



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Al-Si YÜKSEK BASINÇ DÖKÜM ALAŞIMLARINDA Fe
İNERMETALİKLERİNİN KALIP ÖMRÜNE ETKİSİ**

İbrahim Halil KALKAN

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Doç. Dr. Derya DIŞPINAR

Haziran, 2016

İSTANBUL

Bu çalışma 01/07/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Metalurji ve Malzeme Mühendisliği programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi:



Doç.Dr. Derya Dışpınar (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof.Dr. İbrahim Yusufoglu
(ABD Başkanı)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof.Dr. Suat Yılmaz
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Doç.Dr. Cem Kahruman
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Doç.Dr. Kerem Güler
Yıldız Teknik Üniversitesi
Kimya-Metalurji Fakültesi



20.04.2016 tarihli resmi gazetede yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi'nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Lisans hayatımın başlangıcı ve tezimin yazım aşamasında, şu ana kadarki çalışma hayatıma kadar benden hiçbir bilgi birikimini ve desteğini eksik etmeyen danışman hocam Doç. Dr. Derya DIŞPINAR'a binlerce defa teşekkür ediyorum.

Çalışma süresince bana yardımcı olan ve birçok seri imalat deneyini beraber yaptığım iş ortağım, deney ortağım ve meslektaşım Ömer VARDAR'a teşekkür ediyorum.

Yine çalışma süresince benden desteğini esirgemeyen sevgili Tuğba BOZKURT'a, tanıştığım en iyi tasarımcı olan Alper PALANCI'ya desteklerinden ötürü minnettarım.

Tezin yazım aşamasından bitim aşamasına kadar bana her türlü imkânı sunan Arslan Makina'ya, Oğuzhan Arslan'a ve Kaan Arslan'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu çalışmamı benden hayatım boyunca desteklerini eksik etmeyen sevgili annem, babam ve kardeşime armağan ediyorum.

Haziran, 2016

İbrahim Halil KALKAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iii
TABLO LİSTESİ	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	3
3. MALZEME VE YÖNTEM	30
4. BULGULAR	43
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	70
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ.....	75

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Sturgiss'in icat ettiği kurşun dökümü için kullanılan ilk sıcak kamaralı basınç makinası [6].	5
Şekil 2.2: Kaz boynu şeması ve 1920'li yıllarda en sonunda ilk modern sıcak kamaralı yüksek basınçlı döküm makinası [6].	6
Şekil 2.3: Modern soğuk kamaralı yüksek basınçlı döküm makinası [7].	6
Şekil 2.4: Operatör tarafından yüksek basınçlı döküm makinasının genel görünümün şeması [6].	7
Şekil 2.5: Soğuk kamaralı yüksek basınçlı döküm makinasının üstten görünümü [6].	8
Şekil 2.6: Mekanik mengenenin kitlenmiş ve kitlenmemiş durumu. Makinanın dökebilirliğinin mantığı bu kitleme gücünün “Ton” olarak karşılığına bağlıdır [6].	9
Şekil 2.7: Frommer'in yüksek basınçlı dökümde ortaya attığı sıvının hareketi teorisi [8].	10
Şekil 2.8: Yüksek basınçlı dökümdeki yol, basınç ve hıza bağlı olarak çizilen faz geçişleri [8].	10
Şekil 2.9: Sıvı metalin birinci faz sırasında akışı. (a) Haznenin boyutu (b) Kritik hıza ulaşamaması (c) Kritik hız ile döküm (d) Kritik hızdan daha yüksek hız ile hava kapılması [8].	11
Şekil 2.10: Kritik hız ile kritik konum. [8].	12
Şekil 2.11: Sıvı metalin kalıba girerken oluşturduğu karakteristik durumlar.	14
Şekil 2.12: A) Laminer dolum B) Sprey dolum [6].	14
Şekil 2.13: Giriş hızı ve dolum zamanı arasındaki ilişkinin parça üzerindeki etkisi [9].	15
Şekil 2.14: Yüksek basınçlı dökümde vuruş grubu basınç sisteminin şeması [9].	16
Şekil 2.15: Pistondan uzaklaştıkça soğuma farklılığından dolayı meydana gelen mikro yapı [7].	19

Şekil 2.16: Magnezyum yüksek basınçlı dökümü için yapılmış çalışmada biscuit kalınlığının parçanın aynı yerinden alınan mikroyapıya olan etkisi [8]. a) 13 mm; b) 23 mm; c)32 mm; d) 43 mm; e) 52 mm; f) 65 mm [9].....	20
Şekil 2.17: Tipik bir yüksek basınçlı dökümde tüm fazları gösteren ve modern makinaların da verebildiği Hareket-Hız-Basınç grafiği. [7].	20
Şekil 2.18: Basit bir şekilde vakum sisteminin basit şeması [8].....	22
Şekil 2.19: Örnek bir vakum ventilinin konum şeması [9].....	22
Şekil 2.20: Vakum sisteminin dökülen parçanın üzerindeki etkisi [7].....	23
Şekil 2.21: Sıvı metalin hava kaparak oluşturduğu Bifilm tabakası [19].....	25
Şekil 2.22: İki tür Bifilm tabakasının döküm yüzeyinde oluşmuş hali [19].....	25
Şekil 2.23: Yüksek basınçlı dökümde ısıtma işlem sonrası kaliteyi araştıran Lumney'in süre ve sıcaklık açısından yaptığı deneyler sonucunda çıkan parçaların yüzey kalitesi [21].....	26
Şekil 2.24: Şekil 2. 23'te gösterilen dökülmüş numunelerin ısıtma işlem sonrasındaki mikro yapısı. 16 saat sonucunda ortaya çıkan siyah ve büyük gözenekler (b) poroziteye bağlı blister oluşumuna en iyi örnek olarak gösterilebilir [21]	27
Şekil 3.1: A) Bifilm indeksi yüksek hammadde B) Bifilm indeksi düşük hammadde.	30
Şekil 3.2: Blister oluşumu için incelenen parçaların geometrisi.	32
Şekil 3.3: Deneyde kullanılan prototip ultrasonik cihazı. (38 Hertz, 90 Watt)	33
Şekil 3.4: a) Otomatik yüzey temizleme hattının otomasyon ekranı.....	35
Şekil 3.5: Parçalar dizilişi.....	35
Şekil 3.6: Parçaların cihaz içerisinde yıkanişı.	35
Şekil 3.7: Yüzey temizleme hattı ve parçaların sepetlere dizilişi.....	36
Şekil 3.8: Kullanılan boya fırını.	36
Şekil 3.9: Parçaların boya fırınına gönderilmesi.	37
Şekil 3.10: PCD uçların işlediği parçanın geometrisi.....	38
Şekil 3.11: Parçanın geometrisi.	39
Şekil 3.12: Frezelenmiş parçanın görünümü.	40
Şekil 3.13: Parçanın üç boyutlu önden, arkadan ve yan tarafından görünümü.	40

Şekil 3.14: Kırmızı bölge frezelenen, sarı bölge ise yolluk bağlantısını göstermektedir.....	41
Şekil 3.15: Şekilde parçanın frezelenen kırmızı bölgesi, sarı olarak gösterilen yolluk tarafının parçaya bağlantısı ve hava ceplerinin bağlantı noktaları gösteriliyor.	41
Şekil 3.16: A: 1. Deney’de kullanılan hammadde kalitesi (1. Pota) B: 2. Deney’de kullanılan hammadde (1. Pota). (30 mbar’lık vakumda 4 dakika RPT sonuçları)	42
Şekil 3.17: C: 1. Deney’de kullanılan hammadde kalitesi (2. Pota) C: 2. Deney’de kullanılan hammadde kalitesi (2. Pota) (30 mbar’lık vakumda 4 dakika RPT sonucu.	42
Şekil 4.1: Bifilm indeksi yüksek hammadde dökümü sonrasında ortaya çıkan hurda parçaların bir kısmı.	44
Şekil 4.2: Bilisterlerin parça üzerindeki görünümü.	44
Şekil 4.3: Blisterlerin kesit görünümü.	45
Şekil 4.4: Blister kesidinin bifilm teorisine benzerliği.	45
Şekil 4.5: 1 numaralı parametrede parçalarda çıkan hurdaların siyah noktaların dağılımı.	46
Şekil 4.6: 2 numaralı parametrede çıkan hurdaların siyah nokta dağılımı.	46
Şekil 4.7: 3 numaralı parametrede çıkan hurdaların siyah nokta dağılımı.	47
Şekil 4.8: 4 numaralı parametrede çıkan siyah noktaların dağılımı.	47
Şekil 4.9: 5 numaralı parametrede çıkan siyah noktaların dağılımı.	48
Şekil 4.10: 6 numaralı parametrede hurdaların siyah nokta dağılımı.	48
Şekil 4.11: 7 numaralı parametrede çıkan hurdaların siyah nokta dağılımı.	49
Şekil 4.12: 8 numaralı parametrede çıkan hurdaların siyah nokta dağılımları.	49
Şekil 4.13: 9 numaralı parametrede çıkan hurdaların siyah nokta dağılımları.	50
Şekil 4.14: Parçaların fire oranı ve ultrasonik banyoda kalma süreleri arasındaki ilişki.....	52
Şekil 4.15: Banyo kirliliği ile fire oranı arasındaki ilişki.	52
Şekil 4.16: Yüzey temizleme hattından “siyah noktalı” çıkan parçaların SEM görüntüleri.....	53
Şekil 4.17: Titanyum-Bor parçalarının parça içindeki dağılımının heterojenliği....	53

Şekil 4.18: Tam olarak boyanın süreksiz olduğu noktaya yapılan EDS diyagramı.	54
Şekil 4.19: Herhangi bir noktacığa yapılan EDS diyagramı.	54
Şekil 4.20: Toplam Fire miktarının düşüş eğilimi. 1: AlTi5B kullanılarak elde edilen; 2: AlTi5B kullanılmadan edilen döküm firesi	56
Şekil 4.21: AlTi5B modifikasyon çubuklarının 80.000 adetlik parça için ortaya çıkan maliyeti.	56
Şekil 4.22: 1. PCD ucun imalata başlamadan önceki, hiç kullanılmamış hali.	58
Şekil 4.23: 1. PCD ucun 500. adetteki görünümü.	59
Şekil 4.24: 1. PCD ucun 1000. Adetteki görünümü.	59
Şekil 4.25: 1. PCD ucun 2500. adetteki görünümü.	59
Şekil 4.26: 1. PCD ucun 3500. adetteki görünümü.	59
Şekil 4.27: 1. PCD ucun 4500. adetteki görünümü.	60
Şekil 4.28: 1. PCD ucun son geldiği nokta. Kırılmadan, 13 adet oksitli parçaya denk gelerek toplamda 5500. adet parça işlendi.	60
Şekil 4.29: 2. PCD ucun 4250. adetteki kırılmaya yakın aşınması.....	61
Şekil 4.30: 2. PCD ucu kıran intermetalikler.....	61
Şekil 4.31: Sadece 92 adet işleme sonrasında intermetalige denk gelen 3. PCD ucun kırılan alanının görüntüsü.	62
Şekil 4.32: 3. PCD ucu 92 adetteyken kıran intermetalik.....	62
Şekil 4.33: 2 ve 1 numaralı PCD uçların denk gelen intermetalik parçalar.	63
Şekil 4.34: Açık renk intermetaligi az olan, koyu renk intermetaligi fazla olan dökümü temsil etmektedir. Maliyet kıyaslaması.	63
Şekil 4.35: İntermetalikler engellenmeden önceki ve engellendikten sonraki maliyet dağılımı.	65
Şekil 4.36: 1. Deney sonucunda ayrılan 165 adetlik parçaların görünümü.	66
Şekil 4.37: 2. Deney sonucunda ayrılan 7 adetlik parça miktarı.	67
Şekil 4.38: Hava cebine ya da yolluğa denk gelmeyen intermetalikler.....	68
Şekil 4.39: Şekil 4.38’de gösterilen alanın SEM ve EDS sonucu.	68

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: Deneysel çalışmalarda kullanılan alaşımların bileşimi.....	30
Tablo 3.2: Numune adetleri ve ısıtım işlem parametreleri	31
Tablo 3.3: Deneyde kullanılan parametrelerin teknik özellikleri ve değerleri.....	32
Tablo 3.4: Bu tabloda sırasıyla yüzey temizleme hattı ve banyoları belirtilmiştir..	34
Tablo 3.5: Deney parametreleri ve numune sayısı.	38
Tablo 4.1: Deney sonucunda ortaya çıkan fire miktarı.	43
Tablo 4.2: Numune sayısı, deney parametreleri ve fire miktarları.....	50
Tablo 4.3: AlTi5B kullanımı olmadan dökülen deneyin sonuçları.	55
Tablo 4.4: 80.000 baskılık ömürden ortaya çıkan firelerin maliyeti.	55
Tablo 4.5: Hammadde kalitesine bağlı olarak kullanılan PCD uç miktarları	57
Tablo 4.6: işlenen parçaların intermetalikli parça sayısına göre PCD uçlar	58
Tablo 4.7: Deney aşamasına kadar intermetalik sebepli ayrılmış toplam maliyeti.	64
Tablo 4.8: Deneylerin sayısal verileri ve fire yüzdesi.	65

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Al-Si YÜKSEK BASINÇ DÖKÜM ALAŞIMLARINDA Fe İNTERMETALİKLERİNİN KALIP ÖMRÜNE ETKİSİ

İbrahim Halil KALKAN

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Derya DIŞPINAR

Sıvı metalin kontrolü kalıp ömrünün belirlenmesinde büyük rol taşımaktadır. Yüksek basınçlı dökümde hammadde kalitesine dikkat edilmeden yapılan üretimler sonucunda ortaya çıkan her bozuk parça kalıp ömrünü azaltmaktadır. Çünkü imalatta hatalı çıkan parçaların hepsi aslında kalıbın bastığı “boş baskı” olarak değerlendirilebilir. Bu çalışmada seri imalat ortamında 5 ayrı parça üzerinde 5 ayrı deney yapılmıştır. Parçaların kronik sorunları hammadde iyileştirilmesiyle çözülmüştür. Ortalama +% 12’lik bir iyileştirme sağlanarak, hammaddede yapılan iyileştirmeler sonucunda yüksek basınçlı dökümdeki en önemli yatırım olan kalıbın +% 12 verimlilikle çalışabileceği ortaya konulmuştur. Bu etkiler göz önünde bulundurulurken hammadde kalitesinin ısıl işlem sonrası ve boya sonrası talaşlı imalattaki takım ömürlerine olan etkisi incelenmiştir.

Haziran 2016, 85 sayfa.

Anahtar kelimeler: Yüksek basınçlı döküm, bifilm, kalıp ömrü

SUMMARY

M.Sc. THESIS

EFFECT OF Fe INTERMETALLICS ON DIE LIFE OF Al-Si HIGH PRESSURE DIE CASTING ALLOYS

İbrahim Halil KALKAN

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Derya DISPINAR

Controlling of liquid metal quality is very important to clarify of the tool life. Generally, in high pressure die casting process, manufacturers are not considering on quality of melting aluminum and consequently every scrapped parts are decreasing tool life because the scrapped part means “waste of shot” in the other words. In this thesis, 5 important experiments have done with the 5 different parts in serial production conditions. Chronic problems have solved with the improvement of melting aluminum quality. At the end of the experiments it is proved that providing an average +12% improvement can be obtained more productive tool which is the most expensive investment in high pressure die casting parts. Quality of melting aluminum effects have analyzed according to after heat treatment process, cutting tool life time and after painting quality while considering on melting aluminum effect on tool life. These scientific studies are made in serial production for the first time in the high pressure die casting literature.

June 2016, 85 pages.

Keywords: High pressure die casting, bifilms, tool life time

1. GİRİŞ

Yüksek basınçlı döküm prosesi demir dışı alaşımların kolayca şekillendirilmesini sağlayan karmaşık dizaynları dökülebilir hale getiren döküm prosesidir. Erimiş metal sıcak iş çeliğinden yapılmış kalıbın içerisine, yüksek basınç altında, yüksek bir hızla enjekte edilerek şekillendirilir [1]. Tüm döküm prosesi saniyeler içerisinde kalıbın içerisinde gerçekleşir. Günümüzde yüksek basınçlı döküm prosesi ile üretilen milyonlarca ton alüminyum malzeme her geçen gün müşteriler tarafından mekanik özellikler olarak daha da üst düzey olarak istenilmektedir. Daha iyi çekme, daha yüksek akma ve korozyona daha dirençli malzemeler hiç şüphesiz ki tamamen alüminyum-oksitlerden arınmış, gazlardan temizlenmiş, iyi bir şekilde vakum edilmiş, iyi tasarlanmış bir kalıpla mümkün olmaktadır [2].

Yüksek basınçlı dökümde en önemli müşteri yatırımı parçalara şeklini veren kalıplardır. 12.000 €'dan 80.000 €'ya değişen kalıp maliyetlerinin en çok geliştirilmesi gereken noktası kalıpların ömrünün uzatılmasıdır. Bu sebepten dolayı yapılan çalışmaların birçoğu kalıpların ömrünün belirlenmesine yönelik sıcaklığın ve alaşım elementlerinin kalıp aşınması üzerine olan etkisiydi. Bu konuyla ilgili yapılan en detaylı çalışma M. Makhlof ve Diran Apelian'ın yaptığı değerli çalışmadır. Bu çalışmada bulunan "Sludge Factor" her ne kadar kalıp aşınmasına dair teorik bilgi verse de Sludge Factor formülünün endüstride ve seri imalatta uygulanması oldukça zordur [3]. Özellikle yüksek basınçlı dökümde dar toleransta alaşımlarla çalışmak ve literatür çalışmalarını seri imalata taşımak sağlıklı bilgi vermeyecektir. Jorstad ve Gobracht'ın Sludge Factor çalışmaları da Fe, Mn ve Cr'ye dair teorik olarak aşınmalara yönelik önemli ipuçları verseler de bir üretim firmasının kalıp ömrünü belirlemesi her koşulda oldukça zordur[4, 5]. Sonuç olarak kalıp ömrünün artırılması üretici firma için daha fazla ürünün satılması anlamına gelmeli ve daha fazla ürün üzerinden kâr edilmesi amacı gütmelidir. Yüksek basınçlı döküm sektöründe Alüminyum kalıpları en iyi tahminle 120.000 adet ile en kötümser tahminle 20.000 adet baskı sayısına ulaşmaktadırlar. Bazı kalıpların henüz 3.000 adetlik baskıdayken önemli yerlerinin kopması, yolluk ağzlarının aşınması gibi detaylar üretici firmayı şaşırtmakta ama bir o kadar da bu gibi durumları alıştırmaktadır. Kalıp

çeliklerinin hammaddelerinin farklı firmalarda hatta ülkelerde blok halinde dökülmesi, ısıl işlem parametrelerinin sürekli değişmesi, kalıbın son halini alması için CNC esnasında binlerce takım darbesine maruz kalması, kalıbın numune aşamasında yıpranması, nitrasyon yapılması gibi bir çırpıda sayılacak örnekler ve hatta seri imalatta döküm parametrelerinin değişiyor olması kalıp ömrünü belli bir formüle dayandırılmasının çok zor olacağının en basit örneğidir. Sıvı hammadde içerisinde bulunan Fe, B veya Bifilm intermetaliklerinin de etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.

Yukarıda bahsedilen “kalıp ömrü-üretilen sağlam parça sayısı” üzerinden bir örnekle açıklayalım. 100.000 adetlik ömür sonucunda ortaya çıkan sağlam ürün sayısının firelerle birlikte 78.000 olduğunu varsayalım.(CNC işleme, boya ve mekanik işlemeyi dahil ediyorum) Burada % 22’lik bir fireden söz konusudur. % 22 işçilik kaybı, enerji kaybı ve daha kötüsü pakete girmeden hemen önce yakalanan malzemeler için kat be kat daha fazla maliyet söz konusudur. Tabi ki 100.000 adedi bir sonraki imalatta görmek oldukça zor olacaktır. Eğer ortalama baskılarda çalışırsak ve bir sonraki imalatta “kronik” hataları düzelttiğimizi varsayarsak ikinci bir senaryoya ulaşırız. 70.000 adetlik bir baskı (ortalama anlamda oldukça yerinde bir tahmin) sonucunda 64.000 adetlik bir üretim sağlayarak % 8’lik bir fire oranına hiçbir üretici hayır demeyecektir. Bu çalışmanın amacı Sludge Factor ya da kalıp ömrünün belirlenmesi zor olduğundan dolayı sıvı alüminyum içerisindeki Fe, B veya Bifilm intermetaliklerinin temizlenmesi ya da kontrol altına alınmasıyla da kalıp ömrünün, pakete giren sağlam ürün oranıyla uzatılabileceğine dair bir dizi seri imalat ortamında yapılan deneyleri göz önüne sermektir. Çünkü kalıp aşınmasına dair yapılan çalışmaların ortaya koyduğu sonuçlar Cr, Fe, Cu, Mn gibi elementlerin sürekli kalıbı aşındırdığı yönünde olmaktadır. Ama otomotiv sektöründe de mukavemetli alaşımlar istenildiği için bu elementlerden de vazgeçilememektedir [6]. Bu yüzden öncelikle amaç imalattaki fireleri azaltarak, üretici firmanın pakete koyabildiği nihai ürünün oranını kalıp baskı sayısına göre oldukça yüksek oranda tutmak olmalıdır. Çünkü proseste ayrılmış fire aslında kalıbın bastığı boş birer baskıdır ve kalıbın ömründen götürmektedir. Bu çalışma, bu perspektiften bakılarak yapılmıştı ve yukarıdaki örnekler bire bir uygulama olarak sahadaki sonuçları görülmüştür.

2. GENEL KISIMLAR

Yüksek basınçlı döküm ile kokil kalıba nazaran daha hızlı ve daha karmaşık parçalar dökülebilmektedir. Özellikle alüminyumun hızlı bir şekilde geri dönüştürülmesi, ekonomik olarak üretilmesi ve yüksek kaliteye sahip parçaların dökümünün kolay olması yüksek basınçlı dökümü günümüzde avantajlı kılmaktadır. Yüksek basınçlı dökümde genellikle kullanılan alaşımlar [6]:

- Al alaşımları
 - A380 ve A383 Al-Si-Cu alaşımları
 - A413 Al-Si alaşımı
 - A390 Al-Si alaşımı
 - A360 Al-Si-Mg alaşımı
 - A518 Al-Mg alaşımı
- Mg alaşımları
 - AZ91 D Mg-Al-Zn alaşımları
 - AM60 B Mg-Al alaşımları
- Çinko Alaşımları
 - No. 3 ve No. 7 Zn-Al alaşımları
 - No.2 ve No. 5 Zn-Al-Cu alaşımları

Yüksek basınçlı dökümde kullanılan makinanın en önemli parametresi ton olarak kitleme gücüdür. Bir parçanın fizibilitesi yapılırken göz önünde bulundurulacak bir numaralı etken olan kitleme gücü ihtiyacı, parçanın projeksiyon alanı büyüdükçe artar. Yüksek basınçlı dökümün başlıca avantajları [7];

- Çok hızlı olması,
- Kullanılan kalıpların ömrünün iyi bir bakım ve uygun parametrelerle dökümü ile parçanın ilk yatırım maliyetini çıkartması,
- Ölçüsel olarak daha hassas parça dökülebilmesi,
- Çok fazla işleme payının olmaması,

- Karmaşık şekilli parçaların dökülebilmesi,
- Az metal kaybı, yüksek geri dönüşüm,
- Hızlı soğumadan ötürü mukavemet oldukça yüksektir ve modifikasyonlarla geliştirmeye açıktır,
- Yüzey kalitesi son derece iyidir.

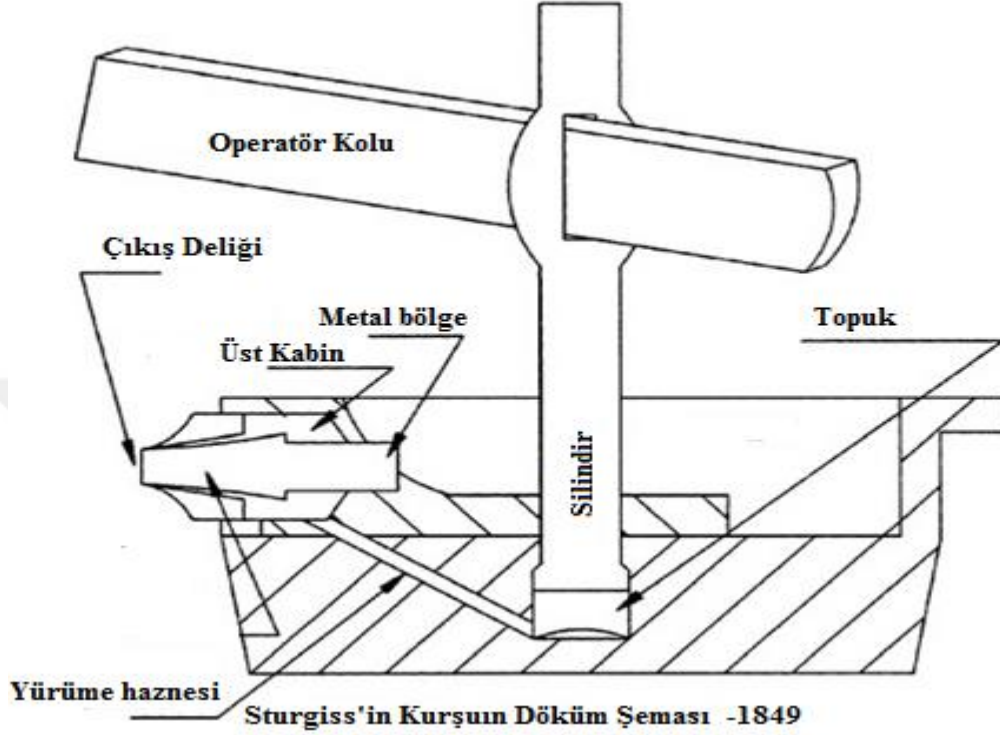
Dezavantajları;

- Sınırlı boyutta ve kalınlıkta parça dökülebilir,
- Gazın tahliyesi oldukça zordur,
- Metalin kalıp içinde yüksek basınçtaki davranışı tam bir bilinmezlik içerir ve bunu öngörebilmek için çok pahalı simülasyon yatırımları yapmak gerekebilir,
- Kalıp maliyeti yüksektir,
- Kontrol altında tutulması gereken çok fazla parametre vardır,
- Çok iyi bir tasarımcı, kalıpcı ve bilgi birikimi gerektirmektedir.

Yüksek basınçlı dökümün tarihi oldukça eskilere dayanmaktadır. 1800'lü yıllarda Amerika'da "Altına Hücum" zamanında nehirde altın toplarken, erimiş kurşunu bu makinayla dökmeyi ilk akıl eden Sturgiss tarafından icat edilmiştir. Makinayı erimiş kurşunu sıkıştırarak dökebilecek şekilde getiren makinayı tasarladıktan sonra hızlı üretim yapmak başarıldı [6] (Şekil 2.1).

