L. B., Process and Property of Superplastic Mould Forged AZ80 Wheel Hub, *Materials Science Forum*, DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.788.12.
- [40] Kuhlman G. W., Forging of Aluminum Alloys, ASM International, DOI: 10.1361/asmhba0003996.
- [41] Yılmaz S., An Investigation of Leakage Defects' Repair of Aluminium Casted Parts by Using Low Pressure Cold Spray Method, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2019, 581846.
- [42] Özaydın O., Alternatif Alaşımli Jant Malzemesi İle Mekanik Özellikleri İyileştirilmiş Ürün Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2019, 558283.
- [43] Koşatepe A., Tane İnceltisi İlavelerinin Al7Si0,3Mg Alaşımının Titreşimli Dökümüne Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2019, 562133.
- [44] Kaya A.Y., Özaydın O., Dokumacı E., Armakan E., Farklı Döküm Alaşımındaki Metal Akışkanlığının İncelenmesi, *Tüdoksad Akademi 2. Ulusal Döküm Kongresi*, İzmir, Türkiye, 30 Kasım-1 Aralık 2019.
- [45] Ou J., Wei C., Cockcroft S., Maijer D., Zhu L., A. L., Li C. Zhu Z., Advanced Process Simulation of Low Pressure Die Cast A356 Aluminum Automotive Wheels-Part 1, *Process Characterization, Metals*, DOI: 10.3390/met10050563.
- [46] Timelli G., Optimizing the Heat Treatment Process of Cast Aluminium Alloys, *Recent Trends in Processing and Degradation of Aluminium Alloys*, DOI: 10.5772/21659.
- [47] Vatansever F., Ertürk A. T., Karabay S., Alüminyum-Silisyum Alaşımının Mikroyapısal ve Mekanik Özelliklerinin T6 Isıl İşlemi ile İyileştirilmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, DOI: 10.21205/deufmd. 2018206062.
- [48] Çakırgöz İ., Dağ M., Aybarç U., Kara A., Jant Tornalama Sürecinde Takım Yolu Değişikliği İle Çevrim Sürelerinin İyileştirilmesi, *17. Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi*, Bursa, Türkiye, 12-15 Temmuz 2016.
- [49] Karakaş H. E., Binak Araç Jantlarının Yorulma Ömrü Test Süresinin Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2020, 625391.
- [50] Balkan O., Yavus S., Pozitif Malzeme Tanımlama, *Metal Dünyası*, 2019, (317), 72-80 Girgis A. A., Sallam A. A., El-Din A. K., An Adaptive Protection Scheme for Advanced Series Compensated (ASC) Transmission Lines, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 1998, **13**(2), 414-420.

- [51] Ercan Y., Kara A., Çubuklusu H. E., Ötektik Modifikasyon ve Soğuma Hızının Jantların Darbe Performansına Etkisi, *Tüdoksad Akademi 9. Döküm Kongresi*, Eskişehir, Türkiye, 20-21 Ekim 2017.
- [52] Şık A., Önder M., Korkmaz M., Taşıt Jantlarının Yapısal Analiz İle Yorulma Dayanımının Belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 2015, **3**(3), 565-574.
- [53] Işık M., Alüminyum Alaşımli Binek Araç Jantlarının Dinamik Viraj Yorulması Davranışının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2019, 605453.
- [54] Işık S., Zeren M., Atamay K., Yüksek Basınçlı Döküm Yöntemi İle Alüminyum Alaşımli Otomobil Jant Üretiminin Simülasyonu, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2020, **3**(1), 125-132.
- [55] <https://vimeo.com/269947049>, (Ziyaret Tarihi: 15 Aralık 2020).

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

- [1] **Işık S.**, Zeren M., Atamay K., Yüksek Basınçlı Döküm Yöntemi İle Alüminyum Alaşımli Otomobil Jant Üretiminin Simülasyonu, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2020, **3**(1) , 125-132.



ÖZGEÇMİŞ

Samed Berker Işık lise yıllarında fizik, kimya derslerine duyduğu ilgi ve doğup büyüdüğü çevrede ki metal sanayisine çalışan ana sanayi firmalarından ilham alarak tek bölüm tercihi ile Kocaeli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği'ni kazandı. 2017 yılında 2,89/4 not ortalaması ile mezun olup aynı yıl içinde Kocaeli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Yine aynı yıl içinde döküm sektöründe çalışmaya başlayan Samed Berker Işık iş hayatı ile akademik kariyerini başarılı bir şekilde sürdürmeye devam etmektedir.

