T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM EKSTRÜZYONUNDA KAYNAŞMA KALİTESİ ve İÇ UZAMA PROBLEMİNİN İNCELENMESİ

İSMAİL KARAKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Doç. Dr. ÖNDER AYER

EDİRNE-2023

İsmail KARAKAYA'nın hazırladığı "**ALÜMİNYUM EKSTRÜZYONUNDA KAYNAŞMA KALİTESİ ve İÇ UZAMA PROBLEMİNİN İNCELENMESİ**" başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalında bir **Yüksek lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Önder AYER ……

Doç. Dr. Gürkan İRSEL ……

Doç. Dr. Ümit HÜNER ……

Tez Savunma Tarihi: 19/01/2023

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Doç. Dr. Önder AYER
Tez Danışmanı

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

……

Prof. Dr. Hüseyin Rıza Ferhat KARABULUT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

19 / 01 / 2023
İsmail KARAKAYA
İmza

Yüksek Lisans Tezi

Tezin Adı Alüminyum Ekstrüzyonunda Kaynaşma Kalitesi ve İç Uzama Probleminin İncelenmesi

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Alüminyum ve alaşımları kolay işlenebilirliği, yüksek mukavemet sağlıyor olabilmesi, çeliğe göre hafif olması, elektrik ve ısıl iletkenliğinin iyi olması gibi özelliklerinden dolayı endüstriyel ve günlük hayatımızda daha fazla kullanılmaya başlanmıştır.6082 alüminyum alaşımları daha çok ağır sanayide, makine imalatında kullanılmaktadır.6082 alaşımlarında en büyük problemlerden biri kaynaşma problemidir. Ekstrüzyon sırasında en önemli parametreler hız, sıcaklık, basınç ve biyet alaşımının kompozisyonudur.

Bu çalışmada 6082 ve benzeri sert alaşımlarda yaşanan kaynaşma problemini minimize etmek için iki farklı tasarım çalışması yapılmış ve yapılan analizler doğrultusunda iki adet kalıp imal edilmiş ve yapılan kalıpların üretimi gerçekleştirilmiştir.

Yapılan üretim sonucunda analiz sonuçları ile karşılaştırma yapılıp üretilen ürünlere çekme testi, sertlik analizleri yapılarak nihai ürüne etkisi incelenmiştir.

Yıl : 2023

Sayfa Sayısı : 91

Anahtar Kelimeler : AA6082 Alaşımı, Ekstrüzyon, Kaynaşma Problemi

Master Thesis

Investigation of inner elongation and welding quality of aluminum extrusion for porthole dies

Trakya University Institute of Natural and Applied Sciences

Mechanical Engineering

ABSTRACT

Aluminum and its alloys are used at increasing rates in industrial applications and daily lives due to their features such as easy formability, high strength, low density, good electrical and thermal conductivity. AA6082 type aluminum alloys are mostly used in heavy industry and machinery manufacturing. One of the main problem in AA6082 alloy extrusion is the welding problem. The most important parameters in extrusion are extrusion speed, temperature, pressure and chemical composition of the billet.

In this study, two different die design were used to minimize the welding problem which was observed in AA6082 and similar hard alloys, and two different die set up was manufactured.

The FEM studies and extrusion experiments were carried out accordingly. The extrusion products were analyzed by applying tensile test, hardness test and microstructural observations. It was concluded that developed die design which was coded as EK53708 eliminated the welding problem comparing to the die setup named EK53684.

Year : 2023

Number of Pages : 91

Keywords : AA6082 Alloy, Extrusion, Welding Problem

İÇİNDEKİLER

ÖZET....iv
ABSTRACT....v
İÇİNDEKİLER....vi
ŞEKİLLER DİZİNİ....ix
ÇİZELGELER DİZİNİ....xi
BÖLÜM 1....1
GİRİŞ....1
BÖLÜM 2....5
ALÜMİNYUMUN ŞEKİLLENDİRİLMESİ....5
2.1. Alüminyum ve Alaşımları....7
2.1.1. Dökme Alüminyum Alaşımları....8
2.1.1.1 1xx.x alaşımları....8
2.1.1.2 2xx.x alaşımları....8
2.1.1.3 3xx.x alaşımları....9
2.1.1.4 4xx.x alaşımları....9
2.1.1.5 5xx.x alaşımları....9
2.1.1.6 7xx.x alaşımları....9
2.1.1.7 8xx.x alaşımları....10
2.1.2. Dövülebilir/Yoğrulabilir Alüminyum Alaşımları....10
2.1.2.1 1xxx Serisi....10
2.1.2.2 2xxx Serisi....11
2.1.2.3 3xxx Serisi....11
2.1.2.4 4xxx Serisi....11
2.1.2.5 5xxx Serisi....11
2.1.2.6 6xxx Serisi....12
2.1.2.7 7xxx Serisi....12
2.1.2.8 8xxx Serisi....13
2.2. Alüminyum Temper Kodları (Termik İşlemleri)....13

2.3. Alüminyum Alaşımlarında Elementlerin Etkisi 14
2.4. Şekil Verme Yöntemleri 15
2.5. Alüminyum Şekillendirilmesinde Kullanılan Üretim Yöntemleri 16
2.5.1. Döküm 16
2.5.2. Kaynak 16
2.5.3. Talaşlı İmalat Yöntemleri 17
2.5.4. Metallere Plastik Şekil Verme Yöntemleri 17
2.6. Ekstrüzyon Nedir? 18
2.6.1. İleri (Direk) Ekstrüzyon Yöntemi 18
2.6.2. Endirekt (Geri) Ekstrüzyon Yöntemi 20
2.6.3. Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi 21
2.7. Ekstrüzyon Prosesini Etkileyen Faktörler 22
2.7.1. Ekstrüzyon Türü 22
2.7.2. Ekstrüzyon Oranı 23
2.7.3. Çalışma Sıcaklığı 23
2.7.4. Ekstrüzyon Hızı 23
2.7.5. Malzemenin Akma Gerilmesi 24
2.8. Ekstrüzyon Kusurları 24
2.8.1. Ekstrüzyon Sırasında Ortaya Çıkan Kusurlar 24
2.8.1.1. Çapaklanma-Silisyum Çapaklanması (Pick up) 25
2.8.1.2. Kalıp İzi (Die Lines) 26
2.8.1.3. Sıcak Yırtılma (Tearing) 26
2.8.1.4. Hava Kabarcık Oluşumu (Blisters) 27
2.8.1.5. Baş-Son Hatası (Front End/Back End Coring Defect) 28
2.8.1.6. Kalın Çizgi-Bant Oluşumu (Die Streak) 29
2.8.1.7. Hız Çatlakları (Speed Cracking) 30
2.8.1.8. Ekstrüzyon Kaynağı (Kaynaşma) Hatası (Welding) 30
2.8.1.8.1. Enine Kaynaşma Kusuru (Transverse Welds) 31
2.8.1.8.2. Boyuna Kaynaşma Kusuru (Longitudinal Welds) 33
2.8.2. Ekstrüzyon Sonrasında Ortaya Çıkan Kusurlar 36
2.8.3. Eloksal Sonrasında Ortaya Çıkan Kusurlar 36
BÖLÜM 3 37
ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON KALIPLARI 37
3.1. Ekstrüzyon Kalıpları 37
3.1.1. Solid Kalıplar 38
3.1.2. Zıvanalı (Köprülü) Kalıplar 38

3.2. Ekstrüzyon Kalıp Tasarımı ve Üretimi 40
3.2.1. Kalıp Tasarım Aşamaları 40
3.2.2. Kalıp Üretim aşamaları 45
3.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi 47
3.4. Kalıp Tasarımında Sonlu Elemanlar Yazılımı 48
3.5. HyperXtrude ile Ekstrüzyon Prosesi Modellemesi 48
BÖLÜM 4 56
MATERYAL VE YÖNTEM 56
4.1. Profil Seçimi 56
4.2. Ekstrüzyon Deneyleri ve Profil Üretimi 57
BÖLÜM 5 61
SONUÇLAR 61
5.1. Sonlu Elemanlar Yazılımı HyperXtrude Sonuçları 61
5.2. Malzeme Karakterizasyon Test Sonuçları 65
5.2.1. Çekme Deneyi 65
5.2.2. Sertlik Deneyi 67
5.2.3. Mikroyapı İncelemesi 69
BÖLÜM 6 75
YORUMLAR ve TARTIŞMA 75
KAYNAKLAR 77
ÖZGEÇMİŞ 80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Ekstrüzyon Şematik Gösterimi 18
Şekil 2.2.Direkt Ekstrüzyon 19
Şekil 2.3. Direkt Ekstrüzyon Yönteminin, Kuvvet Eğrisi 20
Şekil 2.4. Endirekt Ekstrüzyon Yöntemi, Kuvvet Eğrisi 20
Şekil 2.5. Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi, Kuvvet Eğrisi 22
Şekil 2.6. Silisyum Çapaklanması 25
Şekil 2.7. Kalıp İzi 26
Şekil 2.8. Sıcak Yırtılma 27
Şekil 2.9. Hava Kabarcığı Oluşumu 28
Şekil 2.10. Baş Son Hatası Görünüm 29
Şekil 2.11. Bant Oluşumu 29
Şekil 2.12. Hız Çatlakları 30
Şekil 2.13. Enine Kaynaşma Kusuru 32
Şekil 2.14. Ekstrüzyon Ürünü ve Enine Kaynaşma Bölgesi Görünümü 33
Şekil 2.15. Boyuna Kaynaşma Bölgesi Oluşumu 35
Şekil 3.1. Ekstrüzyon Ürünlerine Göre Kalıp Seçimi Şematik 37
Şekil 3.2. Solid Kalıp Örneği 38
Şekil 3.3. Zıvanalı Kalıp Örneği 39
Şekil 3.4. Zıvanalı Kalıbın Bölümleri 39
Şekil 3.5. Kalıp Genel Görünümü 41
Şekil 3.6. Odacıkların Oluşturulması 42
Şekil 3.7. Zıvana Alanını Belirleme 42
Şekil 3.8. Zıvana Yükseklik Hesaplama 43
Şekil 3.9. Yan Kesit Oluşturma 43
Şekil 3.10. Kalıp Tasarımının Tamamlanmış Gösterimi 44
Şekil 3.11. Kalıp Kesit Görünümleri 45
Şekil 3.12. Kalıp Üretimi Planlama Akış Şeması 46
Şekil 3.13. Modelleme ve Import Etme 49

Şekil 3.14. Birleştirme 50
Şekil 3.15. Negatif (Akış Hacmi) Oluşturma 50
Şekil 3.16. Profilin ve Sürtünme Yüzeyinin Oluşturulması 51
Şekil 3.17. Geçiş Bölgelerini Kontrolü 52
Şekil 3.18. Profil, 1.Havuz, 2.Havuz ve Zıvana Akış Yerlerinin Belirlenmesi 52
Şekil 3.19. Biyet Çapı ve Uzunluğunun Belirlenmesi 53
Şekil 3.20. Alüminyum Alaşımının Seçimi 54
Şekil 3.21. İşlem Parametrelerinin Programa Tanıtılması 55
Şekil 4.1. Ürün Boyutları 57
Şekil 4.2. Biyet Isıtma İşlemi 58
Şekil 4.3. Profilin Kalıp Çıkış Görüntüsü 59
Şekil 4.4. Ürün Çıkış profili 60
Şekil 5.1 EK 53708 Kodlu Kalıp Akış Hızı Dağılımı 61
Şekil 5.2. EK53684 Kodlu Kalıp Akış Hızı Dağılımı 62
Şekil 5.3. EK 53708 Kodlu Kalıbın Gerilme Dağılımı 63
Şekil 5.4. EK53684 Kodlu Kalıbın Gerilme Dağılımı 63
Şekil.5.5. EK53684 Ürün Çıkış Sıcaklık Dağılımı 64
Şekil.5.6. EK53708-Ürün Çıkış Sıcaklık Dağılımı 65
Şekil 5.7. Numunelerin Çekme Test Cihazı İçerisinde Görünümü 66
Şekil 5.8. Çekme Deney Sonuçları 66
Şekil 5.9. Sertlik Ölçüm Sonuçları 67
Şekil 5.10. Sertlik Ölçüm Sonuçları 68
Şekil 5.11. Mikroyapı İncelemesi Yapılan Optik Mikroskop 69
Şekil 5.12. Mikroyapı Örnekleme Alınan Bölgeler ve İç Yapı Karakteristiği 70
Şekil 5.13. EK53684 Kodlu Kalıp Numuneleri Tane Büyüklükleri 71
Şekil 5.14. EK53684 Kodlu Kalıp için YKS ve FiberYapı Geçiş Arayüzey Görünümü 72
Şekil 5.15. EK53708 Kodlu Kalıp Numuneleri Tane Büyüklükleri 73
Şekil 5.16. EK53708 Kodlu Kalıp için YKS ve FiberYapı Geçiş Arayüzey Görünümü 74

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Alaşımların sınıflandırılması …….....8

Çizelge 2.2. Dövülebilir/Yoğrulabilir Alüminyum Alaşımları……...……...…...10

Çizelge 4.1. AA6082 Alüminyum kimyasal bileşimi……..…..57

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Alüminyum metali; mühendislik malzemesi olarak çeliğin ardından sonra en fazla üretilen ve inşaat sektöründe ağırlıklı olmak üzere, özellikle cephe ve çatı kaplama, pencere ve kapı sistemlerinde, iskele, merdiven ve sera yapımlarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Bunların dışında taşımacılık sektöründe vagon imalatı, uçak, ambalaj sanayii, güneş enerji sistemlerinde, aydınlatma sistemlerinde soğutucu olarak,elektrik, taşıt komponentleri, kablo üretimi, makine elemanları, robotik sistemlerde, metalurji sahasında, makine imalatı, otomotiv sanayii ve özellikle günümüzde elektrikli arabalarda tercih edilmektedir. Alüminyumun bazı özel alaşımları ise hafiflik ve dayanım özellikleri sayesinde savunma sanayiinde de geniş bir alanda kullanılmaya başlanmıştır.

Alüminyum, hafif ve yumuşak bir metal olup mat bir gümüşi renge sahiptir. Bu renk, havayla etkileşime girdiğinde üzerinde oluşan ince oksit tabakası sebebiyle ortaya çıkar. Alüminyum manyetik değildir, kıvılcım çıkarmaz. Zehirli değildir. Saf alüminyumun çekme dayanımı yaklaşık 49 Megapascal (MPa) iken alaşım elementleri yapıya katıldığında bu değer 700 MPa'a çıkar. Yoğunluğu, çeliğin veya bakırın yaklaşık üçte biri kadardır. Kolay dövülür, talaşlı şekil verme yöntemleriyle işlenebilir ve dökülebilir. Üzerinde oluşan oksit tabakası ona üstün korozyon özelliklerini kazandırır. Erime sıcaklığı 660 °C, kaynama sıcaklığı ise 2519 °C'dir. Alüminyum malzeme çevre dostu bir malzeme olarak da ön plana çıkmaktadır. Teorik olarak %99.9 geri dönüştürülebilir olması sayesinde çevre kirlililiğinin azaltılması açısından da alüminyumu ön plana çıkarmaktadır.

Alüminyum ekstrüzyonda 470-480°C de ısıtılıp ekstrüzyon sırasında kalıpta oluşan sürtünmeler ile 510-520°C değerlerinde üretim yapılır. İstenilen çıkış sıcaklığına ulaştıktan sonra termik (doğal yaşlandırma) işlemi uygulanır. Alüminyum ekstrüzyonda üretim esnasında oluşan problemler ölçü bozukluğu, kalıp kırılması, sert malzemede istenilen sertliğin oluşmaması, malzemelerde kaynaşma problemi ve iç uzama vb.. olarak sıralanabilir. Sözkonusu kusurların giderilmesi alüminyum sektörü için büyük önem arz etmektedir.

Alüminyum ekstrüzyonu bir bütün sistem olarak hammaddenin dökümünün yapıldığı andan başlayarak ekstrüzyon hattından çıkan profilin paketlenip son kullanıcıya kadar olan kısmını kapsayan büyük bir sistem olarak düşünülse de kalıp ekstrüzyon yöntemiyle üretimin kalbidir. Bu nedenledir ki kalıp tasarımı çok büyük öneme sahiptir. Kalıp tasarımı malzemenin akışını ve dolasıyıla ürünün geometrik ve mekanik özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Kalıp tasarımı yaparken aynı profil için farklı yaklaşımlar ve tasarım davranışları görülmektedir.

Ekstrüzyon prosesinde kalıp tasarımında malzeme akışı çok önemlidir. Sıcaklık, basınç, biyetin kimyasal ve mekanik özellikleri, kullanılan presin özellikleri; malzeme akışını etkileyen önemli parametrelerdir. Kalıp içerisindeki metal akışı, ürünün iç yapı ve mekanik özelliklerini de tayin etmektedir ve bu amaçla farklı araştırmacılar kalıp içerisinde malzeme akışını tahmin etmeyi amaçlayan çalışmalar yapmışlardır.

Li ve arkadaşları aynı profil çıkış şekline çok figürlü bir kalıbın malzeme akışını sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla modellemiştir (Li vd., 2003).

He ve arkadaşları zıvanalı kalıplarda iki farklı kalıp tasarımı kullanarak yaptıkları çalışmada malzeme akışını incelemişler ve kalıp tasarımında cep eklenmesiyle malzeme akışının iyileştiğini ve böylelikle daha düşük esktrüzyon kuvvetlerinin ortaya çıktığını gözlemlemişlerdir (He vd., 2010).

Kim ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 1XXX serisi iki farklı alüminyum kullanarak zıvanalı kalıplar için malzeme akışını incelemişlerdir (Kim vd., 2002).

Koopman doktora tezinde kalıp tasarımını sonlu elemanlar yöntemini kullanarak belirli şartlar tabımlayarak bir sistematik geliştirmeyi amaçlamıştır. Bu amaçla

ekstrüzyon yöntemini alüminyum malzeme ile odacıklı kalıpların kullanıldığı bir uygulamalı çalışma ile ortaya koymuştur (Koopman, 2008).

Alüminyum ekstrüzyon işleminde alaşımlandırılmış malzeme üretiminde yaşanan problemlerden en önemlileri kaynaşma ve iç uzamadır. Bakker ve arkadaşları köprülü kalıplarda kaynak şarjı olan ürünlerin mekanik özelliklerini incelemiştir (den Bakker vd., 2016). Liu ve arkadaşları kaynaşma problemini kalıp tasarımında değişiklik yaparak iyileştirmeyi denemişlerdir (Liu vd., 2018). Köprülü kalıplarda et kalınlığı fazla olan profillerde kalıp ayaklarından dolayı alüminyum malzeme giriş yerinden (zıvana girişinden) önce ayrılıp ayak boyunca yüzey sürtünmesine maruz kaldıktan sonra kapak havuz kısmında tekrar kaynaşmaya çalışan malzeme yeterli kaynaşma oluşmadığı profilde gözle görülemeyen kaynaşma problemleri meydana gelir (Chen vd., 2017; Dong vd., 2016; Fan vd., 2017; Liu vd., 2018; Yu vd., 2019, 2018; Yu, Zhao, vd., 2017; Yu & Zhao, 2017).

Kaynama problemiyle ilgili olarak yapılan bir diğer çalışmada Bingöl ve Keskin, düşük basınç kaynaklı yetersiz malzeme akışının kaynak kalitesini düşürdüğünü ve üründe hasar oluşmasına yol açtığını belirlemişlerdir (Bingol vd., 2007).

Gagliardi ve arkadaşları odacıklı kalıp tasarımında üretimi en uygun şekilde gerçekleştirebilmek ve kaynak hatasından arındırmak ve kaynak bölgesinde ortaya çıkacak profili tahmin edebilmek amacıyla kalıp tasarımında Sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır (Gagliardi vd., 2012).

Ceretti ve arkadaşları çalışmasında yassı haddeleme ürünlerinde ortaya çıkan kaynama kriterinin kritik değerini belirleyen ve karmaşık bir profilin ekstrüzyonunda meydana gelen gerçek kaynaşmayı modelleyen yeni bir yaklaşım sunmaktadır (Ceretti vd., 2009).

Llorca-Schenk ve arkadaşları kalıp tasarımını matematiksel olarak formülize etmeye çalışmışlardır. Bu amaçla 4 odacıklı 4 figürlü zıvanalı kalıplar için örnek bir tasarım ele almış ve sonlu elemanlar yöntemi kullanarak deneme yanılma ile ortaya çıkan tasarım sürelerini kısaltmayı amaçlamışlardır. Kaynama odası, ayak boyları üzerinden yaptıkları hesaplamalarda en optimum malzeme akışını sağlayacak bir kalıp elde etmeyi amaçlamışlardır (Llorca-Schenk vd., 2021).

Dariusz ve Pawel, 6XXX serisi alüminyumun kaynaşma özelliklerini belirlemek amacıyla 6060 ve 6005 serisi alüminyum kullanarak Farklı sıcaklık ve basınçlarda bir dizi malzemenin kesme ve basma özelliklerininin üzerine kurulu bir dizi deney gerçekleştirmişlerdir ve sonrasında ise 6060 ve 6005 serisi alüminyum için zıvanalı kalıplarda 550C ve 250MPa basınç şartlarının kaynaşma kalitesi için en uygun koşullar olduğunu ortaya koymuşlardır (Dariusz vd., 2020).

Profil üretimi için istenilen tolerans aralığına girilse de profilde oluşan kaynaşma problemleri yapılan mekanik testleri sonucunda profilin kaynaşmayan kısımlarından çatlamalarına neden olur mukavemet analizini geçemeyen profil reddedilir ve hurdaya ayrılır.

Dolu profillerde iç uzama baskıya alınan biyet bittikten sonra bir sonraki biyet baskı için alınır ve bu sırada kalıp içinde ilk baskıya alınmış biyetten kalıp havuzlarında kalan alüminyum ile baskıya alınan biyet arasında kaynaşma başlar ilk baskıya alınan biyet bitene kadar oluşan bölüme iç uzama denir. İç uzama ne kadar fazla olursa hurdaya atılan kısım o kadar fazla olur (den Bakker vd., 2016; Fang vd., 2020; YI vd., 2018; Yu vd., 2016; Yu & Zhao, 2017). Bu da fire miktarının artmasına, maliyetin yükselmesine ve dolayısıyla verimliliğin düşmesine neden olmaktadır.

Yukarıda bahsedilen iç uzama ve kaynaşma probleminin giderilmesi veya en aza indirilmesi amacıyla yapılacak iyileştirmeler sektörün ihtiyaç duyduğu önemli bir üretim problemidir. Yapılacak bu yüksek lisans tezinde, kalıp tasarımı oluşturulurken izlenecek tasarım kriterlerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Yapılacak tez çalışmasında, literatüre katkı sağlayacak ve pratik olarak uygulama alanı bulabilecek alüminyum ekstrüzyonu sektörüne hammadde kayıplarını azaltacak ve verimliliği arttıracak bir çözüm sunulması planlanmaktadır. Ülkemizde üretim olarak büyük bir hacme sahip olan alüminyum ekstrüzyon süreçlerinde ortaya çıkan önemli bir soruna bu tez sayesinde çözüm aranacaktır. Hammadde olarak satın alınan ve enerji ve zaman harcanarak ürün halinde dönüştürülen malzemenin hurdaya ayrılması büyük bir maliyet kaybı olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle ürün profili (kalıp çıkış profili) karmaşık bir sözkonusu olduğunda, %40'lara varan miktarda malzeme hurdaya ayrılmaktadır. Ayrıca bu problem; ürünlerde gözle görülemeyen noktada (malzeme iç kısmında ve mikroyapısında) ortaya çıkan bir probleme çözüm sunulacaktır.