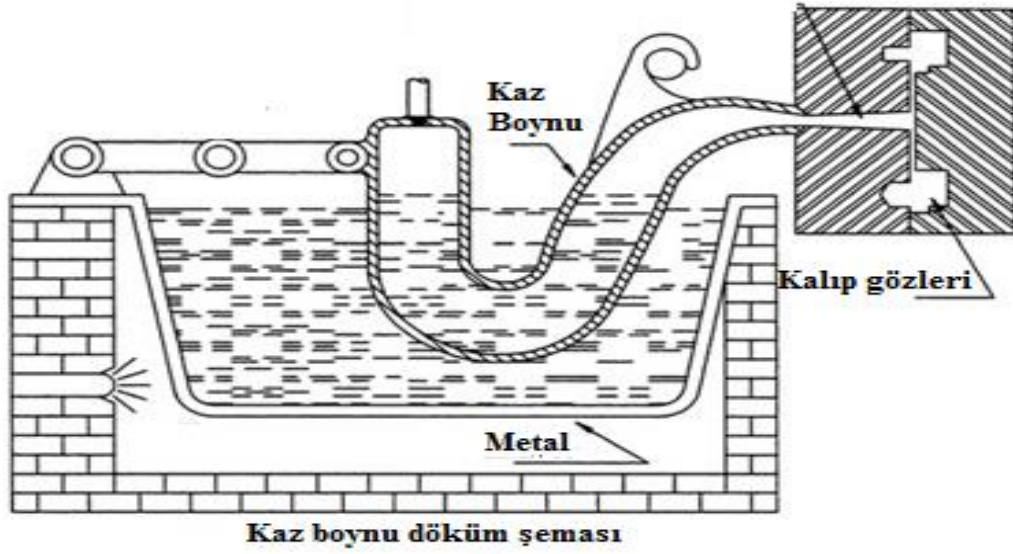
Sturgiss'in yaptığı devrim ile birlikte "Altına Hücum" çağı biterken yüksek basınçlı döküm çağı başlamıştır. Sturgiss'in fikri sıcak kamaralı yüksek basınçlı dökümün ilk patentidir. Daha sonra daha karmaşık ve büyük parçalar dökmek isteyen Dussenbury 1877 yılında, daha gelişmiş bir makina icat etmiştir ancak patentini almaya yetmemiştir. 1900'lü yılların başına kadar tüm gelişmeler kalay ve kurşun metalleri üzerine yoğunlaşmıştır. Çünkü sadece bu iki metalin akışkanlığı ve erime noktaları bilinmekteydi. Yumuşak ve güçlü olmayan bu iki elementin yerini alacak alüminyum için 1900'lü yıllarda ortaya çıkacak otomotiv endüstrisi beklemiştir. Matbaada kullanılan kalay ve kurşun alaşımlarının dışında otomotiv için daha güçlü bir element kullanılması zorunluydu. Çeliğin yüksek ergime sıcaklığı, kalay ve kurşunun mukavemetsiz oluşunu alüminyum ve alüminyum alaşımları çözmüştür. 1900'lü yılların başında dökümüne

başlanan alüminyum kısa zamanda dönemin popüler elementi olmuştur. 1907 yılında ise bambaşka bir yüksek basınçlı döküm yöntemi icat edilmiştir.

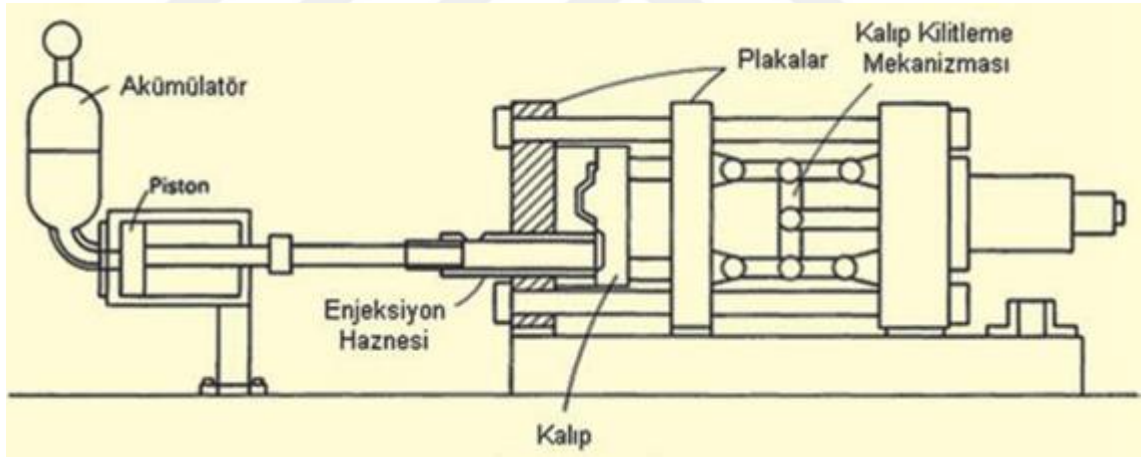


Şekil 2.1: Sturgiss'in icat ettiği kurşun dökümü için kullanılan ilk sıcak kamaralı basınç makinası [6].

Kaz boynu tipi yüksek basınçlı döküm yönteminin 1907'deki tasarımı (Şekil 2.2) kısa süre içerisinde 1920'deki tasarıma evrildi. (Şekil 2.3) Bu tip fırınlarda daha düşük erime noktalı alaşımlar kullanılmaya başlandı ve "Sıcak Kamaralı Döküm" olarak adlandırıldı. Kuzey Amerika'daysa 1930'lu yıllarda alüminyum alaşımının hızlı dökülmesi rekabetinden dolayı ortaya çıkan sonuç, günümüzde ilk tasarımından pek bir şey kaybetmeyen, alüminyum alaşımlarının döküm yöntemi oldu: "Soğuk Kamaralı Döküm" [1]. (Şekil 2.4)

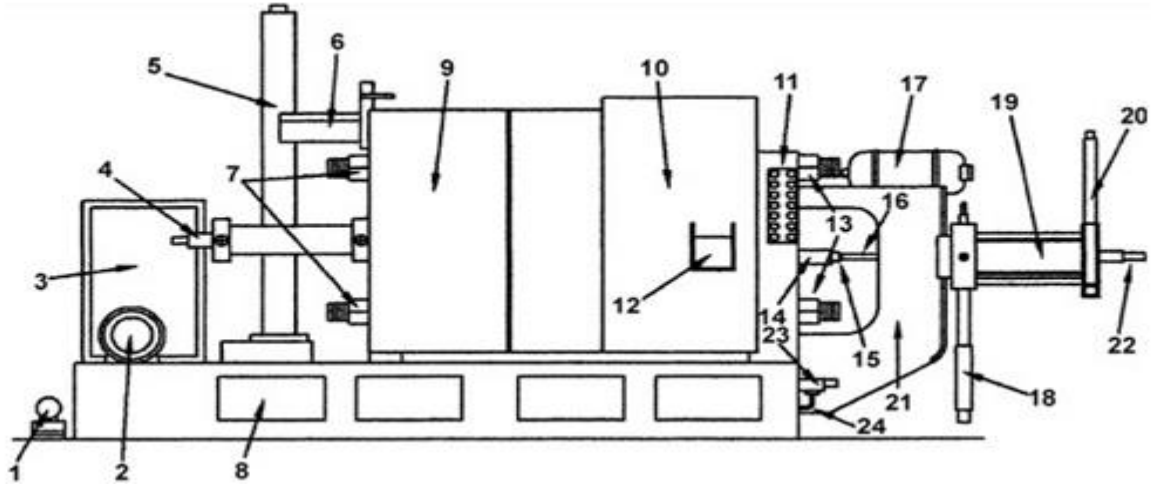


Şekil 2.2: Kaz boynu şeması ve 1920'li yıllarda en sonunda ilk modern sıcak kamaralı yüksek basınçlı döküm makinası [6].



Şekil 2.3: Modern soğuk kamaralı yüksek basınçlı döküm makinası [7].

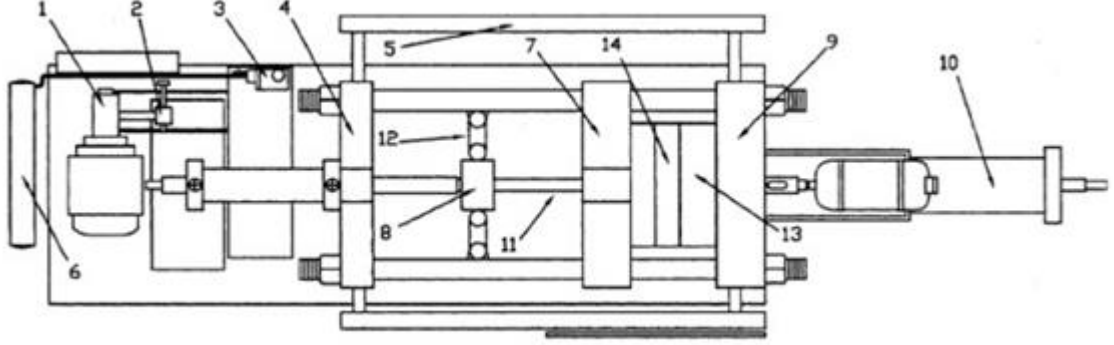
Soğuk kamaralı yüksek basınçlı döküm makinalarının oluşumu için günümüzde birçok mühendislik dalı bir araya gelmektedir. Bir yüksek basınçlı döküm makinası oldukça karmaşık ve uzunca yıllar dayanımı yüksek bir bileşenler bütününe sahip olmalıdır.



Şekil 2.4: Operatör tarafından yüksek basınçlı döküm makinasının genel görünümün şeması [6].

1. Kalıp şartlandırıcı
2. Ana motor
3. Elektrik kabini
4. Kalıp kilitleme silindiri
5. Kalıp kitleme akümülatörü
6. Güvenlik kilidi
7. Kilitleme iğneleri
8. Makina altı erişi
9. Ek güvenlik kapısı
10. Ana güvenlik kapısı
11. Operatörün kontrol istasyonu
12. Gözleme penceresi
13. Kilitleme iğneleri
14. Soğuk kamara
15. Mühre
16. Vuruş kolu
17. Vuruş akümülatörü
18. Sıfır noktası
19. Vuruş silindiri
20. Piston vuruş akümülatörü
21. Vuruş bitişi C formu

22. Ek vuruş yeri
23. Vuruş hızı kontrolü
24. Hidrolik geri dönüş çizgisi

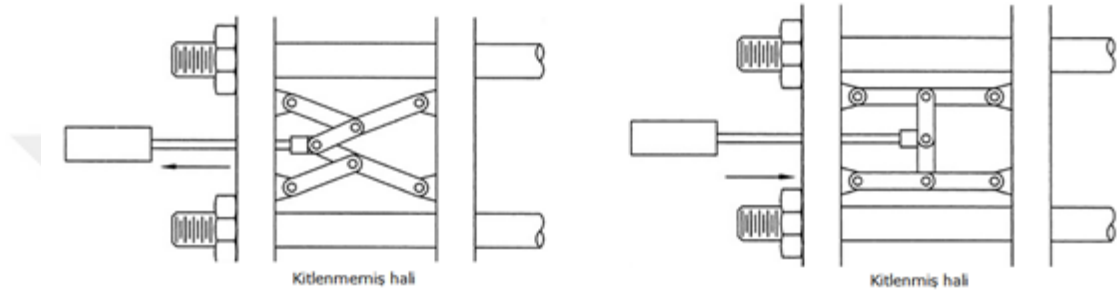


Şekil 2.5: Soğuk kamaralı yüksek basınçlı döküm makinasının üstten görünümü [6].

1. Pompalar
2. Emiş valfi
3. Çevrimsel pompa ve filtre
4. Ayarlanabilir plaka
5. Güvenlik kapısı
6. Kalıp şartlandırıcı
7. Hareketli plaka
8. Piston başı
9. Sabit plaka
10. Silindir
11. Piston silindiri
12. Mengene
13. Sabit çelik
14. Hareketli çelik

Bir yüksek basınçlı döküm makinasının, bir parçayı dökülebilirliğini sahip olduğu kitleme gücü belirler. Kitleme gücü “Ton” olarak ifade edilir. 160 T’luk makinalardan 3500 T’luk

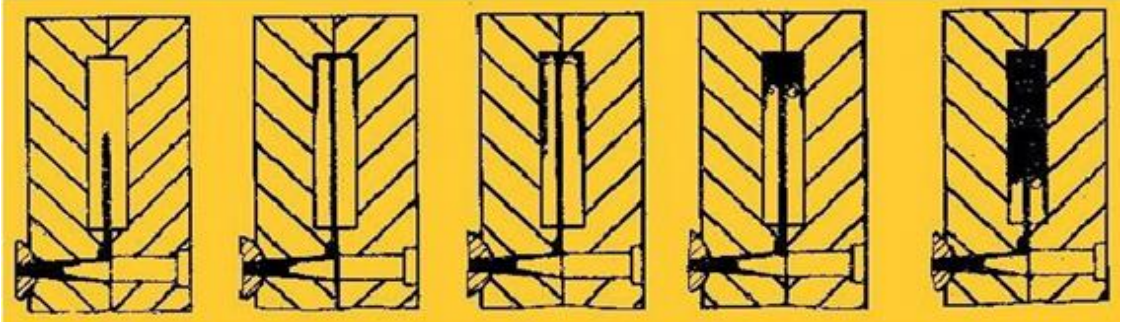
makinalara kadar geniş yelpazede makina üretilebilmektedir (Şekil 2.6). Makinanın tonajı arttıkça döktüğü parçanın büyüklüğü, et kalınlığı ve projeksiyon alanı da artmaktadır. Genelde, orta sınıf makinalarda, kitleme tarafı hidrolikler tarafından yapılır ve mekanik bir kitleme gözlemlenir. Yağ hidrolikleri makinanın makaslarını kitler. Makinanın vuruş kısmını ise gaz hidrolikleri sağlamaktadır. Azot gazı ile 250-300 bar'lardan – 1500 bar'lara kadar vuruş ayarlanabilir. Vuruşu sağlayan azot akümülatörleridir. Yüksek basınç yardımıyla silindiri itekler ve metali kalıba enjekte eder.



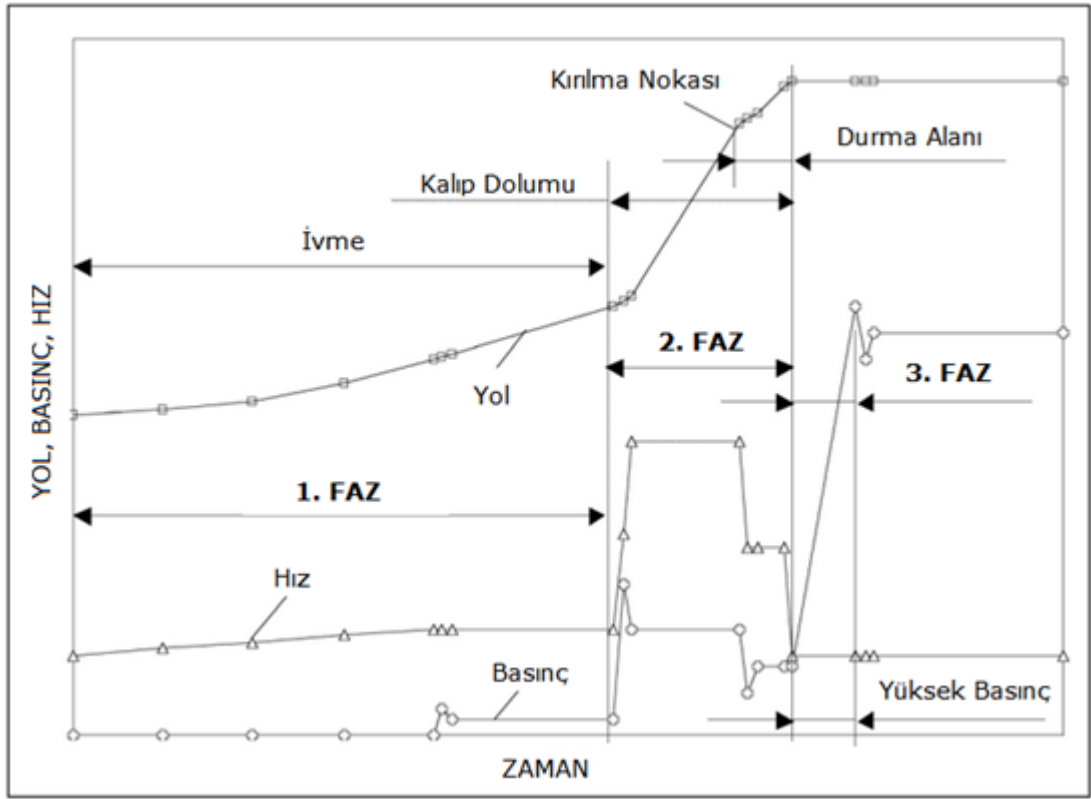
Şekil 2.6: Mekanik mengenenin kitlenmiş ve kitlenmemiş durumu. Makinanın dökebilirliğinin mantığı bu kitleme gücünün "Ton" olarak karşılığına bağlıdır [6].

Yüksek basınçlı döküm ile ilgili en yakın teori, sıvı metallerin yüksek basınçtaki hareketi üzerine çalışan L. Frommer'e aittir. Frommer 1930-1950'li yıllarda günümüze en yakın kalıp içerisinde yüksek hızla hareket eden sıvının teorisinin temellerini atmıştır [8]. Bugün Frommer'in teorisi daha sonra yapılan çalışmalarla defalarca kanıtlanmıştır. Frommer'in teorisine göre kalıbın içerisine yüksek hızla giren metal, ilk olarak karşı duvara çarpıyor ve geri sekiyor. Tam olarak 2. fazın başlangıcına denk gelen bu an günümüzdeki tüm yüksek basınçlı döküm simülasyonlarının ve çalışmalarının temelini oluşturuyor (Şekil 2.7).

Frommer'in yasası sadece ikinci fazı kapsamaktadır. Yüksek basınçlı döküm temelde 3 fazdan oluşmaktadır. Kepçeden hazneye metalin döküldüğü andan, silindirin ivmelenip hızının sıfıra doğru yaklaştığı ana kadar döküm devam eder. Birinci faz, ikinci faz ve üçüncü faz yüksek basınçlı dökümün temelini oluşturmaktadır.



Şekil 2.7: Frommer'in yüksek basınçlı dökümde ortaya attığı sıvının hareketi teorisi [8].

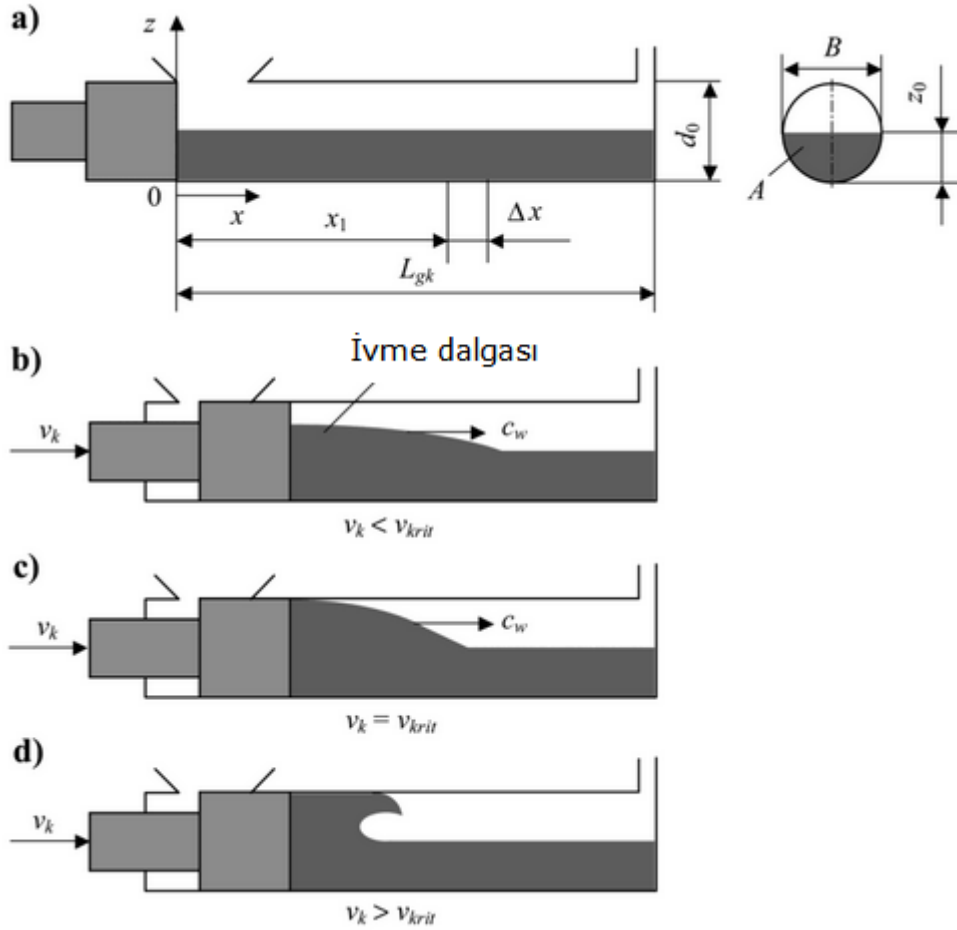


Şekil 2.8: Yüksek basınçlı dökümdeki yol, basınç ve hıza bağlı olarak çizilen faz geçişleri [8].

- **Birinci Faz**

Birinci faz yüksek basınçlı dökümde çok büyük önem teşkil eder. Bu fazda 0 basınç mevcuttur. Yüksek hız yoktur, silindir ivmelenir. Burada ivme oldukça önemlidir. Kepçenin hazneyi doldurmaya başladığı andan itibaren metalin hızlı bir şekilde soğuduğunu göz önünde bulundurarak, metalin hangi hızla, hangi doluluk oranıyla hazne

içinde bulunduğunu bilmek gerekmektedir. Birinci fazın nereden başlayacağını, hangi noktadan itibaren ikinci faza geçiş yapılacağını belirlemek parçanın yüzey kalitesine doğrudan etki eden faktördür. Eğer birinci faz çok geç biterse parçanın üzerinde soğuk birleşmeler, karartılar, çiçeklenmeler ve kabuklaşmaların görülmesi kaçınılmazdır. Eğer birinci faz çok erken biterse, kritik hızın üzerinde bulunduğu için sıvı metal hava kapacak ve türbülanslı döküm olacaktır. Bu da parçanın CNC işlemeden sonra boşluk ortaya çıkmasına, mukavemetinin azalmasına sebebiyet verecektir. Birinci faz uygun hızda uygulanmalıdır.

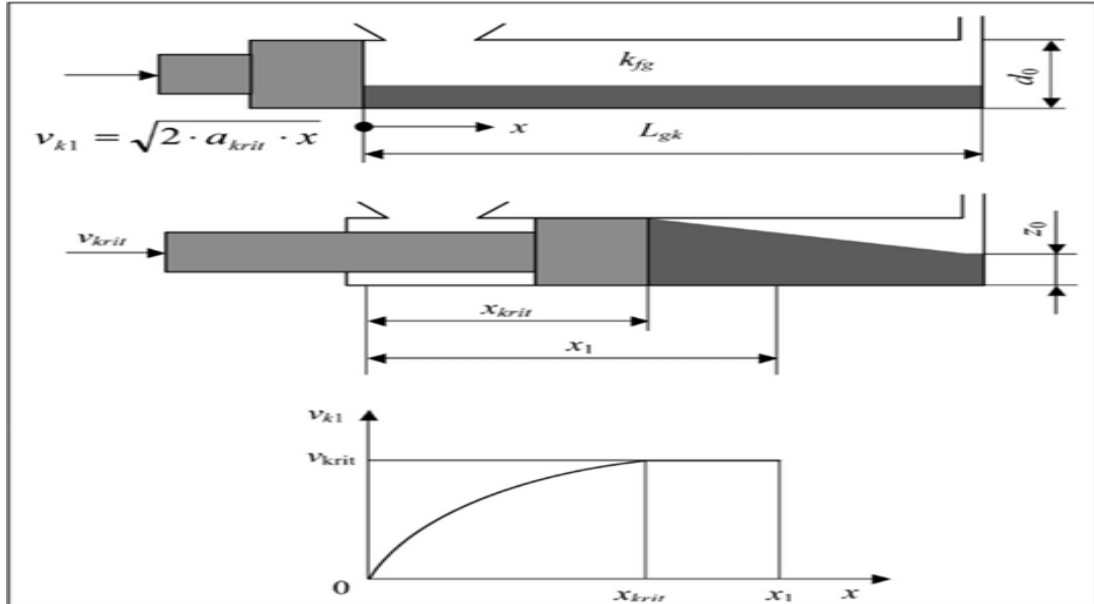


Şekil 2.9: Sıvı metalin birinci faz sırasında akışı. (a) Haznenin boyutu (b) Kritik hıza ulaşamaması (c) Kritik hız ile döküm (d) Kritik hızdan daha yüksek hız ile hava kapılması [8].

Haznenin boyu, kullanılan silindirin çapı ve parçanın ağırlığı birinci faz bitiş noktasını belirler. Haznenin maksimum % 70 doluluk oranında olması, doğru silindirin kullanılması oldukça önemlidir.

Dolum %'si = Parçanın ağırlığı (kg) x 100 / Yoğunluk (kg/m³) x Gerçek Döküm Hacmi(m³)

dolum yüzdesi hesaplanabilir. Haznenin doluluk oranı, piston ilerledikçe kritik hızla bağlantılı olmak üzere, kritik konumu belirler. Kritik konum, kritik hızla beraber birinci fazın en önemli ikinci noktasıdır. Piston hazne içerisinde sıvı metali yüzde yüz sıkıştırdığı zaman, metal yolluğa dolmaya başlar. Bir sonraki dolacağı nokta ise parçanın kalıptaki formudur. Eğer konum belirlenemezse ikinci faza geçiş konumu parça dolmaya başladıktan sonra olur ki bu da parçanın yüzeysel anlamda kötü çıkmasına sebebiyet verecektir. Parçanın maksimum yolluk girişinin ağzına kadar dolması ve kritik noktanın maksimum yolluğun bitip, parçanın başladığı yer olması gerekmektedir (Şekil 2.9). Kritik hızın, ivmeyle bağlantılı olması birinci fazda pistonu hareket ettiren basıncın miktarına bağlıdır. Kritik hız 0.05m/s ile 1.3 m/s arasında olması tercih edilmeli ve kesinlikle kritik konumda kalıp formunun içine metal dolmamalıdır. (Şekil 2.10)



Şekil 2.10: Kritik hız ile kritik konum. [8].