BÖLÜM 2

ALÜMİNYUMUN ŞEKİLLENDİRİLMESİ

Alüminyum ve alaşımlarının üstün özellikleri nedeniyle tüketimleri çoğalmakta ve her geçen gün farklı kullanım alan kazanmaktadırlar. Alüminyum, galvanik seride çok aktif bir metal olmasına rağmen, yüzeyinde kolayca biriken koruyucu oksit tabakası, alüminyumun korozyon yapıcı ortamlara karşı yaygın olarak kullanılmasını sağlar. Alüminyum oksitten (Al_2O_3) oluşan bu geçirimsiz, sert oksit tabakası, alüminyumun korozyon direncini önemli ölçüde artırır. Alüminyum saflaştıkça korozyon direnci ve elektrik iletkenliği artar. Korozyona karşı çok hassas olan bazı alüminyum alaşımları, artık oksit tabakası ile kaplanarak korozyondan korunmaktadır.

Günümüzde alüminyum ve alaşımları özelliklerinden dolayı sanayide kullanılmaktadır. Kullanılan en önemli yapısal mühendislik malzemelerinden biri haline gelmiştir. Alaşımsız haliyle yüksek ısı ve elektrik iletkenliği ve korozyon direnci gibi özelliklere sahipken bu özellikler alaşımlama ile çok daha geniş bir kullanım alanına sahip olur. Bugün endüstride yüzden fazla alüminyum alaşımı yaygın olarak kullanılmaktadır. Alüminyuma karakteristik özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- **Hafiflik:** Alüminyumun özgül ağırlığı yaklaşık 2,7 gr/cm^3'tür ve bu düşük ağırlık özelliği, başta uçak ve otomobil endüstrileri olmak üzere taşımacılık endüstrisi için büyük öneme sahiptirler.

- **Mekanik özellikler: A**lüminyum alaşımlarının ısıl işlemi sonucunda mukavemet, sertlik, tokluk ve diğer mekanik özellikleri istenildiği gibi geliştirilebilir. Az miktarda Mn, Mg, Si, Cu, Zn, Ti takviyesiyle dayanımı artan alüminyum alaşımlarında, günümüzde çok yüksek çekme dayanımı değerlerine ısıl işlem ile ulaşılmıştır. Alüminyumun mekanik özelliklerinden en önemlisi elastisite modülüdür. Alüminyumun elastisite modülü çeliğin elastisite modülünün 1/3 üne eşit olduğu için çelik yerine

alüminyum kullanımına onay verildiğinde esnemenin çeliğinkinden 3 kat fazla olacağı dikkate alınmalıdır. Alüminyumun sertliği 19-20 BH değerine sahip olmasına rağmen alaşımlar için 120 BH'ye kadar çıkabilmektedir. Bazı eskitilebilir alaşımlarda çekme mukavemeti 90 MPa'dan 650 MPa'ya ulaşabilir.

- **Korozif Özellikler:** Alüminyumun yaygın kullanımlarından biri yüksek korozyon direncidir. Bu özelliğinden dolayı kimya ve gıda sektöründen inşaat sektörüne ve ev eşyalarına kadar çoğu alanda kullanılmaktadırlar. Alüminyum yüzeyler atmosferik korozyona maruz kaldığında çok ince (20-25 A° kalınlığında) görünmez bir oksit tabakası oluşur ve bu tabaka daha fazla oksidasyonu engeller. Alüminyumun bu özelliği, yüksek korozyon direncinin ana nedenidir ve birçok aside karşı aynı direnci gösterir. Ancak bazı alkaliler bu oksit tabakasını yok etme özelliğine sahiptir. Bazı metallerle doğrudan temas sonucu galvanik korozyon görülebilir.
- **Toksikolojik Direnç:** Endüstride veya mutfak gereçlerinde yaygın olarak kullanılmasına neden olmuştur. Bu özelliği sayesinde gıda ve ilaç ambalajlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.
- **Termal ve Elektriksel İletkenlik:** Alüminyum ve alaşımları ısıyı ve elektriği oldukça iyi iletir. Yüksek termal iletkenliği çeliğe kıyasla 6 kat daha fazladır ve bu karakteristik özellik sayesinde alüminyum ısı eşanjörlerinin ısıtma/soğutma endüstrileri, gıda, kimya, petrol ve havacılık endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmasına yol açmıştır. Ticari alüminyumun elektrik iletkenliği 37 siemens civarındadır. Elektrik iletkenliği bakırın %62'si kadardır. Bakırın yoğunluğunun 8.9 gr/cm^3, alüminyumun ise 2.7 gr/cm^3 olduğunu düşünürsek; ağırlık üzerinden karşılaştırılma yapıldığında alüminyum bakırdan özgül elektriksel iletkenlik değeri baz alındığında daha iyi bir iletkendir. Yüksek gerilim hatlarında dayanım ve korozyon direnci gibi sebeplerden dolayı alüminyum kablolar elektrik iletiminde kullanılmaktadır.
- **Yüksek ısı ve ışık yansıması:** Aydınlatma uygulmalarında %80'in üzerinde ışık yansıtma özelliği dolayısıyla kullanılırlar. Ayrıca yüksek ısı yansıtma özellikleri sebebiyle de çatı kaplamalarında kullanılırlar. Bu özelliğinden dolayı ışık reflektörlerinin kaplanmasında ve aynaların yansıtıcılığında kullanılırlar.
- **Metalotermik Reaksiyonlarda Kullanım:** Alüminyum, oksijene olan ilgisi nedeniyle diğer metallerin oksitlerini azaltır. Bu özelliğinden dolayı bu metallerin üretiminde krom,

vanadyum, baryum ve lityum gibi metal oksitleri indirgenerek toz alüminyum kullanılmaktadır.

- Kolay Şekillendirilebilirlik ve İşlenebilirlik: Kolayca dökülebilir, kağıttan (folyo) daha ince kalınlıklara haddelenebilir, çekme işlemi uygulanabilir (tel, ekstrüzyon ürünleri, farklı geometrideki profiller) ve kolaylıkla dövülerek şekillendirilebilirler. Alüminyum ve alaşımları kolay ve hızlı bir şekilde tornalama, frezeleme, delme işlemlerine tabi tutulabilir.

- Kaynak Edilebilirlik: Herhangi bir birleştirme yöntemi uygulanabilir (kaynak, perçinleme). Yapışma uygulamaları, havacılık ve otomotiv endüstrilerinde de yaygındır.

- Düşük Maliyet: Alüminyumun ekonomik avantajı diğer metallerden daha hızlı artmaktadır. Bunun başlıca nedeni, birim maliyetinin başka metallere göre daha ekonomik olmasıdır. Alüminyumun başka metallerden daha hafif olması dökümde büyük avantaj sağlar. Aynı boyuttaki diğer metallerden daha fazla döküm yapmak mümkündür. Ayrıca çok yüksek erimeme sıcaklığı, döküm sırasında daha az enerji tüketimi ve kalıp aşınması nedeniyle önemli bir tercih nedenidir. Ayrıca alüminyumun yüksek geri dönüşüm oranı nedeniyle ikincil alüminyum üzerinden hammadde üretimi sayesinde enerji ve zamandan kazanılmakta ve böylelikle birim üretim maliyetleri de düşmektedir.

2.1. Alüminyum ve Alaşımları

Alüminyum ticari olarak saf haldeyken düşük mukavemet özelliklerine sahip olsa da alaşımlandırılarak dayanım, korozyona direnç gibi çeşitli özellikleri iyileştirilebilmektedir. Ancak her durumda şekillendirilerek uygun forma getirilmesi gerekmektedir. Alüminyum alaşımları döküm alüminyum alaşımları ve dövme alüminyum alaşımları olmak üzere 2 ana grupta incelenmektedir. Alüminyum alaşımları dövülebilir/yoğrulabilir (Wrought) ve döküm (As-Cast) alaşımları olarak iki gruba ayrılır. Dövülebilir alaşımların, plastik şekillendirilme kabiliyetleri iyi olup kolayca şekillendirilebilirler. Alüminyum alaşımlarının çoğunluğuna ısıl işlem uygulanabilir.

2.1.1. Dökme Alüminyum Alaşımları

Dökme alüminyum alaşımları, dövme alüminyuma kıyasla tipik olarak düşük erime noktalarına ve çekme mukavemetine sahiptir; en yaygın olarak kullanılan alüminyum alaşımı, alaşımın kolayca dökülmesini sağlayan yüksek seviyelerde silikon içeren alüminyum-silikondur. Dövme alüminyum, ekstrüzyon veya haddelemeden üretilenler gibi alüminyum ürünlerin çoğunu oluşturur. Bakır, manganez, silikon, magnezyum, magnezyum silikon kombinasyonları, çinko ve lityum gibi elementler, bireysel dövme alüminyum alaşım kategorilerini tanımlar.

Bu tür alaşımların en önemlilerinde, Al-Si faz diyagramındaki ötektik noktanın bileşimi esas alınmaktadır. Ötektik Alüminyum-Silisyum alaşımları dayanımının iyi olmasının yanında, üstün döküm özelliklerine de sahiptirler. Basınçlı döküm, kokil döküm ve kum döküm için uygun malzemelerdir.

Çizelge 2.1. Alaşımların Sınıflandırılması

Sınıflandırma	Temel Alaşım Elementleri	Isıl İşlem Özellikleri
1xx.x	Alaşımsız (Saflık of 99.0% ve daha fazla)	Isıl İşlem Yapılamaz
2xx.x	Bakır	Isıl işlemle sertleştirilebilir
3xx.x	Silisyum-Bakır	Isıl işlemle sertleştirilebilir
4xx.x	Silisyum	Isıl işlemle sertleştirilebilir
5xx.x	Magnezyum	Isıl İşlem Yapılamaz
6xx.x	Kullanılmayan Seri	Kullanılmaz
7xx.x	Çinko- Magnezyum	Isıl işlemle sertleştirilebilir
8xx.x	Magnezyum - Kalay	Isıl işlemle sertleştirilebilir

2.1.1.1 1xx.x alaşımları

1xx.x döküm alaşımları, olağanüstü korozyon direncine, bitirme kalitelerine ve kaynak özelliklerine sahip ticari olarak saf, alaşımsız alüminyumdur. 1xx.x alaşımları genellikle rotor üretiminde veya korozyona eğilimli alaşımların kaplanmasında kullanılır.

2.1.1.2 2xx.x alaşımları

2xx.x döküm alaşımları, genellikle magnezyum, manganez ve krom dahil edilse de, alaşım elementi olarak öncelikle bakır kullanır. Isıl işlem görebilirler, yani ısıl işlem

süreciyle ek güç kazanabilirler (ısıl işlemle ilgili açıklamamızı 2024 alüminyum alaşımı hakkındaki makalemizde bulabilirsiniz). Özellikle yüksek sıcaklıklarda tüm döküm alaşımları arasında en yüksek mukavemet ve sertliğe sahiptirler. Bileşimindeki bakır, onu korozyona duyarlı hale getirir ve ısıtıldığında daha az sünek ve çatlaklara karşı hassastır. 2xx.x alaşımları için yaygın uygulamalar arasında otomotiv silindir kafaları, egzoz sistemi parçaları ve uçak motoru parçaları bulunur.

2.1.1.3 3xx.x alaşımları

3xx.x döküm alaşımları, ana alaşım elementleri olarak silikon, bakır ve magnezyum kullanır, çoğu zaman ek nikel ve berilyum ile birlikte. Isıl işlem görebilirler, yüksek mukavemete sahiptirler, çatlama ve aşınmaya karşı iyi direnç gösterirler ve iyi işlenebilirliğe sahiptirler. 3xx.x alaşımları için yaygın uygulamalar arasında otomotiv silindir blokları/kafaları, araba tekerlekleri, kompresör/pompa parçaları ve uçak bağlantı parçaları bulunur.

2.1.1.4 4xx.x alaşımları

4xx.x döküm alaşımları, alaşım elementi olarak yalnızca silikon kullanır. 4xx.x alaşımları ısıl işlem görmez ve iyi kaynak özellikleri, mukavemet, korozyon direnci ve aşınma direnci ile birlikte harika döküm özelliklerine sahiptir. 4xx.x alaşımları için yaygın uygulamalar arasında pompa gövdeleri, pişirme kapları ve köprü korkuluğu destek gövdeleri bulunur.

2.1.1.5 5xx.x alaşımları

5xx.x döküm alaşımları, birincil alaşım elementi olarak magnezyum kullanır ve ısıl işlem görmez. Korozyona iyi direnç gösterirler, iyi işlenebilirliğe sahiptirler ve anotlandığında harika bir yüzey estetiğine sahiptirler. 5xx.x alaşımları için yaygın uygulamalar arasında kum döküm parçalar bulunur.

2.1.1.6 7xx.x alaşımları

7xx.x döküm alaşımları, ana alaşım elementi olarak çinko içerir ve ısıl işlem görebilir. İyi döküm yapmazlar, ancak iyi boyutsal stabiliteye, işlenebilirliğe, bitirme niteliklerine ve orta derecede korozyon direncine sahiptirler.

2.1.1.7 8xx.x alaşımları

8xx.x döküm alaşımları, bileşiminde öncelikle kalay ve ayrıca az miktarda bakır ve nikel kullanır ve ısıl işlem görmez. Bu alaşımlar düşük mukavemete sahiptir, ancak mükemmel işlenebilirlik ve aşınma direncine sahiptir. İçten yanmalı motorlar için bi-metal kaymalı yataklar gibi yatak uygulamaları için geliştirildiler.

2.1.2. Dövülebilir/Yoğrulabilir Alüminyum Alaşımları

Alüminyum alaşımlarının mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri bütünüyle alaşım elementlerine ve mikro yapısına bağlı olarak değişim gösterir. Alüminyuma eklenerek mekanik özelliklerini değiştiren önemli alaşım elementleri bakır, mangan, silisyum, magnezyum ve çinkodur. Amerikan alüminyum birliğine göre, alüminyum dövme alaşımları dört harfle sınıflandırılmaktadır.

Çizelge 2.2. Dövülebilir/Yoğrulabilir Alüminyum Alaşımları

Sınıflandırma	Temel Alaşım Elementi	Isıl İşlem Özellikleri
1xxx	Alaşımsız (Saflık of 99.0% ve daha fazla)	Isıl İşlem Yapılamaz
2xxx	Bakır	Isıl işlemle sertleştirilebilir
3xxx	Mangan	Isıl İşlem Yapılamaz
4xxx	Silisyum	Alaşıma bağlı olarak ısıl işlemle sertleştirilebilir
5xxx	Magnezyum	Isıl İşlem Yapılamaz
6xxx	Magnezyum - Silisyum	Isıl işlemle sertleştirilebilir
7xxx	Çinko	Isıl işlemle sertleştirilebilir
8xxx	Diğer elementler	Sınırlı sertleştirilebilir

2.1.2.1 1xxx Serisi

%99 ve daha fazla miktarda alüminyum elementi vardır. Korozyona karşı direnci yüksek, elektrik ve ısıl iletkenliği çok iyidir. Mekanik özellikleri düşüktür. Gerinim sertleştirmesi ile dayanımında çok az artış elde edilebilir. Genellikle elektrik ve kimya endüstrisinde daha fazla kullanılmaktadır. Kaynak yapılabilme kabiliyeti vardır.Ekstrüzyonu kolaydır. Malzeme akışı sırsasında kalıp üzerine malzeme yapışması çok olur. Alaşımlar: 1050, 1060, 1100, 1145, 1200, 1230, 1350 vs.

2.1.2.2 2xxx Serisi

Bakır elementi yüksek olan bir alaşımdır. %1,9 - %6,3'e kadar içeriğinde bakır bulunabilir. Genellikle Mangan, Magnezyum ve Çinko bulunur. Diğer elementlerde bulunabilir. Çökelme sertleştirmesi gösterir. Korozyon direnci diğer alaşımlar kadar iyi değillerdir. Kaynak kabiliyeti, alaşım elementlerine göre kötü ile orta arasındadır. Bu alaşım serirsinin iyi yanı 150°C (300°F)'ye kadar olan sıcaklıklarda dayanımının iyi olmasıdır. Yüksek mukavemet istenen uçak gövdesi ve mekanik elemanları, araç gövde panelleri gibi ürünlerin üretiminde en fazla kullanılan serilerden biridir. Bakır alaşımı içinde çok olduğu için eksrüzyonu zor bir seridir.2024 alüminyum serisi, en fazla kullanılan alüminyum çeşidir. Uçak tasarımında en fazla kullanılan seridir.Alaşımlar: 2011, 2014, 2017, 2018, 2124, 2219, 2319, 2010, 2030, 2060, 2240, 2420 vs.

2.1.2.3 3xxx Serisi

Mangan elementi yüksek olan bir alaşımdır. Şekil değiştirme ve kaynak olabilme yeteneği iyidir. Korozyon direnci yüksektir. Çoğunlukla ısıl işlem yapılamaz. 3xxx serinin yaklaşık %20'si 1xxx serisinden daha dayanımlı alüminyum alaşımları içermektedir. Akma dayanımı yaklaşık 250 MPa vardır. İçecek kutuları, kimyasal kaplar, endüstriyel çatı, eğri borular imalatında kullanılılan bir seridir. Alaşımlar: 3003, 3004, 3105, 3830, 3850, 3900 vs.

2.1.2.4 4xxx Serisi

Silisyum elementi yüksek olan bir alaşımdır. (Genellikle Si oranı %12'ye kadar olabilir). Alaşımın içinde Cu bulunuyorsa çökelme sertleştirilebilir. Termal genleşme katsayısı düşük, aşınma direnci ve korozyon dayanımı çok iyi serilerdir. 4XXX serileri, kayda değer oranda kömür grisi renginde silisyum bulundurduğundan, mimari uygulamalarda daha çok tercih edilmekte ve anot oksit kaplamasında kullanılmaktadır. Pistonlar gibi yüksek sıcaklığa dayanım gösteren parçaların üretiminde, kaynaklı yapılarda, levha üretiminde kullanılırlar, kaynak teli ve lehim alaşımı olarak da kullanılmaktadır. Alaşımlar: 4032, 4043, 4145, 4643 vs.

2.1.2.5 5xxx Serisi

Magnezyum elementi yüksek olan bir alaşımdır. İçeriğindeki magnezyum çoğaldıkça sertlik ve mukavemeti iyileşir ama süneklik düşer. Deformasyon sertleşmesi

hızını arttırmak için çözeltiye % 5,1'e kadar Mg eklemesi yapılabilir. 260 MPa'ya kadar akma dayanımı için soğuk sertleştirilebilir. Kaynak kabiliyeti çok iyidir. Deniz suyu ve kimyasallara karşı korozyon direnci yüksektir. Daha çok gemi imalat sanayiinde kullanım alanını vardır. Magnezyum alaşımı içinde yüksek oranda olan serilerinde ekstrüzyon esnasında yırtık çıkar.Ekstrüzyonu zor bir seridir.Alaşımlar: 5005, 5049,5052, 5083, 5754 vs.

2.1.2.6 6xxx Serisi

Magnezyum ve Silisyum elementi yüksek olan bir alaşımdır. Mg ve Si kombinasyonu, Mg2Si çökelmeli sertleşmeye izin verir. 2xxx ve 7xxx serileri kadar dayanımları iyi değildir fakat, 6xxx serisinin şekillendirilebilme kabiliyeti daha iyidir. Kaynak yeteneği, işlenebilirlik ve nispeten iyi bir korozyon direncine ile orta seviyede bir dayanıma sahiptir. Sac, levha, ekstrüzyon ürünü olarak bulunur. 5000 serisi gibi uygulamalara da sahiptir. 6000 serisi alaşımar en yaygın kullanılan alaşımlardır.6063,6060 serinin ekstrüzyonu çok rahatken 6061 ve 6082 ekstrüzyonu daha zordur.6061 ve 6082 gibi sert malzmelerin ekstrüzyondan sonra hızlı bir şekilde soğutulması gereklidir. 6000 serisinin sert alaşımları özellikle makine saniyinde kullanılmaktadır.

Alaşımlar:6005,6013,6026,6052,6063,6060,6061,6082,6182,6262 ve 6052 vs.

2.1.2.7 7xxx Serisi

Çinko elementi yüksek olan bir alaşım olup (%1 ile %8 arasında Zn bulundurur), çoğunlukla dayanımını iyiliştirmek için Mg, Cu ve düşük miktarda Mn ve Cr ile birlikte kullanılır. Isıl işlem yapılabilir. 7XXX serisi, alüminyum alaşımı mukavemet değerleri en yüksek seridir. Gerilmeli korozyon veya folyolanmanın problem olduğu yerlerde kullanılır. Uçakla sanayinde ağırlıklı olarak kullanılır. Bakırlı alaşımlar çökelme sertleştirilebilir. Alaşım ve üretim yöntemine göre kötüden çok iyiye uzanan kaynak kabiliyeti yelpazesi vardır. Ekstrüzyonu zor bir seridir çok karmaşık profillerin üretimi çok zordur.Çinkonun ergime sıcaklığı 420 °C olduğundan yüksek sıcaklıklara çıkıldığında alüminyum üründe dağılmalar oluşabiliyor. Ekstrüzyon şartlarına göre daha düşük sıcaklıkta ve hızda üretim yapılması gereklidir. sıcaklıkta Alaşımlar: 7008,7012,7010,7049,7050,7075 vs.

2.1.2.8 8xxx Serisi

Lityum elementi yüksek olan bir alaşımdır. İçeriğine kalay elementide eklenebilmektedir. Demir ve nikel, elektriksel iletkenlikten önemli bir kayıp vermeden mukavemeti iyileştirmekte ve 8017 gibi iyi iletken olan alaşımlarda kullanılmaktadır. Özellikle uçak ve uzay imalatında kullanılmakta olan bu serinin, yorulma direnci ve tokluğu çok iyidir. Üretim maliyeti yüksek olan bir seridir. Havacılık uygulamalarında kullanılmaktadır. Alaşımlar: 8006, 8111, 8079, 8500, 8510, 8520 vs.

2.2. Alüminyum Temper Kodları (Termik İşlemleri)

Alüminyumundan elde edilen ürünlere, mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla yaşlandırma adı verilen bir ısıl işlem uygulanır. Yaşlandırma veya bir diğer adıyla çökeltiye alma işlemi; genel olarak aşırı doymuş katı eriyiğin çözeltiye alınması ve su vermeden sonra oda sıcaklığında yapılabilir buna doğal yaşlandırma denir veya denge solvüs eğrisinin altında bir sıcaklıkta ve belirli bir süre çökelmeye alınması şeklinde yapılır. Bu işlem yapay yaşlandırma olarak ifade edilir. Yaşlandırma işlemi alüminyum alaşımlarına yapılan değişik şekillerde uygulanabilir. Uygulanan işlem TX sembolleri ile belirtilerek ürünün alaşım numarasının yanına yazılır. Yapılan termik ısıl işlemleri aşağıdaki gibi detaylandırılabilir (alüminyumburada.com).

- T1: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.
- T2: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.
- T3: Çözeltiye alma işlemi yapılmış, soğuk şekillendirilmiş ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.
- T4: Çözeltiye alma işlemi yapılmış ve tabii yaşlanmaya bırakılmış.
- T5: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş ve suni yaşlandırma yapılmış.
- T6: Çözeltiye alma işlemi yapılmış ve suni yaşlandırma yapılmış.
- T7: Çözeltiye alma işlemi yapılmış ve aşırı yaşlandırma yapılmış.

- T8: Çözeltiye alma işlemi yapılmış, soğuk şekillendirilmiş ve suni yaşlandırma yapılmış.
- T9: Çözeltiye alma işlemi yapılmış, suni yaşlandırma yapılmış ve soğuk şekillendirilmiş.
- T10: Sıcak şekillendirme işleminden sonra soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve suni yaşlandırma yapılmış.

2.3. Alüminyum Alaşımlarında Elementlerin Etkisi

Alüminyum saf halde oldukça yumuşak ve alaşımsız haliyle kullanılabilir olmaktan uzaktır. Farklı uygulamalar için farklı alaşım elementlerinin yapıya katılması gereklidir. Farklı alaşımlar yapıda yer alarak, çökelti oluşturarak ve ara faz bileşikleri oluşturarak alüminyumun mekanik özelliklerini iyileştirirler.

Yapıya katılan alaşım elementleri ve özellikleri aşağıdaki gibidir.

- ✓ **Silisyum (Si):** Özellikle 6XXX serisi alüminyum alaşımlarında karşılaştığımız bir elementtir. Magnezyum ile oluşturduğu çökelti (Mg_2Si) sayesinde mekanik özelliklerin artmasını sağlar.
- ✓ **Magnezyum (Mg):** 5XXX serisinin ana alaşım elementidir. Mekanik özelliklerin artmasına yardımcı olur.
- ✓ **Demir (Fe):** Demir alüminyum alaşımlarında mineral aşamasından gelen bir elementtir. Alüminyum sıvı metalinde rahatlıkla çözülebilir. Ancak oda sıcaklığına soğutulduğunda demir elementi sıvı metalden çökelerek mikroyapıda oluşur. Yapıda bulunan diğer elementlerle AlFeSi (Mn) çökeltileri oluşturur. Mekanik özelliklere katkısı çok fazla yoktur.
- ✓ **Titanyum (Ti):** Dökümde tane inceltici olarak Bor ile kullanılır. En çok kullanılan tane incelticiler AlTiB ya da AlTiC bileşikleridir. Tel ya da toz şeklinde kullanımları vardır.
- ✓ **Manganez (Mn):** 3XXX serisinin ana alaşım elementidir. Mekanik özelliklerin gelişmesinde faydalı olur. Alüminyum ile $AlMn_6$ çökeltisi oluşturur. 6XXX serisinin ekstrüzyonunda (özellikle 6082 alüminyum alaşımında) tane yapısını düzenleyen ve homojenizasyonu kolaylaştıran bir etkisi vardır.

- ✓ **Krom (Cr):** Mekanik özellikleri geliştiren bir özelliği vardır. Manganez gibi Al ile oluşturduğu çökelti sebebiyle ekstrüzyonda tane yapısını düzenlemektedir. 6082 gibi yüksek mukavemetli alaşımlarda ekstrüzyon presi çıkışında tane yapısının aşırı büyümesini engelleri. Mn ile birlikte kullanıldığında alaşımın pres çıkışında uygulanması gereken soğuma hızının arttırılması gerekir (havadan sprey su ya da havuz uygulamasına geçiş gibi)
- ✓ **Bakır (Cu):** Özellikle 2XXX serisi alüminyum alaşımlarında karşılaştığımız bir elementtir. Mekanik özellikleri çok ciddi bir şekilde arttırır. Isıl işlemle sertleştirilmeye uygun bir alaşım olup, ekstrüzyon oldukça zordur.
- ✓ **Çinko (Zn):** 7XXX serisinin ana alaşım elementidir. Magnezyum ile oluşturduğu MgZn ikili çökeltileri alaşımın mekanik özelliklerini arttırır.

2.4. Şekil Verme Yöntemleri

Üretilen metallerin %85'i bir veya birden fazla şekillendirme işlemine tabi olurlar. Şekillendirilebilirlik, mukavemet ile birlikte yapı elemanı olarak kullanılan mühendislik malzemelerinin en önemli özelliğini oluşturmaktadır. Bu durum şekillendirilebilirlik ile ilgili çalışmaların daha fazla gerektiğini göstermektedir. Şekillendirilebilirlik; bir ürünün belirli bir yöntemle ve tasarımla şekil alabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Malzemeye göre tasarım ve yöntem, şekillendirilebilirlik özelliklerini belirleyen temel araçlardır. Şekillendirilebilirlik, stres, deformasyon, deformasyon hızı, sıcaklık gibi proses değişkenlerine ve ikinci faz parçacıkları gibi malzeme değişkenlerine bağlıdır. Plastik deformasyona uğrayan bir malzemede gerilme ve deformasyonlar tekdüze olmayıp bir noktadan diğerine değişmektedir. Kalıp tasarımı, ön parça geometrisi, yağlama gibi proses değişkenleri iş parçasındaki stres ve deformasyon dağılımlarını belirler. Bu değişkenlerin kontrolü ile hasara uğramaksızın istenilen şekillendirme işlemini elde etmek mümkündür.

Alüminyum kolay şekillendirilebilir olması nedeniyle önemli bir mühendislik malzemesidir. Ancak alaşımlandırılan alüminyum malzeme farklı özelliklere sahip olsa da şekillendirilmesi için gereken değişkenler farklıdır. Her durumda şekillendirilerek uygun forma getirilmesi gerekmektedir. Metal alaşımlarının şekillendirilmesi amacıyla

kullanılan farklı yöntemler vardır ve bu yöntemlerin çoğunda alüminyum alaşımları şekillendirilebilmektedir. Bu yöntemler aşağıdaki gibi sıralanabilir :

2.5. Alüminyum Şekillendirilmesinde Kullanılan Üretim Yöntemleri

2.5.1. Döküm

Alüminyum döküm**;** alüminyumun ergitilerek sıvı hale geldikten sonra, sürekli veya bozulabilir kalıplar kullanılarak farklı form ve şekillerdeki alüminyum döküm parçalarının üretilebildiği bir yöntemidir. Alüminyum dökümü üretim prosesi metal ergitme, kum hazırlama, maça imali, kalıplama, dökme, temizleme, ısıl işlem, taşlama ve kaplama işlemlerden meydana gelmektedir. Alüminyum dökümde kalıbın tekrar kullanılıp kullanılamayacağı esasına göre ikiye ayrılır.

Alüminyum döküm işleminde ürünü çıkartmak için kalıbın dağıtıldığı proseslere bozulabilir kalıpla döküm adı verilir. Bozulabilir kalıbın en büyük avantajı daha karmaşık şekillerin dökülmesi mümkündür. Kalıp yapım zamanın uzun olması nedeni ile üretim hızı yavaştır.

Kum Kalıba Döküm, Kabuk Kalıba Döküm, Dolu Kalıba Döküm, Hassas Döküm, Alçı Kalıba Döküm, Seramik Kalıba Döküm bu tür dökümün bileşenleri olarak sıralanabilir.

Kalıcı kalıp ile döküm yöntemlerinde ise döküm işleminde kalıp, metalden vb. malzemeden üretilir ve birden fazla döküm için kullanılır. Üretim hızı yüksektir. Kalıcı kalıplarda dökümden sonra açılması gerektiğinden şekiller sınırlıdır. Kokil Kalıba Döküm, Basınçlı Kalıba Döküm, Santrifüj (savurma) Döküm, Sürekli Döküm (Gülmez, n.d.).

2.5.2. Kaynak

Şekillendirilebilir alaşımlar arasında kaynak kabiliyeti iyi olup, ısıl işlem kabul olmayan seriler 1xxx, 3xxx ve 5xxx dir. Isıl işlem olabilen 2xxx ve 4xxx serilerinin alaşımları da kaynak yapılabilse de özel tekniklerin uygulanması gerekebilir ve düşük süneklik elde edilebilir. Mukavemeti iyi ve ısıl işlem olabilen 6xxx ve 7xxx serisi de kaynak olabilir fakat bunların ITAB (Isı Tesiri Altındaki Bölge) gevrek olur. Alüminyum alaşımların yapılan kaynak çeşitleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Örtülü çubuk elektrodla ark kaynağı
- Oksi-asetilen kaynağı
- TIG kaynağı
- MIG kaynağı
- Direnç kaynağı
- Laser kaynağı
- Katı hal kaynak yöntemleri ile kaynağı

2.5.3. Talaşlı İmalat Yöntemleri

Alüminyum döküm yöntemi ile üretilen malzemelere çekme payı verilir. Üretilecek alüminyum paçalarının istenilen ölçülerde dökmemizi engeller. Alüminyum döküm yönteminin üretim dezavantajlarından biridir. Talaşlı imalat ile üretim; döküm yöntemi ile üretilen parçanın istenilen teknik resim ölçülerine getirilmesi için kullanılan bir üretim yöntemidir. Döküm yöntemi ile talaşlı üretim arasındaki en önemli fark, döküm yönteminde ürün yoktan ortaya çıkarken, talaşlı imalat yönteminde ürün işleyerek şekillendirir. Talaşlı imalat yönteminde alüminyum malzemenin işlem süresi, demir-çelik alaşımlı malzemenin işlem süresine göre daha az ve basittir. Alüminyum malzemenin demir ve çelik alaşımlı malzemeden daha fazla yumuşak olduğundan kaynaklanmaktadır. Alüminyum malzemeden talaş kaldırmak daha kolaydır ve bu da işlem süresini kısaltır. Talaş boyu uzundur ve bu nedenle kesici uç seçiminde talaş kırıcı özellikte bir uç seçilmesi imalat verimliliğini arttıracaktır.

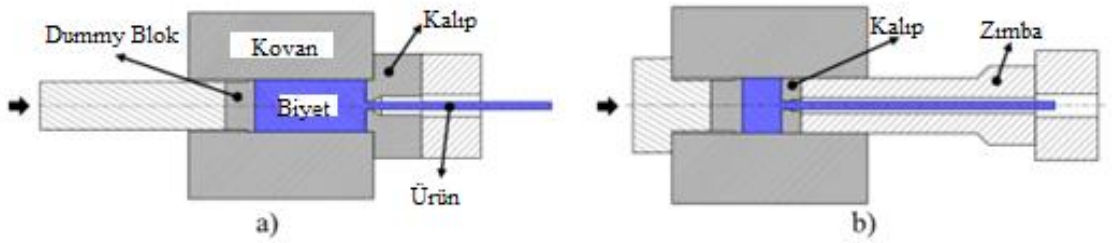
2.5.4. Metallere Plastik Şekil Verme Yöntemleri

Alüminyum, alaşım çeşitliliği, dövme ve dövme sonrası talaşlı üretim yeteneği, korozyon yeteneği, kaplama ve boya kabiliyeti ve en önemlisi de yoğunluğunun az olması ile, çelik dövme malzemelerinin yerine özellikle son yıllarda endüstriyel uygulamalarda yerini almıştır. Alüminyum, performans ve güvenliğin önemli olduğu, hız veya enerji verimliliği için daha hafif bir metale ihtiyaç duyulan alanlar için uygundur. Alüminyum ve alaşımları dövme, haddeleme, soğuk çekme, boru imali, sac şekillendirme ve

ekstrüzyon yöntemleriyle şekillendirilebilir. Metallere şekil verme yöntemlerinden ekstrüzyon prosesi bu yöntemlerden en çok kullanılandır.

2.6. Ekstrüzyon Nedir?

Ekstrüzyon metal bir bloğun (billet) sıkıştırma yoluyla daha küçük kesit alanı olan kalıp içerisinden akmaya zorlandığı bir plastik deformasyon prosesidir. Genel olarak basma gerilmelerinin hakim olduğu bir şekillendirme prosesidir. Yöntemin ilk uygulaması olan direkt ekstrüzyondan itibaren verimliliği çoğaltmak için ekstrüzyon kuvveti, malzeme akışı, kalıp tasarımı, ekstrüzyon malzemesi, profil kalitesi gibi faktörler üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda başka ekstrüzyon yöntemleri bulunmuştur. Bu yöntemler genel olarak malzemenin akışı yönüne, kalıbın hareketli veya sabit olmasına, kuvvet aktarma tarzına göre direkt (ileri), endirekt (geri) ve hidrostatik ekstrüzyon olarak sınıflandırılmıştır.



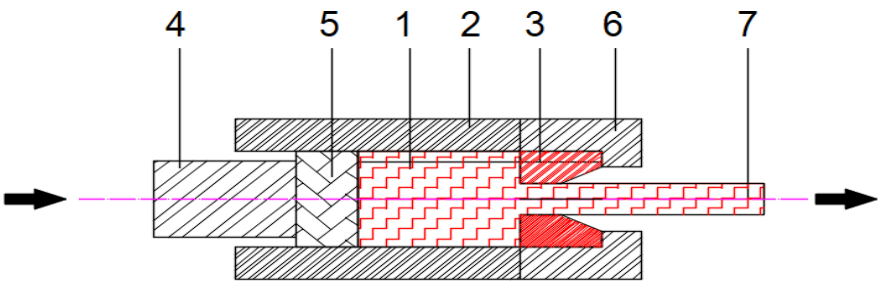
Şekil 2.1 Ekstrüzyon Şematik Gösterimi a-) İleri Ekstrüzyon b-) Geri Ekstrüzyon

Alüminyum, bakır ve magnezyum gibi hafif metaller ve alaşımları birçok önemli özellikleri olduğundan ekstrüzyon yönteminde kullanılan malzemelerin en başında gelmektedir. Alüminyum ekstrüzyon 300°C ile 600°C sıcaklık arasında olur. Esas olarak bilinen alüminyum alaşımlarının hepsi ekstrüzyon edilebilir.

2.6.1. İleri (Direk) Ekstrüzyon Yöntemi

Direkt ekstrüzyon yönteminde, kovan içerisindeki biyet zımba tarafından kuvvet uygulanarak ileride ki kalıp boşluğundan geçer. Malzeme akışı ile kuvvet uygulama yönü aynıdır. Kalıp sabittir, zımba(ıstampa) ve kovan alıcıya göre bağıl hareket yaparlar. Bu bağıl hareketten dolayı zımba ile kovan arasında bir sürtünme oluşur.

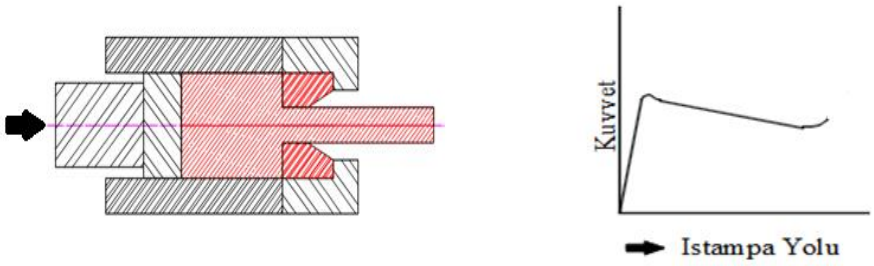
1. Biyet
2. Kovan
3. Kalıp
4. Zımba
5. Ön levha
6. Kalıp tutucu
7. Ürün



Şekil 2.2..Direkt Ekstrüzyon

Sürtünme kuvveti biyetin kalıba doğru gitmesini engeller, bu yüzden ekstrüzyon kuvveti ve ekstrüzyon artığı artar. Ayrıca biyet (blok-kütük) ile kovan arasında oluşan sürtünme biyet çevresinin daha yavaş, merkezinin daha hızlı hareket ederek biyetin sonunda huni şeklinde bir boşluk oluşturmaktadır. Yüksek ekstrüzyon kuvveti uygulanıp biyetin hepsi ekstrüzyon edilirse ürünün sonu biyetin dış kısmını içine aldığı için hatalı ürün ortaya çıkar. Direkt ekstrüzyon yönteminde biyetin belirli miktarı ara iş (ekstrüzyon artığı) olarak bırakılır ve hurdaya atılır.

Sürtünme, ekstrüzyon basıncını yükselttiği gibi düzensiz bir malzeme akışına da sebep olmaktadır. Şekil 2.1. de direkt ekstrüzyon yöntemi, kuvvet eğrisi ve akış tipleri topluca görülmektedir.



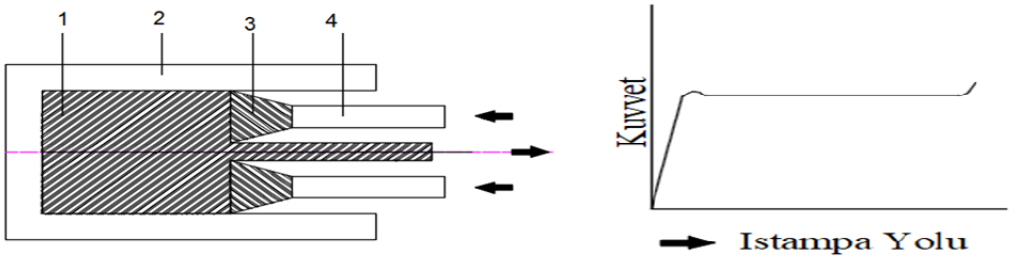
Şekil 2.3. Direkt Ekstrüzyon Yönteminin, Kuvvet Eğrisi

Direkt ekstrüzyon yönteminin dezavantajları olmasına rağmen takım düzenlemesi kolay ve işletme için basit olduğundan çok fazla kullanılan bir yöntemdir. Çeşitli içi boş ve dolu profiller istenilen boylarda, çap ve kalınlıklarda üretilebilir.

1. İstenilen uzunluk, çap ve kalınlıkta ürün elde edilebilir.
2. Çeşitli içi dolu ve boş profiller üretilebilir
3. Takım düzenlenmesi kolaydır.
4. İşletme açısında kolaylık sağlar.
5. Zarf oluşturarak ekstrüzyon edilebildiğinden biyetin yüzeyinde bulunan pis yapı ürün yüzeyine intikal etmez. Bundan dolayı biyetlerin ekstrüzyon öncesi bir ön işleme tabi tutulması gerekmez.

2.6.2. Endirekt (Geri) Ekstrüzyon Yöntemi

Endirekt ekstrüzyon yönteminde kalıp, içi boş bir zımbanın ön kısmına monte yapılır ve zımba ile hareket eder. Endirekt ekstrüzyonda kayıp miktarı direkt ekstrüzyondan daha azdır. Endirekt ekstrüzyonda malzeme akışının daha düzenli olması da ekstrüzyon hatalarının daha az olmasını sağlar.



Şekil 2.4. Endirekt Ekstrüzyon Yöntemi, Kuvvet Eğrisi (1.Biyet 2.Kovan, 3.Kalıp, 4.Zımba)

Geri ekstrüzyon yönteminde ileri ekstrüzyon yöntemine kıyasla daha büyük ekstrüzyon oranları, yüksek ekstrüzyon hızları ve daha düşük biyet sıcaklığında çalışabilmektedir. İleri ekstrüzyon yönteminde avantajların fazla olmasına rağmen bazı dezavantajlarından dolayı geri ekstrüzyon özel imalatlar için tercih edilir. Bu yöntemde kalıp çapı alıcı iç çapı tarafından sınırlanmaktadır ve takımların düzenlenmesi zor olmaktadır.

Karmaşık kesitlerde uygulanan bir yöntem değildir. Ayrıca zıvananın uzunluğu eğilme gerilmesi ile sınırlanmaktadır.

Avantajları;

1. Gerekli ekstrüzyon kuvvetinin % 30 oranında azalmasıyla daha yüksek ekstrüzyon hızları kullanılabilmektedir.
2. Daha uzun biyet kullanılabilir,
3. Ara iş daha azdır,
4. Daha iyi bir malzeme akışına sahiptir,
5. Ekstrüzyon edilen profilin uzunluğu boyunca daha iyi boyut hassasiyeti sağlanması,
6. Ekstrüzyon olacak profil uzunluğu boyunca daha üniforma kalite, daha uzun takım ömrü,

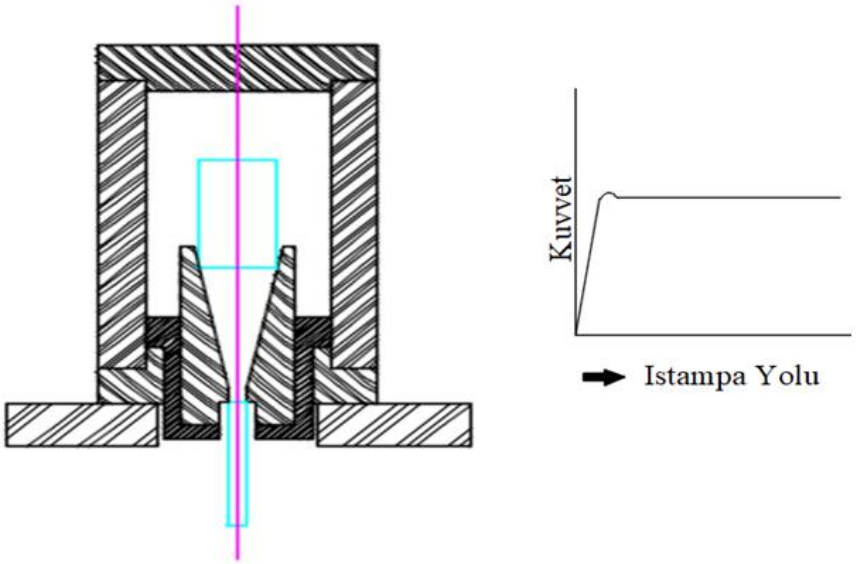
Dezavantajları;

1. İçi boş zıvananın çapı, boyu eğilme gerilmesi dolayısıyla üretilen ürün sınırlıdır,
2. Ekstrüzyon profilinin üretim ebatları içi boş zımba tarafından sınırlanmıştır,
3. Karmaşık profil kesitleri için uygun değildir,
4. Takım ölçüleri alıcıya göre sınırlandırılmıştır,
5. Çok yüksek ekstrüzyon sıcaklığı kullanılamaz

2.6.3. Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi

Hidrostatik ekstrüzyon, biyetin kovanda zımba kuvvetinin etkisi ile değil, basınç ortamı ile kalıptan geçirildiği bir yöntemdir. (Şekil 2.4.). Bu yöntemde biyet, yüksek basınç akışkanı ile çevrilmiştir ve akışkanın basıncı ile ekstrüzyon edilir. Biyet ile takımlar arasında sürtünmenin olmamasından kaynaklı ekstrüzyon kuvveti daha az olmaktadır. İdeal akış tipi sağlanabilmektedir. Hidrostatik ekstrüzyon yöntemindeki asıl amaç kırılgan ve zor şekillendirilen malzemelerin hidrostatik basınçlar altında

şekillendirilebilme özelliğini kazanabilmeleri ve daha kolay şekillendirilebildikleridir. Hidrostatik ekstrüzyon yönteminde sadece kırılgan malzemeleri şekillendirmekte değil, alüminyum ve bakır gibi sünek malzemelerin işlenmesinde de avantajlar sağlamaktadır. Hidrostatik ekstrüzyonda radyal basınç eksenel basınca eşittir (Bayram).



Şekil 2.5. Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi, Kuvvet Eğrisi

2.7. Ekstrüzyon Prosesini Etkileyen Faktörler

Ekstrüzyon işlemine etki eden çok sayıda parametre bulunur ve bunlar ekstrüzyon türü, ekstrüzyon oranı, çalışma sıcaklığı, ekstrüzyon hızı, sürtünme kuvveti ve malzemenin akma gerilmesi olarak sıralanabilir. Ekstrüzyon üretimi yapan imalat düzeneklerinin ekonomik ve verimli şekilde kullanılabilmeleri için yukarıda sayılan parametrelerin iyi şekilde bilinerek, doğru şekilde uygulanması gerekir.