Ek olarak birinci fazdan önce; alüminyumun sıcaklığına, kepçenin hava kapmadan metal alışına, robotik kolun hızının ayarlanması, piston yağının uygun miktarda kullanımına, ergimiş metalin robotik kol tarafından tam olarak hazneye döküldüğünden emin olunması gerekmektedir. Tüm bunlar birinci fazın kalitesini etkiler.

- **İkinci Faz**

İkinci faz yüksek basınçlı dökümün en önemli ve en kaotik kısmıdır. Metali ses hızına yakın bir şekilde kalıba başarılı ve mühendislik şartlarına uygun biçimde sokmak bir çok parametreye bağlıdır. Yüksek basınçlı dökümü de en zor yapan kısım zaten ikinci fazdır. Çünkü ses hızına yakın bir hızla sıvı metali kalıba sokmak sıvının bu hızda davranışının tahmin edilememesine sebebiyet vermektedir. Bu yüzden ikinci fazın kalitesi;

- Piston seçimi,
- Makinanın performansı,
- Kalıbın yolluk tasarımı,
- Simülasyon programı kullanımı,
- Simülasyon programının kalitesi ve yeterliliği,
- Metalin sıcaklığı,
- Birinci fazın bittiği konum,
- Hava ceplerinin konumu,
- Vakum ya da hava tahliye kanalı kullanımı,
- Pistonun hazne içerisinde bir engele çarpmadan ilerleyişi (yekpare hazne seçimi)
- Hazne ve pistonun aşınmamış olması,
- Operatörün kalıbı uygun şekilde makinaya bağlaması,

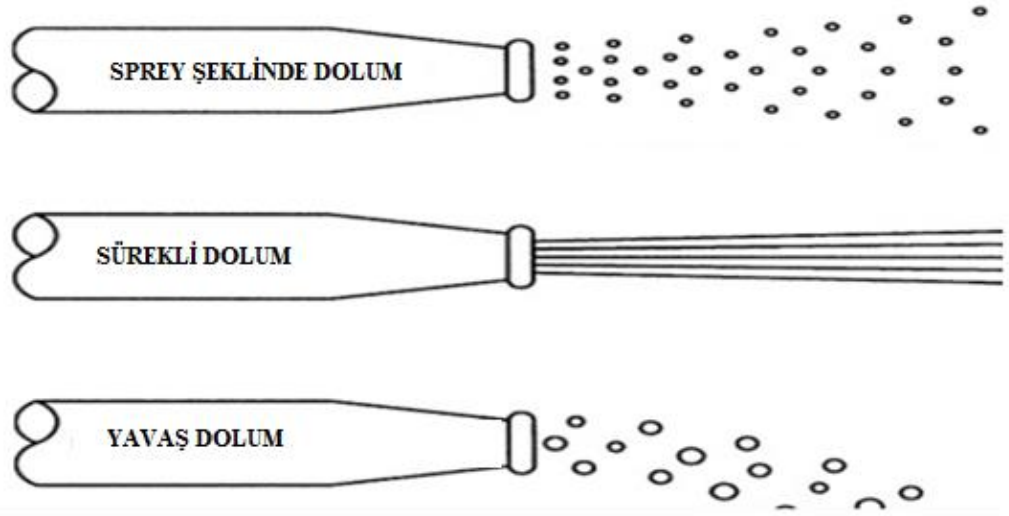
parametlerine bağlıdır. Proje aşamasında simülasyon programı kullanımı ileride oluşacak döküm boşluğu ya da yüzey kalitesi firelerini minimuma çekecektir. Çünkü yüksek hızla giren sıvı metalin davranışı ancak çok iyi bir yolluk tasarımıyla istikrarlı hale getirilebilir.

Hız, ikinci fazın karakteristiğini baştan sona belirleyen en temel etkidir. Bu yüzden yolluk giriş kesiti de birinci fazdaki ivmelenme de ya da pistonun seçimi de temel anlamda ikinci fazın karakteristiğini belirlemek için hesaplanmaktadır.

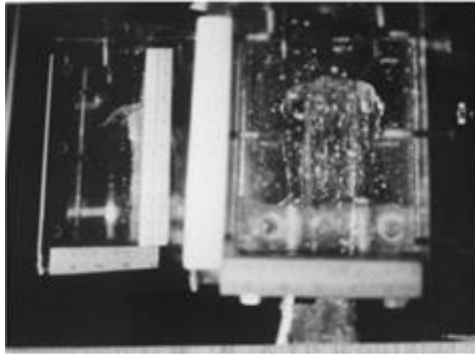
Sıvı metalin giriş hızının formülü oldukça basittir.

Metalin kalıba giriş hızı (m/s) = Piston alanı (m²) x piston hızı(m/sn) / Giriş yolluk kesit alanı(m²)

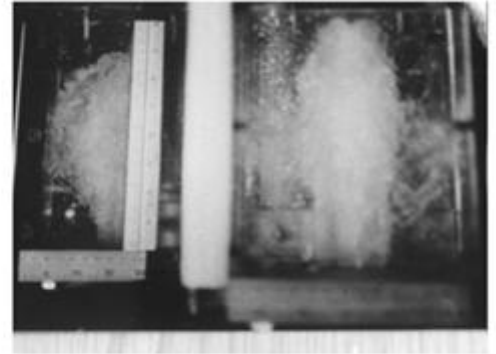
Formülü ile hesaplanır. Burada bulunan hız teoriktir. Bu hızı azaltmak, arttırmak için tasarımda kalıbın yolluk kesitinin alanı azaltılabilir, arttırılabilir.



Şekil 2.11: Sıvı metalin kalıba girerken oluşturduğu karakteristik durumlar.



A

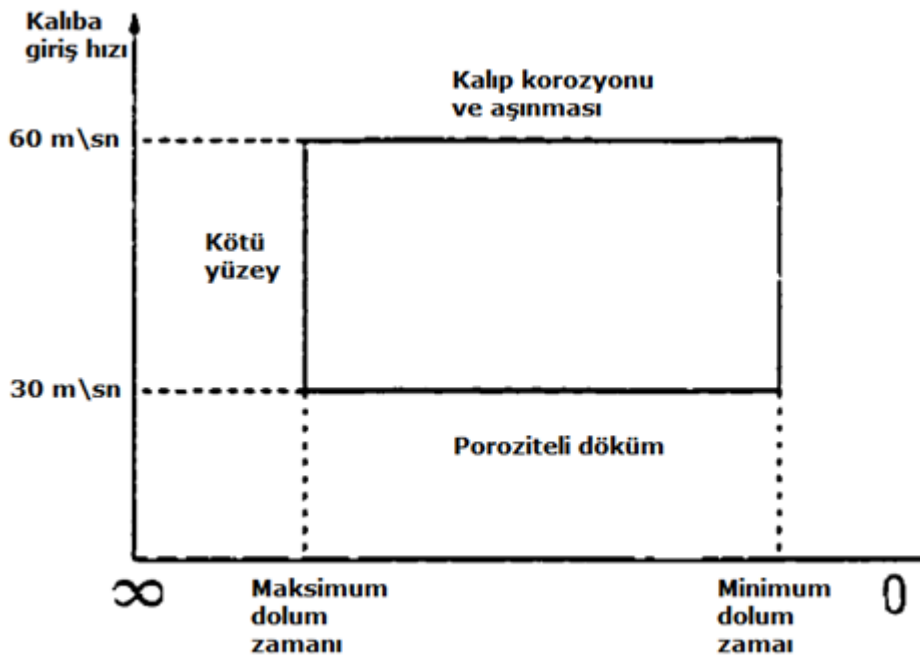


B

Şekil 2.12: A) Laminer dolum B) Sprey dolum [6].

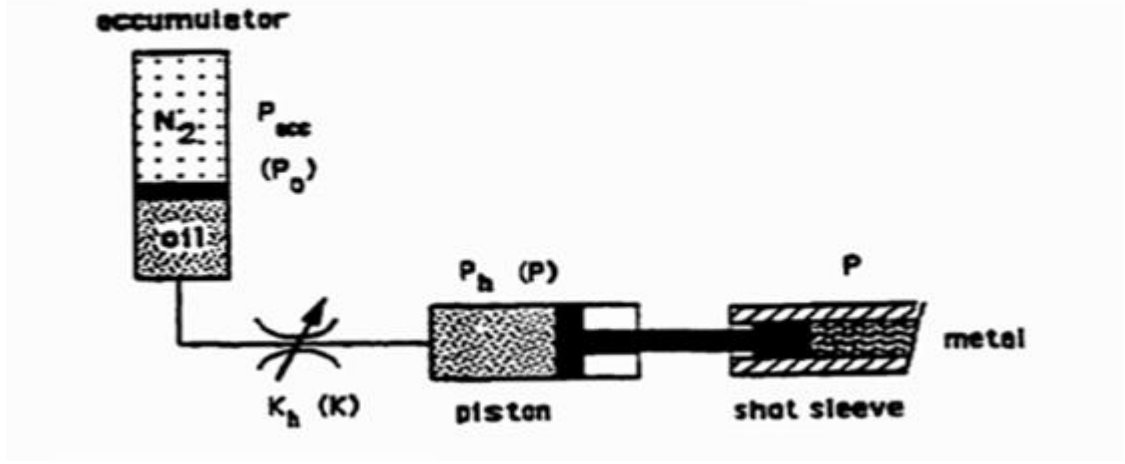
İkinci fazda parçanın kalıba giriş hızı, yüzey kalitesiyle doğrudan ilişkilidir. Alüminyum alaşımı için parçanın kalıba giriş hızı 30 m/s ile 60 m/s arasında olmalıdır. Bu hız aralığı tamamen alüminyumun yoğunluğu ile ilişkilidir. Bu hızın altında ya da üstünde parça ya spray davranış gösterecek ya da en uç noktaları dolduramayacaktır. Ayrıca giriş hızının

da kalıbın doldurma zamanına doğrudan etkisi olmaktadır. Örneği nispeten ağır bir parçayı uzun zamanda doldurmak kalıbın üzerinde soğuk baskı izleri oluşmasına sebebiyet verebilir. Doldurma zamanı ve metalin kalıba giriş hızının yüzey kalitesine doğrudan etkisini veren grafik şekil 2.13.'te belirtilmiştir. Ayrıca tecrübelerle dayanarak da şu belirtilmek gerekir ki makinanın başında dökümü yaparken teorinin bazen sadece kâğıt üzerinde kaldığını, ancak deneme yanılma ile kalıbın dökülebilirliği ve makina parametrelerinin bu şekilde ayarlanabildiği tecrübelerle dayanılarak gözlemlenmiştir.



Şekil 2.13: Giriş hızı ve dolum zamanı arasındaki ilişkinin parça üzerindeki etkisi [9].

İkinci faz yüksek hızın olduğu ve basıncın maksimuma yaklaştığı bölümdür. Bu bölümde karşılaşılan en büyük sorun kalıbın açması olabilir. Kalıbın açması makinanın kitleme gücüne bağlıdır. (Bunun dışında kalıbın sabit ve hareketli tarafının tam olarak birbirine tamamen temas etmesi gerekir) Kitleme gücü hesabı bir parçanın fizibilitesinin yapılması için gereken en önemli hesaptır. Parçaya uygulanan yüksek basıncın kesinlikle kitleme gücünü aşmaması gerekmektedir. Kitleme gücü hesabı basitçe uygulanabilir ve kalıbın gücünün yeterli olup olmadığı bu hesap ile belirlenebilir.



Şekil 2.14: Yüksek basınçlı dökümde vuruş grubu basınç sisteminin şeması [9].

Temelde bir parçanın kaç tonluk kitleme gücü ile dökülüp dökülemeyeceği basınç formülünden hesaplanır. Basın, yüzey alana düşen kuvvet demektir. $P=F/A$ formülüyle, üretilecek parçanın gereksinim duyduğu kitleme gücü hesaplanır. Üç adımda $P=F/A$ formülünü kullanarak bir makinanın parçayı üretilip üretemeyeceği ortaya çıkar.

1. Adım

Örneğin dökülecek bir parçanın yüzey alanı 1340 cm² olsun. Alanı belli, maksimum kitleme gücü belli olan bir makinada bu parçanın kalıp içerisindeki basıncının tespiti de belli olacaktır. Bunun için 560 ton kitleme gücüne sahip bir makineyi kullandığımızı varsayarsak;

$P_1=F/A$ formülünden;

$$P_1=560.000 \text{ kg}/1340 \text{ cm}^2 \rightarrow P_1= 418 \text{ bar} \text{ çıkacaktır.}$$

Yani bu kalıpta maksimum kalıp içi basıncı 418 bar olacaktır. 418 bar'ı aşacak basınç teoride kalıbı açacak ve döküm yapılmasını engelleyecektir.

2. Adım

Bu adımda, kalıbı dökülebilmek için makineye verilmesi gereken basınç değerinin bulunması gerekiyor. Kalıp içi basıncımızın (P_1) 418 bar olduğunu biliyoruz. Bu basınç, bizim parçanın yüzey alanına göre bulduğumuz basınç idi. Şimdi bizim

mühremizin uygulayacağı basıncı bulmak zorundayız. Burada mührre (Piston) çapının seçimi oldukça önemlidir. Çap küçüldükçe kalıp içi basıncı artacaktır, çap büyüdükçe kalıp içi basıncı azalacaktır ancak porozite çıkma olasılığının yanı sıra haznenin doluluk oranı da azalacaktır. Piston çapı 80 mm olan bir pistonun yüzey alanını hesaplamak zorundayız.

Pistonun yüzey alanı = $\pi r^2 / 4$ (r = pistonun yarı çapı) formülünden;

Piston yüzey alanı = 50,2 cm² bulunur.

Daha sonra uygulayacağımız ikinci P=F/A formülüne gideriz.

$$P_1 = F / A_{\text{piston}}$$

$$418 \text{ Bar} = F / 50,2 \text{ cm}^2 \rightarrow F = 21.000 \text{ kg çıkacaktır.}$$

Buradaki 21.000 kg pistonunun uyguladığı kuvvettir. Pistonun uyguladığı kuvvet bize üçüncü adımda yardımcı olacaktır.

3. Adım

Her makinanın kendisine ait bir silindiri mevcuttur. Bu silindir sabit ve değiştirilemez. Bu silindire verilecek ve uygulanacak gaz basıncı (Akümülatör yardımıyla bakınız Şekil 15.), mührreden artarak ilerleyecek ve kalıp içi basıncımızı bize verecek. Makina silindirini çapı 14 cm olduğunu varsayarsak;

4. Adım

$$A_{\text{makina silindiri}} = \pi r^2 / 4 \quad (r=70 \text{ mm})$$

$$A_{\text{Makina Silindiri}} = 154 \text{ cm}^2 \text{ çıkacaktır.}$$

Son olarak uygulayacağımız P=F/A formülünde A_{makina piston alanı}, F_{Piston kuvveti} biliniyor. Burada bulacağımız P doğrudan makinanın ayar parametrelerine gireceğimiz basınç olacaktır.

$$P_{\text{ayar}} = 21.000 \text{ kgf} / 154 \text{ cm}^2 \text{ formülünden;}$$

$$P_{\text{ayar}} = 136 \text{ bar çıkacaktır.}$$

Yani üç adımda bulduğumuz verileri özetlersek;

- 1) İlk olarak kalıbın yüzey alanından gidip, kalıbın iç basıncını hesapladık,
- 2) İkinci adımda pistonumuzun uygulayacağı kuvveti hesapladık,

- 3) Üçüncü adımda makinaya vereceğimiz basınç değerini hesapladık. Yani 136 Bar olarak girilen basınç değeri, 560 Tonluk bir kitleme gücünün, çapı 80 mm olan mühre ile bu makina için yenemeyecektir.

Teorik olan tüm bu hesaplamalara ek olarak, uygun piston seçimini verecek formülasyonun da teorisini P-Q² diyagramlarından çıkacağıın bilinmesi gerekmektedir. P-Q² diyagramları uygun piston çapını, makinanın ömrünü maksimum uzunlukta tutabilmek için uygulanır ve malzemenin kalıp içinden geçişindeki debiye bağlı olarak makinanın ortalama ömrü hakkında fikir verir [9].

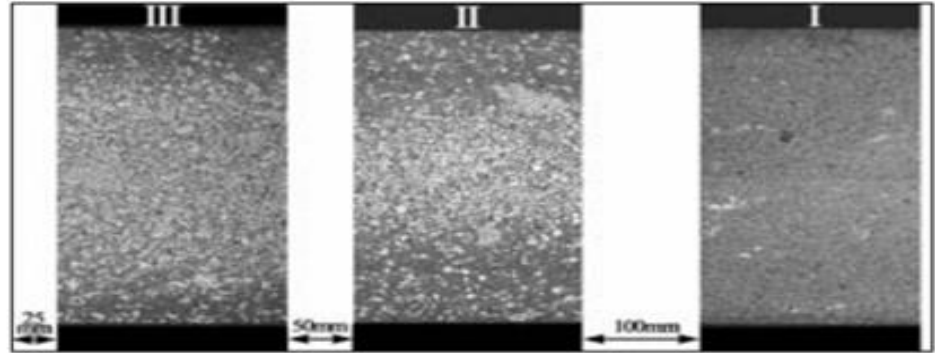
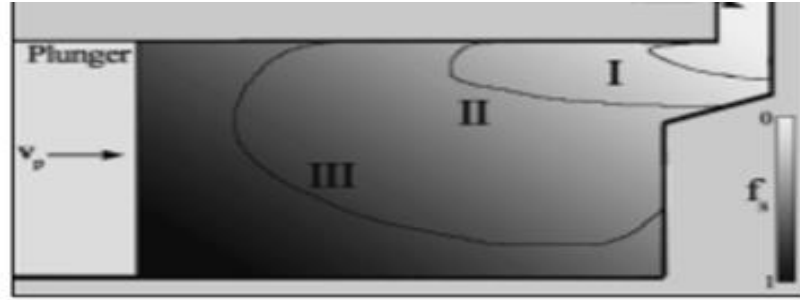
Unutulmamalıdır ki yüksek basınçlı dökümde mevcut basınç kolayca arttırılabilir. Basınç; piston çapı değiştirilerek, akümülatör değiştirilerek, akümülatörden çıkan gazın debisi arttırılarak ya da azaltılarak değiştirilebilir. Ancak burada sabit olan tek şey kalıbın kitleme gücüdür. Proje başında fizibilite yapılırken dikkat edilmesi gereken bu nokta ileride oluşabilecek olası hataların ve seri imalatın aksamasının da önüne geçecektir. Ayrıca kalıbın açmaması için iyi bir kalıpcılık, tasarım ve makina kullanım bilgisi de gerekmektedir. Eğer kalıbın açmasını engelleyemezseniz hem işçinin sağlığı tehlikeye girecektir hem de makinanın ömrü azalacaktır. Ayrıca döküm parçalarının CNC işleme varsa % 70'lere varan firelerle çalışılacak ve poroziteden dolayı saatlere varan iş gücü kaybı ve maliyet oluşacaktır.

Özetlemek gerekirse ikinci faz milisaniyeler içerisinde biten en kritik adımdır. Önemli olan bu kısa-kaotik ikinci faz bölümünü kontrol altına alabilecek mühendislik hesaplamalarını ve gerekliliklerini yapmaktır. Yüksek basınçlı dökümün iyi bir ikinci fazı sadece makinaya ya da uygulanabilir basınca bağlı değildir. İyi bir kalıpcı, iyi bir simülasyon programı, P-Q² diyagramlarının iyi okunabilirliği, proje esnasında iyi bir fizibilite çalışması, parçanın bir sonraki prostedeki CNC işlemesine göre uygun işleme payının verilmesi, vakum kullanımı ve kaliteli bir hammadde detayları fire yüzdesini ve malzeme kalitesini arttıran etmenlerdir.

- **Üçüncü Faz**

Üçüncü faz yüksek basınçlı dökümün son aşamasıdır. Basıncın maksimum olduğu ve hızın bittiği fazdır. Bu fazda artık basınç artar ve belli bir süre uygulanır. Kalıbın içerisindeki yarı-katı hale gelen alüminyum maksimum basınçla sıkıştırılır. Burada

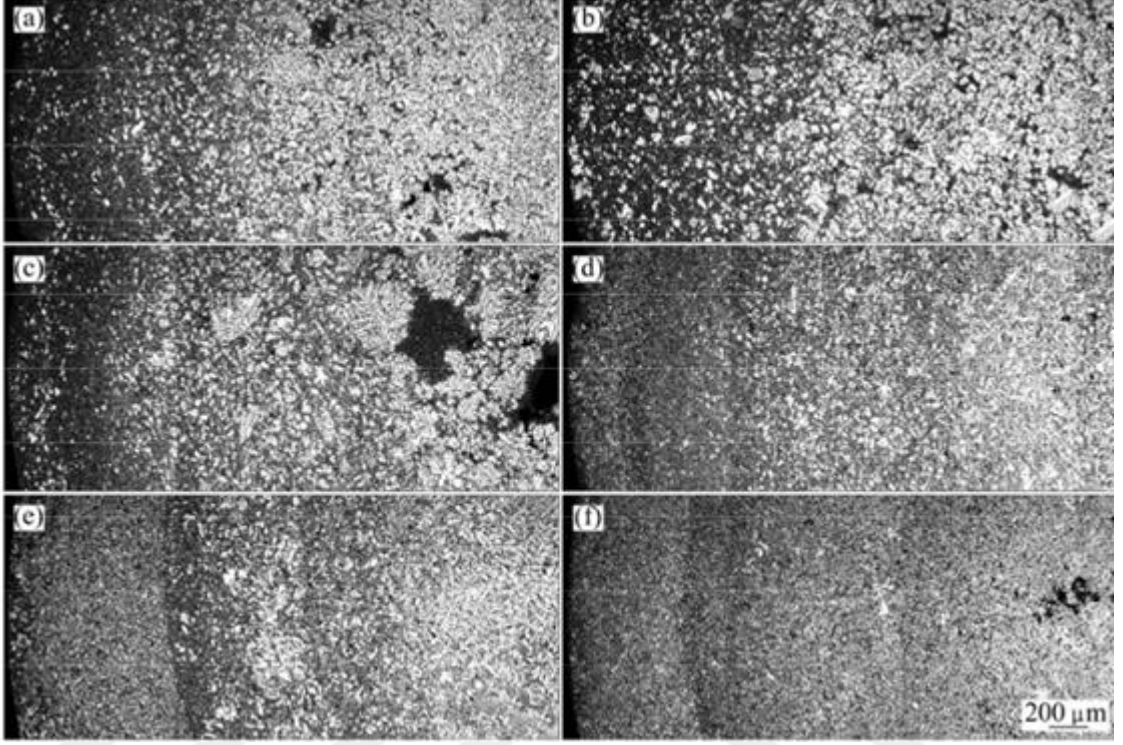
önemli olan kalıbın içerisindeki soğuma kanallarının uygunluğudur. Çünkü ergimiş malzemenin tüm kütlesi kalıbın içerisine dolmuş ve soğumaktadır. Isı alış veriş maksimum seviyede ve hızla gerçekleşmektedir. 720 °C'deki alüminyumun kalıba giriş sıcaklığı 600-650 °C arasında değişir. Kalıbın ise sıcaklığı eğer kalıp şartlandırıcı kullanılıyorsa 200-220 °C'lerde bulunmaktadır. Bu yüzden kalıbın en çok yorulduğu ve parçanın da mikro yapısının belirlendiği nokta tam olarak bu fazdır.



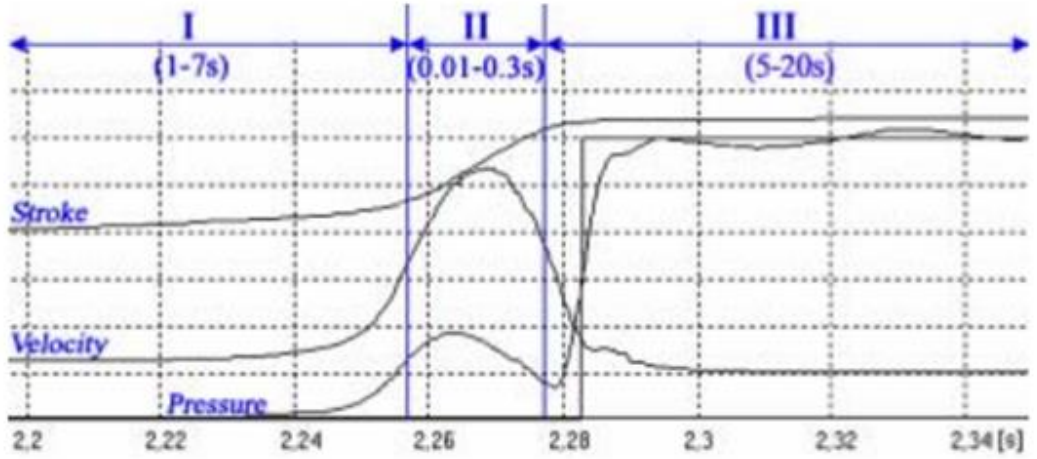
Şekil 2.15: Pistondan uzaklaştıkça soğuma farklılığından dolayı meydana gelen mikro yapı [7].

Üçüncü faz hem sıkıştırma hem de besleme fazıdır. Üçüncü fazda en önemli nokta “biscuit” denilen topuk kalınlığıdır. Topuğun kalınlığı parçanın beslenmesini, yüzeyinde kumlama sonrasında ortaya çıkacak besleme kaynaklı çiçeklenmeleri ve kabuklaşmaların önlenmesini etkileyen en önemli faktördür. Yüksek basınçlı dökümde biscuit kalınlığı genellikle 15-25 mm arasında alınır ve uygulanır. Büyük parçalar için 30 mm'ye kadar çıkabilir. Üçüncü fazda bu besleme oranı aslında yine birinci fazdan önce hesaplanan

“hazne doluluk oranı” ile alakalıdır. Yüzde 70 hazne doluluk oranıyla 30 mm prosesin en başından sağlanmış olacaktır.



Şekil 2.16: Magnezyum yüksek basınçlı dökümü için yapılmış çalışmada biscuit kalınlığının parçanın aynı yerinden alınan mikroyapıya olan etkisi [8]. a) 13 mm; b) 23 mm; c) 32 mm; d) 43 mm; e) 52 mm; f) 65 mm [9].



Şekil 2.17: Tipik bir yüksek basınçlı dökümde tüm fazları gösteren ve modern makinaların da verebildiği Hareket-Hız-Basınç grafiği. [7].

Efektif olarak uygulanmayan üçüncü faz;

- Özellikle yolluk ağızlarında çekinti boşluklarına,
- Düşük basınçta, büyük gaz boşluklarına,
- Az sürede uygulanması parçanın tamamen soğumamasına ve itici batıklarına,
- Az sürede uygulanmaması parçanın yamulmasına ve çöküntülerin oluşmasına,
- Parçanın uç yüzeylerinin dolmamasına ve dolayısıyla eksik döküme,
- Düşük yolluk kalınlıklarına sonraki proseslerde kabuklaşmalara,
- Gereğinden fazla basınç uygulandığında parçanın çapaklı çıkmasına,
- Gereğinden kalın “biscuit”lerde hem malzeme kaybına hem de çapaklı parçaya,

sebebiyet verir. Ayrıca optimum basınçta yerine gereksiz yüksek basınçta çalışılan üçüncü fazlar makinanın ve kalıbın ömründen çalacaktır.