2.7.1. Ekstrüzyon Türü

Ekstrüzyon prosesinin birkaç farklı çeşidi türetilmiştir. En yaygın kullanılan türü ileri ekstrüzyon olmakla birlikte kısıtlı kullanıma sahip özel üretimler için geri ekstrüzyon, radyal ekstrüzyon, darbeli ekstrüzyon ve hidrostatik ekstrüzyon olarak farklı türleri de vardır. Bu sayılan yöntemler biyet türü ve malzeme özelliklerine bağlı olarak sıcak veya soğuk olarak gerçekleştirilebilmektedir.

2.7.2. Ekstrüzyon Oranı

Ekstrüzyon prosesinin genel anlamda en belirleyici parametresi olarak söylenebilecek olan ekstrüzyon oranı biyet kesitinin çıkan ürün profil yüzey alanına olan oranı olarak tanımlanabilir. Birden fazla figür olan üretimlerde ürün kesit yüzeyi figür sayısı (n) ile çarpılarak hesaplanır.

$$E.R. = \frac{Biyet\ Kesit\ Alanı}{n * \text{Ürün}\ kesit\ alanı} \quad (1)$$

Endüstride kullanılan sert alaşımlar için 10 ile 35, yumuşak alaşımlar için ise 10 ile 100 arasındaki ekstrüzyon oranları kullanılmaktadır ayrıca bu oranları sağlama amacıyla figür sayısı olarak adlandırılan aynı anda çok sayıda ürün eldesi yoluna gidilebilir. Ekstrüzyon oranı ürün geometrisine göre farklılık gösterebilir.

2.7.3. Çalışma Sıcaklığı

Sıcaklık değişimi malzemelerin şekillendirilebilirliği üzerinde etkilidir. Sıcaklık arttıkça malzemenin akma gerilmesi düşeceğinden dolayı yüksek sıcaklıklarda şekil değişimi kolaylaşır. Ancak çalışma sıcaklığının yükselmesi lokal olarak çeşitli şekillerde ergimeye yol açabileceğinden dolayı sıcaklığın kontrolünün doğru ve tam zamanlı olarak yapılması ve bununla bağlantılı olarak ekstrüzyon hızı da ayarlanmalıdır. Ekstrüzyon işlemi sırasında sıcaklık değişimine sebep olarak biyet sıcaklığı, biyet/kovan ve biyet/kalıp arayüzündeki sürtünme, kayma ve deformasyondan kaynaklanan ısı oluşumlarıdır.

2.7.4. Ekstrüzyon Hızı

Deformasyon hızı metalin şekillendirilebilirliğini etkileyen bir parametredir. Koç hızının artmasıyla ekstrüzyon basıncını da beraberinde arttırır ve bu da sıcaklığı yükseltir. Bu durum, genleme hızının ıstampa hızı ve ortaya çıkan ısı miktarının genleme hızıyla orantılı olması ile açıklanabilir. Koç hızının azalmasıyla ortaya çıkan ısının dağıtılması kolaylaşacaktır. Alüminyumun gibi ısıl iletkenliği yüksek olan bir malzemede bu durum daha da belirgin bir şekilde görülmektedir. Istampa/ Koç hızı ile ekstrüzyon hızı arasındaki ilişki aşağıdaki gibi formülize edilebilir. Burada V_z zımba hızı, R_e ekstrüzyon oranı olarak ifade edilmektedir.

$$V_e = V_z * R_e \quad (2)$$

2.7.5. Malzemenin Akma Gerilmesi

Malzemenin akma gerilmesi plastik şekil değiştirilmesi istenen malzemenin şekillendirilmesi için ihtiyaç duyulan kuvvetin belirlenmesinde en önemi kriterdir. Bir malzemenin akma gerilmesi değeri aşağıdaki faktörler üzerinden değerlendirilebilmektedir:

- Malzemenin bileşimi ve metalürjik yapısı
- Gerinim veya deformasyon hızı
- Şekillendirme sıcaklığı,
- Şekil değiştirme miktarı veya gerinim

2.8. Ekstrüzyon Kusurları

Ekstrüzyonda elde edilen ürünlerde çeşitli üretim kaynaklı hatalara rastlanabilmektedir. Ürünün kullanıldığı yere bağlı olarak ihmal edilebilir düzeyde hatalar olabildiği gibi kritik parçalarda ürünün hatalardan arındırılmış olması zorunludur. Ekstrüzyon ürünlerinde ortaya çıkan hatalar 3 ana başlıkta incelenebilir:

1- Ekstrüzyon sırasında ortaya çıkan kusurlar
2- Ekstrüzyon sonrası ortaya çıkan kusurlar
3- Eloksal (Anodizasyon) sonrası ortaya çıkan kusurlar

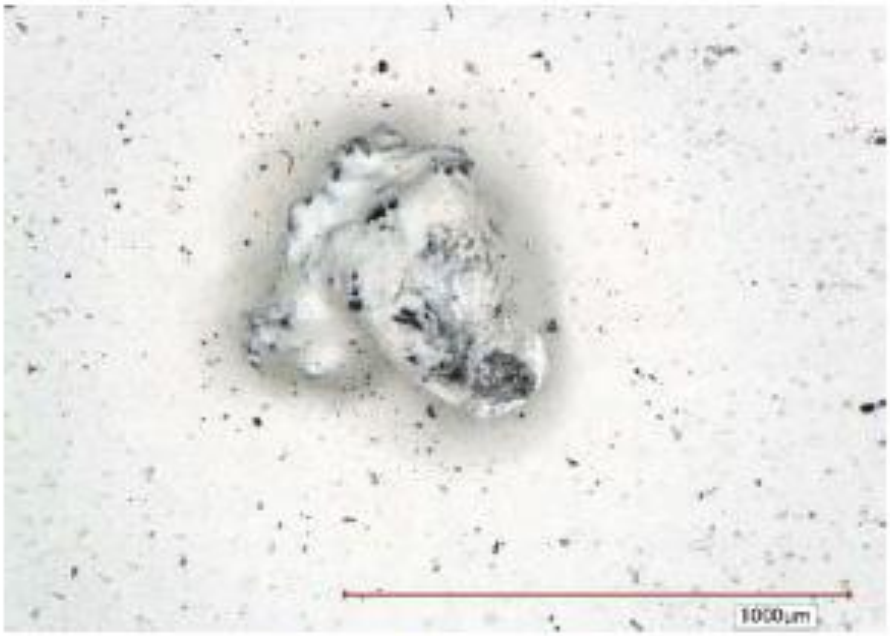
2.8.1. Ekstrüzyon Sırasında Ortaya Çıkan Kusurlar

Ekstrüzyon sırasında ortaya çıkan kusurlar bu tezin ana çalışma konusunu teşkil etmektedir. Alüminyum profiller yüksek mekanik özellikleri ve hafifliğinin yanında görsel güzelliği ile de kullanım alanları bulmaktadır. Yapısal hataların minimizasyonu özellikle görsel özellikleri önemli alüminyum profillerin (buzdolabı tutacakları, mobilya profilleri, mobil cihazlar, araç çıtaları ve port bagaj taşıyıcı, duşakabin vb. görünen profiller) kullanımını arttıracak ve bu minimizasyon projesi özellikle yeni yurtdışı müşterilerin bulunmasına direkt olarak etki edecektir. Bu tip profiller hem yüksek katma değerli hem de prestij profilleridir. Alüminyum profillerin ekstrüzyon yöntemi ile üretiminde en çok karşılaşılan yüzey hatalarından bir tanesi yapısal hatalardır. Yapısal hata alüminyum profil yüzeyinde bir bant şeklinde sürekli biçimde oluşur ve estetik açıdan bir kalite problemi olarak adlandırıldığından dolayı profilin kullanımı mümkün olmamakta ve hurda olarak ayrılmaktadır. Bu tip profillerin üretimi ekstrüzyonda sıkı

proses kontrol sistematiği gerektirdiğinden dolayı profillerin hurdaya ayrılması durumunda ciddi bir değer kaybı yaratmaktadır. Ekstrüzyon endüstrisi için bu tip hataların minimize edilmesi hem proses verimliliği hem de katma değerli ürünlerin üretim miktarının artması açısından önemlidir. Ekstrüzyon ürünlerindeki yüzey kusurları, dünya çapındaki tüm ekstrüzyon endüstrisi için yaygın bir sorundur. Kalıp izi, kabarcıklar ve sıcak yırtılma gibi birçok yüzey kusuru bulunur. Bu yüzey kusurlarının çoğu, kusurlar belirli bir boyutu aşmamak kaydıyla eloksal ve toz boya ile kapatılabilir. Bu nedenle, yüzey kusurlarını daha küçük bir boyutta tutmak için, imalatçılar yüzey kusurlarının anlaşılmaması nedeniyle ürünleri çoğunlukla daha yavaş bir hızda ekstrüde eder. Bu da imalat üretkenliğini doğrudan etkilemektedir. Alüminyum ekstrüzyonun prosesinden kaynaklanan sorunlar aşağıdaki gibi maddelenebilir.

2.8.1.1. Çapaklanma-Silisyum Çapaklanması (Pick up)

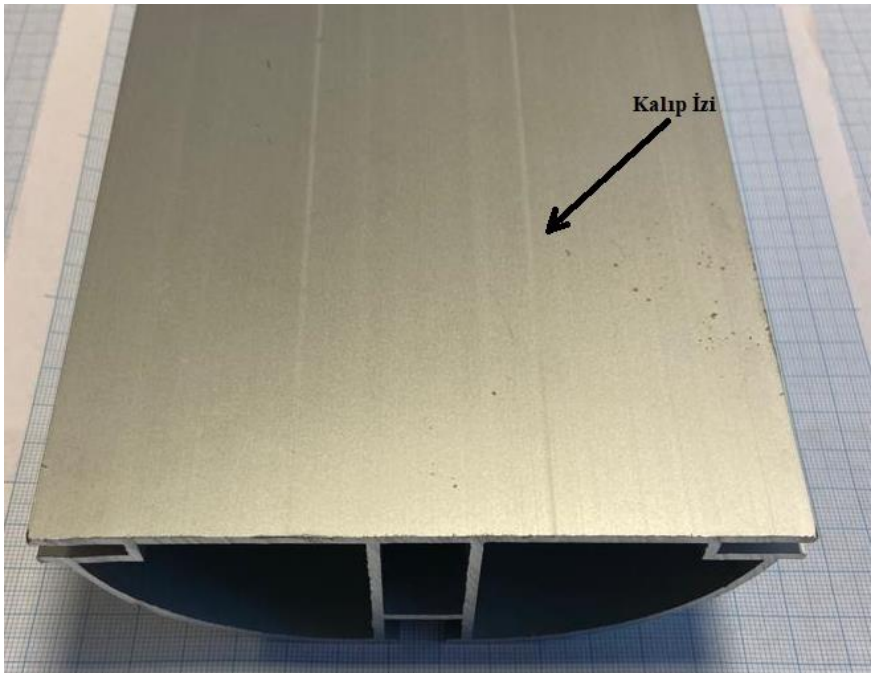
Çapaklanma veya diğer adıyla silisyum çapaklanması, ekstrüzyon yönüne paralel olarak bir gözyaşı damlası veya kuyruklu yıldız gibi ortaya çıkan bir kusurdur. Genel olarak, uzunluğu 0,5 mm ila 3 mm arasında değişir ve çıkan ürün yüzeyinde herhangi bir yerde bulunabilir. Çapaklanma oluşumunun yoğunluğu işlem parametrelerine bağlıdır. Bu yüzey kusuru, kütükteki inklüzyonlara, yetersiz homojenizasyona, kalıp esnemesine, ekstrüzyon proses parametrelerine, kalıp geçiş kanalı yüzeyindeki demir oksit ve alüminyum oksite bağlanabilir.



Şekil 2.6. Silisyum Çapaklanması (Columbus vd..2017)

2.8.1.2. Kalıp İzi (Die Lines)

Kalıp izi oluşumu, ekstrüzyon yönüne paralel sürekli bir derin oluktur. Bu kusurlar, kalıp geçişlerinin intermetalik parçacıklar ve birikmiş alüminyum ile etkileşiminden kaynaklanabilir. Ayrıca, kalıbı taşıyan yüzey çok parlatıldığında ve kalıp çıkış açısının optimum durumda olduğunda da meydana gelir. Genel olarak, bir kalıp hattının derinliği 0,2 µm ile 0,5 µm arasında değişebilir ve ürünün eloksala gönderilmesi durumunda sakıncalı olabilir.

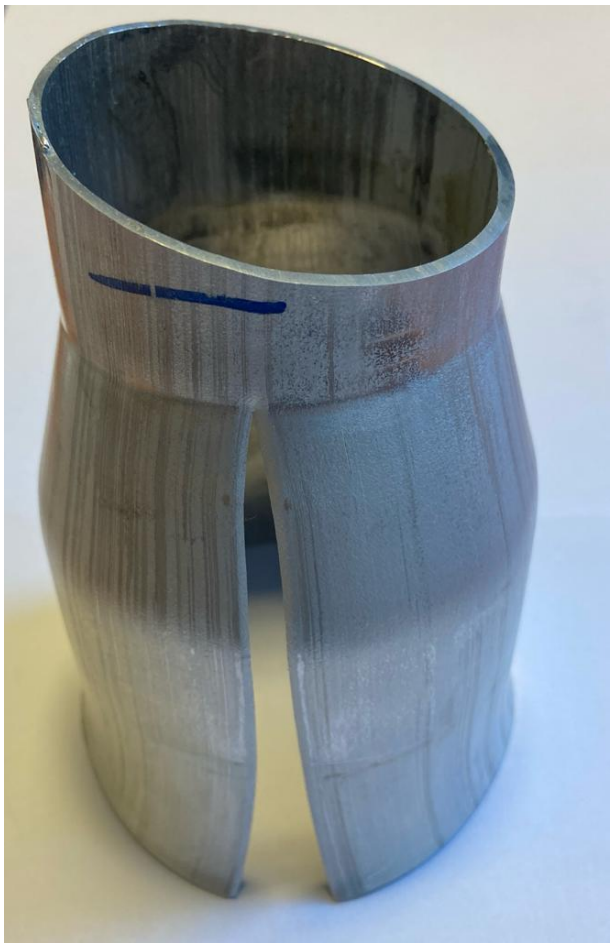


Şekil 2.7. Kalıp İzi

2.8.1.3. Sıcak Yırtılma (Tearing)

Sürtünme ve erime başlangıcından kaynaklanan iki tür yırtılma vardır. Bu olay sırasında, akan metalin kohezyon kuvveti, yüksek sıcaklıklarda daha az plastisite nedeniyle sürtünme kuvvetinden daha düşüktür. Bu nedenle akan metalin tutunma gücü daha azdır ve sonunda yırtılmaya başlar. Buna genellikle mekanik yırtılma denir. Bu yırtılma genellikle ekstrüzyonun yüzeyinden başlar ve ürün üzerinde neredeyse 100 µm kadar uzanır. Her alüminyum alaşımında, inklüzyon ve alaşım elementlerinden dolayı oluşan ikinci faz partikülleri vardır. Örneğin, AA6060'ta ara faz bileşikleri olarak Mg_2Si ve AlFeSi bulunur. Bu bileşikler Si ve Al ile reaksiyona girer ve nispeten düşük

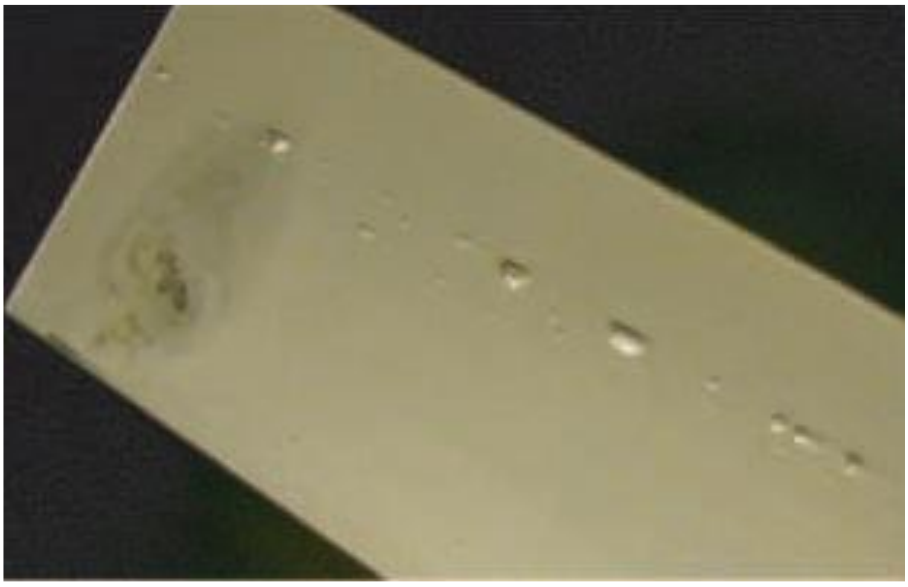
sıcaklıklarda bir sıvı bir faz oluşturur. AA6060'ın erime noktası 640°C'dir ancak bu reaksiyonlar nedeniyle, fazla Si varsa AA6060 555°C'lik bölgelerde eriyebilir. İzole edilen bu sıvı katılaşmaya başladığında, daha az mukavemetli olan ve yüzey yırtılmasına neden olan dendritler oluşur.



Şekil 2.8. Sıcak Yırtılma

2.8.1.4. Hava Kabarcık Oluşumu (Blisters)

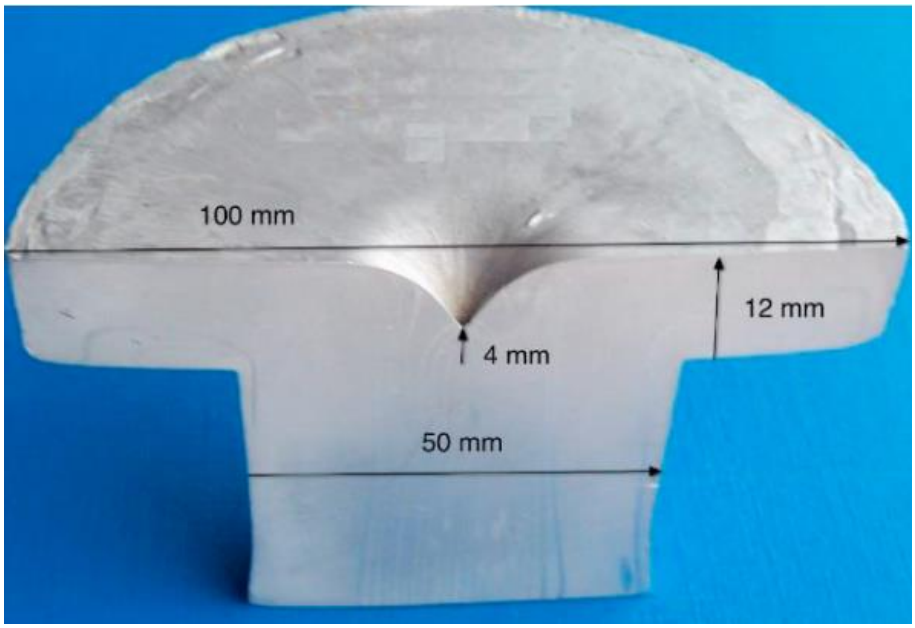
Ekstrüzyon yüzeyinde bulunan ve belirli bir yerden yukarı kaldırılan çok ince bir tabakadan oluşur. Bu kusurların nedeni net olmamakla birlikte, ekstrüzyon işlemi sırasında hava ve yağlayıcıların hapsolması nedeniyle oluştuğuna dair geniş bir kabul vardır. Ayrı bir tabaka olduğu için, oksit tabakası ile alüminyum substrat arasındaki zayıf bağ nedeniyle de oluşabilir. Biyet kalitesi, eksenel doğrusallığı bozulmuş kalıp seti, biyet sıcaklığının yüksek olması ve biyette hidrojen bulunması bu soruna yol açabilir.



Şekil 2.9. Hava Kabarcığı Oluşumu (Qamar vd., 2004)

2.8.1.5. Baş-Son Hatası (Front End/Back End Coring Defect)

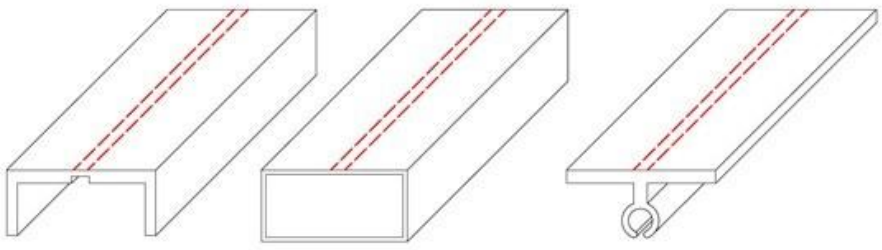
Çekirdeklenme (Coring), uygun olmayan denge dışı sıcaklık koşullarında soğutulması nedeniyle alaşımlarda oluşan bir kusurdur. Bir alaşımdaki merkez tanelerde daha yüksek erime sıcaklığına sahip elementin daha fazlası tutulduğunda oluşur. Bu meydana geldiğinde, dışarıdan oluşturulan dendrit kolları, iç bölgelerdeki alaşımdan farklı bir bileşime sahip olur ve bu da alaşımın kalitesini ve performansını azaltan yerel bir bileşim farklılığına neden olur. Döküm biyette (kütükte) var olan bu kusur dikkat gösterilip elimine edilmediği takdirde ekstrüzyon ürünü içerisinde yer alarak ürünün kullanılamaz durumda olmasına yol açmaktadır.



Şekil 2.10. Baş Son Hatası Görünüm (Valberg vd., 2020)

2.8.1.6. Kalın Çizgi-Bant Oluşumu (Die Streak)

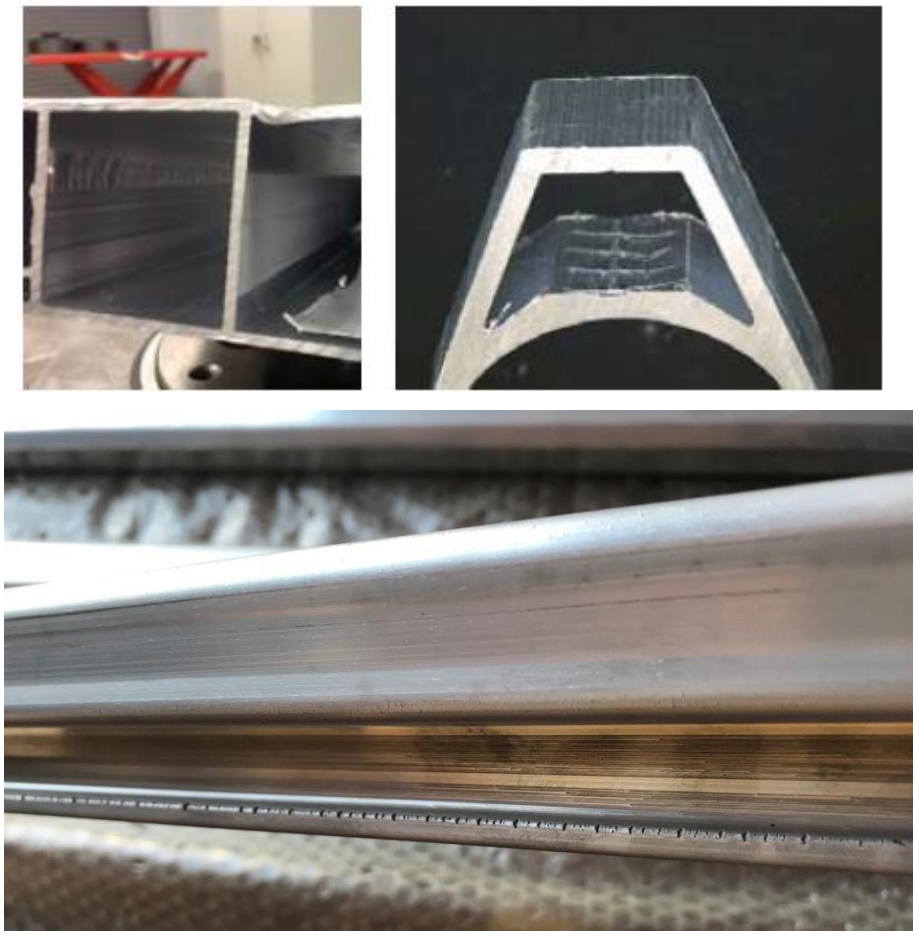
Bu kusur, çizgilenme veya akış çizgileri olarak bilinir (bu çalışmada çizgilenme olarak anılır) ve ekstrüzyon uzunluğu boyunca uzanan açık veya koyu bantlardan oluşur. Aşındırma ve eloksal işlemleri yapılana kadar kalıp çizgileri genellikle görünmez ve alüminyumun metalurjik yapısındaki bir değişiklikten kaynaklanır. Bir kalıp çizgisi, ekstrüde edilmiş bir profilin yüzeyinde oluşan uzunlamasına bir çöküntü veya çıkıntı olan bir kalıp çizgisi ile aynı değildir. Enine kesit kalınlığına sahip alanların çevresinde bulunur ve en yaygın çizgi şeklidir. Örneğin bir AA6060 malzemede eloksal işleminden sonra alüminyum ekstrüzyon ürünü üzerindeki konuma özgü çizgileri göstermektedir (Walker, n.d.). Çizgi, vida portları bölgesinde oluşmuştur.



Şekil 2.11. Bant Oluşumu (Hart, 2023)

2.8.1.7. Hız Çatlakları (Speed Cracking)

Ekstrüzyon ürününün kenarında, boyuna doğrultusu boyunca belirli bir açıda periyodik olarak çatlayan ve çatlak hafif olduğunda deri altına gizlenen, dış yüzeyi ise küçük yay şeklinde bir çatlaktır. Metalin devamlılığını ciddi şekilde bozan tırtıklı bir çatlak oluşturur. Ekstrüzyon çatlağı, ekstrüzyon işlemi sırasında kalıp duvarının aşırı çekme gerilimi ile metal yüzey tabakasının yırtılmasıyla oluşturulur. Ekstrüzyon hızının çok olduğu, sıcaklığın yüksek olması, biyet homojenizasyonunun yetersiz olması gibi durumlarda ortaya çıkan bir kusurdur.



Şekil 2.12. Hız Çatlakları (Columbus vd.,2017)

2.8.1.8. Ekstrüzyon Kaynağı (Kaynaşma) Hatası (Welding)

Zıvanalı kalıplarda ekstrüzyon kayanağı ekstrüde alüminyum profillerde ya uzunlamasına kaynaklar (dikiş kaynakları/Longitudinal Welds) veya enine kaynaklar (şarj kaynakları/Transverse Welds) olarak meydana gelir. Boyuna kaynaklar yalnızca içi

boş profillerde meydana gelirken, enine kaynaklar her zaman kütüğün önceki ekstrüzyondan kalıpta kalan kısıma ekstrüde edildiğinde, yani içi boş ürünlerin ekstrüzyonu sırasında kütükten kütüğe ekstrüzyonunda veya dolu profillerin ön hazneli kalıpların kullanıldığı işlemlerde görülür. Ekstrüzyon kaynağında meydana gelen problemler bir dereceye kadar alaşıma bağlıdır. Yumuşak alaşımlar, örneğin AlMgSi0.5 belirli bir kaynaşma odası (welding chamber) tasarımına sahip bir zıvanalı kalıpta iyi kaynak dikişi elde edilebilir ancak aynı kalıpta daha sert bir alaşım ekstrüde edilirse kaynak kalitesi ile ilgili sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Bir ekstrüzyon hatasının bir kaynak hatası olarak sınıflandırılıp sınıflandırılmayacağına karar vermek kimi zaman zor olabilir. Örneğin, bazı alaşımlarda, uzunlamasına ekstrüzyon kaynağının dağlama yoluyla ortaya çıkarılması zor olabilir. Ayrıca, dağlamadan sonra kaynağın kolayca gözlemlenebildiği alaşımlarda, kırılma kısmen kaynak düzlemini takip etse de, bir yüzey hatasından da ayrılma başlamış olabilir. Bu nedenle, üründe ortaya çıkan soruna hangi kusurun neden olduğunu bulmak için ayrıntılı hasar analizi gerekli olabilir. Enine kaynaklar boyuna kaynağa her iki taraftan kademeli olarak yaklaştığından ve ekstrüzyonun arka ucuna doğru kaynaktan güçlükle ayırt edilebildiğinden, belirli bir kaynak tipine belirli bir kaynak kusuru tahsis etmek zor olabilir. Bununla birlikte, aşağıda enine ve boyuna kaynaklarda meydana gelen kusurlar arasında bir ayrım yapılmıştır.

2.8.1.8.1. Enine Kaynaşma Kusuru (Transverse Welds)

Kaynaşma problemi veya enine kaynaşma kusuruna farklı etkenler yol açmaktadır. Birbirini takip eden iki kütük arasındaki bölme yüzeyine yağlayıcılar veya ayrılmış veya başka şekilde kirlenmiş malzeme katmanları eklenirse, bu durum kötü enine kaynak kalitesine neden olacaktır.

Birbirini takip eden iki kütük arasında arayüzeyindeki kirlenme, kalıbın daha yavaş akan bölgelerine ulaşabilir. Kirlilik birbirini takip eden ekstrüzyon pasoları sırasında kalacak, ancak kalıbın içinden akan metal tarafından kademeli olarak yıkanarak uzaklaştırılacaktır. Bu nedenle, kirlilik yeterince incelene kadar bir dizi profil boyunca kötü kaynak kalitesine neden olacaktır.

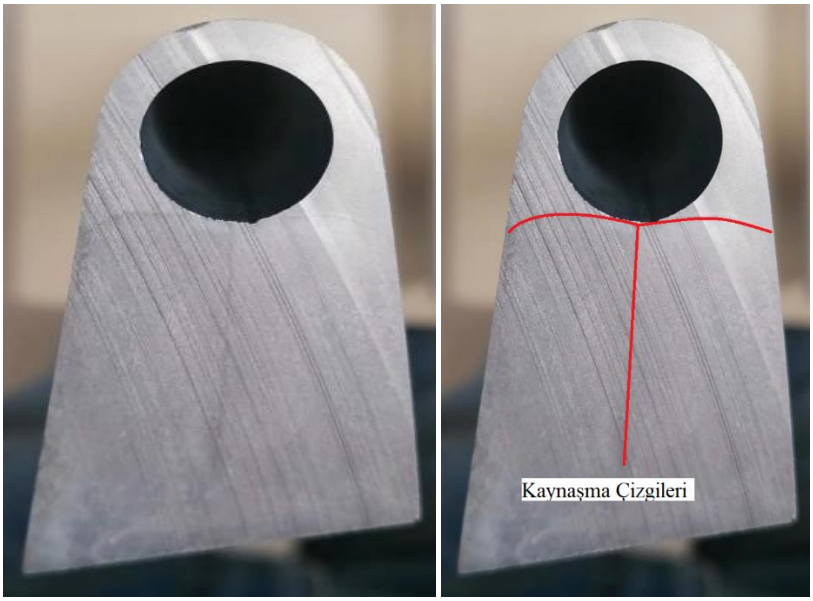


Şekil 2.13. Enine Kaynaşma Kusuru (Transverse Welds)

Bir diğer enine kaynaşma hatası olarak daha zorlu ekstrüzyon uygulamaları, genellikle daha düşük enine kaynak kalitesine sahip olduğundan, profilin içindeki enine kaynağın oluştuğu bölge kesilmeli ve hurdaya çıkarılmalıdır. Profilin bu bölgesinde, enine kaynak, profilin uzunluğu boyunca enine yönde mekanik özelliklerin değişimini nedeniyle daha düşük sünekliğe sahip olacaktır. Yetersiz kesme durumunda, kaynağın yetersiz olduğu bölüm ürün içerisinde kalabilir ve hatta kalite kontrolünden de geçebilmektedir. Bununla birlikte, kütükler arasındaki bölme yüzeyi, uygun bir dağlama maddesiyle dağlanırsa profilin bir enine kesitinde hala görülebileceğinden ve süneklik düşük olduğundan, bu tür uygunsuzluğa sahip olan bir ekstrüzyon ürünü kolayca tespit edilebilir. Bu bölme yüzeyinden parçalanmış oksitler, enine kesitte bant şeklinde ortaya çıkar.

Bazende enine kaynak hatası kusuruyla benzerlik gösteren ancak farklı sebeplerden dolayı ortaya çıkan hatalar olabilmektedir. Bunlar çoğu bakımdan benzerlik göstermektedirler. Baş-Son hatası da bunlardan birisidir. Kütüğün yüzeye yakın bölgesinden konteynerin arka uç köşesine ve buradan kütüğün orta bölgesine akan kirleticilerden kaynaklanmaktadır. Uzunlamasına kaynak katmanlarının beslendiği portların içerisinde akarak ekstrüzyon bölgelerine sokulabilir ve bu istenmeyen kirletici

partiküller boyuna kaynaklar boyunca kalite sorunlarına neden olabilir. Ekstrüzyon dikişinin yakınında meydana gelen çeşitli inklüzyonlar bu tür kontaminasyonun neden olduğu hasarların, yanlış kaynaktan kaynaklanan kaynak düzlemini takip eden çatlaklardan ayırt edilmesi zordur. Buna ek olarak, ekstrüzyon kaynak dikişini oluşturan metal tabakasının ekstrüzyonu sırasındaki termo-mekanik geçmiş nedeniyle, bu tabaka sıklıkla yeniden kristalleşme eğilimi gösterir. Yeniden kristalleşme sırasında bu tabakada oluşan büyük taneler, ekstrüzyon kaynak dikişinin sünekliğini de olumsuz yönde etkileyebilir ve bu nedenle hatalı bir şekilde yanlış kaynak nedeniyle oluştuğu varsayılabilir. Bu nedenle, bir ekstrüzyon kaynağına yakın bir kusurun yanlış kaynaktan mı yoksa başka nedenlerden mi kaynaklandığını belirlemek için oldukça karmaşık araştırmalar gerekebilir.



Şekil 2.14. Ekstrüzyon Ürünü ve Enine Kaynaşma Bölgesi Görünümü (Ayer vd.,)

2.8.1.8.2. Boyuna Kaynaşma Kusuru (Longitudinal Welds)

Ekstrüzyon uygulamalarında, ekstrüzyonun ön ucundaki bölünmüş köşeler, beslenen kalınlığa göre kaynak odasının çok küçük olduğunu gösterebilir. Bu sorun meydana geldiğinde, kaynak odacıklarının yeterli miktarda alüminyumun odacıklara girmesine izin verecek kadar büyük olup olmadığının kontrol edilmesi önerilir. Bu sorunu gidermek için, kalıbın boyutu izin veriyorsa, kaynaşma odaları (Welding chamber) daha derin ve daha geniş olmalıdır. İçi boş profillerin çok odalı kalıplardan ekstrüzyonu,

kaynak odalarının eksik doldurulması nedeniyle çoğunlukla sorunlara neden olabilmektedir. Profilin orta bölümünün oluşturulduğu kaynak odasının, yani aynı mandrelin ayakları arasındaki boşlukların tamamen doldurulmasını sağlamak özellikle zordur. Boşluk çok az olduğunda her iki taraftan gelen metal akımları boşlukta birbiriyle karşılaşmaz. Bu durumda, büyük hacimli kaynak odalarının neden olduğu mandrel desteğinin mukavemetindeki azalmayı aynı anda hesaba katarak kaynaşma odalarının boyutunun büyütülmesi düşünülmelidir. Bu problem, gerçek kaynak odasına metal beslemesini artırmak için kalıp tasarımı değiştirilerek de aşılabilir. Kaynak odasına akış bazen kaynak odasının tamamen dolmasını sağlamak için yetersiz olabilir. Daha karmaşık profiller ve değişken et kalınlıklarına sahip profillerin ekstrüzyonunda kaynak kusurlarının oluşması muhtemel olduğundan, kaynak odasının kısmen doldurulmasından özellikle kaçınılmalıdır.

Endüstriyel ekstrüzyon uygulamalarında, metal akışı uzunlamasına kaynak dikişi boyunca nadiren simetriktir. Bu nedenle, zıvananın arka ucunun arkasında hava boşlukları meydana gelirse, birbiriyle karşılaşan iki metal akımı genellikle düzensiz bir şekle sahip olacaktır.

Prensip olarak, inklüzyonlar ve ortamdan gelen kirlieticiler ayrıca kalıbın yavaş akan bölgelerine rastgele birikebilir. Bu, daha önce enine kaynağı oluşturan iki kütük arasındaki ayırma yüzü veya baş-son hatası kusuru nedeniyle biriken kirlenme için tarif edilene benzer bir şekilde gerçekleşebilir. Daha sonra, metal akışının doğası gereği kalıptan dışarı akış göstererek ve profilin uzunlamasına kaynağı boyunca ve sonraki profilin kaynağı boyunca dağıtılabilir. Burada meydana gelen bu kirlenme kaynağın mukavemetini veya sünekliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Son olarak, elverişsiz ekstrüzyon kaynak koşullarından kaynaklanmasalar da, genellikle uzunlamasına ekstrüzyon dikişinin bitişiğinde meydana gelen iki kusur ortaya çıkmaktadır.

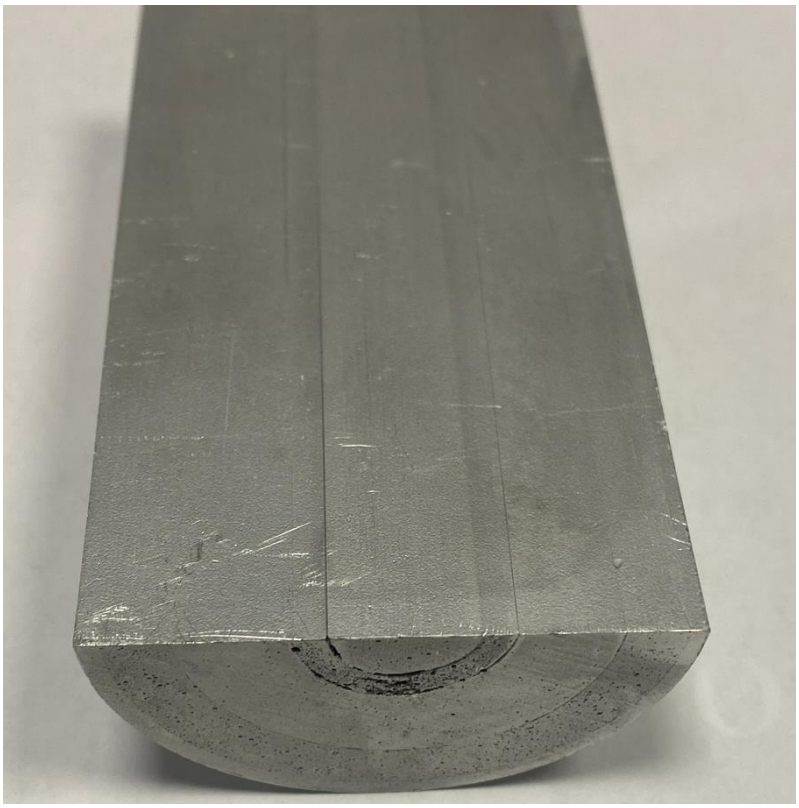
1- Akımın İncelmesi veya Yırtılması:

Uygun kaynak yapıldığında bile boşluk içinden geçen malzeme akışı çok yavaş olabilir. Daha sonra farklı odacıklardan gelen akım ağı incelme ve hatta yırtılma meydana gelene kadar profilin daha hızlı hareket eden ana akım kısımları tarafından çekilebilir. Bu elverişsiz koşullar, çoğunlukla yüksek ekstrüzyon hızlarında meydana gelir ve akımın

yönlenmesini daha hızlı hale getirmek için kalıbın tasarımı değiştirildiğinde engellenebilir.

2- Bant Şeklinde Kaynak Çizgisi:

Eloksal işlemi sonrasında üründe ortaya çıkan çizgiler, kaynak hattı boyunca oluşan mikroyapıdaki farklılıklardır. Kaynak çizgileri esas olarak içi boş bölümlerde meydana gelir, ancak ön hazneli kalıplardan elde edilen dolu profillerde de meydana gelebilir. Ekstrüzyon kaynak dikişini oluşturan metal tabakası, bu tabakanın oluşumu sırasında çok ağır deformasyonlara ve dolayısıyla yüksek sıcaklıklara maruz kalır. Ayrıca, bu katman genellikle önceki veya birkaç önceden haddelenmiş kütükten metal içerir. Bu nedenle, bu katmanın mikro yapısı, profilin geri kalan enine kesitinden farklı olabilir. Mikro yapıdaki farklılık, profilin geri kalanının renginden farklı olarak kaynak dikişi boyunca uzanan renk şeritlerine neden olabilir. Bu bant şeklinde ki oluşumlar mekanik dayanım eksikliğinin yanında özellikle dekoratif özellikler istenen profillerde ürünün hurdaya ayrılmasına sebep olmaktadır. Şekil 2.14. de boyuna kaynaşma kusuru olan dolu profil bir ürünün kesit hali görülmektedir.



Şekil 2.15**.** Boyuna Kaynaşma Bölgesi Oluşumu

2.8.2. Ekstrüzyon Sonrasında Ortaya Çıkan Kusurlar

Ekstrüzyon sonrasında ortaya çıkan hatalar genel olarak çoğunlukla metalurjik etmenlere bağlı olsa da prosesin uygun koşullarda yapılmaması gibi sebeplerde etkilidir. Ekstrüzyon sonrası meydana gelen kusurlar olarak aşağıdaki şekilde sayılabilirler.

1- Kaba taneli Mg_2Si (Coarse Mg_2Si)
2- Tane sınırlarında Mg_2Si birikmesi (Mg_2Si at grain boundary)
3- Kaba taneli bant oluşumu (Coarse grain banding)
4- Korozyon kaynaklı çukur oluşumu (corrosion pitting)
5- Dökümden gelen inklüzyon birikimi (inclusion cast-in)
6- Portakal Kabuğu görünümlü yüzey oluşumu (orange peel)
7- Su lekesi (water strain)
8- Yüzeyde aşırı yağlayıcı birikimi (excess lubricant)

2.8.3. Eloksal Sonrasında Ortaya Çıkan Kusurlar

Ekstrüzyon sonrasında elde edilen ürünler farklı ortam koşullarında çalışırlar ve korozyona maruz kalırlar. Ürünün korozyondan korunması ve optik olarak farklı görünüm kazandırmak amacıyla eloksal veya diğer adıyla anodizasyon işlemi uygulanır. Eloksal işlemi mekanik ve elektrokimyasal bir yöntemdir ve alüminyum malzemeye özgü bir yüzey kaplama işlemdir. Eloksal işlemi sonrasında meydana gelen kusurlar olarak aşağıdaki şekilde sayılabilirler.

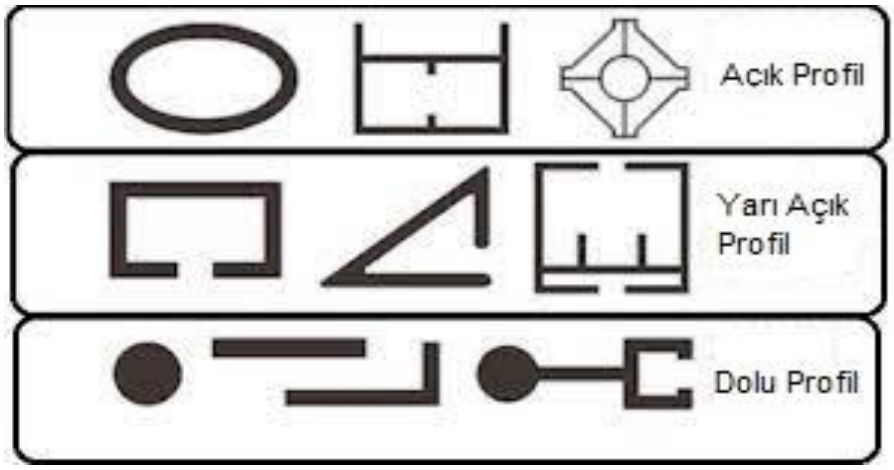
1- Atmosferik korozyon (atmospheric corrosion)
2- Alkali korozyon (Alkali corrosion)
3- Mat yüzey görünümü (Dull finish)
4- Mg_2Si kaynaklı renk değişimi (Coloring due to Mg_2Si)
5- Klorür kirlenmesi (Chloride contamination)
6- Asidik korozyon (Acidic corrosion)
7- Pullanma (Spangle)
8- Yetersiz durulama (Inadequate rinse)
9- Beyaz nokta oluşumu (White etch bloom)
10- Ara çizgilenme (Spacer marking)

BÖLÜM 3

ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON KALIPLARI

3.1. Ekstrüzyon Kalıpları

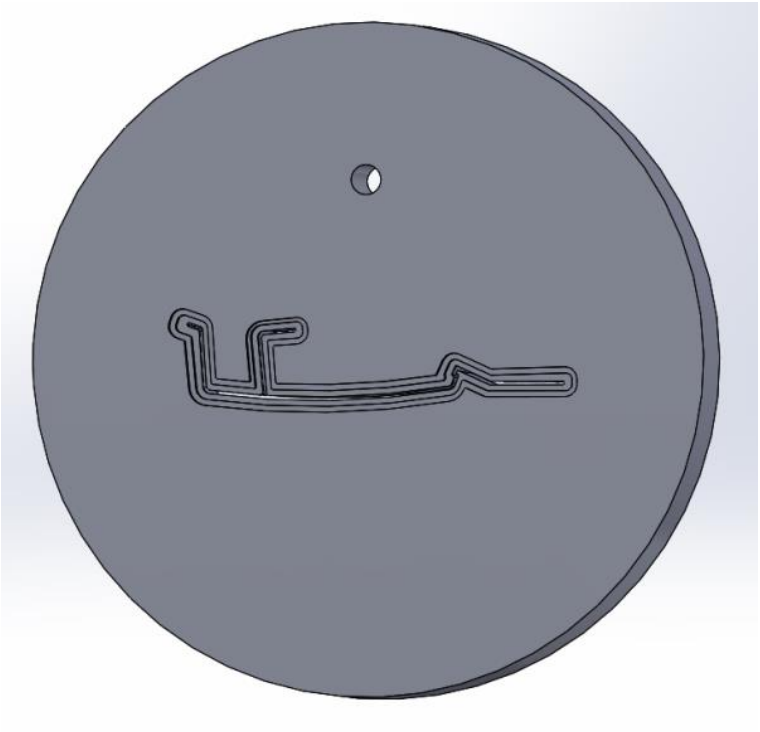
Ekstrüzyon preslerinde istenilen şekilde ve özellikte profil üretimi yapabilmek için kullanılan kalıp türlerine ekstrüzyon kalıbı denir. Direk ekstrüzyondan; dolu veya kapalı olarak adlandırılan profiller ile yarı-açık ve açık olarak tanımlanan belirli bir et kalınlığına sahip içi boş profillerin üretimi gerçekleştirilir. Ekstrüzyon kalıpları; istenen son ürün profilinin geometrisine bağlı olarak solid ve zıvanalı (köprülü) kalıplar olarak ikiye ayrılır. Kapalı profiller tamamen solid kalıplarla imal edilirken, yarı açık profiller tercihen açık profillerde zorunlu olarak zıvanalı kalıplarla imal edilirler. Ekstrüzyon kalıplarında kalıp malzemesi yüksek sıcaklıklarda dayanımının iyi olması ve sıcak aşınmaya karşı direncinin yüksek olması nedeniyle sıcak iş takım çelikleri olarak bilinen DIN 2344 – 2343 – 2367 tip çelikler kullanılır.