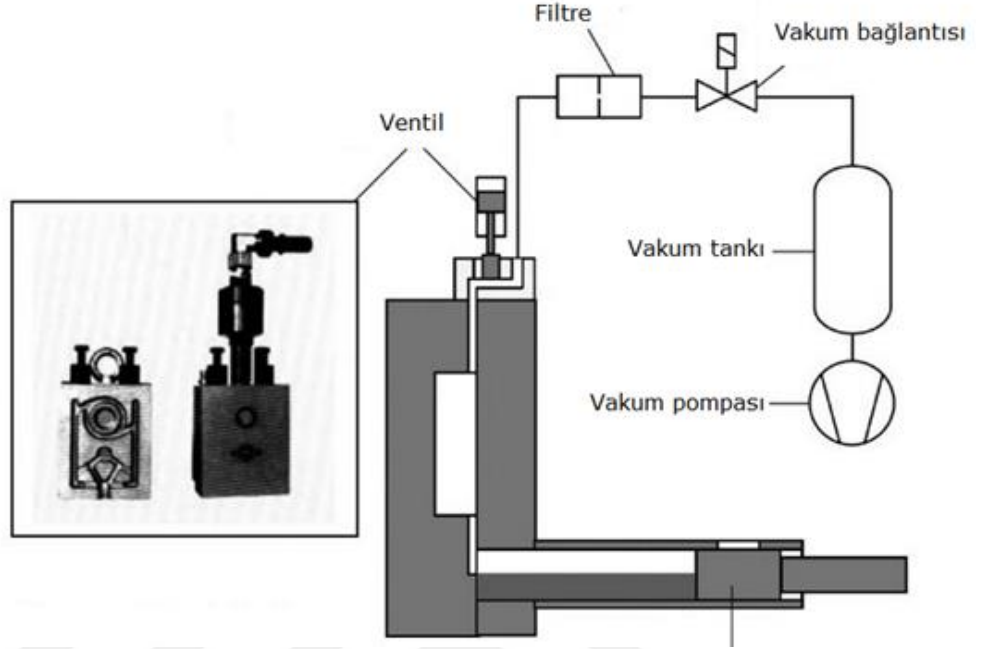
Tüm bunların kağıt üzerinde planlandıktan sonra iyi bir şekilde yapılması yine de porozite oluşumunu engellemeyebilir. Örneğin spreyleme esnasında kalıba suyun damlaması döküm esnasında kalıpta iki damla suyun kalması büyük boşluklara sebebiyet verir. Ergimiş hammaddenin de oksitlerden ve emprütelerden arınmış olması poroziteleri engeller.

Geleneksel yüksek basınçlı döküm makinalarına günümüzde “vakum” sistemi kurulmaktadır. Basit olarak vakum sistemi vakum valfi, vakum motoru ve vakumlama deposundan oluşmaktadır. Buradaki amaç kalıbın içerisindeki havayı ikinci faza geçmeden saniyeler önce emmek ve kalıbın içerisinde hava olmadan erimiş metali enjekte etmektir. Gözeneksiz, mikro ya da makro porozite olmadan döküm yapılabilmesi için vakum sistemi kullanmak şarttır. Yine bunun yanı sıra kalıp içerisinde hava sıkıştıkça , ikinci faz esnasında sıkışan havanın verdiği tepki de artar ve bu da hem makinanın hem de kalıbın ömründen götürür. Açma kuvvetine de negatif yönde bir etki yaratır.

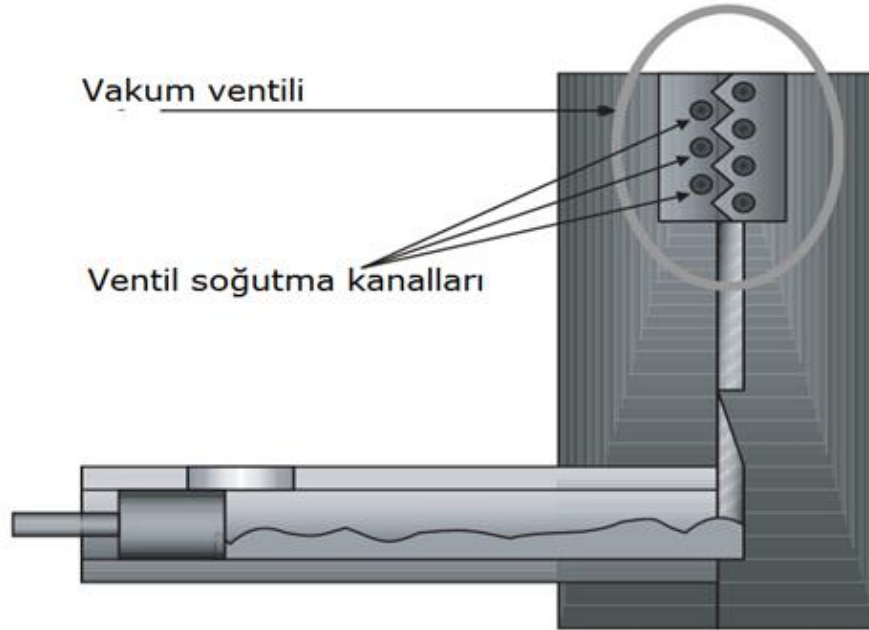
Vakum kullanarak;

- Daha az poroziteli malzemeler,
- Daha az basınçla döküm,
- Daha az fireli çalışma,
- Daha az ilk baskı bozuğu (özellikle büyük alanlı parçalar için)

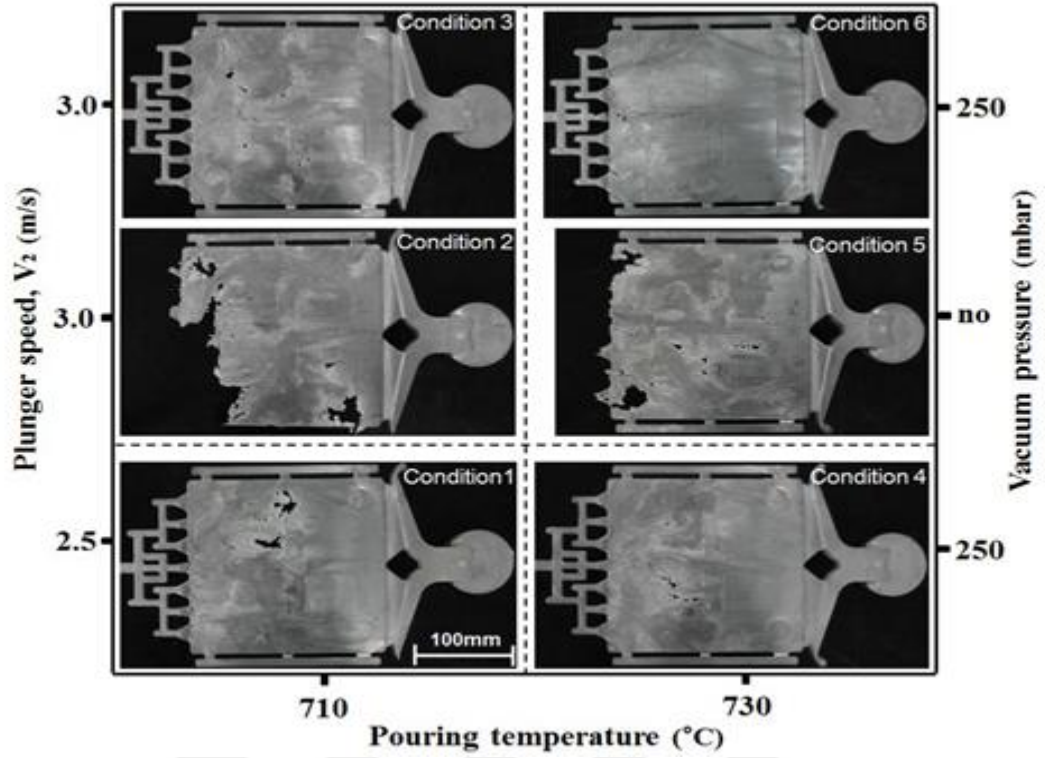
- Daha efektif doldurulabilirlik (özellikle ince cidarlı parçalar) gibi olumlu yönde birçok avantaj sağlanabilir.



Şekil 2.18: Basit bir şekilde vakum sisteminin basit şeması [8].



Şekil 2.19: Örnek bir vakum ventilinin konum şeması [9].



Şekil 2.20: Vakum sisteminin dökülen parçanın üzerindeki etkisi [7].

Bir malzeme nerede ve ne şekilde yapıyorsa yapılsın üretiminde kullanılan hammadde en önemli kalite belirteçidir. Özellikle söz konusu alüminyum ise hammaddenin geri dönüşümlü olması hem ekonomik hem de çevre şartları açısından gereklilik arz etmektedir. Çünkü alüminyum alaşımlarını primer üretmek oldukça pahalı, zahmetli ve zor bir iştir. Bu yüzden özellikle yüksek basınçlı dökümde kullanılan hammadde genelde hurdalardan geri dönüştürülmüş alüminyumdur. Özellikle tenezzül edilmeyen bilimsel döküm verileri, hurdacı mantığı ve alüminyum alaşımının kalitesini sadece “spektral analiz” sonuçları olarak değerlendirip satılması yüksek basınçlı döküm firmalarının ürettikleri ürünlerin kalitelerini ve fire oranlarını doğrudan etkileyen en önemli faktördür. Özellikle hammadde içerisindeki intermetalikler ve oksitler hem malzemenin mikro yapı homojinitisini bozar hem de mukavemetini azaltır. [10, 11, 12] Hurdanın tedarikçide ergitilip alüminyum alaşımı haline getirilmesi firmanın iç firelerini doğrudan etkiler [13].

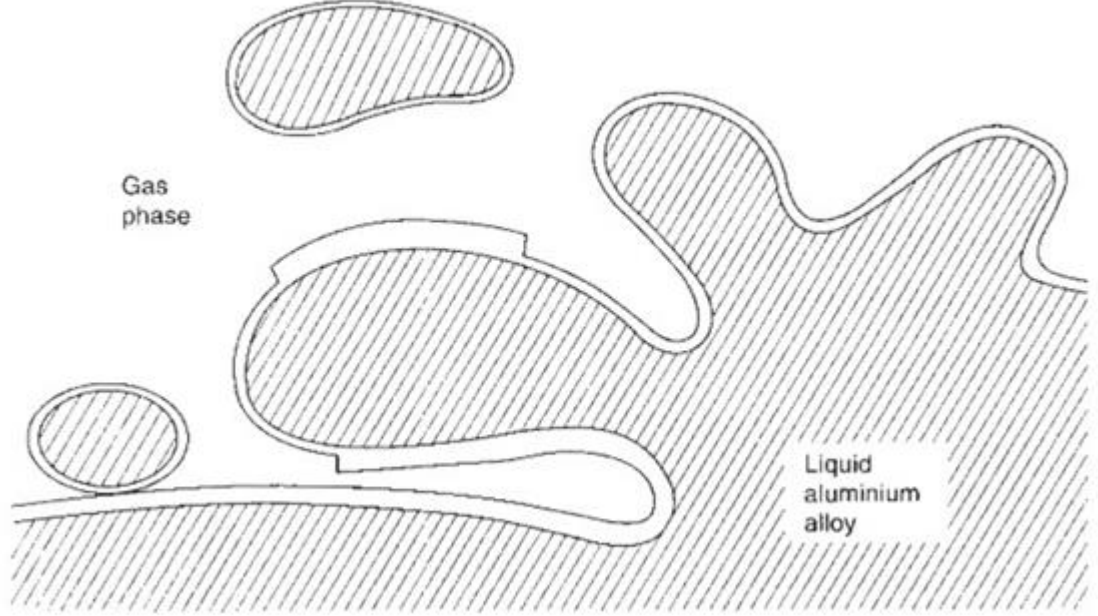
Kötü bir hammadde;

- Mukavemetsiz ürün ortaya çıkar,
- “Döküm boşluğu” olarak nitelendirilen siyah oksit tabakaları işlenen yüzeyde ortaya çıkar,
- Bifilm kaynaklı döküm boşlukları ortaya çıkar,
- CNC işleme pahalı olan takım ömürlerinin ömrü kısalmır,
- Boyanmış parçalarda fırınlama sonrasında yüzeyde kabuklaşma, pütür oluşur,
- Isıl işlem sonrası blister oluşur,
- Matkap ve diş delme operasyonları sırasında takım kırılabilir,
- Kumlama esnasında kabuklaşma meydana gelir,
- İyi giderilmemiş oksit ve emprüteler döküm kalıbının ömrünü kısaltır,
- Eğer soy gaz ile oksit giderimi yapılıyorsa süre uzar,
- Kalıbın tasarımı iyi olmasına rağmen yolluk kırılması ya da hava cebi kırılması sırasında oluşan süreksizlikler parçanın hurda olmasına sebebiyet verir,
- Sıvı metalin akışını etkiler.

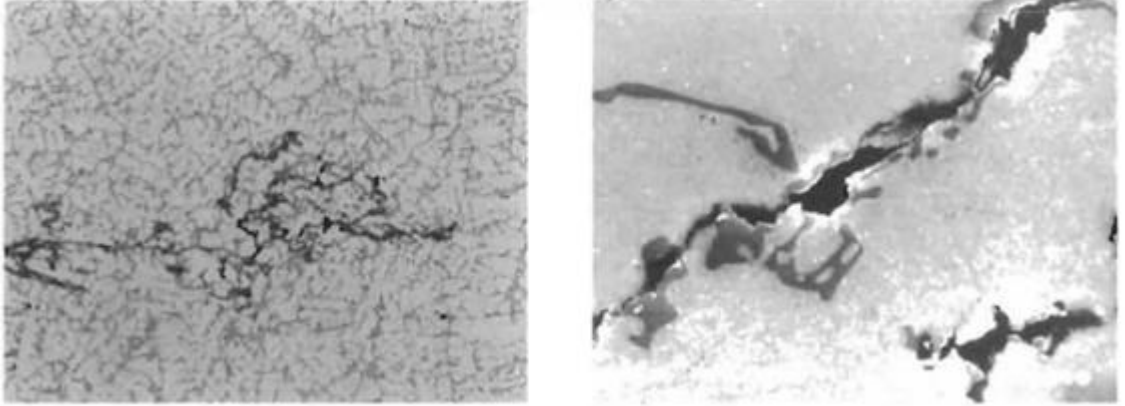
Kalitesiz hammaddenin dezavantajları alüminyum dökümcüleri için aslında fark edilmeyen büyük bir maddi yüküdür. Hammadde içerisindeki Fe intermetalikleri, B intermetalikleri ve oksitler kalıp için birer “boş baskı” sayılır ve fire olarak ayrılır [14, 15]. Yüksek basınç dökümü yapan bir işletmenin kalitesiz hammadde kaynaklı ayırdığı fire oranı yılda % 30'lara çıkabilir. Bu sebepten dolayı bu tezin amaçlarından bir tanesi de kaliteli hammadde ile kalitesiz hammaddenin kullanımının seri imalata olan etkisi ve iyileştirmelerin getirdiği mali kazançlar olacaktır. Daha az parça ile daha fazla baskı yapmak aynı zamanda kalıp ömürlerini de arttıracak, seri imalatı rahatlatacak ve intermetaliksiz işlenen alüminyum döküm parçalarda daha uzun ömürlü CNC takım uçları ile maddi anlamda kesinlikle kazanç sağlanacaktır.

Hammadde külçelenirken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta türbülans sonucunda oluşan “bifilm”lerdir [16,17] (Şekil 2.21). Hammadde kalitesini giriş kalite kontrol esnasında üretime sokmadan, spektral analiz verileri ve yüzeysel kalitesi dışında belirlemek çok az bilinen bir yöntem olan “RPT” (Reduced Pressure Test) ile mümkündür [18]. RPT testi ile hammaddenin içerisindeki Bifilm indeks hesaplanır ve hesaplanan

Bifilm verisi ergimiş hammadde kalitesi hakkında bilgi verir. Hatta anlık olarak potanın herhangi alanındaki ergimiş alüminyum alaşımının kalitesi belirlenebilir.



Şekil 2.21: Sıvı metalin hava kaparak oluşturduğu Bifilm tabakası [19].

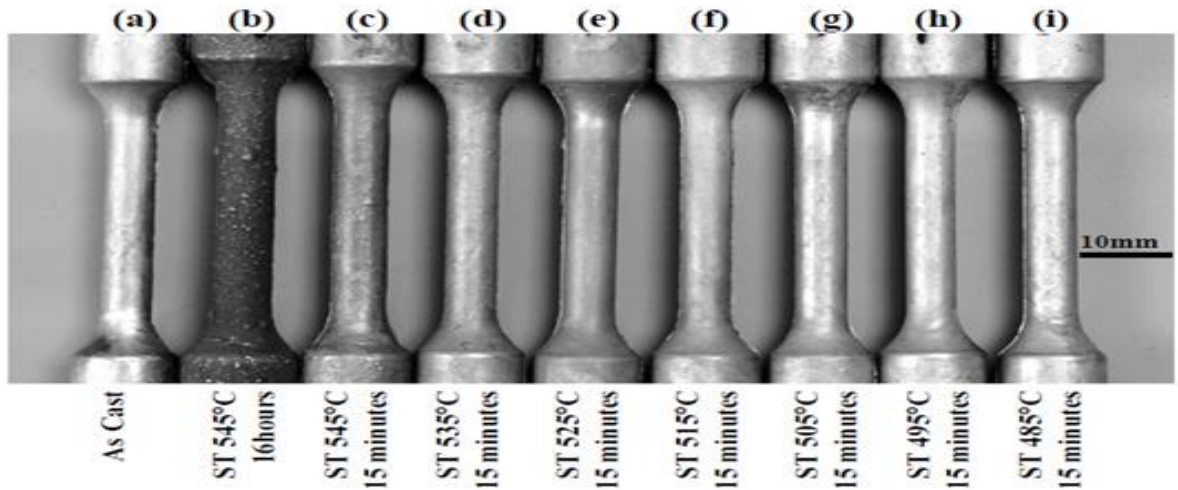


Şekil 2.22: İki tür Bifilm tabakasının döküm yüzeyinde oluşmuş hali [19].

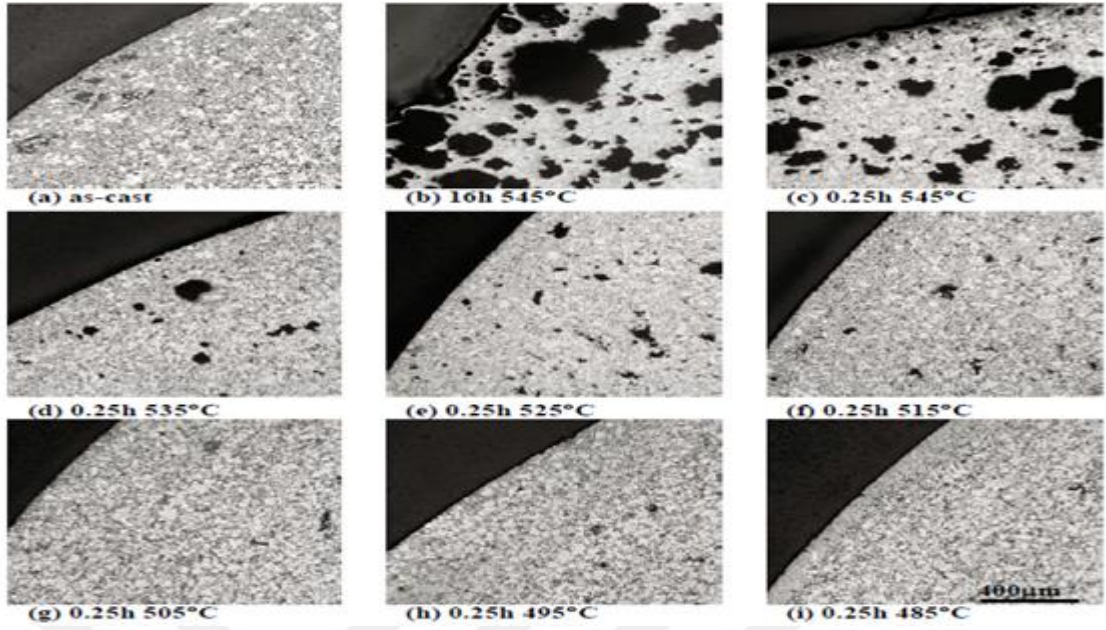
Bu tezde yapılan çalışmalar hammadde kalitesinin seri imalata olan etkisini ve seri imalat sırasında yapılan deneylerle karşılaştırmalı olarak iyileştirmelerle ne kadar önemli olduğunu vurgulayacaktır. Sıvı metaldeki en ufak emprüte dahi seri imalattaki fire oranını

en az % 4-5 arttırmaktadır. Yukarıda bahsi geçen onlarca döküm parametresi kusursuz olsa dahi eğer hammadde efektif olarak temizlenemiyorsa [19] ya da hurdacı mantığıyla döküm yapan bir tedarikçi ile çalışılıyorsa bu fire oranı bir hayli artacaktır.

Yüksek basınçlı döküme dair en yaygın inanış parçaların ısıtılabilirliğinin olmamasıdır. Isıtılabilirlik yüksek basınçlı dökümde mukavemeti etkin bir şekilde değiştirmekte ve mikro yapıya da pozitif yönde olumlu etki bırakmaktadır [23]. Kalıp iyi bir tasarıma sahip olmasına rağmen havanın parça içerisinde sıkıştığı ve bundan dolayı ısıtılabilirlik esnasında havanın kabarcık şeklinde ortaya çıktığına düşünülmektedir (Şekil 2.23-24). Ancak sıkışan havadan ziyade blister oluşumunu ve oksit oluşumunu hammaddenin kalitesi belirler. Döküm öncesinde iyi temizlenmeyen hammadde yüksek miktarda bifilm içerdiğinden dolayı parçanın ısıtılabilirliğini azalttığı gibi blister ve oksit oluşumunun da kök sebebidir. Lumney'in alaşımlar arası ısıtılabilirlik süresi ve farkına dair yaptığı çalışmalar bize süre ve alaşımlar arasında yüksek basınçlı dökümde mutlak fark olduğunu söylemektedir [20, 21, 22]. Hammadde kalitesi bilinmeden yapılan ısıtılabilirlik çalışmalarının ne kadar doğruluk payı verdiği tartışılmalıdır. Çünkü kullanılan hammaddenin içerisindeki oksit ve emprüteler malzemenin mukavemetine olumsuz etki gösterecek ve ısıtılabilirlik sonrası yüzey kalitesini belirleyecektir.



Şekil 2.23: Yüksek basınçlı dökümde ısıtılabilirlik sonrası kaliteyi araştıran Lumney'in süre ve sıcaklık açısından yaptığı deneyler sonucunda çıkan parçaların yüzey kalitesi [21].



Şekil 2.24: Şekil 2. 23'te gösterilen dökülmüş numunelerin ısıtılma işlemi sonrasındaki mikro yapısı. 16 saat sonucunda ortaya çıkan siyah ve büyük gözenekler (b) poroziteye bağlı blister oluşumuna en iyi örnek olarak gösterilebilir [21].

Hammadde içerisindeki emrüteler gerek modifikasyon sırasında gerekse de hammadde üretimi esnasında oluşabilir. Özellikle yüksek basınçlı dökümde karmaşık parçaların üretimi ve akışkanlığın sağlanabilmesi için veya mukavemetin artırılması için TiB modifikasyon çubukları kullanılmaktadır. [27] Bu çubuklar imalat esnasında yanlış kullanıldığı takdirde seri imalatı doğrudan etkileyerek fire oluşumuna sebebiyet verir. Sıvı metalin kalitesini doğrudan etkileyen TiB alaşımıyla ilgili ilk olarak parçacık çekirdeklenme teorisi Cibula tarafından ortaya atılmıştır [24, 25] ve birçok defa doğrulanmıştır. Davies ve arkadaşları Al-Ti-B arasındaki ilişkiyi ortaya koyarak tane inceltici etkilerini SEM altında ve mikro yapı incelemesiyle doğrulamışlardır [26]. Alüminyuma katılan titanyum elementi $TiAl_3$ oluşturarak tane inceltici etki gösterir. B elementinin katılması ise bu tepkime süresini kısaltmaktadır. Ancak hala literatürde B üzerine tartışmalar devam etmektedir. Al-Ti-B sisteminde B elementinin davranışı henüz tam olarak bilinmemektedir.

Ancak bu çalışmada genel literatürün aksine TiB tane inceltici çubuklarının kullanımının mukavemet ya da sızdırmazlık gibi etkileri üzerine değil de görsel olarak parçayı olumsuz etkilemesi ve hurda haline getirmesi üzerine çalışıldı.

Alüminyum döküm parçalarının talaşlı imalatındaki en önemli gider kalemlerinden birisi de takım uçlarıdır [28]. Takım uçlarının maliyetleri üretim yöntemlerine, malzeme türlerine ya da özel siparişlerine göre 15 Euro ile 3500 Euro arasına kadar değişmektedir. Ucun kalitesi ne olursa olsun bu tip uçlarda aranılan en önemli özellik ömürlerinin uzun olması ve olabildiğince ölçüleri stabil kalitede çıkartabilmeleridir. Bunun için çok pahalı kaplamalar yapılmakta ve alaşım elementleri incelenmektedir [29, 30]. Alüminyumun işlenebilirliği içine katılan malzemelere göre değişmektedir. Doğası gereği yumuşaklığından dolayı alüminyum kolay işlenmesine rağmen talaş kırılabilirliği oldukça düşüktür. Bu yüzden alüminyumun içine katılan Si elementi, alüminyumun işlenebilirliğini artırır. Ancak Si elementi alüminyumun işlenebilirliğini arttırdığı gibi sertliğinden dolayı takım uçlarının ömrünü azaltır. Takım uçlarının, özellikle PCD (Polikarbon Elmas) uçların ömrünün stabil olmadan hemen hemen her imalatta değişmesi ise hala belirsizliğini koruyan bir sorundur. PCD uçlarının takım ömrünün stabil olmaması direkt olarak silisyum ile ilişkilendirilmemelidir. Çünkü silisyum miktarı her imalatta belli bir oranda olmasına rağmen takım uçlarının bu denli değişken ömür göstermesi hammadde kalitesiyle doğrudan ilişkili olacaktır. Hammadde içerisindeki Bifilm miktarı takım uçlarının ömrünü doğrudan etkileyecektir. Bu bölümde, literatürde ilk defa, hammadde içerisindeki intermetaliklerin takım ucuna etkisi incelendi. Özellikle sanayide ve üretici firmalarda PCD uçlar erken kırılınca ya da aşınca; “alüminyum içindeki silisyumun kalitesiz olması”, “işlenen parçanın içerisinde Fe bulunması”, “işlenen parçanın içerisinde fazla miktarda Mg ya da Cu bulunması” gibi anlamsız sebepler öne sürülmektedir. PCD uçların aşınmasının asıl sebebi hammaddenin döküm kalitesi ve içerisindeki bifilmelerin yoğunluğu asla düşünülmemekte, oksitlerin varlığı hesaba katılmamaktadır. Uygun sıcaklıkta ve uygun şekilde intermetaliklerden temizlenmiş bir hammadde eğer ki iyi bir şekilde külçelenmişse PCD uçlarının ömrü artacak ve aynı zamanda parçaların fire oranı da düşecektir.