Şekil 3.1. Ekstrüzyon Ürünlerine Göre Kalıp Seçimi Şematik

3.1.1. Solid Kalıplar

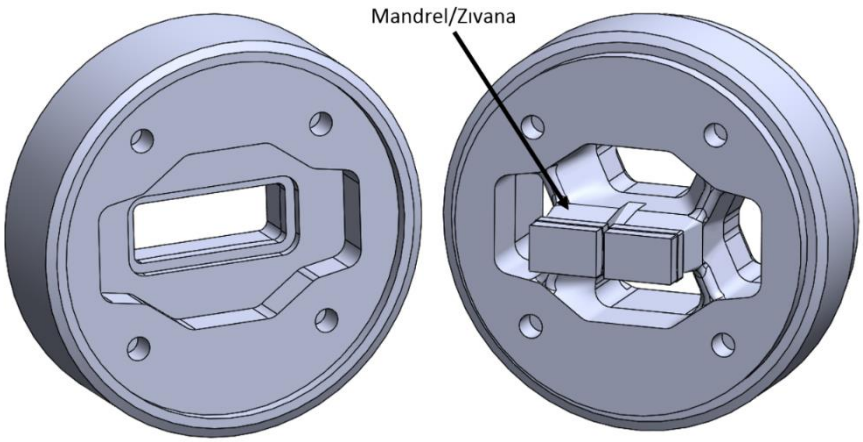
Solid kalıplar kapak ve destek parçasından oluşmaktadır. Solid kalıplarda lama, dolu çubuk ve boşlukları olmayan profillerin üretimi yapılmaktadır. Solid kalıplarda alüminyum havuzdan sonra profil şeklini oluşturan kısma geldiği için köprülü kalıplar kadar basınç oluşmaz. Solid kalıp olarak adlandırılan kalıplar ile dolu profil olarak tanımlanan profiller ekstrüzyon ürünü olarak elde edilebilirler.



Şekil 3.2. Solid Kalıp Örneği

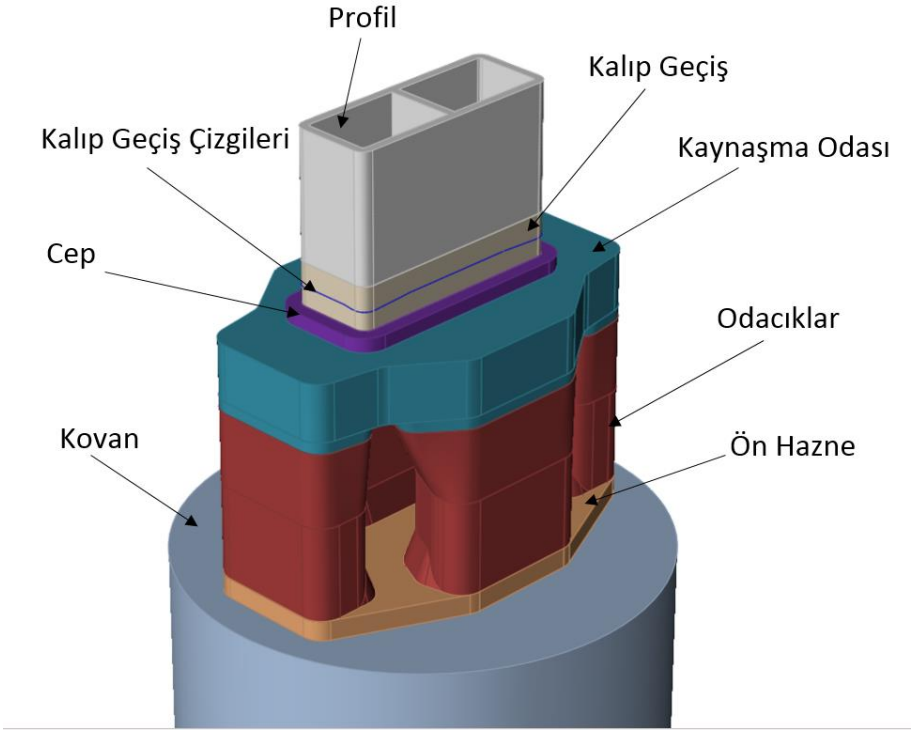
3.1.2. Zıvanalı (Köprülü) Kalıplar

Köprülü kalıplarda zıvana ve kapak birleşerek profilin şeklini ve et kalınlığını oluşturur. Köprülü kalıplarda boru, kutu ve iç kısmında boşluk olan daha karmaşık profillerin üretimi yapılmaktadır. Köprülü kalıplarda malzeme zıvana girişinden girdikten sonra profil şeklini oluşana kadar zıvana yüksekliği, kalıp havuzları ve profilin şeklini belirleyen et kalınlığı ve merkeze göre değişiklik gösteren sürtünme (geçiş bölgesi) boyunca sürtünmeye maruz kalmaktadır.



Şekil 3.3. Zıvanalı Kalıp Örneği

Zıvanalı kalıplar incelendiğinde farklı bölümlerin olduğu görülmektedir. Şekil 3.4 de zıvanalı bir kalıbın bölümleri görülmektedir.



Şekil 3.4. Zıvanalı Kalıbın Bölümleri

Kovan: Maksimum üretilecek biyet (kütük) çapını belirtir.
Ön Hazne: Alüminyumun kalıpla ilk temas ettiği bölgedir.
Odacıklar: Profilin şekline göre odacık sayısı belirlenir. Odacık profilin hangi kısmına ne kadar malzeme göndereceğimizi belirlediğimiz ilk başlangıç bölgesidir.
Kaynaşma Odası: Odacıklarda ayrılan alüminyum malzemelerin ürün haline gelmeden tekrar birleşim sağladı ilk bölgedir.
Cep: Kaynama odasından sonra profilin şekli almadan önceki yapısı profil şekli ile aynı olan bölgedir.
Geçiş Çizgileri: Profilin şeklinin aldığı kısımdır. Geçiş çizgilerindeki uzunluk ve kısalık et kalınlığı ve profilin merkezden uzaklığına göre değişiklik gösterir.

3.2. Ekstrüzyon Kalıp Tasarımı ve Üretimi

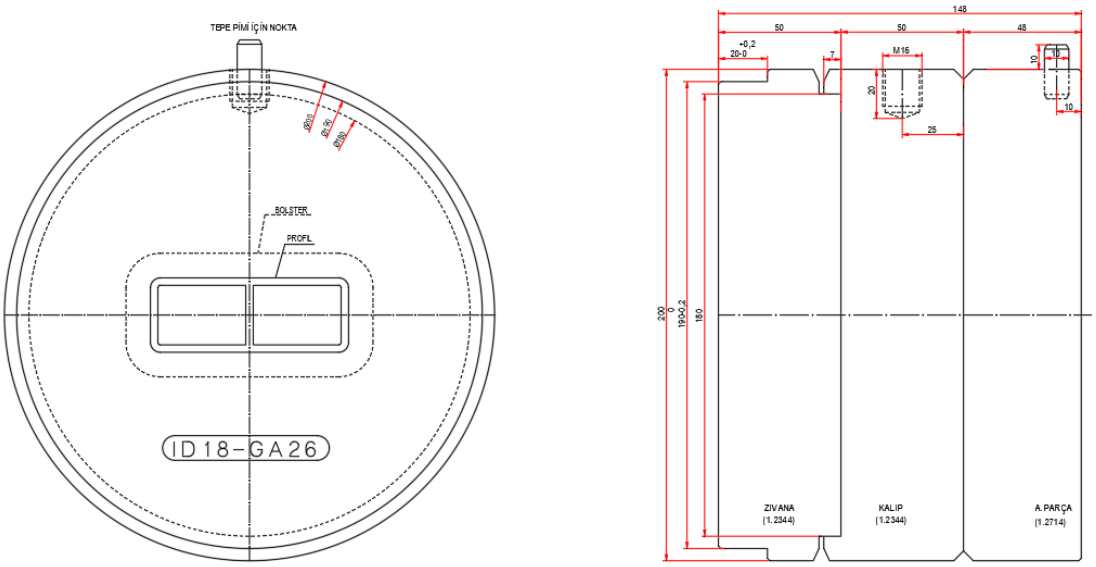
Kalıp tasarımı bir üretim sürecinin en kritik bölümlerinden birisini oluşturur. Ürünün kalitesini belirleyen kalıp tasarımı safhasında ürün profili, pres kapasitesi, pres özellikleri, kullanılacak biyetin malzeme özellikleri, işlem sıcaklığı bir bütün olarak ele alınır. Kalıp tasarımında belirleyici temel sıralama aşağıdaki gibidir:

1. Profilin üretilebilirlik analizi
2. Profil üretimi için uygun pres belirlenmesi
3. Kalıp çapı belirlenmesi
4. Figür sayısı (Ekstrüzyon Oranı) belirlenmesi
5. Uygun bolster kontrolü
6. Kalıp Tasarımı
7. CAD ortamında kalıp modelinin oluşturulması
8. Simülasyon modellemesinin yapılması
9. Simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi
10. Dizaynı onaylanan tasarımın üretime aktarılması.

3.2.1. Kalıp Tasarım Aşamaları

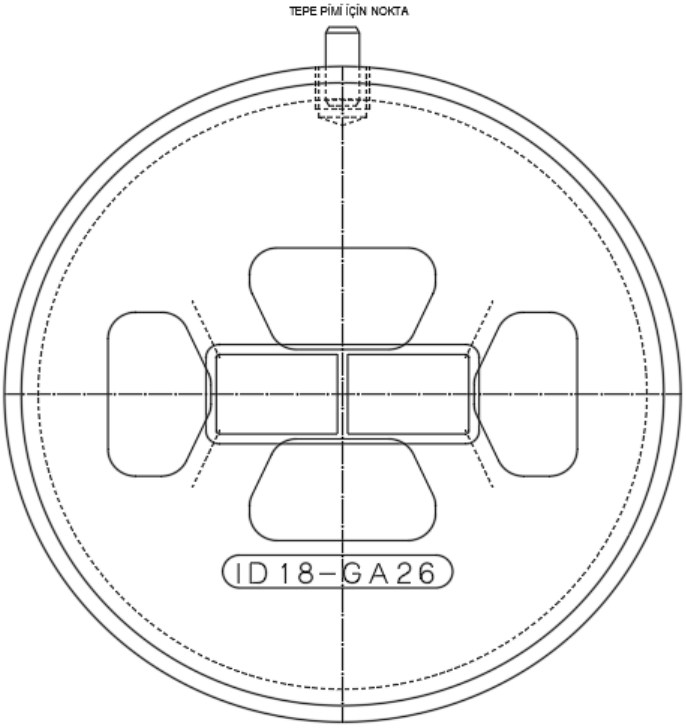
Kalıp tasarımı başlangıcında öncelikle ürün profili temel alınır ve kalıbın solid kalıp veya köprülü kalıp olacağı belirlenir. Sonrasında ekstrüde edilecek alüminyumun

türüne göre ısıl genleşme katsayısı temel alınarak profilin çekme payı hesaplanır ve kalıp için belirli bir ürün çekme payı bırakılır. Profil geometrisinin boyutlarının tolerans sınırları dahilinde olacak şekilde kalıp tasarımına başlanır. Kalıp çıkış geometrisi belirlendikten sonra kalıpta oluşabilecek esneme miktarı belirlenir, sonrasında ise yürüme yüzeyi kalıp üzerinde belirlenir. Ürün profiline bağlı olan ekstrüzyon oranı hesaplanarak kalıpta kullanılacak figür sayısı belirlenir ve kalıp üzerinde profilin merkezlenmesi sağlanır. Düzgün bir malzeme akışı ve profil çıkışı sağlanması için havuz (kaynama odaları) yükseklikleri ve sayısı belirlenir. Eğer köprülü kalıplar kullanılacaksa ayak sayıları ve kalınlıkları belirlenir. Sonrasında kalıp zıvana yüksekliğinin hesaplanır ve son adımda kalıp geçiş sürtünme katsayılarının hesaplanarak kalıp tasarım aşaması sonlandırılarak CAD ortamında kalıp modelinin ve teknik resmi oluşturulur. Profilin üretimi için ekstrüzyon oranına uygun pres belirlendikten sonra uygun kalıp çapı ve uygun bolster seçimi yapılır. Profilin yürüme (imalat esnasında yere temas edecek kısım) yüzeyi belirlenir ve profil merkezi belirlenerek kalıp merkezine yerleştirilir.

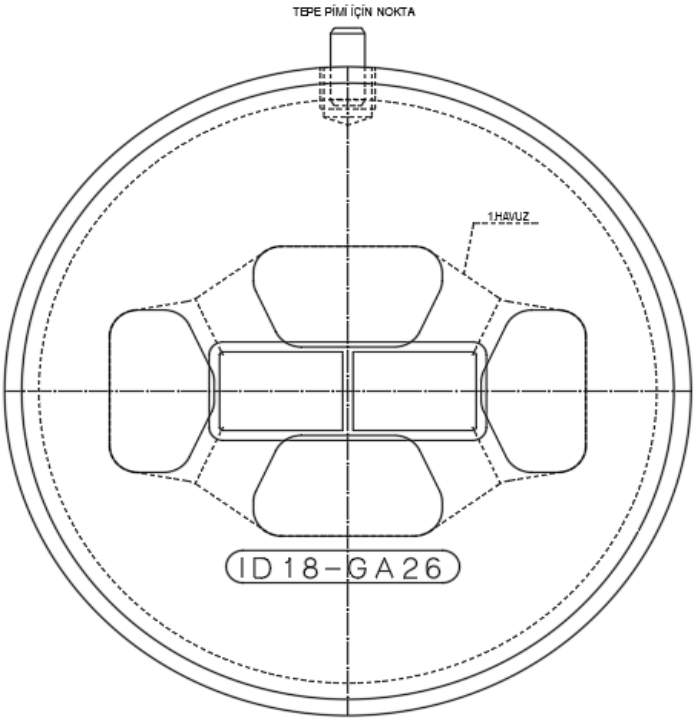


Şekil 3.5. Kalıp Genel Görünümü

Profilde hangi noktalara ayak (köprü) gelmesi gerektiği belirlenir ve malzeme akışı sağlanacak göz (odacık) alanları belirlenir. Göz alanları için Şekil3.5. de görüldüğü gibi merkezden uzaklığı ve besleyeceği alana göre belirlenir.

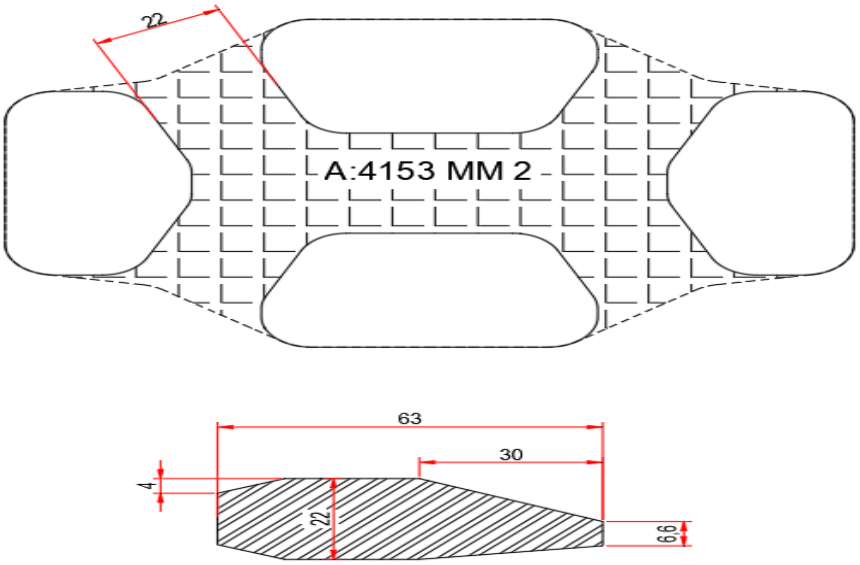


Şekil 3.6. Odacıkların Oluşturulması

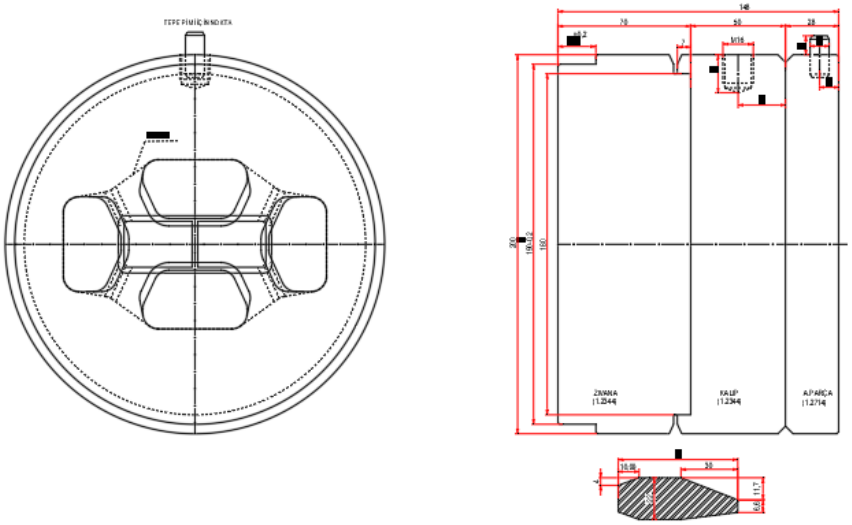


Şekil 3.7. Zıvana Alanını Belirleme

Ayak kalınlıkları ve sayısı belirlendikten sonra zıvana yükseklik hesabı yapılır .



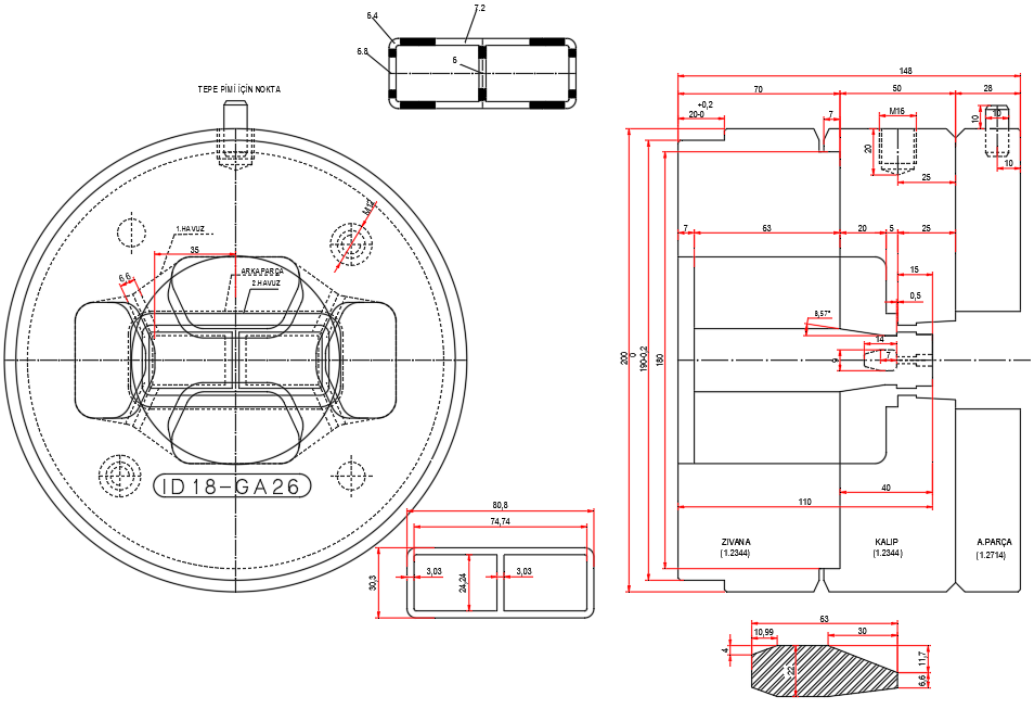
Şekil 3.8. Zıvana Yükseklik Hesaplama



Şekil 3.9. Yan Kesit Oluşturma

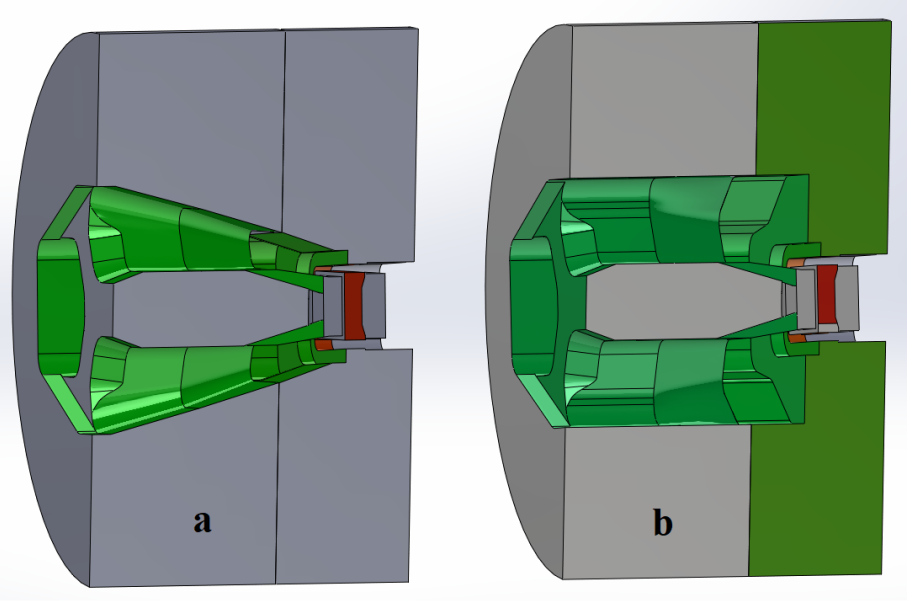
Zıvana yüksekliği ayarlandıktan sonra kalıp kalınlığı ve destek kalınlığı oluşturulur. 2.Havuz ve destek resmi oluşturulup yan görünüştü havuz derinlikleri belirlenir. Cıvata ve pimler yerleştirilir. Zıvana T si ve malzeme akışı için Zıvana T sinin

akım yerleri belirlenir. Sürtünme (geçiş) katsayısı et kalınlığı ve merkezden uzaklığa göre Şekil 3.10'da görüldüğü gibi belirlenir.



Şekil 3.10. Kalıp Tasarımının Tamamlanmış Gösterimi

Yapılan çalışmada iki farklı kalıp tasarımı yapılmıştır. 53684 koduyla verilen kalıp ilk tasarım olarak hazırlanan ve kaynaşma probleminin görüldüğü kalıptır. 53708 kodlu kalıp ise tasarım açısından farklılıklar gösteren ve kaynaşma kusurunun en aza indirildiği tasarım olarak elde edilmiştir. Şekil 3.11.de görüldüğü gibi iki kalıp tasarımının kesit görüntüsünün CAD programından elde edilmiş görünümünü vermektedir.