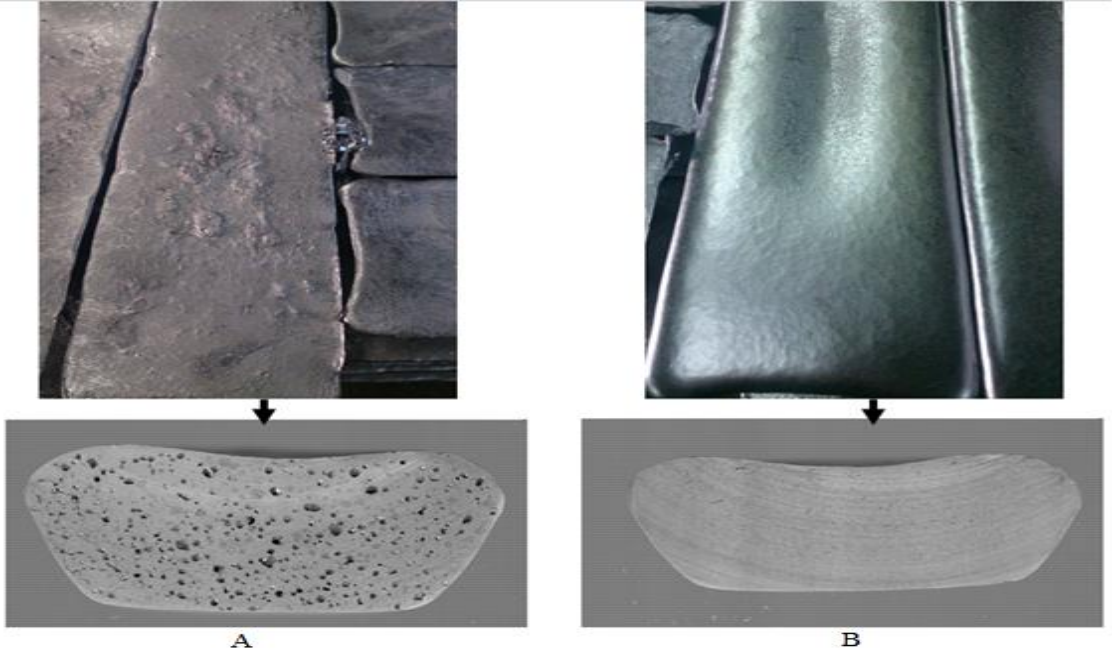
Yüksek basınçlı dökümün en önemli proseslerinden birisi de yolluk ve hava ceplerinin kırılmasıdır. Yolluk ve hava ceplerinin tasarımı özellikle manuel olarak kırılma esnasında büyük önem taşımaktadır. Kötü olarak yapılacak tasarımlar bitmiş parçada yolluğun içten kırılmasına, CNC işleme esnasında frezelenen yolluk ya da hava cebi bölgelerinin kırılmasına sebebiyet verecektir. Bu da ekstra CNC maliyeti, döküm maliyeti ve işçilik maliyeti olarak hele ki parça eğer boyanmışsa ekstra boya maliyeti olarak işletmenin

karşısına çıkacaktır. Yolluğun ya da hava cebinin içten kırmasına karşın alınan ilk aksiyon genellikle kalıbın tasarımına müdahale etmek, yolluk bağlantılarını güçlendirmek, hava ceplerinin açılarını değiştirmek olmaktadır. Bu müdahale parça için en büyük yatırım olan kalıbın hem ömrüne olumsuz etki eder hem de dökülen parçanın döküm parametrelerinin değişmesine sebebiyet verir. Çünkü yolluk ya da hava ceplerindeki en ufak bir değişiklik döküm parametrelerini baştan aşağıya etkileyecek bir kelebek etkisi yaratacaktır.

Siyah kuğu, gerçekleşmesi düşük olan ancak gerçekleştiği takdirde etkisi büyük olan ve sosyal bir metafor olarak kullanılan bir fenomendir. Görünenin arkasında hiç tahmin edilemeyecek bu tip hataların oluşumuna “sessiz delil” denir. Özellikle yolluğun içten kırması ya da hava cebinin içten kırması konusunda asla hammadde kalitesi asla sorgulanmaz. Yolluğun ya da hava cebinin içerisinde oksitlerden dolayı meydana gelen süreksizlikler düşünülmemektedir. Kök sebep daima tasarımda aranmaktadır. Bu çalışmada sıvı hammadde kalitesinin kalıp tasarımının işleyişine etkisi de araştırılmıştır ve seri imalatta deneysel çalışma ile gözlemlenmiştir. Hammaddedeki bifilm indeks azaltılarak ortaya çıkan “boş baskılar”ın kalıp ömrünü arttırdığı ve fire miktarını düşürdüğü de gözlemlenmiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında ilk olarak tedarikçi firmanın hammadde döküm kalitesi arttırılmaya çalışılmıştır ancak kısa vadede etkili olamayacağı görülmüş ve “imalattaki yolluklar ve hava cepleri” yani hurdalar geri dönüşümlü olarak kullanılmak üzere şirket bünyesinde kontrollü bir şekilde 500 kg’lık külçemelerle eritilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan alaşımlar tablo 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: A) Bifilm indeksi yüksek hammadde
B) Bifilm indeksi düşük hammadde.

Tablo 3.1: Deneysel çalışmalarda kullanılan alaşımların bileşimi.

Alaşım	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti
EN - AC-46000 226 D EN- AC- AL Si9Cu3(Fe)	9,85	0,80	2,50	0,41	0,43	0,08	0,20	0,87	0,23	0,12	0,13
EN - AC-47000 231 EN- AC- AL Si12(Cu)	11,87	0,65	0,28	0,09	0,23	0,06	0,01	0,03	0,13	0,01	0,17

Şekil 3.1’de görülen alüminyum EN AC 46000 alaşımları;

T= 715 °C, B= 30 mbar vakum altında RPT

ile Bifilm indeksine hesaplandı. Mevcut durumdaki hammadde kalitesi (A) ile iyileştirme sonrasındaki hammadde kalitesi (B)’nin farkı hem görsel hem de sayısal olarak (Bifilm sayısına bağlı olarak) açıkça görülmektedir. Özellikle türbülanslı döküm ve efektif gaz gidermeden yapılan bu külçelenme işlemleri bu farka sebebiyet vermiştir. Malzeme deneylerde bu kalitede hammaddeler kullanılmış ve sonuçları kıyaslanmıştır.

Hammadde kalitesinin blister oluşumu üzerine etkisinin araştırılması için yapılan deneyde için iki ayrı üretimde 350’şer parça dökülmüştür. Parçaların geometri şekilleri şekil 3.2’de gösterilmiştir. Parçalar 4’er saatlik ısıtılma tabii tutulmuştur. Parçalar 420 T Zitai makinasında aynı parametrelerde dökülmüştür. Ayrıca kalıbın tasarım kaynaklı hava kapı kapmaması Anycasting simülasyon programıyla incelenmiştir. (Şekil 3.3) Alaşım olarak EN AC 46000 kullanılmıştır. Deneyde değiştirilen tek parametre hammadde olmuştur. Bifilm indeksi yüksek hammadde ve bifilm indeksi düşük hammaddeden 350’şer adet dökülmüştür. (Tablo 3.2)

Tablo 3.2: Numune adetleri ve ısıtılma işlem parametreleri

Hammadde Kalitesi	Döküm Makinası	Isıtılma Süresi	Isıtılma Sıcaklığı	Döküm Adedi
Bifilm indeksi düşük	420 T Zitai	4 Saat	220 °C	350
Bifilm indeksi yüksek	420 T Zitai	4 Saat	220 °C	350



Şekil 3.2: Blister oluşumu için incelenen parçaların geometrisi.

Yüksek basınçlı dökümde yüzey temizliğinin incelenmesi deneyinde Metalpres 160 T yüksek basınçlı döküm makinası kullanılmıştır. Deney seri imalat ortamında yapılmıştır. Alaşım olarak AlSi12Cu alaşımı kullanılmıştır. Deneyin yapılışı şekil 3.5 – 3.9’de gösterilmiştir.

Tablo 3.3: Deneyde kullanılan parametrelerin teknik özellikleri ve değerleri.

Alaşımın tipi	G-231 AlSi12Cu
Ultrasonik Frekans	38 Khertz / 90 Watt
Banyonun sıcaklığı	60 °C
Alkali banyosunun değeri	3,81 N / pH: 10,2 (Henkel Almeco)
Asidik banyosunun değeri	3,61 N / pH: 2,1 (Henkel, Ridoline 2000T)
Arıtılmış suyun iletkenliği	30 Siemens
Buhar fırını değeri	110 °C / 10 Dakika
Boya fırın sıcaklığı	200 °C / 21 dakika

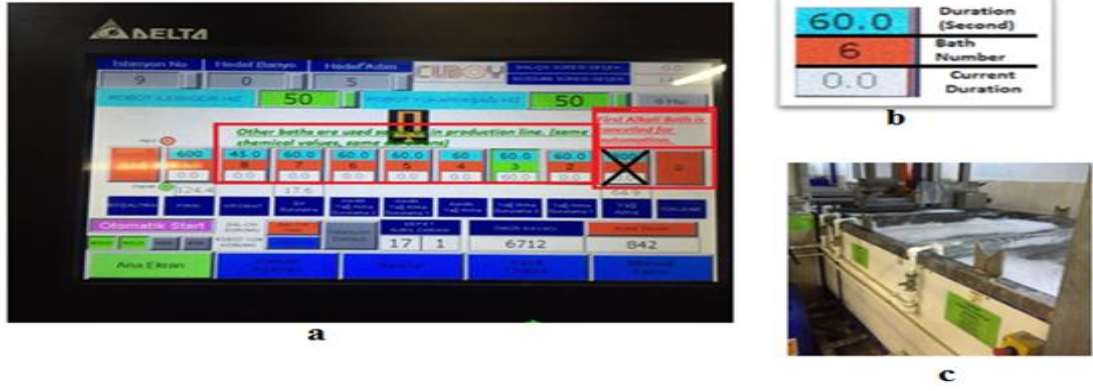


Şekil 3.3: Deneyde kullanılan prototip ultrasonik cihazı. (38 Hertz, 90 Watt)

Yüzey temizleme banyosunun mevcut durumdaki hali Tablo 3.3 'te gösterilmiştir. Siyah noktacık sorununun çözülmesi için ultrasonik banyo 1 numaralı alkali banyoya konulması düşünüldüğü için ultrasonik prototipte cihazında mevcut imalattaki 1 numaralı alkali banyonun aynısı simüle edilerek deney gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde tüm parçalar AlTi5B tane inceltici kullanılarak, G-231 (AlSi12Cu) alaşımından, 710 °C' de dökülmüştür. Şekil 3.4'te parçanın şekil ve geometrisi görülebilir. Parçalar üzerinde 9 farklı zaman parametresi uygulanmıştır. Her uygulama sonrasında parçalar 9 ayrı sepete konulmuştur ve karışması engellenmiştir. Prototipten çıkan tüm parçalar konuldukları sepetlerle birlikte otomasyona sahip yüzey temizleme hattından geçirilmiştir. Seri imalatta gerçekleştirilen deneyde parçanın üzerinde oluşan “siyah noktaların” giderilmesi için ultrasonik banyo kullanılmıştır. Bu amaçla toplamda 476 parça ultrasonik incelenmiştir. Ultrasonik test cihazı Tablo 3.4'te gösterilen banyoya adapte edilmiştir.

Tablo 3.4: Bu tabloda sırasıyla yüzey temizleme hattı ve banyoları belirtilmiştir.

1. Banyo	Alkali banyo (Henkel, Almeco) 3.61 N / 60 °C / pH: 10.2 (ultrasonic ile birlikte)
2. Banyo	Su banyosu
3. Banyo	Asidik banyo (Henkel, Ridoline 2000TH) 3.81 N / 60°C / pH: 10.2
4. Banyo	Su banyosu
5. Banyo	Deiyonize su (30 Siemens)
6. Banyo	Nano Seramik kaplama banyosu
7. Banyo	Su banyosu
8. Banyo	Su banyosu
Etüv	110°C / 10 dakika



Şekil 3.4: Otomatik yüzey temizleme hattının otomasyon ekranı.



Şekil 3.5: Parçalar dizilişi.



Şekil 3.6: Parçaların cihaz içerisinde yıkınışı.



Şekil 3.7: Yüzey temizleme hattı ve parçaların sepetlere dizilişi.



Şekil 3.8: Kullanılan boya fırını.



Şekil 3.9: Parçaların boya fırınına gönderilmesi.

Yüzey temizleme hattında yapılan deney sonucunda ortaya çıkan parçalar SEM altında incelenmiştir. SEM sonuçlarına göre AlTi5B kullanımının hammadde kalitesi üzerine olan etkisi incelenmiştir. Siyah noktaların bileşimi tespit edilmiştir. (Şekil 3.25 - 3.28).

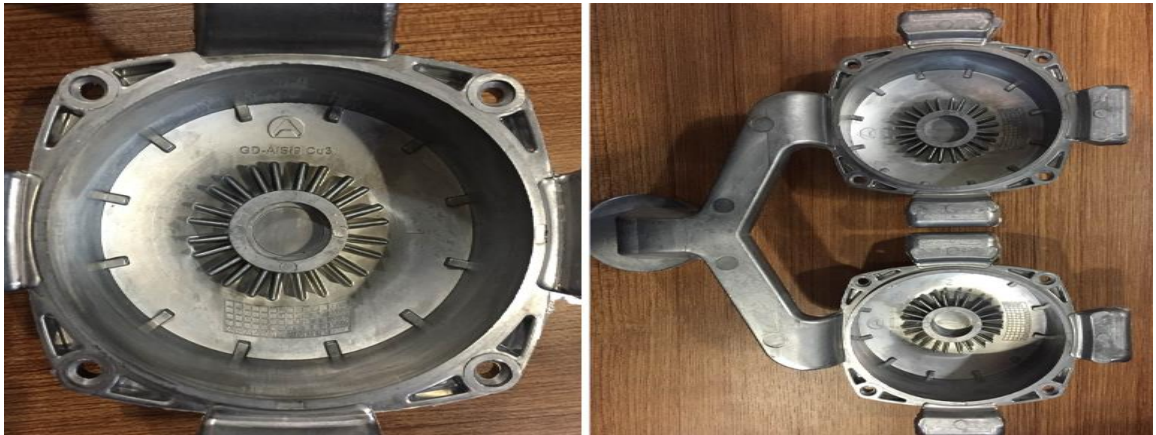
AlTi5B'un hammadde kalitesine etkisinin araştırıldığı deneyde parçaların hepsi aynı döküm parametreleriyle (1. Faz, 2. Faz ve 3. Faz) ve aynı sıcaklıkta (710 °C) de döküm dökülmüştür. Kullanılan alaşım G-231 AlSi12Cu olarak seri imalata başlanılmıştır. Yüzey temizleme deneyinde olduğu gibi bu deneyde de parçaların dökümü aynı parametrelerde gerçekleştirilmiştir. Fakat bu defa AlTi5B katkısı yapılmamıştır. Katkı yapılmadan 9800 adet parça dökülmüştür. Tablo 3.5'te verilen 80.000 adetlik döküm

sayısı ve hurda miktarı üretici firmanın bugüne kadarki Factory Master MRP kayıtlarından alınmıştır.

Tablo 3.5: Deney parametreleri ve numune sayısı.

AlTi5B Kullanımı	Makine Tipi	Döküm Sıcaklığı	Toplam Dökülen Sayı
Var	160 T Metal Pres	710 °C	80.000
Yok	160 T Metal Pres	710 °C	9800

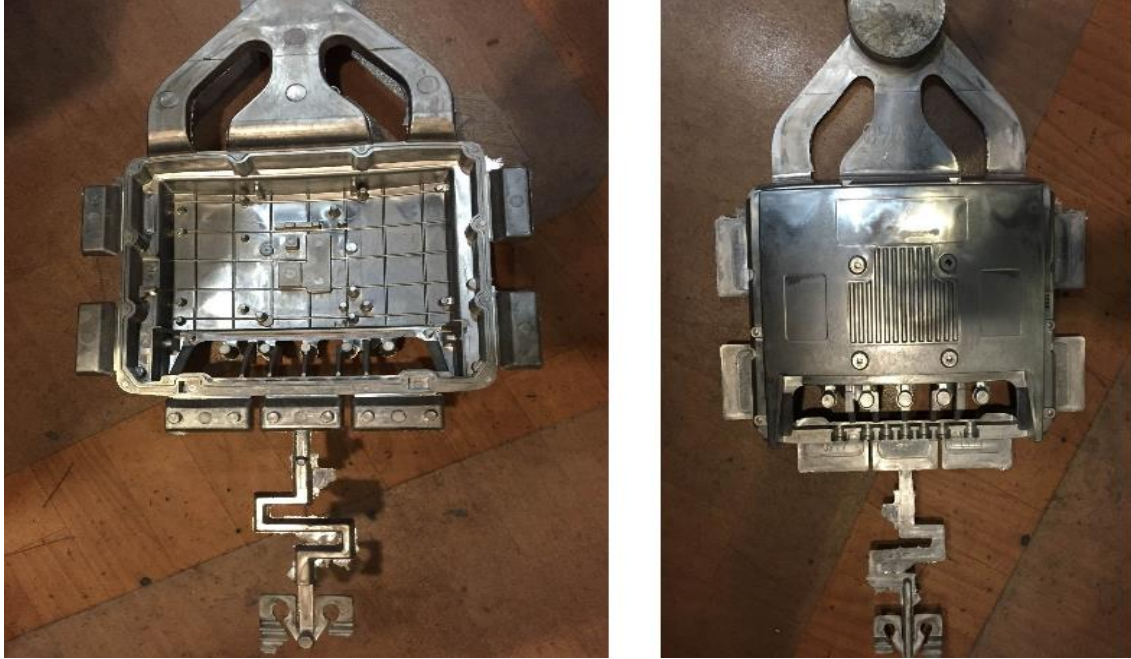
Hammadde kalitesinin ve intermetaliklerin takım ucu ömrüne etkisinin araştırılması deneyinde toplamda 22.000 parça dökülmüştür. 12.000 parça bifilm indeksi düşük hammaddeden ve 10.000 parça bifilm indeksi yüksek hammadden dökülmüştür. Hammaddeler külçelenirken belirli sıcaklıkta, belirli temizlik işleminden geçirilmiştir ve imalata hazırlanmıştır (Şekil 3.1). 420 T ZITAI makinasında, aynı pota sıcaklığında EN AC 46000 alaşımıyla döküm yapılmıştır. Döküm parametreleri imalat boyunca değiştirilmemiştir. PCD uçlar periyodik olarak 96x büyültmede Dino Lite 2.0 dijital kamerayla takip edilmiştir ve böylece PCD uçların değişimi gözlemlenmiştir. Alaşım olarak AlSi9Cu3 kullanılmıştır.



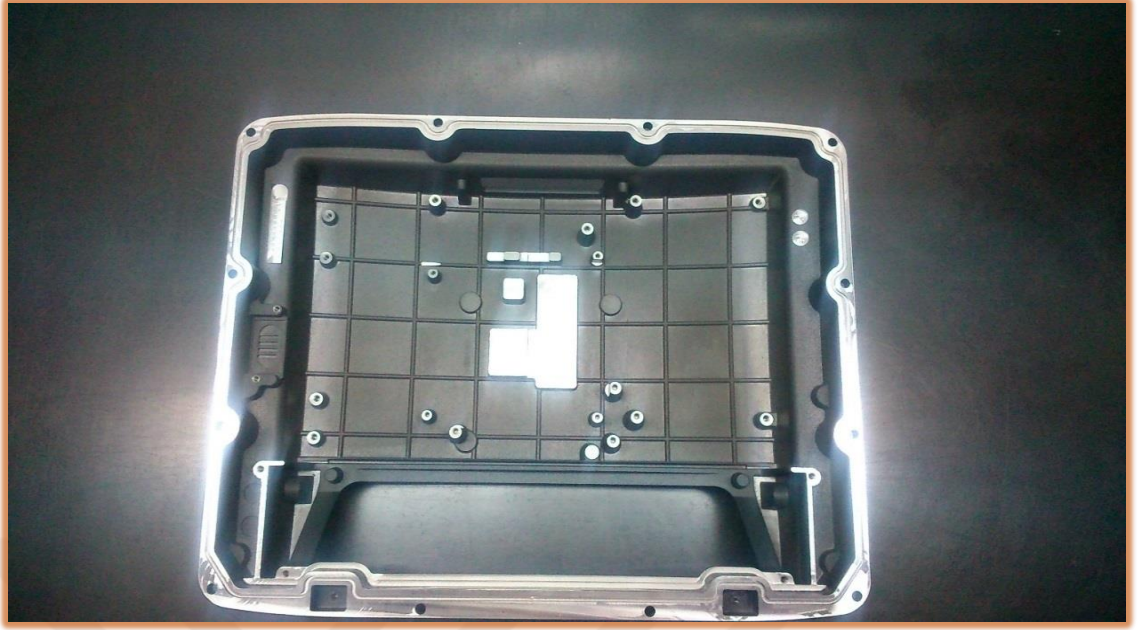
Şekil 3.10: PCD uçların işlediği parçanın geometrisi.

Hammaddedeki intermetaliklerin kalıp işleyişine etkisi üzerine yapılan deneyde iki ayrı döküm yapılmıştır. Deneyler seri imalat ortamında iki ayrı iş emrinden 1700 parça (1. İş

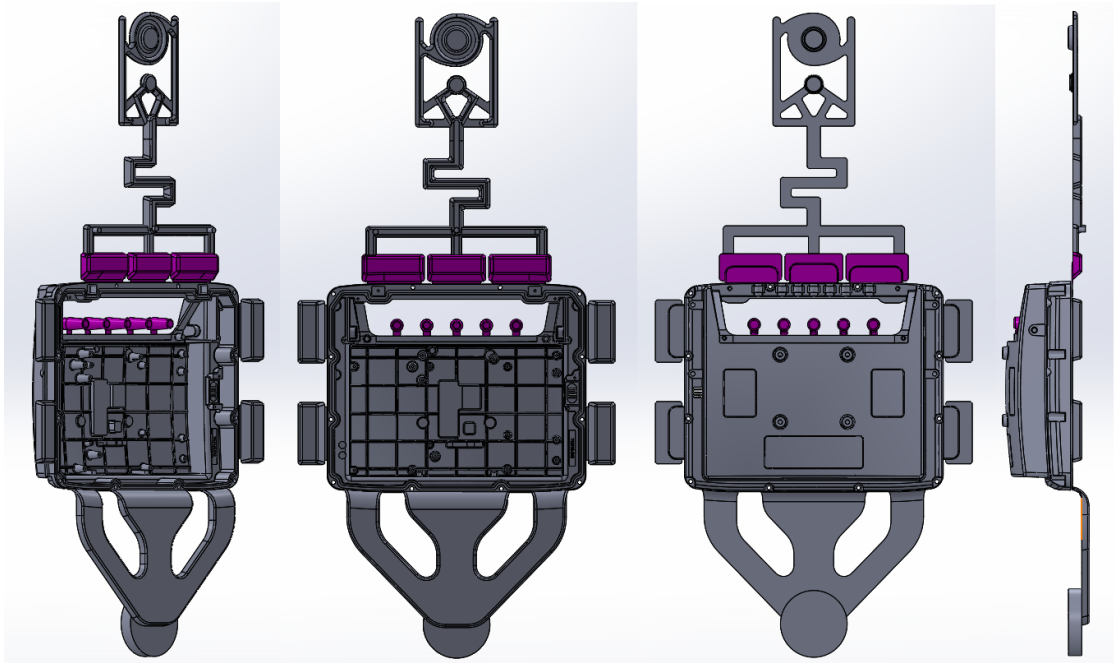
emri) ve 1500 parça (2. İş emri) toplamda 3200 parça dökülerek gerçekleştirilmiştir. EN AC 46 000 alaşımı kullanılmıştır. İki ayrı iş emri aynı döküm parametreleriyle, aynı kalıp sıcaklığında ve aynı kalıp tasarımıyla gerçekleştirilmiştir. Parçaların dökümü 560T Zitai makinasında yapılmıştır ve FANUC CNC makinasında aynı devir ve ilerleme hızıyla işlenmiştir. Parçaların yolluk kırma operasyonları aynı şekilde ve oda sıcaklığında aynı operatör tarafından gerçekleştirilmiştir. Parçaların ilk iş emrindeki fire sayısı belirlenmiştir ve “yolluk ve hava içten kırma” problemi yolluk ya da kalıp tasarıma müdahale edilerek değil de hammadde temizliği yapılarak çözülmeye çalışılmıştır. Deneyleerde sadece hammadde kalitesi değiştirilmiştir. 1. iş emrinde hammadde yükske bifilm indekse sahipken, 2. iş emrinde hammaddenin bifilm indeksi düüşülmüştür. Hammadde aynı tedarikçiden temin edilmiştir. Hammaddelerin kalitesi 30 mbar vakum altında 4 dakika boyunca yapılan RPT ile tespit edilmiştir. Parçalarda çıkan intermetalikler SEM altında incelenmiş ve mikroyapı analizi yapılmıştır.



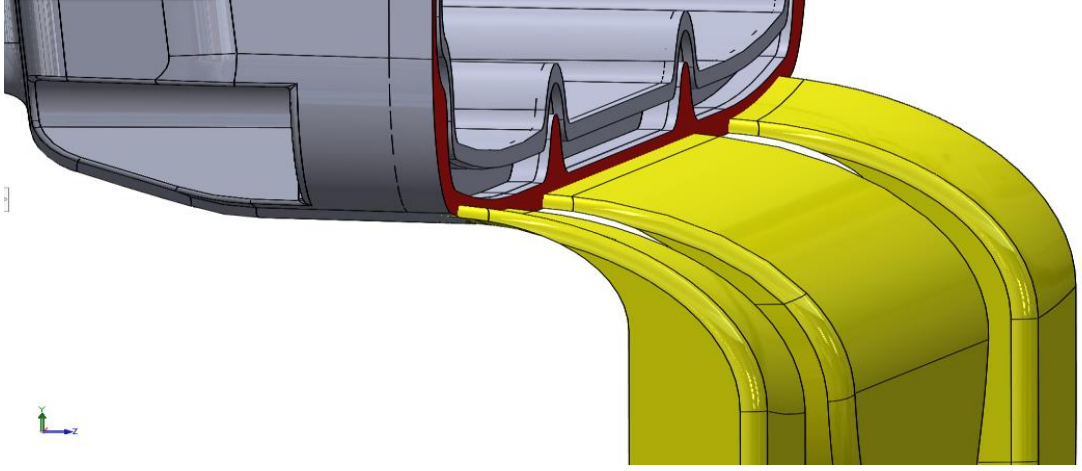
Şekil 3.11: Parçanın geometrisi.



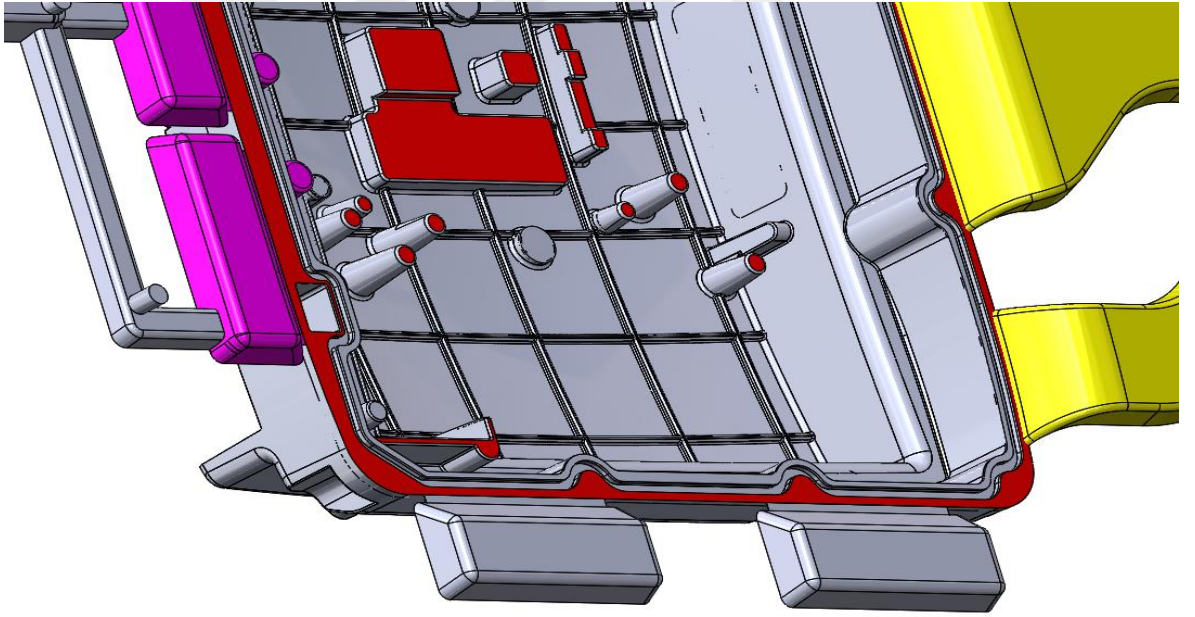
Şekil 3.12: Frezelenmiş parçanın görünümü.



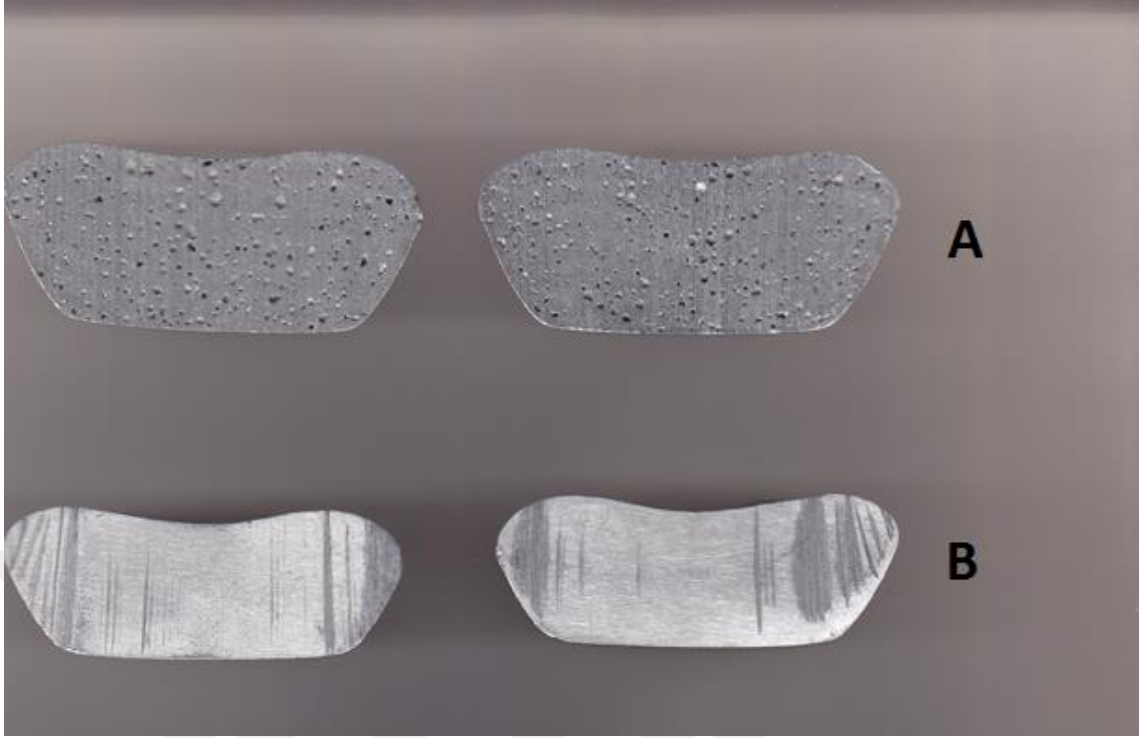
Şekil 3.13: Parçanın üç boyutlu önden, arkadan ve yan tarafından görünümü.



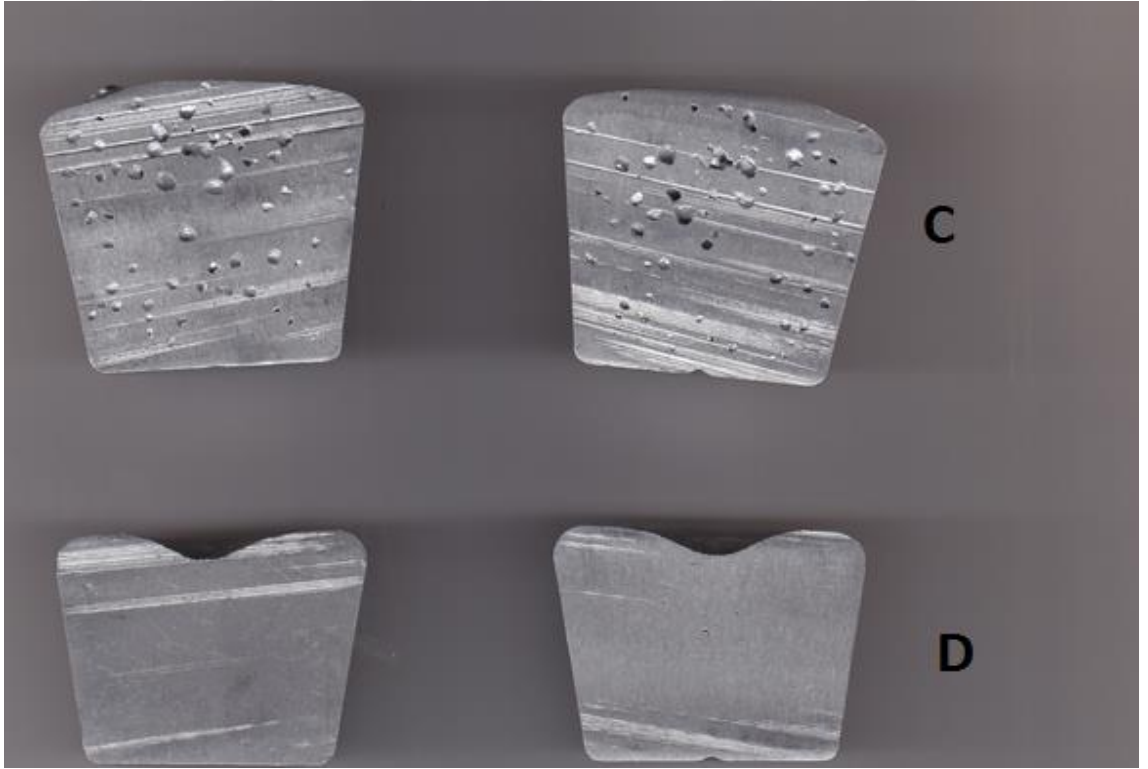
Şekil 3.14: Kırmızı bölge frezelenen, sarı bölge ise yolluk bağlantısını göstermektedir.



Şekil 3.15: Şekilde parçanın frezelenen kırmızı bölgesi, sarı olarak gösterilen yolluk tarafının parçaya bağlantısı ve hava ceplerinin bağlantı noktaları gösteriliyor.



Şekil 3.16: A: 1. Deney’de kullanılan hammadde kalitesi (1. Pota) B: 2. Deney’de kullanılan hammadde (1. Pota). (30 mbar’lık vakumda 4 dakika RPT sonuçları)



Şekil 3.17: C: 1. Deney’de kullanılan hammadde kalitesi (2. Pota) C: 2. Deney’de kullanılan hammadde kalitesi (2. Pota) (30 mbar’lık vakumda 4 dakika RPT sonucu).

4. BULGULAR

Hammadde kalitesinin blister oluşumu üzerine etkisinin araştırılması için yapılan deneyde toplamda bifilm indeksi yüksek olan parçadan (Şekil 3.1 – A) 350 adet ve bifilm indeksi düşük olan parçadan (Şekil 3.1 – B) 350 adet döküm yapılmıştır. Daha sonra 4 saat ısıtılma işlemine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda ortaya çıkan bulgular tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Deney sonucunda ortaya çıkan fire miktarı.

Hammadde Kalitesi	Döküm Makinası	Isıl İşlem Süresi	Isıl İşlem Sıcaklığı (°C)	Döküm Adedi	Hurda Miktarı	Blister Miktarı (%)
Bifilm indeksi düşük	420 T Zitai	4 Saat	220	350	0	0
Bifilm indeksi yüksek	420 T Zitai	4 Saat	220	350	87	24

Deney sonucunda ortaya çıkan fireler ve firelerin yapısı şekil 4.1 ve 4.2’de gösterilmiştir.

Simülasyon sonucu da hesaba katılırsa (Şekil 3.3) parçaların tasarımdan dolayı hava kapmadığı aşıkardır. Hava ceplerinin konumu oldukça iyi konumlandırılmıştır ve parçanın en son hava kapılan yerleri hava cepleridir. Deneyde değiştirilen tek parametre olan bifilm indeks miktarı ısıtılma işlem sonrasında blisterlerin oluşumu için kanıt niteliği taşımaktadır. Bifilm indeksi yüksek olan hammadde ile dökülen 350 adet parçadan 87 adedi blister sebebiyle hurdaya ayrılmıştır.

Kesit alındıktan sonra şekil 4.3 ve 4.4 incelenirse John Campbell ve Derya Dışpınar’ın [18] ortaya attığı bifilm teorisinin şeklen blister yapısına çok benzediği ortaya çıkmaktadır.



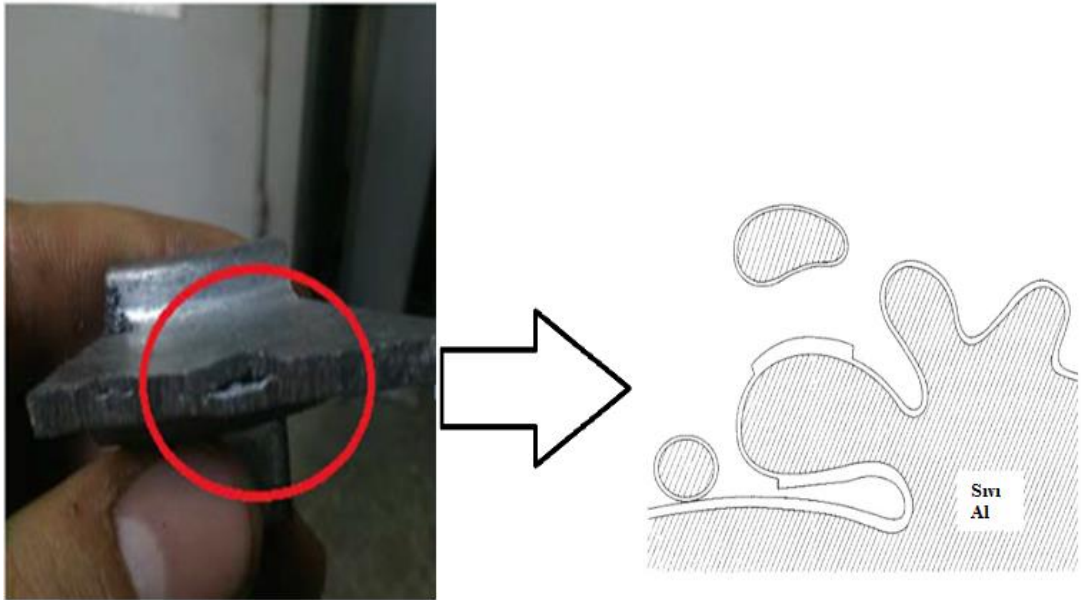
Şekil 4.1: Bifilm indeksi yüksek hammadde dökümü sonrasında ortaya çıkan hurda parçaların bir kısmı.



Şekil 4.2: Bilisterlerin parça üzerindeki görünümü.



Şekil 4.3: Blisterlerin kesit görünümü.



Şekil 4.4: Blister kesidinin bifilm teorisine benzerliği.

Yüksek basınçlı dökümde yüzey temizliğinin incelenmesi deneyinde ortaya çıkan “siyah noktalı” parçalar şekil 4.5-4.13’te gösterilmiştir.



Şekil 4.5: 1 numaralı parametrede parçalarda çıkan hurdaların siyah noktaların dağılımı.



Şekil 4.6: 2 numaralı parametrede çıkan hurdaların siyah nokta dağılımı.



Şekil 4.7: 3 numaralı parametrede çıkan hurdaların siyah nokta dağılımı.



Şekil 4.8: 4 numaralı parametrede çıkan siyah noktaların dağılımı.



Şekil 4.9: 5 numaralı parametrede çıkan siyah noktaların dağılımı.



Şekil 4.10: 6 numaralı parametrede hurdaların siyah nokta dağılımı.



Şekil 4.11: 7 numaralı parametrede çıkan hurdaların siyah nokta dağılımı.



Şekil 4.12: 8 numaralı parametrede çıkan hurdaların siyah nokta dağılımları.



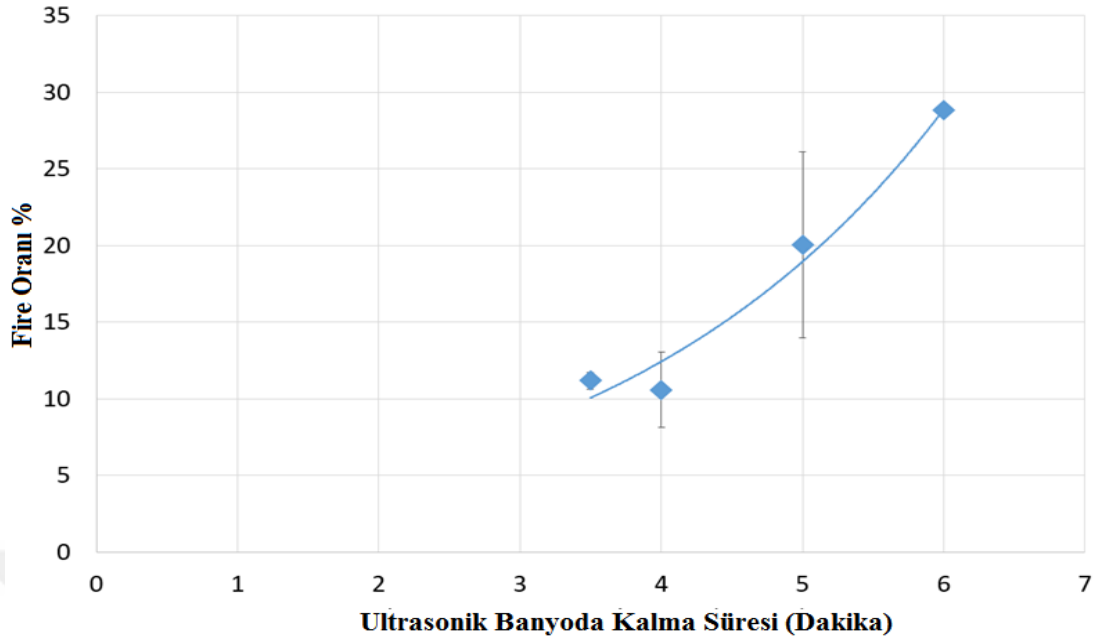
Şekil 4.13: 9 numaralı parametrede çıkan hurdaların siyah nokta dağılımları.

Tablo 4.2’de ultrasonik test denemelerine ait deney sonuçları özetlenmiştir.

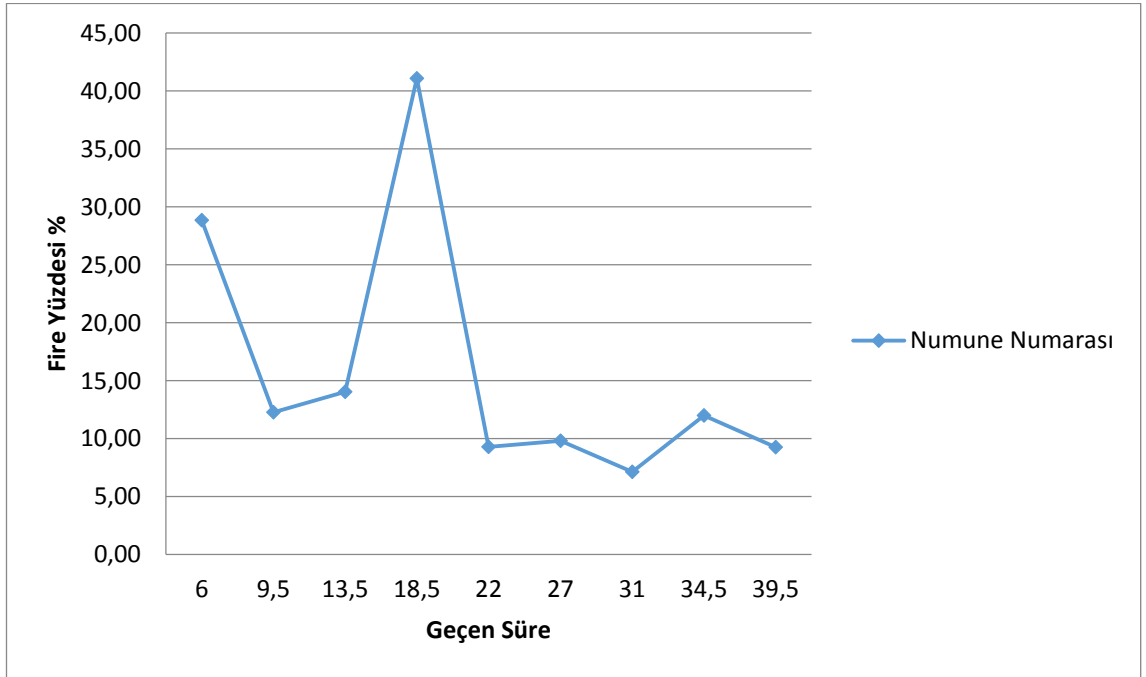
Tablo 4.2: Numune sayısı, deney parametreleri ve fire miktarları

Numune Numarası	Toplam Numune Sayısı	Sağlam Parçalar	Görsel olarak siyah noktacıklı	Fire oranı	Ultrasonik Banyoda durma süresi (dakika)
1	52	37	15	28,85	6
2	57	50	7	12,28	3,5
3	57	49	8	14,04	4
4	56	33	23	41,07	5
5	43	39	4	9,30	3,5
6	51	46	5	9,80	5
7	56	52	4	7,14	4
8	50	44	6	12,00	3,5
9	54	49	5	9,26	5

- Mevcut durumdaki fire oranı % 9 iken ultrasonik banyo kullanılıncaya ortalama fire oranı % 16'ya yükseldiği görülmüştür.
- Ultrasonik banyoda parçaların banyoda kalma süresi arttıkça fire oranı bariz bir şekilde yükselmiştir (Şekil 4.14). En ideal süre 4 dakika olduğu belirlenmiştir.
- Şekilde 4.15. 'ten de görüleceği üzere banyo kirlendikçe yani süre arttıkça (22. dakikadan sonra) parçaların kalitesi daha stabil hale gelmektedir. Bu da kimyasal çözelti ile ultrasonik birleşiminin parçaya, kullanılan kimyasal banyoda molarite olarak güçlüyken zarar verdiğini ve bir stabilite söz konusu olmadığını, kimyasal etkisini yitirdikçe verdiği zararı azalttığını ya da en azından prosesi daha stabil hale getirdiğini görüyoruz. Banyonun kirlendikçe prosesin stabil hale gelmesi dikkate değer bir konu olmaktadır. Ultrasonik temizlemenin yüksek basınçlı dökümde yüzey temizlemede ne kadar kullanılabilir olduğunu sorgulatan bir sonuç olarak bu bulgular tartışılabilir.
- Deneyler sonucunda sorunun yüzey temizleme hattında olmadığı kanıtlanmıştır. Sorunun sürekli devam etmesi aslında problemin çözümü için sıvı hammadde kalitesinin araştırılması gerektiğini ortaya koymuştur. Çünkü "siyah nokta" probleminin yüzey temizlemeden kaynaklı olmadığı görülmüştür.

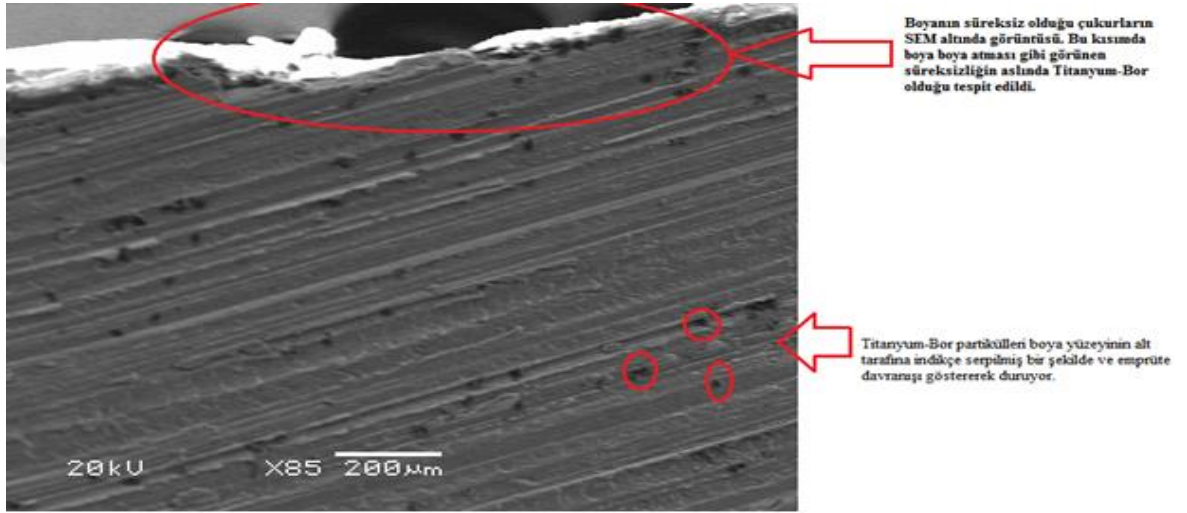


Şekil 4.14: Parçaların fire oranı ve ultrasonik banyoda kalma süreleri arasındaki ilişki.

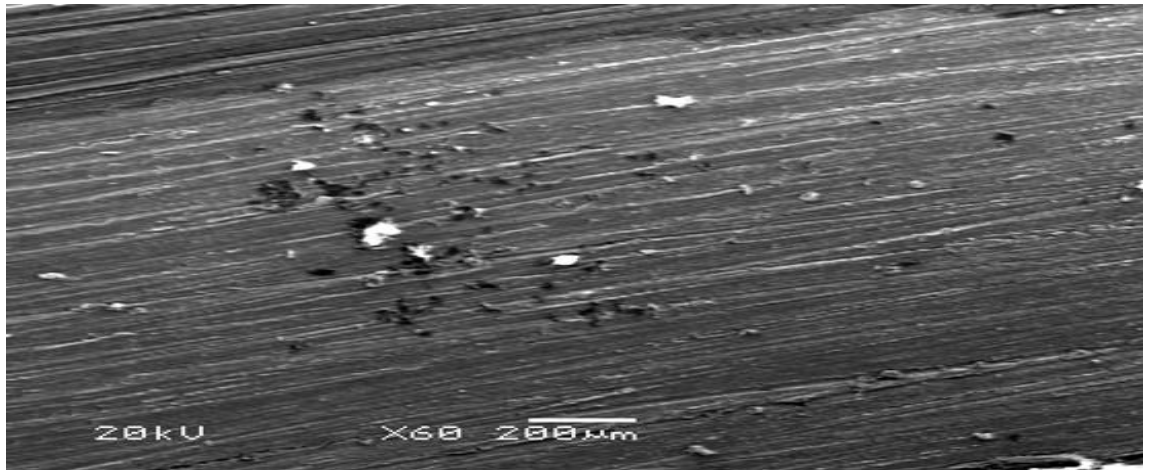


Şekil 4.15: Banyo kirliliği ile fire oranı arasındaki ilişki.