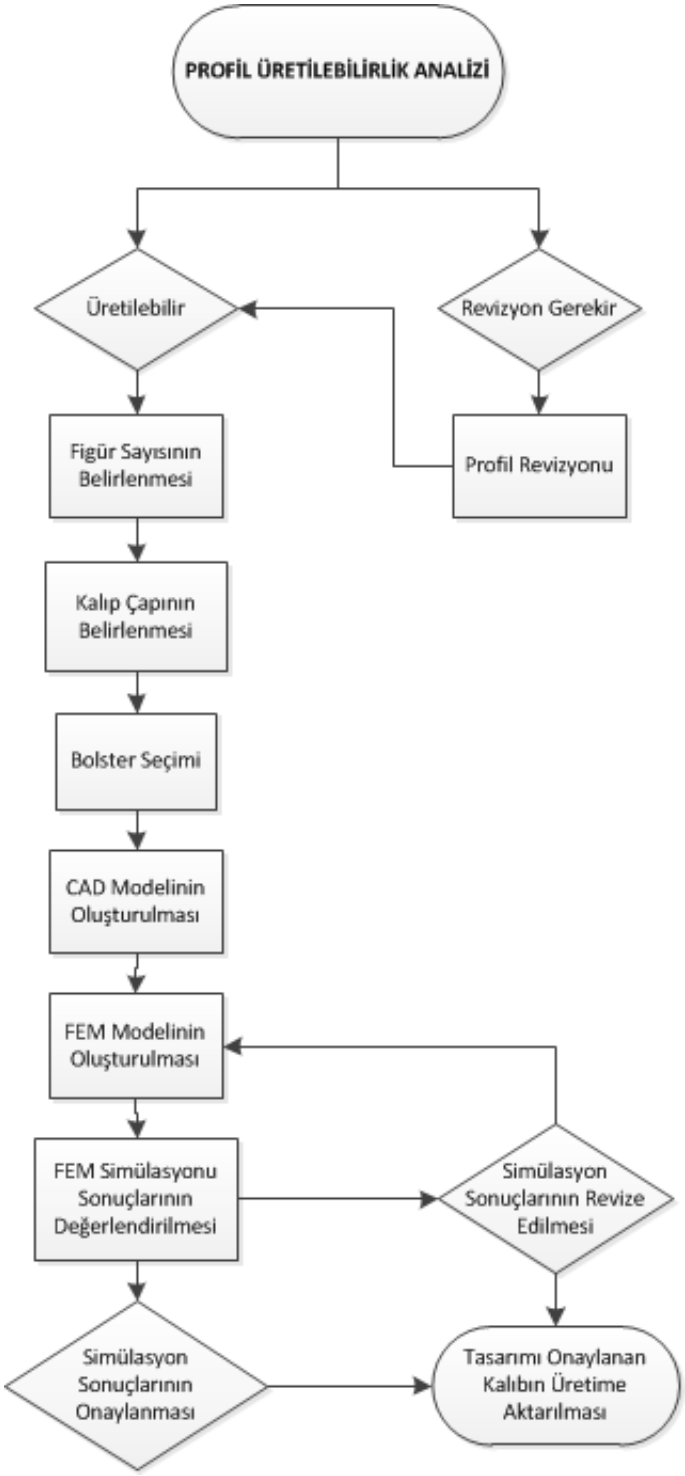


Şekil 3.11. Kalıp Kesit Görünümleri a-EK53684 Kodlu Kalıp b- EK53708 Kodlu Kalıp

EK53684 kodlu kalıp seti ile EK53708 kodlu kalıp seti arasındaki fark; EK53684 kalıbında odacık kısmından başlayarak profilin son şeklini alan bölgeye (cep) kadar açı verilerek malzemenin sıkıştırılmasını (kaynaşma problemini minimize etmek) sağlamak ve orta bağlantı kısmına daha fazla malzeme akmasını sağlamaktır.

3.2.2. Kalıp Üretim aşamaları

Tasarımı yapılan kalıbın istenilen ölçülerden paylı olarak testere çelik kesimi yapılır. Kesimi yapılan çelikler tornada istenilen ölçülere işlenerek işleme merkezlerine gönderilir. İşleme merkezlerinde kalıp havuzları, zıvana gözleri, kalıp-zıvana geçişleri işlenerek ısıl işleme gönderilir. Ham çelik sertliği 16-18 HRc olan malzemeler işlendikten sonra ısıl işleme gönderilerek 48-50 HRc sertliğe gelmesi sağlanır. Isıl işlemden gelen malzemeler ısıl işlemden kaynaklı çarpılmalar ile taşlama işlemine tabi tutulur. Taşlama işleminden sonra kapaklar telerezyonda zıvanalar ark erozyonda son işlemler yapıldıktan sonra tesviye kısmında temizlik yapılarak et kalınlıkları kontrol edilir. Şekil 3.12 de üretim aşamalarını gösteren akış şeması verilmektedir.



Şekil 3.12. Kalıp Üretimi Planlama Akış Şeması

3.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu Eleman Analizi (FEA) veya Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) olarak da bilinen bu sayısal çözüm yöntemi verilen sayısal verilerden yola çıkarak herhangi bir fiziksel problemin çözümü için mühendislik ve matematiksel modellerde sıklıkla kullanılan bir sayısal analiz yöntemidir. Sonlu Elemanlar Yöntemi özellikle yapı statiği, ısı aktarımı, akışkanlar mekaniği, kütle aktarımı ve elektrik potansiyeli problemlerinde sıklıkla kullanılır ve temel olarak özellikle iki veya üç boyutlu kısmi diferansiyel denklemleri ve sınır değer problemlerinin çözümünde tercih edilir.(*Wikipedia.org*, n.d.) Mühendisler, fiziksel prototiplerin ve deneylerin sayısını azaltmak ve daha iyi ürünler geliştirmek için daha hızlı ve masraflardan tasarruf etmek için bileşenleri tasarım aşamalarında optimize etmek için kullanır. Sonlu Elemanlar Yöntemi temelde bütün bir sistemi sonlu eleman adı verilen daha küçük bileşenlere ayırıp, denklemin çözüldüğü uzayın ayrıştırılarak küçük bölgelere bölünmesi ile gerçekleştirilir. (Wikipedia.org, n.d.) Sınır değer probleminin oluşturularak, bir cebirsel denklem sistemi elde edilir. Sistem daha sonra Rayleigh–Ritz veya Galerkin metodu gibi değişkenli yöntemler ile çözülür. Fonksiyonlar kullanılarak asıl çözümün interpolasyonu yapılır. Yöntem ilk kez 1940'lı yıllarda öne sürülmüş ve 1950'li yıllarda uçak tasarımlarında kullanılmaya başlanmıştır. Yöntem parçadan bütüne gitme temel ilkesiyle hareket etmektedir ve ne kadar karmaşık olursa olsun çözümü bilinen klasik mekanikte çözümü bilinen sonlu sayıda elemana bölmektir. Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan elemanlar çubuk eleman, kabuk eleman, düzlem eleman ve katı eleman olmak üzere dört temel eleman tipi sayılabilir. Sonlu elemanlar sonuçlarının doğruluğu girilen verilerin uygunluğuyla doğru orantılıdır. Giriş sınır şartları olarak adlandırılan giriş verileri gerçek fiziksel modeli ne kadar doğru tanımlıyorsa çıkan sonuçlar da o denli gerçeğe yakın sonuçlar verecektir. Sınır şartları mesnetler ve yükler olarak iki farklı şekilde tanımlanır ve modele etki eder. Yükler katı mekaniğinde moment, kuvvet ve yer değiştirme iken, termodinamik problemlerinde ısı, ısı akısı ve sıcaklık olarak farklılık gösterebilir. Mesnetler ise mekanik problemlerinde uygulanan yüklere karşı elemanın çeşidine göre farklılık gösterir. Yükler sisteme, giriş verisi olarak uygulanırken mesnetler, sistemi sabitlemek için kullanılırlar. Sınır şartları dikkatlice seçilmelidir ve gerçek modele uygun olarak tanımlanmalıdır (Ciminli, n.d.).

3.4. Kalıp Tasarımında Sonlu Elemanlar Yazılımı

Bilgisayar destekli analiz yöntemleri veya diğer deyişle sonlu elemanlar yönteminin mühendislik çalışmalarında kullanımı bilgisayarın gelişimine doğru orantılı ayrı bir akım olarak 1970'li yılların sonlarında geliştirilmiştir. Mühendislik yazılımları makine sistemlerinin ve parçalarının çalışmalarını değerlendirme konusunda mühendislere yardımcı olmaktadır. Sonlu elemanlar tabanlı paket programlar bilgisayar destekli teknolojileri bir düzen içerisine sokmakta ve tasarım sürecinde yer alan ekiplere bilgi işlemede büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu sayede tasarım ekibine oldukça fazla zaman kazandırmaktadır. Üç boyutlu katı model tasarımı elde edildikten sonraki aşama prosesin analizidir. Bu amaçla kullanılan yazılımlar çalışılan alanlara göre farklılık göstermekte ve genel olarak da her bir prosese veya bir şekillendirme yöntemine uygun olarak özelleştirilmiş yazılımlar kullanılmaktadır. Örneğin ekstrüzyon bir plastik şekil verme yöntemi olduğundan dolayı bu amaçla tasarlanan analiz programlarından Qform, DEFORM, HyperXtrude gibi yazılımlar tercih edilmektedir. Analiz sonucunda kalıbın maruz kaldığı yükler, şekillendirme sırasında ortaya çıkan şekillendirme kuvveti, sıcaklık, gerilme ve şekil değişimi değişimleri gibi çok farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Böylelikle elde edilen ürünün çıkış profil geometrisi, çıkış sıcaklığı, malzemenin akış özellikleri değerlendirilerek kalıp tasarımın gerekirse yenilenmesi ve böylelikle deneme yanılma yöntemi ile karşılaşılan zaman, enerji ve malzeme kaybı gibi büyük maliyetlerin ortaya çıkması engellenebilmektedir. Düzgün bir malzeme akışı üretmek için asimetrik kalıp geçişlerinin odacıklı kalıplara adapte edilebildiği kapsayıcı bir kalıp tasarımı gereklidir. Sayısal yöntemlerini uygulayan sanal üretim teknikleri, deneme yanılma sürecini azaltmak için etkili bir alternatiftir. Ticari FEM tabanlı yazılımlar ekstrüzyon sürecini simüle etmek için kullanılabilir, ancak kesin bir tahmine varmak her zaman kolay değildir. Son yıllarda, farklı kalıp uzunluk ve eğim açısının etkisini değerlendiren odacıklı kalıplar için farklı araştırmacılar çalışmalar yapmışlardır (Dong vd., 2016; Engelhardt vd., 2019; He vd., 2010; Xianghong vd., 2006; YI vd., 2018; Zhang vd., 2017).

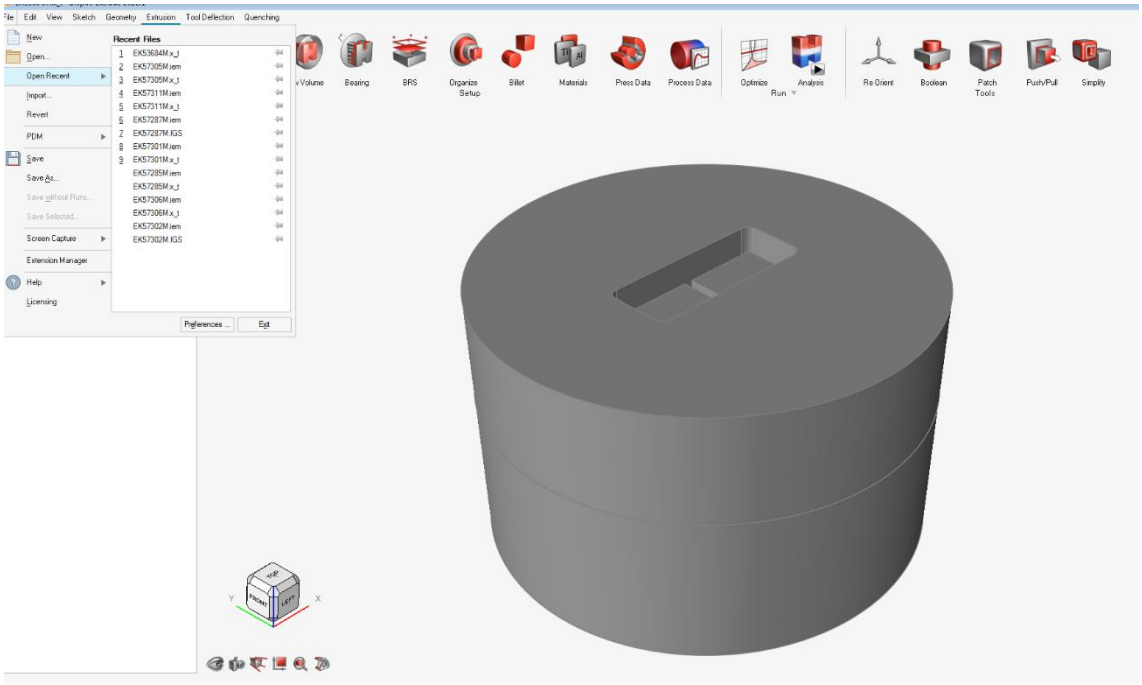
3.5. HyperXtrude ile Ekstrüzyon Prosesi Modellemesi

Yapılan çalışmada sonlu elemanlar yöntemi tabanlı HyperXtrude paket programı ekstrüzyon işleminin modellenmesi ve kalıp içerisinde malzeme akışı, ürün çıkış hızı ve

ürün çıkış sıcaklığı gibi parametrelerini incelemek için kullanılmıştır. Altair firmasının bir yazılımı olan HyperXtrude (Inspire Extrude Metal 2019.1) yazılımı kullanılmıştır. Prosesin modellenmesi için gereken işlem aşamaları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

1. Adım: Modelleme ve Import Etme

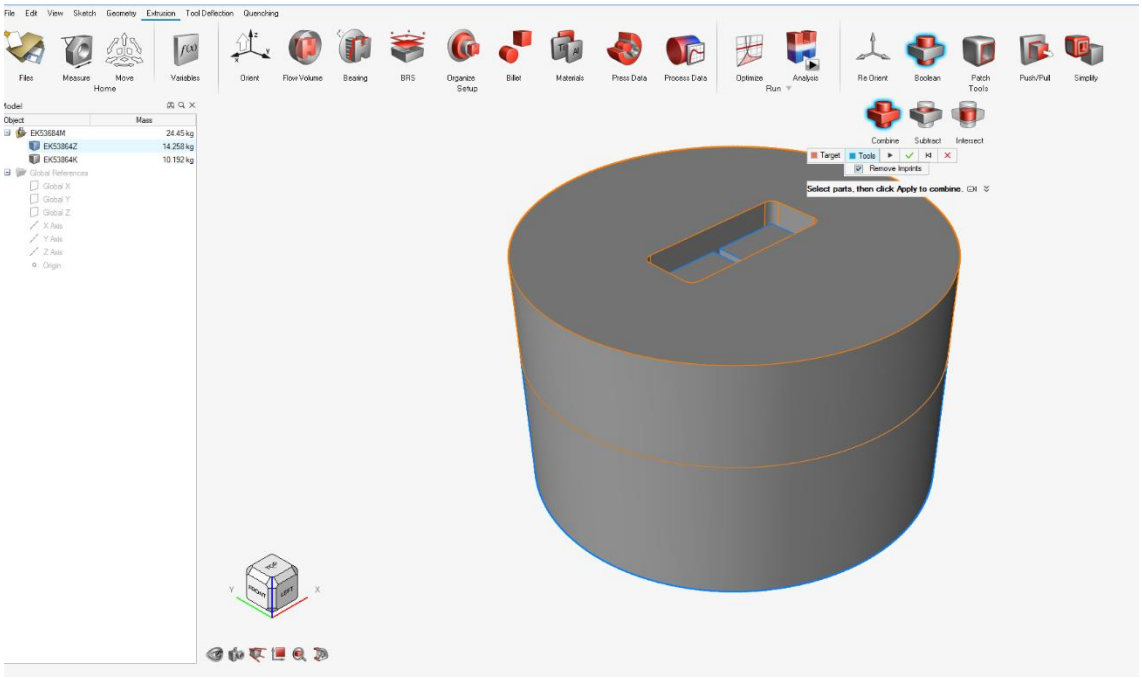
Kalıp tasarımının CAD datası ayrı bir yazılımda oluşturulan model HyperXtrude yazılımına aktarılır. Aktarılan data z yönünde yani akış yönünde olacak şekilde merkeze alınır.



Şekil 3.13. Modelleme ve Import Etme

2. Adım: Birleştirme

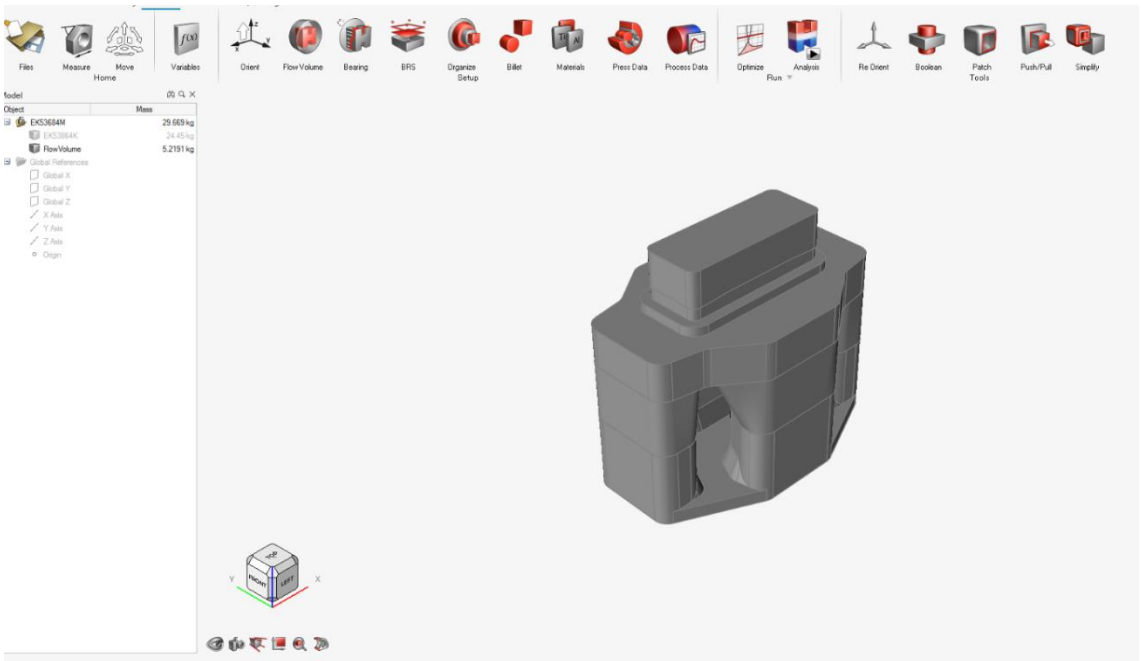
Kalıp ve zıvana tek parça olarak birleştirilir ve onaylanır. Burada akış hacmini seçebilmek amacıyla programda bu işlem yapılmaktadır.



Şekil 3.14. Birleştirme

3. Adım: Negatif (Akış Hacmi) Oluşturma

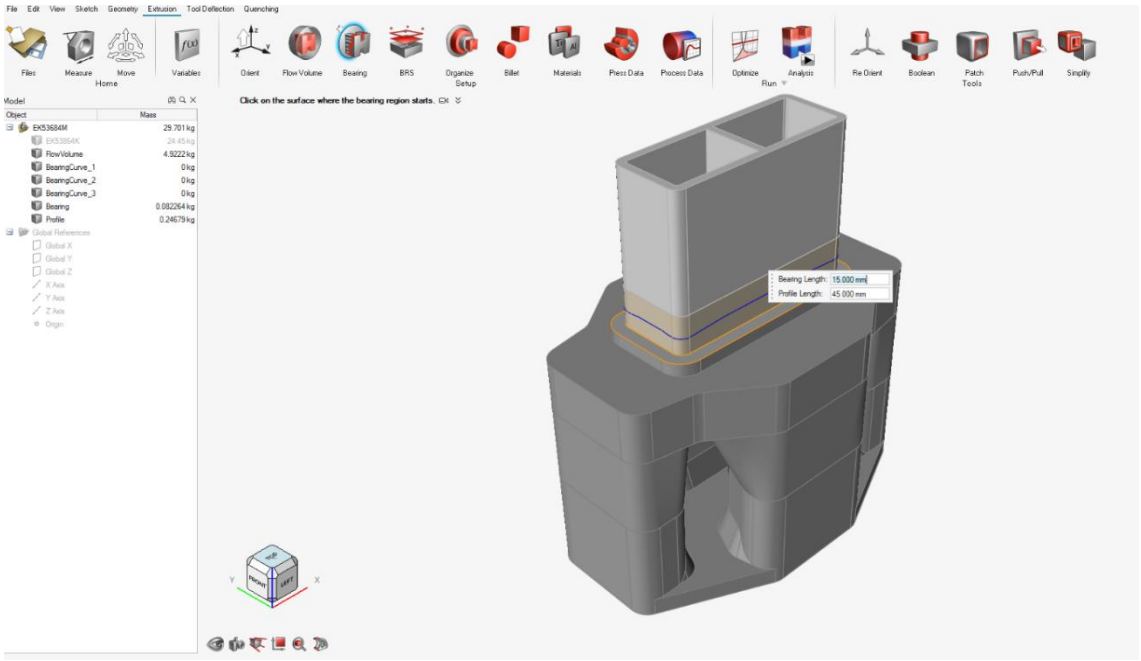
Aktarılan modelin malzeme akışı olacak kısmının oluşturulması gerçekleştirilir ve buna uygun olarak programın önerdiği model incelenir uygun ise onaylanır değil ise aktif hacim seçilerek onaylama işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 3.15. Negatif (Akış Hacmi) Oluşturma

4. Adım: Profilin ve Sürtünme Yüzeyinin Oluşturulması

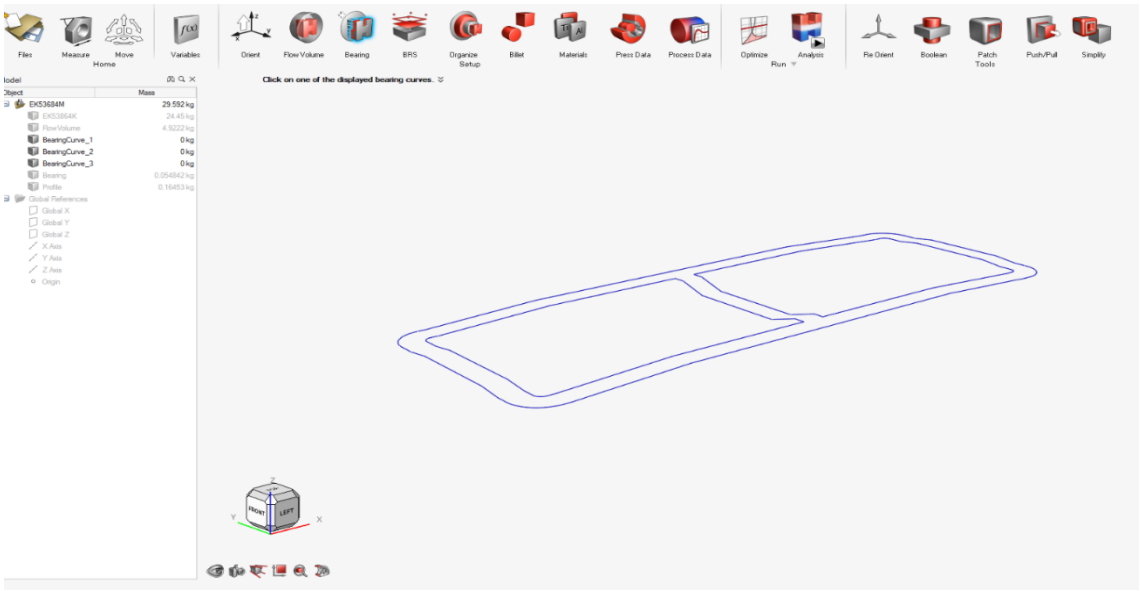
Aktarılan modelin akış hacmi belirlendikten sonra profil ve sürtünme yüzeylerinin tayini gerçekleştirilir.