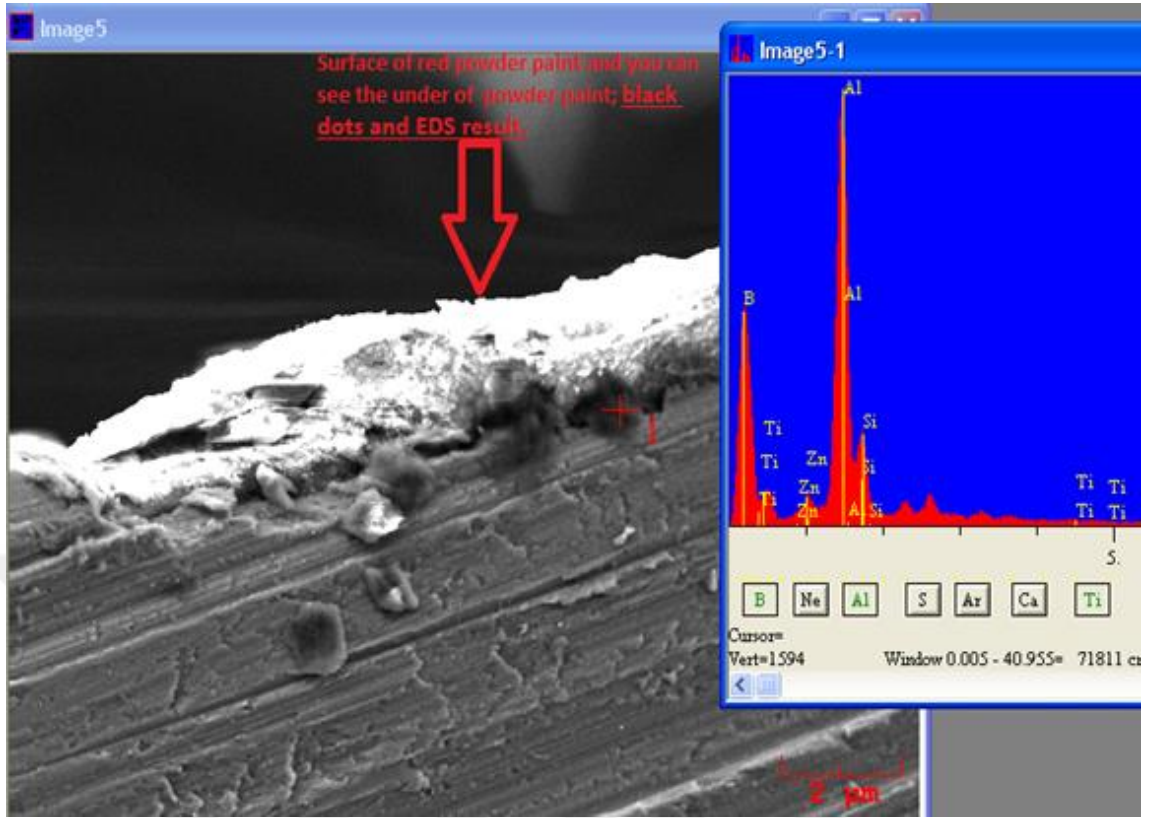
AlTi5B tane inceltici çubukların kullanımının hammadde kalitesini olumsuz etkilemesi deneyinde SEM bulguları, yüzey temizleme deneyi sonrasında çıkan parçalardan alınarak incelenmiştir. Şekil 4.16- 4.19'da da görüldüğü EDS sonuçları ve SEM görüntüleri hem yapısal olarak hem de AlTi5B kullanımının olması açısından siyah noktaların B olduğu tespit edilmiştir. B elementinin parça içerisinde hammaddeye katıldığı zaman olumsuz yönde etki ettiği AlTi5B kullanımı olmadan yapılan bu deneyin sonucunda ortaya çıkarılmıştır.



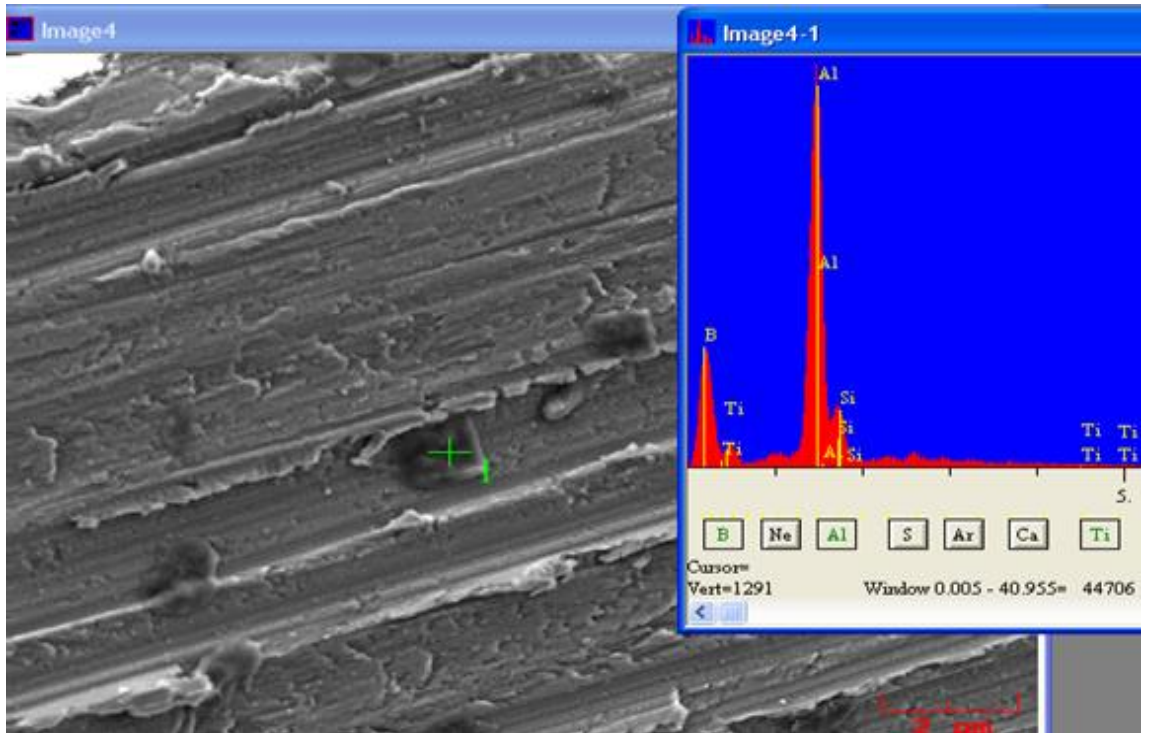
Şekil 4.16: Yüzey temizleme hattından “siyah noktalı” çıkan parçaların SEM görüntüleri



Şekil 4.17: Titanyum-Bor parçalarının parça içindeki dağılımının heterojenliği.



Şekil 4.18: Tam olarak boyanın süreksiz olduğu noktaya yapılan EDS diyagramı.



Şekil 4.19: Herhangi bir noktacığa yapılan EDS diyagramı.

Tablo 4.3: AlTi5B kullanımı olmadan dökülen deneyin sonuçları.

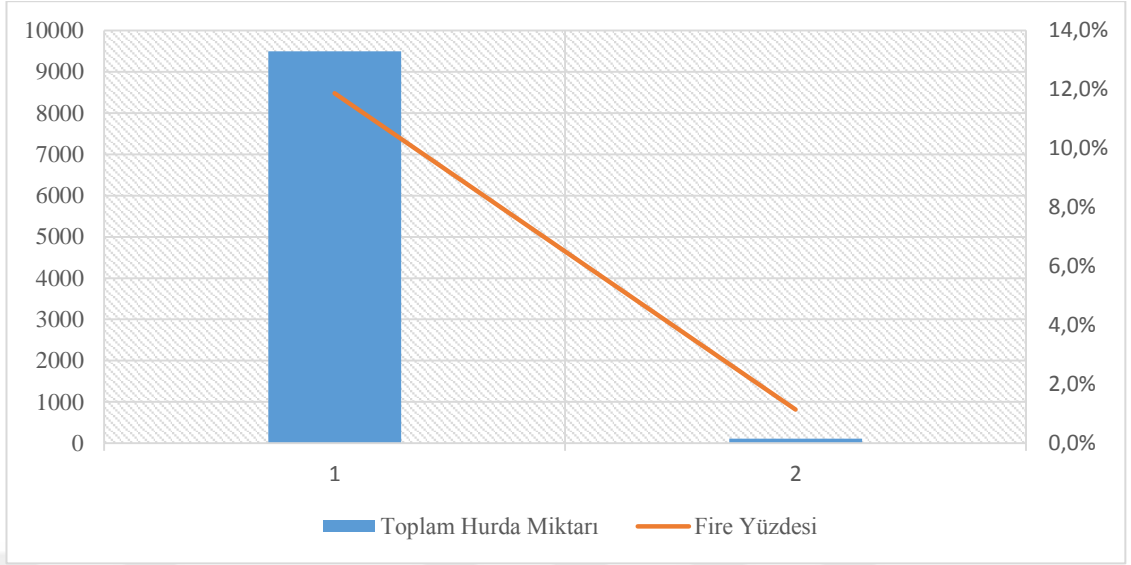
AlTi5B Kullanımı	Makine Tipi	Döküm Sıcaklığı (°C)	Toplam Dökülen Sayı	Toplam Hurda Miktarı	Fire Yüzdesi (%)
Evet	160 T Metal Pres	710	80.000	9500	11,9
Hayır	160 T Metal Pres	710	9800	210	2,20

Tablo 4.3'te bugüne kadar yapılmış ve MRP sisteminden alınan 80.000 adetlik dökümün sonucunda ortaya çıkan siyah noktalı parça miktarı 9500 adet yani % 11,9'dur. AlTi5B kullanımı olmadan 9800 adetlik döküm sonucunda ortaya çıkan fire miktarıysa yalnızca % 2,20'dir. Sadece AlTi5B kullanımını ortadan kaldırarak bu fire seviyesine inilebileceği ortadadır.

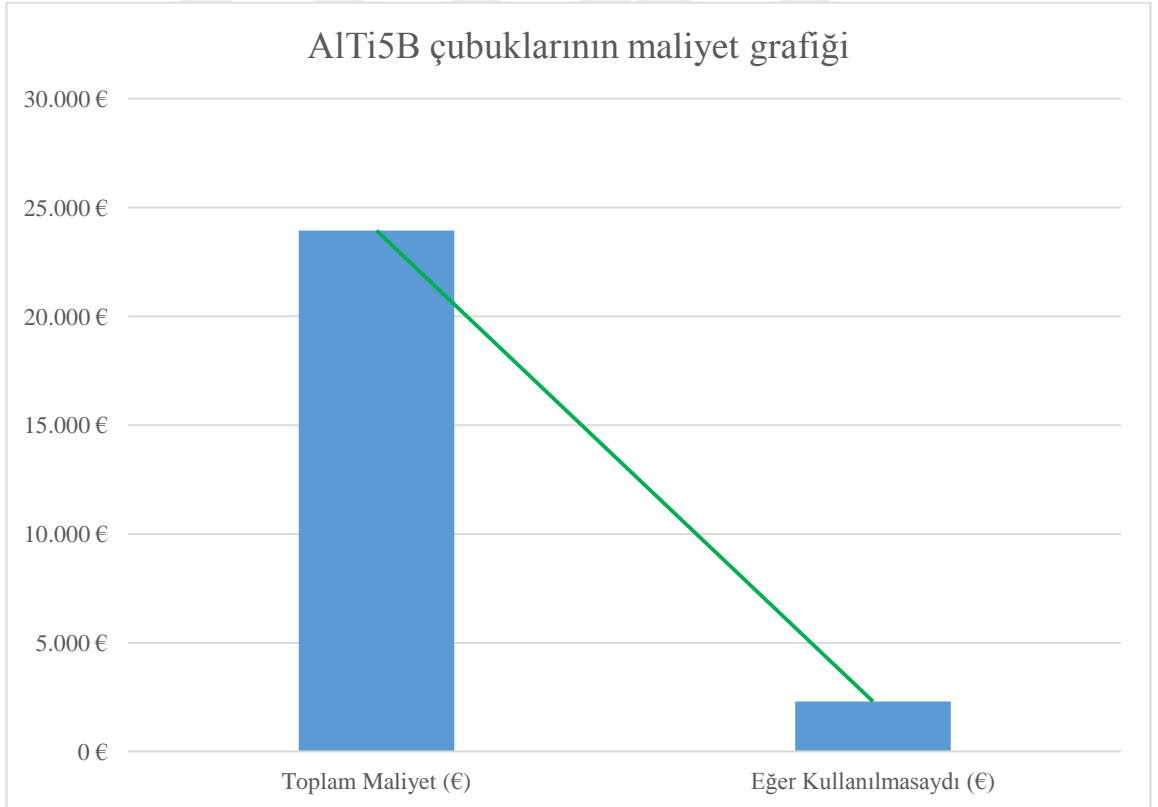
Bahsi geçen bu parçanın satış fiyatının 2,52 €'dir. Bu verilerle yapılan maliyet analizi de bulgulara eklenmiştir. (Tablo 4.4). Tabloda görülen değerler eşliğinde deney yapılan kadar basılan 80.000 adetlik (oldukça iyi bir kalıp ömrü) intermetaliklerden dolayı 9500 adet boş baskı yaptığı ve toplam mali firenin de 23.940 € olduğu görülmektedir. Eğer intermetalikler olmasaydı fire oranı 2.298 € olacaktı. Kalıbın ömrünün Sludge Factor ile artırılmasıyla elde edilemeyecek bir mali iyileştirme bu sayılardan çıkartılabilir. Aradaki maliyet farkı yani 21.642 € yeni bir kalıp parası olarak düşünülebilir.

Tablo 4.4: : 80.000 baskılık ömürden ortaya çıkan firelerin maliyeti.

AlTi5B Kullanımı	Toplam Hurda Miktarı	Fire Yüzdesi (%)	Toplam Maliyet (€)	Eğer Kullanılmasaydı (€)	Aradaki Fark (€)	Mali İyileştirme Yüzdesi (%)
Evet	9500	11,9	23.940 €	2.298	21.642	90,4



Şekil 4.20: Toplam Fire miktarının düşüş eğilimi.
1: AlTi5B kullanılarak elde edilen; 2: AlTi5B kullanılmadan edilen döküm firesi



Şekil 4.21: AlTi5B modifikasyon çubuklarının 80.000 adetlik parça için ortaya çıkan maliyeti.

Şekil 4.16-4.19' dan da anlaşılacağı gibi boyanın süreksizliğine sebep olan emprüteler Ti-B'dur. Bu yüzden bir sonraki seri imalatta Ti-B kullanımını durdurulmuştur. Özellikle B oranının yüksek olması oldukça önemli çünkü Bor elementi Ti-B malzemesinde ergimiş alüminyuma katıldıktan sonra $TiAl_3$ oluşumunu hızlandırdığı düşünülmektedir. Ancak görüntülerden de açıkça görüleceği gibi B elementi emprüte gibi davranmaktadır ve sıvı metalin hammadde kalitesini olumsuz yönde etki etmektedir.

- Yukarıdaki deneyler ve tespitler dikkate alınarak AlTi5B modifikasyon çubukları kullanılmadan seri imalat yapılmıştır. Toplamda 9800 parça dökülmüştür. “Siyah noktacık” olarak daha önceki fire oranlarına göre toplamda % 9-11'lik bir oranda parça ayrılması beklenirken yalnızca 210 adet parça kenara ayrılmıştır. Bu da % 2'lik bir fireye tekabül etmektedir. Titanyum ve bor kullanmadan fire oranının bu şekilde düşmesi, Ti-B çubuklarının seri imalatta kullanımını ve boyalı parçaların kalitesin etkisini sorgulanabilir kılmıştır.

Hammadde kalitesinin ve intermetaliklerin takım ucu ömrüne etkisinin araştırılması deneyinde toplamda kullanılan PCD uç miktarı tablo 4.5'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5: : Hammadde kalitesine bağlı olarak kullanılan PCD uç miktarları ve maliyeti

Hammadde Kalitesi	Toplam işlenilen adet	Toplam harcanan PCD uç miktarı (Adedi 45 €)	Maliyet
Bifilm indeksi yüksek	10.000	16	720 €
Bifilm indeksi düşük	12.000	4	180 €

Tablo 4.5'ten de görüleceği üzere bifilm indeksi yüksek 10.000 adet parçanın işlenmesi esnasında harcanan PCD uç miktarı 16 iken; bifilm indeksi düşük 12.000 adet parçanın işlenmesi sonucunda harcanan PCD uç miktarı 4 adettir. Her uç değişiminde makinanın durması ve yeniden ayar yapılması da ayrı bir verimsizlik maliyeti olarak düşünülebilir.

Tablo 4.6: 12.000 adetlik seri imalatta işlenilen parçaların intermetalikli parça sayısına göre PCD uç kullanım miktarları

PCD ucun numarası	İşlediği adet	Değiştirilme Sebebi	İntermetalikli parça miktarı
1. PCD uç	5500	Aşındı	13
2. PCD uç	4250	Aşındı	51
3. PCD uç	95	Kırıldı	3
4. PCD uç	2100	İmalat Bitti	5

Tablo 4.6’da bifilm indeksi düşük olan hammaddeyle üretilmiş uçların değiştirilme sebepleri yazmaktadır.

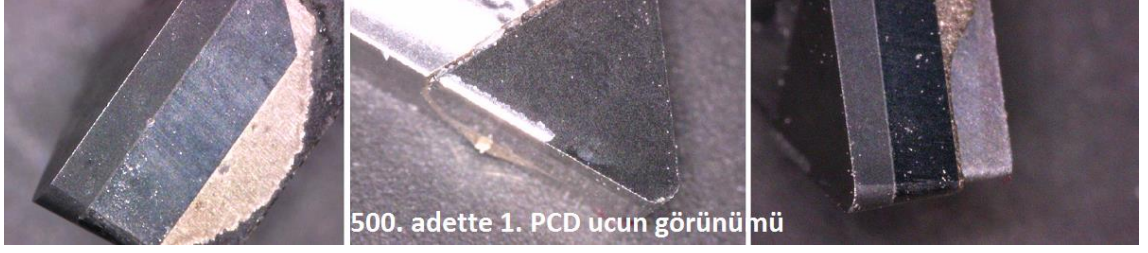
Tablo 4.6’dan da görüleceği üzere 1. PCD uç herhangi bir şekilde aşınmaya ya da kırılmaya uğramadan, herhangi bir kaplamaya sahip olmaksızın toplamda 13 intermetalik parçaya denk gelerek 5500 parça üretmiştir. Ancak 2. PCD uç 4250 adette aşınmıştır ve toplamda 51 adetlik intermetalik içerikli parçaya denk gelmiştir. Bu miktar birinci ucun hemen hemen 4 katına tekabül etmektedir. İntermetalik miktarı 4 katına çıkınca toplamda 1250 parça az işlenmektedir. 3. PCD uç ise oldukça net bir biçimde daha büyük bir intermetalikliğe denk gelerek kırılmıştır ve 100 adedi bile görememiştir. Parçanın kırılma fotoğrafları her şeyi açıklar niteliktedir.

Unutulmamalıdır ki burada kullanılan alaşımların hepsi aynı oranda Si içermekte, aynı oranda Fe içermekte, aynı oranda Cu içermektedir. Tek fark hammadde içerisine karışan intermetaliklerin PCD’nin ömrüne doğrudan etki etmesidir.

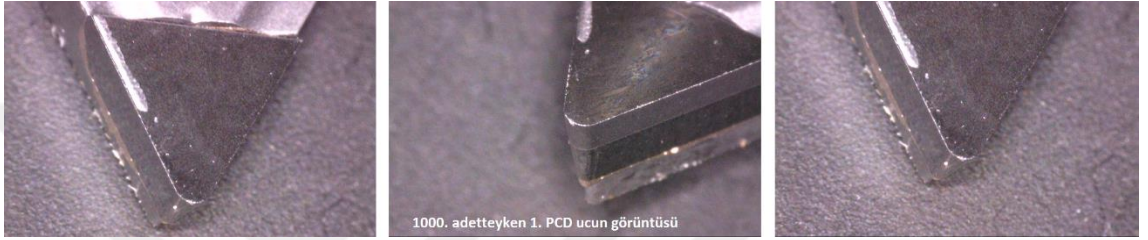
Şekil 4.22 – 4.28’de değiştirilen PCD uçların sonuçlarını içeren fotoğraflar gösterilmiştir.



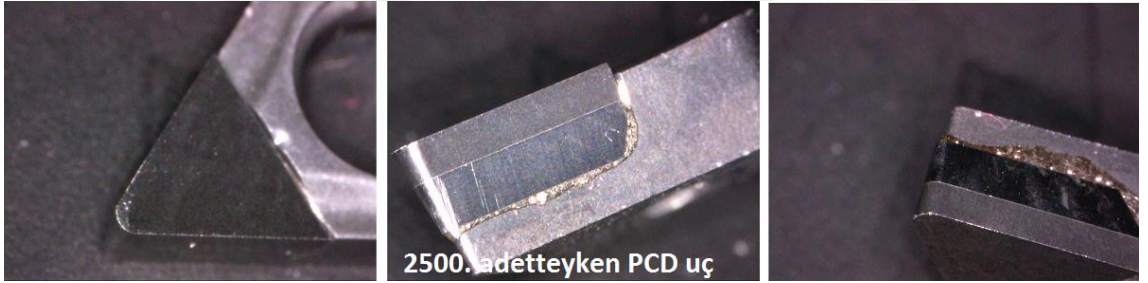
Şekil 4.22: 1. PCD ucun imalata başlamadan önceki, hiç kullanılmamış hali.



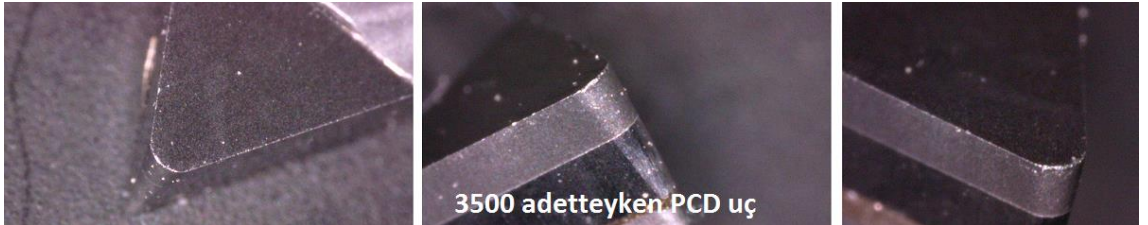
Şekil 4.23: 1. PCD ucun 500. adetteki görünümü.



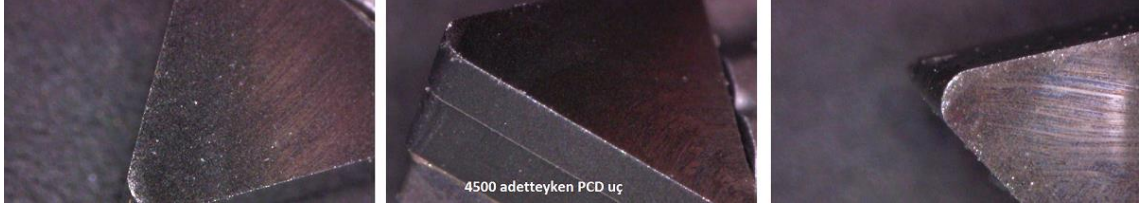
Şekil 4.24: 1. PCD ucun 1000. Adetteki görünümü.



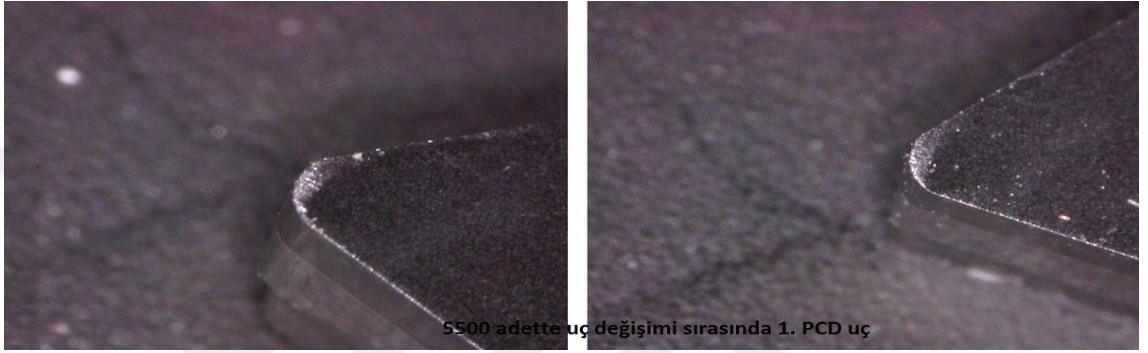
Şekil 4.25: 1. PCD ucun 2500. adetteki görünümü.



Şekil 4.26: 1. PCD ucun 3500. adetteki görünümü.

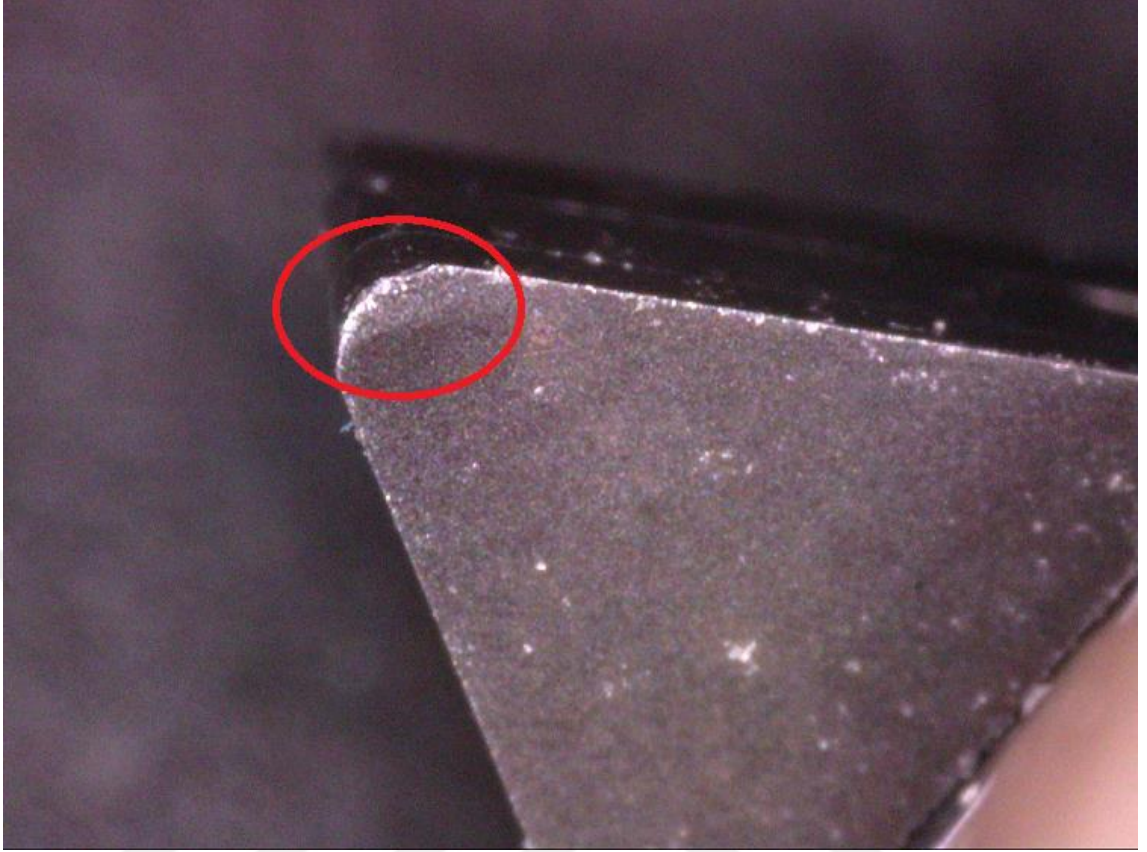


Şekil 4.27: 1. PCD ucun 4500. adetteki görünümü.



Şekil 4.28: 1. PCD ucun son geldiği nokta. Kırılmadan, 13 adet oksitli parçaya denk gelerek toplamda 5500. adet parça işlendi.

Özellikle Şekil 4.29 'da 2. PCD ucun maruz kaldığı 51 adetlik oksitli malzemenin bir diğer örneği Şekilde 4.30'da sadece 93 adet işleme sırasında kırılan 3. PCD uçta görülebilmektedir. Direkt olarak kırılan 3. PCD uç tamamen kullanılamaz hale gelmiştir. Bu da hammaddenin temizliğinin PCD ucun ömrüne birinci dereceden etkisinin apaçık bir kanıtıdır.



Şekil 4.29: 2. PCD ucun 4250. adetteki kırılmaya yakın aşınması.



Şekil 4.30: 2. PCD ucu kıran intermetalikler.



Şekil 4.31: Sadece 92 adet işleme sonrasında intermetalliğe denk gelen 3. PCD ucun kırılan alanının görüntüsü.

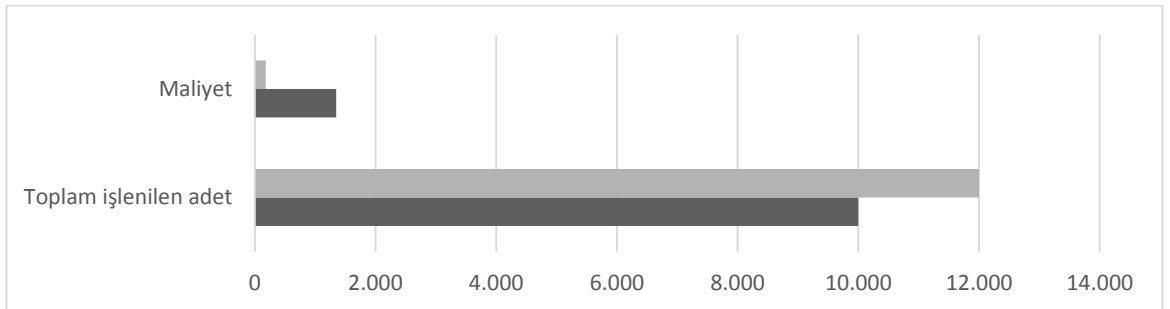


Şekil 4.32: 3. PCD ucu 92 adetteyken kırılan intermetalik.



Şekil 4.33: 2 ve 1 numaralı PCD uçların denk gelen intermetalik parçalar.

Sıvı metal temizliği yapılmış sekonder alaşımdan talaşlı imalat sırasında 12.000 parçada sadece 74 adet PCD ucun ömrünü etkileyebilecek oksitli parça ortaya çıktı (%0,06). Ancak bu oran bile 12.000 parçanın imalatında 4 adet PCD uç değişimine sebep oldu. Özellikle oksitlerin dağılımının bilinmemesi ve hangi parçada çıkacağıın tespitinin zor olması külçeleme esnasında % 100 temizlenmiş ve modern döküm kurallarına uygun bir şekilde külçelenmiş hammadde kullanılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Özellikle Si, Fe, Mg, Cu gibi elementler PCD ucun ömrünü kesinlikle birinci dereceden etkilememektedir. Bifilm indeksi çok yüksek olan bir önceki imalatta 10.000 parça için 16 PCD uç kullanılması baz alınırsa 12.000 parça için 4 adet PCD ucun kullanılması bifilm indeksin azaltılmasıyla sağlanmış çok önemli bir iyileştirmedir.



Şekil 4.34: Açık renk intermetalliği az olan, koyu renk intermetalliği fazla olan dökümü temsil etmektedir. Maliyet kıyaslaması.

Hammadedeki intermetaliklerin kalıp işleyişine etkisi üzerine yapılan deneyde bahsedilen denek parça “bilgisayar paneli” görevini gören oldukça değerli bir niteliğe sahip olmakla birlikte parçanın “içten kırma” diye tabir edilen hatası 2. CNC operasyonu öncesinde yani hemen paketleme öncesinde meydana gelmekte. Dolayısıyla paketleme esnasında ayrılan parçaların üzerindeki “döküm + yolluk kırma + CNC 1. Operasyon + kumlama + yüzey temizleme + boyama + CNC 2. Operasyon + iç lojistik + paketleme” maliyetleri de hurda olmaktadır.

Parçanın fire miktarının azalması için ortaya koyulan “yolluk girişine müdahale etmek”, “hava ceplerinin bağlantılarına müdahale etmek” önerileri de hem kalıbın üzerinde talaşlı imalat olacağı için kalıp ömrünü azaltacak hem de parçanın döküm parametrelerini bir sonraki imalatlar için baştan sona değiştirecekti. Ayrıca bu tür iyileştirmelerin de ne kadar etkili olduğu konusu da oldukça şüphelidir.

İmalatta bu hatanın düzeltilmesi için “sessiz kanıt” olan hammadedeki intermetaliklere odaklanıldı. 1. iş emrindeki hammadde, tedarikçiden gelir gelmez eritilip toplamda 1700 parça döküldü. 1700 parçadan CNC 2. Operasyon sonrasında toplamda 165 adet parça fire olarak kenara ayrıldı. (% 9) Parçaların tanesinin 35 € olduğu hesaba katılırsa toplamda, hemen paketleme öncesi, 5775 €’luk bir fire maliyeti ortaya çıkmıştır. Bir KOBİ için oldukça yüksek bir bedel olmakla beraber 165 “gönderiye hazır parça” fireye ayrılmaktadır. Ayrıca bu denli büyük ve değerli parçalar için her baskı büyük önem taşımaktadır. Bugüne kadarki 15.000 adetlik baskıdan toplamda bu sebepten dolayı ayrılan parça sayısı 3360 olarak belirlenmiştir. Bu da % 22,5’lik bir fireye tekabül etmekte. Üstelik bu parçalar en son paketlemede ayrıldığı için kalıp ömründen götürmesinin yanı sıra; takım ucu, boya ve işçilik de harcamaktadır.

Tablo 4.7: Deney aşamasına kadar intermetalik sebepli ayrılmış toplam hurda miktarı, fire yüzdesi ve maliyeti.

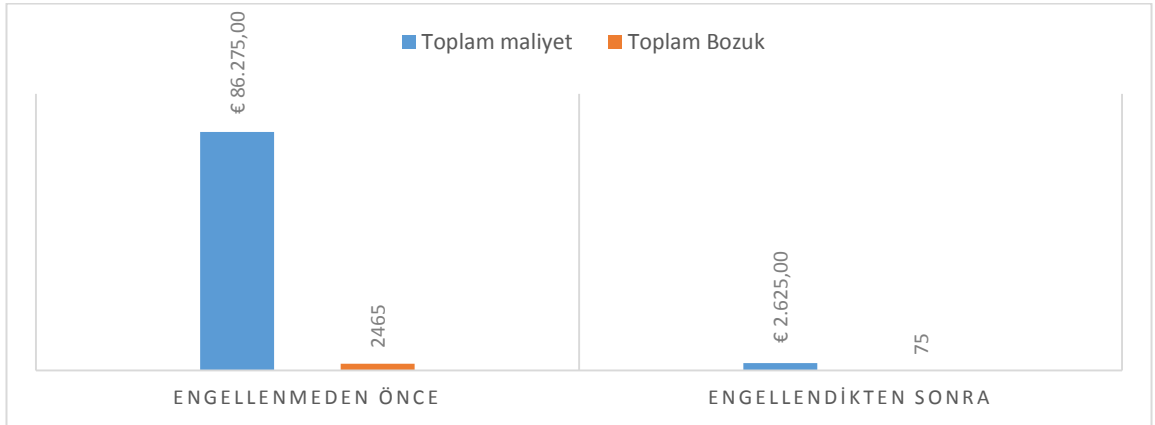
Toplam Dökülen Parça	Hurda Miktarı	Fire Yüzdesi (%)	Toplam Maliyeti (€)
15000	2465	16,43	86.275,00

Tablo 4.8: Deneyleerin sayısal verileri ve fire yüzdesi.

Deney Numarası	Dökülen Sayı	Hurda Miktarı	Fire yüzdesi (%)	Maliyet (€)
1. Deney	1700	165	9,7	5.775,00
2. Deney	1500	7	0,5	245,00

Tablo 4.7’de gösterilen 15.000 baskının sonucunda ortaya çıkan fireler tablo 4.8’de gösterilen deneyler yapılarak %0,5’e indirildi. 15.000 parçadan 2465 adetlik bir “boş baskı” yapılmasaydı kalıbın ömrü 2465 adet daha fazla olacaktı ve kalıbın ömrü uzayacaktı. Bunun yanı sıra pakete giren parça sayısı da artacaktı.

Eğer kalıp ilk defa basıldığından itibaren bifilm indeksi düşük yani intermetalikleri az olan hammadde kullanılsaydı 15.000 baskıda %0,5’lik fire oranına ulaşılabacaktı ve ortaya çıkan 86.275 €’ maliyet toplamda 75 parça için 2625 € maliyete tekabül edecekti. Bu da sadece parça satarak ve bu intermetalik firesini ortadan kaldırarak +2465 baskı ve %97’lik bir maliyete tekabül etmektedir.

**Şekil 4.35:** İntermetalikler engellenmeden önceki ve engellendikten sonraki maliyet dağılımı.

Şekil 4.38’de açıkça görüldüğü gibi “tasarımdan dolayı içten kopma” olarak adlandırılan frezelenen yüzeyin süreksizliklerinin hava cebi ya da yolluk tarafında olmadığı ve bu hatanın bariz bir şekilde hammadde kaynaklı olduğu belirlenmiştir.



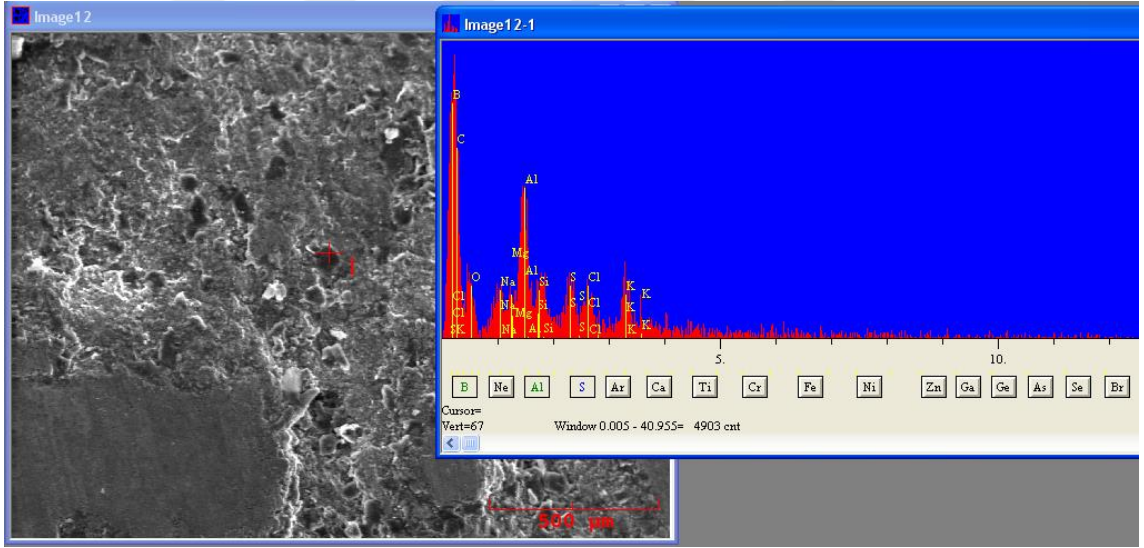
Şekil 4.36: 1. Deney sonucunda ayrılan 165 adetlik parçaların görünümü.



Şekil 4.37: 2. Deney sonucunda ayrılan 7 adetlik parça miktarı.



Şekil 4.38: Hava cebine ya da yolluğa denk gelmeyen intermetalikler.



Şekil 4.39: Şekil 4.38'de gösterilen alanın SEM ve EDS sonucu.

- Denede kullanılan hammadde iyileştirilmesiyle (şekil 3.16 ve 3.17) birlikte, bifilmelerin giderilmesi sonucunda ortaya çıkan firedeki düşüş miktarı % 9,7'den %0,5 olmuştur.

- Şekilde 4.38 'de gösterildiği gibi “yolluk içten kırma” nedeniyle ortaya çıkan fireler aslında frezelenen tüm yüzeyde bulunmaktadır. Yolluğun olmadığı tarafta açık bir şekilde gözüken bu süreksizlikler hammadde iyileştirilmesiyle 0'a kadar indirilmiştir.
- 2. İş emrinde 1500 adette ortaya çıkan 7 parçada siyah kuğuya rastlanmamıştır. Parçalar fireye ayrılmaları yine süreksizlik olmasına rağmen en ufak bifilm, intermetalige ya da oksite rastlanılmamıştır.
- Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler sayesinde kalıba müdahale edilmemiştir ve kalıbın yolluk tasarımı değiştirilmemiştir. Böylelikle kalıba gereksiz yere müdahale edilmeyerek kalıp üzerinden talaş kaldırılmamıştır ve kalıbın ömrü arttırılmıştır. Çünkü her kalıba müdahalede şüphesiz ki kalıbın ömrü azalmakta ve ısıl işlem çeliğinin homojenizasyonu bozulmaktadır.
- Hammadde temizliği sayesinde bu parçaya bir know-how daha kazandırılmıştır ve olası bir potansiyel müşteri şikâyetinin kök sebebi tespit edilerek çözüme kavuşturulmuştur.
- İlk başta basılan 15.000 baskı ile “boş baskı” olarak harcanan 2465 baskı 2. deney sonucunda intermetalik içeriğinden sonra ilerideki üretimler için +2465 olarak kazandırılmıştır. %0,5'lik bir fire ile intermetaliksiz dökülecek 15.000 adette beklenen boş baskı miktarı deney sonucuna göre “75” adet olacaktır. Ayrıca toplam maliyet de yaklaşık 2625 € olacaktır. %97'lik bir maliyet iyileştirmesi ve %16'lık bir kalıp iyileştirmesi söz konusu olmuştur. Hem de alaşım elementlerini değiştirmeden ya da sıcaklığa bağımlı kalmadan sadece intermetaliklerin temizlenmesiyle bu sonucun ortaya çıkacağı açıkça ortaya koyulmuştur.
- İntermetaliklerin temizlenmesinden önce ortaya çıkan 2465'lik parçanın toplam maliyeti, eğer parçalar satılsaydı 86.265 €'dur. Bu fire maliyeti her firma için büyük bir kayıptır. Bu ücret ile Türkiye şartlarında en az 6 kalıp yapmak mümkündür.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

- Kalıp ömrünün arttırılması konusunda özellikle fireler hiçbir zaman göz önünde bulundurulmamaktadır. Kronik olarak ortaya çıkan parça hataları yüksek basınçlı döküm esnasında aslında “üretmiş birer boş baskı” olduğu için kalıp ömrünü azaltmaktadır. Bu çalışmada yapılan iyileştirmelerle kalıp ömrü intermetalikler olmadan % 16,75 ile % 22 arasında boş baskılar olmadan artmaktadır. Sonuç olarak düşünülmesi gereken son nokta satılan ürün miktarı olmalıdır ve satılan ürün ne kadar fazlaysa kalıp ömrü o kadar fazla demektir.
- Hurdadan dönüştürülmüş kaliteli bir sekonder alaşım belirli bir sıcaklıkta, efektif şekilde temizlenerek üretilmelidir. Külçeleme yapılırken türbülans sıfır olmalıdır. Üretilen hammaddenin parametre değerleri mutlaka bilinmelidir.
- İntermetaliklerden arındırılmış bir sıvı hammadde dökümü sonucunda ortaya çıkan maliyet iyileştirmeleri % 97’leri bulmaktadır. Özellikle hammaddenin kalıp işleyişine olan etkisinde de görüldüğü üzere, azaltılmış bifilm indeks sonucunda ortaya çıkan kazançla 6 kalıp yapmak mümkündür. Modern ve kaliteli bir hammadde üretim tekniği ile imalatta üretilen ve ciroda büyük yeri olan parçalarda çok önemli iyileştirmeler görülmüştür.
- Hammadde temizliği yüksek basınçlı dökümde pek dikkat edilen bir unsur değildir. Karşılaşılan hataların büyük bir kısmı hammadde temizliğinin hiç yapılmaması ya da eksik yapılması sonucunda meydana gelmektedir. Bu sebeple de özellikle hammadde temizliği efektif bir şekilde yapılmadığı sürece ve potadan potaya aktarım uygun hale getirilmediği sürece yüksek basınçlı döküm firmalarının fire oranları azalmayacaktır. Bu tezde de görüldüğü gibi gerek CNC takım ömürlerine birinci dereceden olumsuz etki edecek gerekse de boya sonrasında ya da CNC işleme sonrasındaki paketleme esnasında parçaların hurdaya ayrılmasına sebebiyet verecektir.
- Sanayide AlTi5B’un her sorunu çözebileceği algısı gibi onlarca yanlış bilgi bulunmakta. Bu tezin içerisinde yer alan AlTi5B çalışması sanayide yanlış

kullanılan ve bilinen bilgilerin en önemli temsilcisi olarak gösterilebilir. Henüz literatürde dahi net olarak etkisi çözülememiş B elementinin hammaddeye katılması ve uygulanması ne derece doğrudur ve hangi yetkin kişiler tarafından nasıl belirlendiği ne derece uygundur, tartışılmalıdır. Çalışmada da görüldüğü gibi çözülemeyen “siyah noktacık” probleminin aslında B intermetalikleri olduğu, AlTi5B modifikasyon çubuğu katılmadan fire oranının % 12’lerden %2’lere indiği kanıtlanmıştır. Boya sonrasında ortaya çıkan firelere sebebiyet veren AlTi5B1 çubuğunun görsel olarak da döküm kalitesini boya sonrasında negatif yönde etkileyeceği ortaya açıkça koyulmuştur. Özellikle kalıp ömrü yüksek bir parça olması ve 80.000 adetlik baskı yapması parçanın maliyetine olumlu bir etki yapması anlamına gelmemektedir. 80.000’lik baskıdan toplamda 9800 adetlik “boş baskı” yapılmasının kök sebebi B intermetalikleridir. Ne kadar Sludge Factor uygulanırsa uygulansın intermetalikler olduğu sürece kalıp daima % 12 boş baskı basacak ve intermetalikler kalıbın ömründen götürecektir.

- Yüksek basınçlı döküme dair en önemli yanlış inanışlardan bir tanesi de ısıtma işlemi yapılamaz bir proses olduğudur. Sebebiyse parçaların hava kaptığı, yüksek basıncın ısıtma işlemi sonrasında blisterlere sebebiyet verdiği inancıdır. Ancak bu tezde blister üzerine yapılan çalışmada yine açık bir şekilde görüldüğü üzere sıvı hammadde kalitesi blisterlerin oluşmasındaki en önemli etkidir. Ne prosesin doğası ne de alaşımın içeriği birinci dereceden etken değildir. Tasarımı kusursuz olan ve basınç parametreleri simülasyon programıyla desteklenmiş bir parça bu tezde “bifilm indeksi yüksek” ve “bifilm indeksi düşük” olarak dökülmüştür ve fire oranı % 25 iyileştirme farkıyla ortaya konulmuştur. Bifilmelerin, intermetaliklerin birinci dereceden blister oluşumuna etken olduğu kanıtlandı.
- Firelerin azaltılmasıyla kalıp ömürlerinin arttırılabileceği gibi sıvı hammaddenin kalitesinin de istikrarlı ve kaliteli hale gelmesiyle CNC ya da torna takım ömürleri de arttırılacaktır. Bu tezde bu açık bir şekilde ortaya konulmuştur. Sıvı hammaddedeki Bifilm indeksi azaltmak hem kalıba hem de takım ömürlerine birinci dereceden pozitif anlamda etki etmektedir.
- Yüksek basınçlı dökümde ortaya çıkan en önemli sorunlardan birisi de döküm sonrasında yolluğun ya da hava cebinin parçadan, parçaya mekanik olarak zarar verecek şekilde ayrılmasıdır. Bu ayrılma CNC işleme esnasında da olabilir, yolluk

kırma esnasında da olabilir. Bu tez içerisinde yapılan çalışmalar sonucunda hammadde kalitesizliğinden dolayı, Fe ya da B intermetaliklerin ilgili noktalarda süreksizliğe sebebiyet verdiği görülmüştür. Bulgular bölümdeki gibi yüksek basınçlı döküm firmaları kesinlikle kalıbın tasarımına müdahale etmeden önce her türlü ayrıntıyı düşünmeleri, hammadde kalitesini gözden geçirmeleri bu tezde önerilmektedir. Çünkü kalıbın tasarımının doğru işleyebilmesi için sıvı hammadde kalitesi de bu sürecin etmenlerinden birisidir. Kalıba müdahale edilerek hem kalıp ömrünün hem de ilerideki dökümlerde döküm kalitesinin azalacağı mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. İntermetaliklerin temizlenmesiye doğrudan olarak gereksiz müdahaleleri engelleyecek ve böylece kalıbın ömrünü arttıracaktır.

KAYNAKLAR

- [1]. Di Sabatino, M., 2006, Fluidity evaluation methods for Al–Mg–Si alloys, *International Journal of Cast Metals Research*, England, 19.2, 94-97
- [2]. Makhlouf, M. M., & Apelian, D., 2002, Casting Characteristics.
- [3]. Mashl, Stephen J., 2000, Hot isostatic pressing of A356 and 380/383 aluminum alloys: an evaluation of porosity, fatigue properties and processing costs., *SAE Technical Paper*, No. 2000-01-0062.
- [4]. Jarstad L., 1987, Understanding Sludge, Proc., *14th SDCE International DieCasting Congress and Exposition Toronto May 11-14*, Ont Canada, PaperNo. G-T87-011.
- [5]. Gobrecht J., 1975, Gravity-Segregation of Iron, Manganese and Chromium in an Aluminum-Silicon Casting, Part I, *Giesserei*, Vol. 61, No. 10, pp 263-265.
- [6]. Andresen B., 1998, *Die Cast Engineering: A Hydraulic, Thermal, and Mechanical Process*, CRC Press, England, ISBN 9780824759353
- [7]. Onat, N., 2011, *Alüminyum Döküm Teknolojileri Dökümcülere Pratik Bilgiler*, Tüdöksad, Türkiye.
- [8]. Von Boris, N., 2011, *Theorie und Praxis des Druckgusses*, Berlin, Schiele&Schön,
- [9]. Guerra, M., 1997, *Die Casting Design. A Parametric Approach*, Faculty Graduate Studies and Research in partial fulfillment of the requirements for the degree of Slaster of Engineering, Canada
- [10]. Dewhirst, B., 2009, *Castability Measures for Diecasting Alloys: Fluidity, Hot Tearing, and Die Soldering*, La Metallurgia Italiana 3.
- [11]. Grosselle, F., 2013, *Correlation between microstructure and mechanical properties of Al-Si diecast engine blocks*, Metallurgical Science and Tecnology, 27-2
- [12]. Timelli, G., 2013, *Quality mapping of aluminium alloy diecastings*, Metallurgical Science and Tecnology, 26-1.
- [13]. Bonollo, F., 2014, StaCast Project: from a Survey of European Aluminium Alloys Foundrier to New Standards on Defect Classification and on Mechanical Potential of Casting Alloys, *71st World Foundry Congress*, Bilbao, Spain, 330-335.
- [14]. Timelli, G., 2014, *The role of Cr additions and Fe-rich compounds on m features and impact toughness of AlSi9Cu3 (Fe) diecasting alloys*, Materials Science and Engineering, A 603: 58-68.
- [15]. Timelli, G. and Alberto F., 2014, *The effects of microstructure heterogeneities and casting defects on the mechanical properties of high-pressure die-cast AlSi9Cu3 (Fe) alloys*, Metallurgical and Materials Transactions, A 45.1: 5486-5498.

- [16]. Thomas H.; Dispinar D., 2012, *Einfluss von Oxid- und Wasserstoffgehalt auf die Qualitätsmessung von Aluminiumschmelzen*, Giesserei-Praxis.
- [17]. Campbell J., 2014, *Casting Practices 10 Rules of Casting*, Longman, First Edition, UK
- [18]. Dispinar D., Campbell J., 2014, Reduces Pressure Test for Bifilm Assessment, *TMS*, USA.
- [19]. Campbell J., 2003, *Castings*, Second Edition , England
- [20]. Lumney R., 2007, Heat Treatment of High-Pressure Die Castings, *TMS*, USA
- [21]. Lumney R., 2008, Thermal Characteristics of Heat Treated aluminum high pressure die Castings, *TMS*, USA
- [22]. Lumney R., 2008, The role of alloy composition in the heat treatment of aluminium high pressure die castings, *TMS*, USA
- [23]. Timelli, G., 2008, *Effect of solution heat treatments on the microstructure and mechanical properties of a die-cast AlSi7MgMn alloy*, Metallurgical and Materials Transactions A 39.7, 1747-1758.
- [24]. A. Cibula: J. Inst. Metals, 1949-50, vol. 76. p. 321.
- [25]. A. Cibula: J. Inst. Met., 1951-52, vol. 80, pp. 1-16.
- [26]. Davies I., 1970, *The Nucleation of Aluminum Grains in Alloys of Aluminum with Titanium and Boron*, Metallurgical Transactions Volume 1-275
- [27]. Laukli, H., 2005, *Effects of grain refiner additions on the grain structures in HPDC A356 castings*, International Journal of Cast Metals Research, 18.2: 65-72.
- [28]. Trent, E. M., Wright P., 2000, *Metal Cutting*, 4th edition.
- [29]. Kim J., 2005, *Cutting performance of Ti-Al-Si-N-coated tool by a hybrid-coating system for high-hardened materials*, Surface and coatings technology 193.1, 249-254.
- [30]. Klocke, F.. 1999, *Coated tools for metal cutting-features and applications*, CIRP Annals-Manufacturing Technology, 48.2: 515-525.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	İbrahim Halil KALKAN
Doğum Yeri	Gaziantep
Doğum Tarihi	01.01.1991
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	05064115812
E-Posta Adresi	Kalkan.i.halil@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Metalürji ve Malzeme Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Programı
Mezuniyet Tarihi	06, Haziran

Makale ve Bildiriler	
Kalkan H., Vardar O., Dispinar D., 2016, Use of vacuum and fluxing on quality of A-380 cast parts, <i>Italia High Technology Symposium</i> , İtalya.	