Şekil 3.16. Profilin ve Sürtünme Yüzeyinin Oluşturulması

5. Adım: Geçiş Bölgelerini Kontrolü

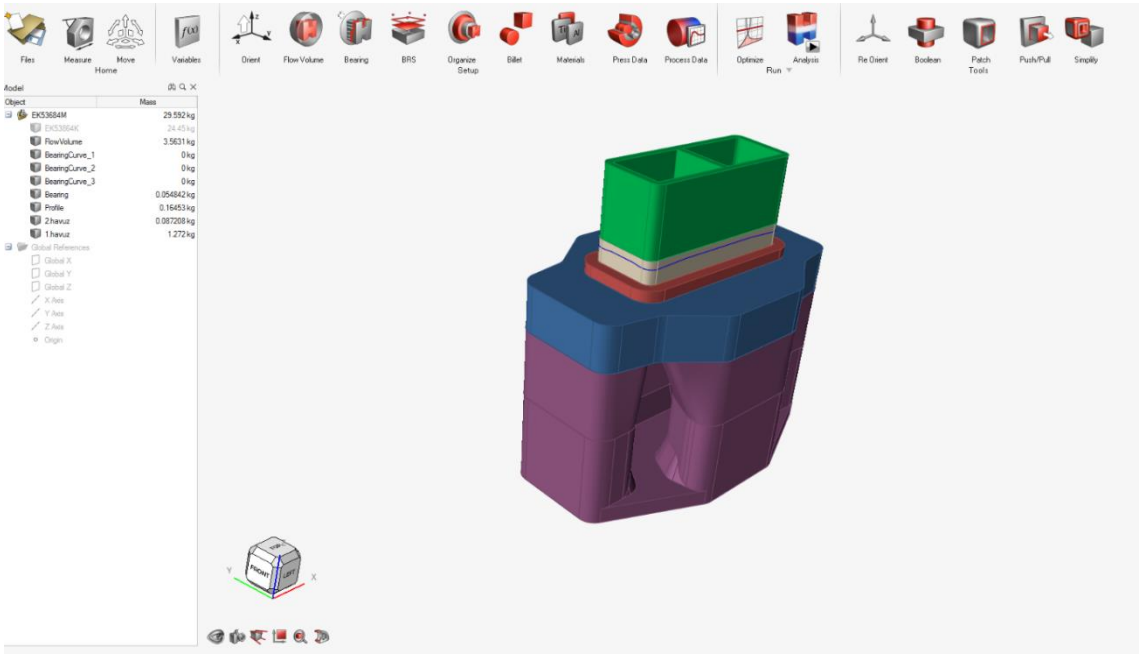
Sürtünme ve profil yüzeylerinin elde edilmesinden sonra geçiş bölgelerinin belirlenmesi sağlanır. Böylelikle yüzeyler arası geçiş çizgisi yardımıyla uygun malzeme akışının modellenmesi başarılır.



Şekil 3.17. Geçiş Bölgelerini Kontrolü

7. Adım: Profil, 1.Havuz, 2.Havuz ve Zıvana Akış Yerlerinin Belirlenmesi

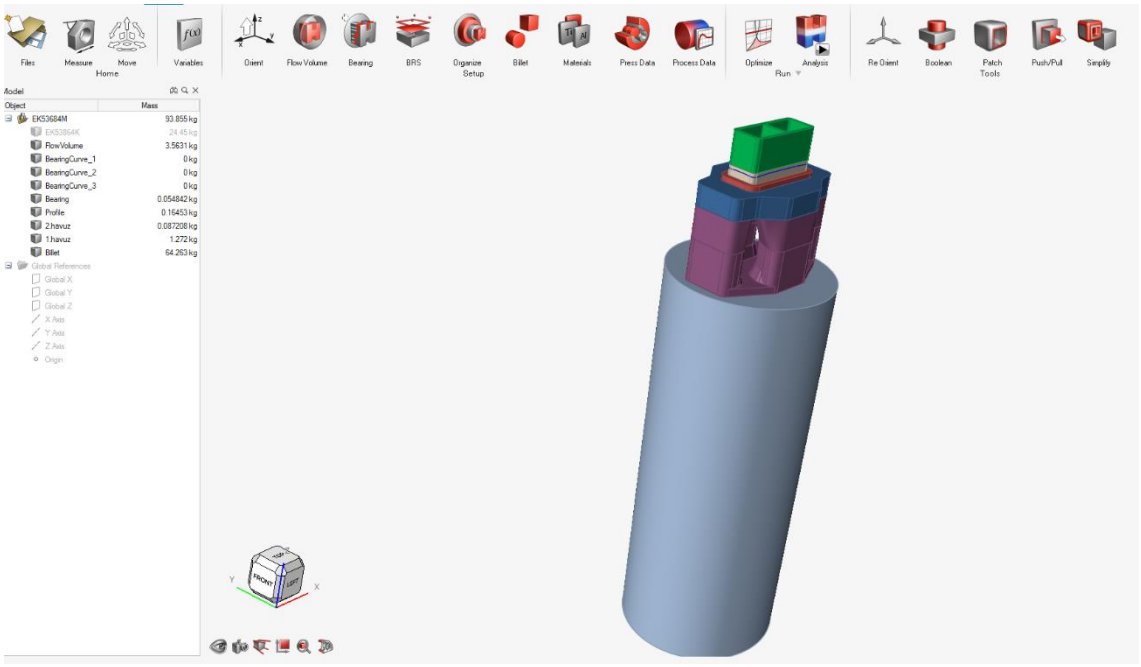
Bu aşamada profil,1.havuz, 2.havuz ve zıvana akış yerleri programa tanıtılır.



Şekil 3.18. Profil, 1.Havuz, 2.Havuz ve Zıvana Akış Yerlerinin Belirlenmesi

8. Adım: Biyet Çapı ve Uzunluğunun Belirlenmesi

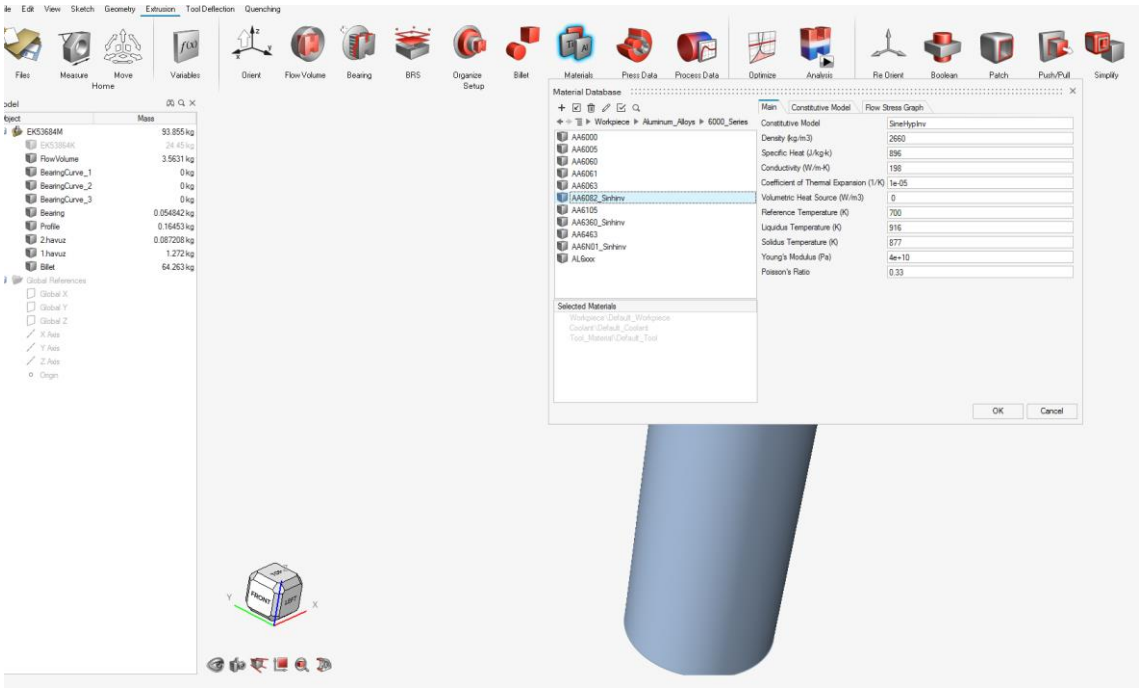
Kalıp ile ilgili bilgilerin programa tanıtılmasından sonra biyet çapı ve boyunun girişi yapılır. (Şekil 3.19)



Şekil 3.19. Biyet Çapı ve Uzunluğunun Belirlenmesi

9. Adım: Alüminyum Alaşımının Seçimi

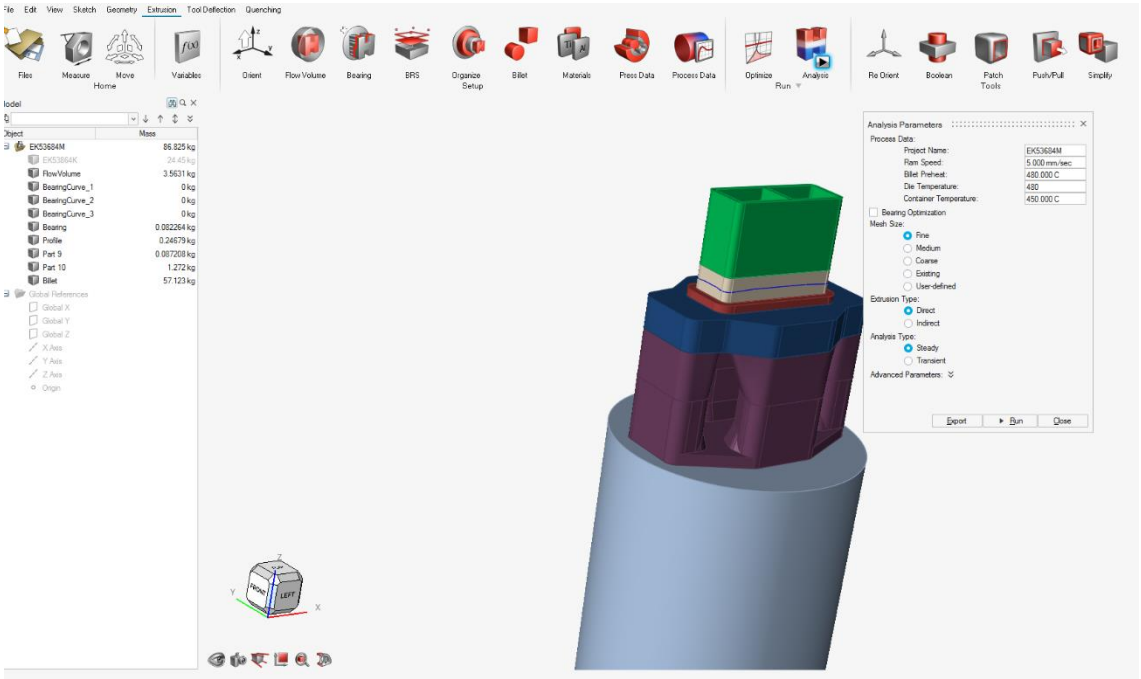
Bu aşamada ekstrüde edilecek malzemenin türü programın malzeme kütüphanesinden seçilerek tanımlanır. Yapılan çalışmada kullanılan malzeme AA6082 tip alüminyum olarak seçilmiştir.



Şekil 3.20. Alüminyum Alaşımının Seçimi

11. Adım: Üretim Şartlarının Belirlenmesi

Bu aşamada proses ile ilgili gerekli bilgiler programa aktarılır. Bu amaçla gerçekte yapılacak imalatta kullanılacak olan biyet sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, kovan sıcaklığı ve ram hızı gibi veriler programa aktarılır. Yapılan tez çalışmasındaki deneylerde ram hızı 5mm/sn, kalıp, kovan ve biyet sıcaklığı 450 ^{0}C seçilmiştir. Modelin mesh işlemi Fine yani en iyi olarak seçilmiştir. Analiz türü olarak "Steady" analiz türü seçilmiştir.



Şekil 3.21. İşlem Parametrelerinin Programa Tanıtılması

BÖLÜM 4

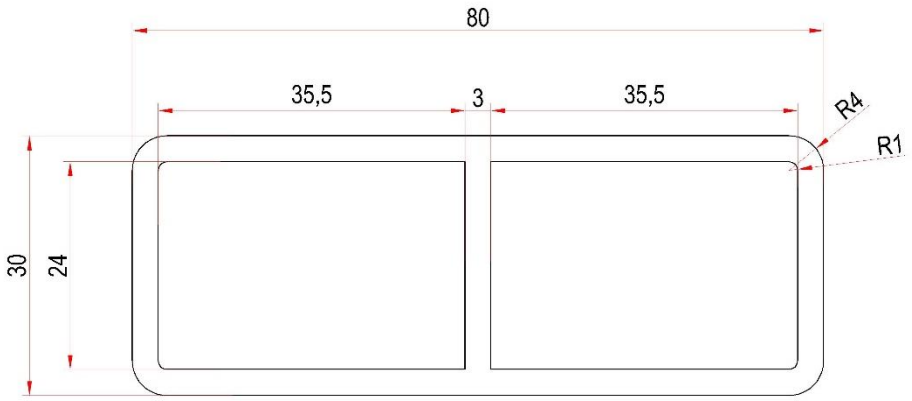
MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Profil Seçimi

Yeni ürünlerin geliştirilmesi sözkonusu olduğunda alüminyum ekstrüzyon, neredeyse sınırsız tasarım fırsatları sunmaktadır. Ekstrüzyonda kaynaşma ekstrüzyonda zıvanalı kalıplarla üretilen profillerde karşılaşılan önemli bir ekstrüzyon problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Başarılı bir tasarımı elde etmek için, bazı temel ekstrüzyon tasarım konseptlerinin anlaşılması yüksek kalitede, hatasız ve iyi mekanik özelliklerde bir ürün oluşturmak için yararlı olacaktır. Ekstrüzyon yöntemi ile daha iyi ürün elde etmeyi sağlayacaktır ve böylelikle daha düşük üretim maliyetleri ve her yönden geliştirilmiş ekonomik bir ürün ortaya çıkacaktır. Alüminyum kolay şekillendirilebilir ve aynı zamanda farklı alaşım türleriyle iyi bir mekanik dayanıma sahip olduğundan dolayı çok farklı endüstrilere hizmet etmektedir. Alüminyum kapı ve pencere profilleri, giydirme cephe profilleri, kutu, köşebent ve lama-lambri, tente, asansör, araç karoser, duşakabin ve sigma profiller olmak üzere çok geniş bir yelpazede profiller mevcuttur.

İçi boşluklu (hollow) profillerin eldesi için zıvanalı ekstrüzyon kalıpları kullanılmalıdır. Zıvanalı kalıplarda malzeme kalıp içerisinde öncelikle kalıp odacık sayısında bağlı olarak önce belirli sayıda akış çizgisi izleyerek ayrışır ve sonrasında kaynaşma odasında tekrar ısı ve basınç etkisiyle konsolide olarak birleşerek kalıp çıkışından istenilen geometride ürün olarak elde edilir. Malzeme akış yollarından birleşip konsolide olurken yetersiz malzeme akışı, ısı ve basınç sebebiyle ürün kesitinde bazı kaynaşma problemleri ortaya çıkmaktadır. Yapılan tez çalışmasında zıvanalı kalıplarda

üretilen bir odacıklı/boşluklu profil seçilerek farklı kalıp tasarım prensipleriyle kaynaşma problemine yönelik bir yaklaşım ortaya konulması amaçlanmaktadır.



Şekil 4.1. Ürün Boyutları

Şekil 4.1. de görülen geometrik boyutları verilen profil kaynaşma problemlerinin görülebilecek özelliklerini taşımaktadır. Bu nedenle iki farklı kalıp tasarımı yapılmış ve ortaya çıkan farkların incelenmesi amaçlanmıştır.

4.2. Ekstrüzyon Deneyleri ve Profil Üretimi

Yapılan tez çalışmasında AA6082 tip alüminyum alaşım kullanılmıştır. Kullanılam malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 4.1. de verilmektedir. AA 6082 tür alüminyum korozyon dayanımı yüksek, çok iyi kaynak yapılabilir, makine yapımı için uygun bir malzemedir. Isıl işlem olarak T4 ve T6 tipinin tercih edildiği, ısıl işlem sonrası ısıl dengeli iç yapısıyla soğuk şekillendirilebilme kabiliyeti çok iyi olan ve yorulma dayanımı orta seviyede olan bir alüminyum alaşımdır. Yapısal parçaların imalatında sahip olduğu özellikler bakımından taşımacılık endüstrisinde tren vagonlarında, kamyon karoser profillerinde, dorse destek profillerinde, gemi inşa sektöründe gemi direkleri ve küpeştelerinde, iskele borularında, çeşitli hidrolik sistem parçalarında, güneşlik tente profilleri vs. olmak üzere çok geniş bir kullanım alanı bulmaktadır.

Çizelge 4.1. AA6082 Alüminyum Kimyasal Bileşimi

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Diğer	Al
0,5	0,7-1,3	0,1	0,4-1,0	0,6-1,2	0,2	0,25	0,15	Kalan

Alüminyum birçok alanda kullanılan metaller arasında gelmektedir. Alüminyum şekillendirilmesi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Alüminyum şekillendirilmesinde Ekstrüzyon prosesi bu yöntemlerden en çok kullanılanıdır. Farklı alüminyum alaşımları bulunmaktadır ve bu alaşımların üretim prosesleri değişkenlik göstermektedir. Özellikle 6082 gibi sert alaşımların ekstrüzyondan sonra hızlı soğutulması gereklidir. Bu yüzden pres çıkış ağzından yaklaşık 1 metre mesafede soğutma kanalından geçerek hızlı bir soğuma sağlanır. Soğutma şekilleri su dolu kanalın içinden geçmesi, profil yüzeyine yüksek basınçlı hava ve su veya sadece yüksek basınçlı hava ile profilin istenilen sertliğe ulaşması için yapılan uygulamalardır.

460-480 °C de kalıp ve biyet ısıtıldıktan sonra gerekli ekstrüzyon parametreleri hazırlandıktan sonra ekstrüzyon ile profil üretimi başlar ve çıkan ürünün ölçü kontrolleri yapılır uygunluk verilirse üretime devam edilir.



Şekil 4.2. Biyet Isıtma İşlemi

460-480 °C de alınan alüminyum ekstrüzyon sırasında oluşan sürtünmeler ile 510-530 °C arasında sıcaklıklarda çıkar. İstenilen ölçü ve sıcaklıkta çıkan profil tamamen soğuma için konveyör hattında bekletilir ve soğuduktan sonra germe işlemi yapılır.

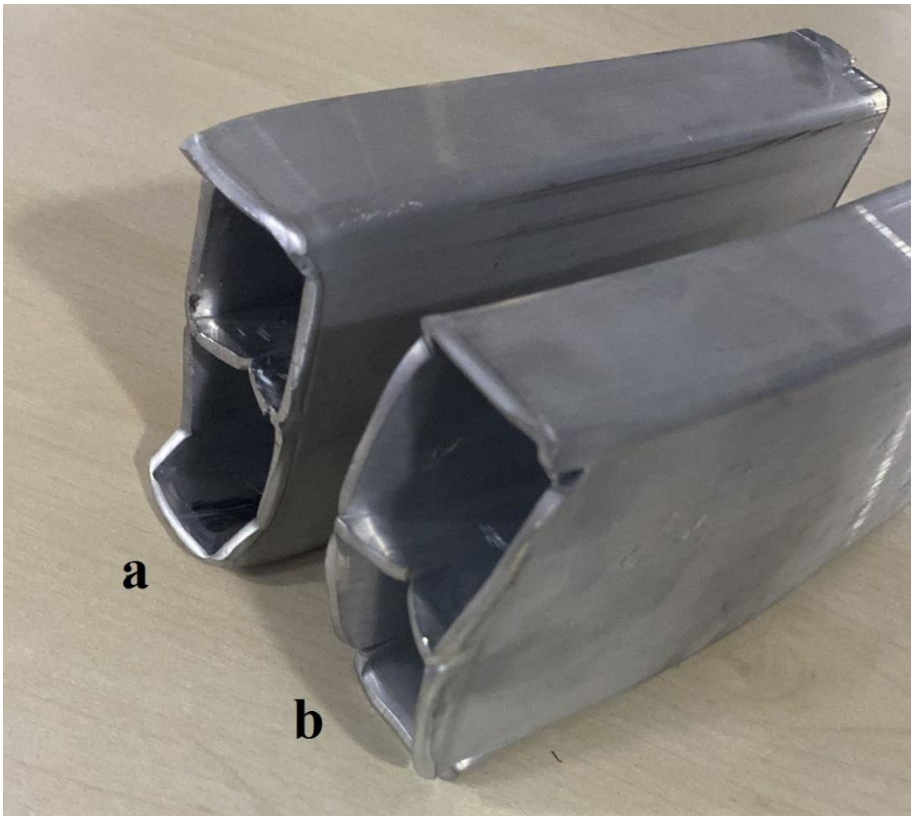
Germe üretim esnasında konveyör üzerinde kıvrımlı (S) şeklinde duran profile doğrusallık sağlanır. Germe işleminde şekil ve et kalınlığına göre profile uygun kuvvet uygulanmalıdır. Örneğin ağız açıklığı olan profillerde kuvvet fazla uygulanırsa üretimde istenilen toleranslarda üretilen profilin tolerans dışına çıkmasına neden olabilir.



Şekil 4.3. Profilin Kalıp Çıkış Görüntüsü

Germe işlemi yapıldıktan sonra tekrar profil ölçü kontrolü yapılır ve profili istenilen sertliğe getirmek için termik (yapay yaşlandırma) işlemi yapılır. Profilin termik istenilen şekilde termik olabilmesi için profilin ekstrüzyon sırasında 510-530°C sıcaklıklara ulaşması gerekmektedir.

Termik işleminde fırın içerisinde hava sirkülasyonun iyi olması için profillerin termik fırınına belirli mesafelerde dizilmesi önemlidir. Termik işleminde malzeme 180-190 °C de 5-6 saat fırında bekletilmektedir. Termik işleminden sonra profiller sevkiyata hazır hale gelmiş olmaktadır.



Şekil 4.4. Ürün Çıkış profili a-EK 53708 Kodlu Kalıp, b- EK53684 Kodlu Kalıp

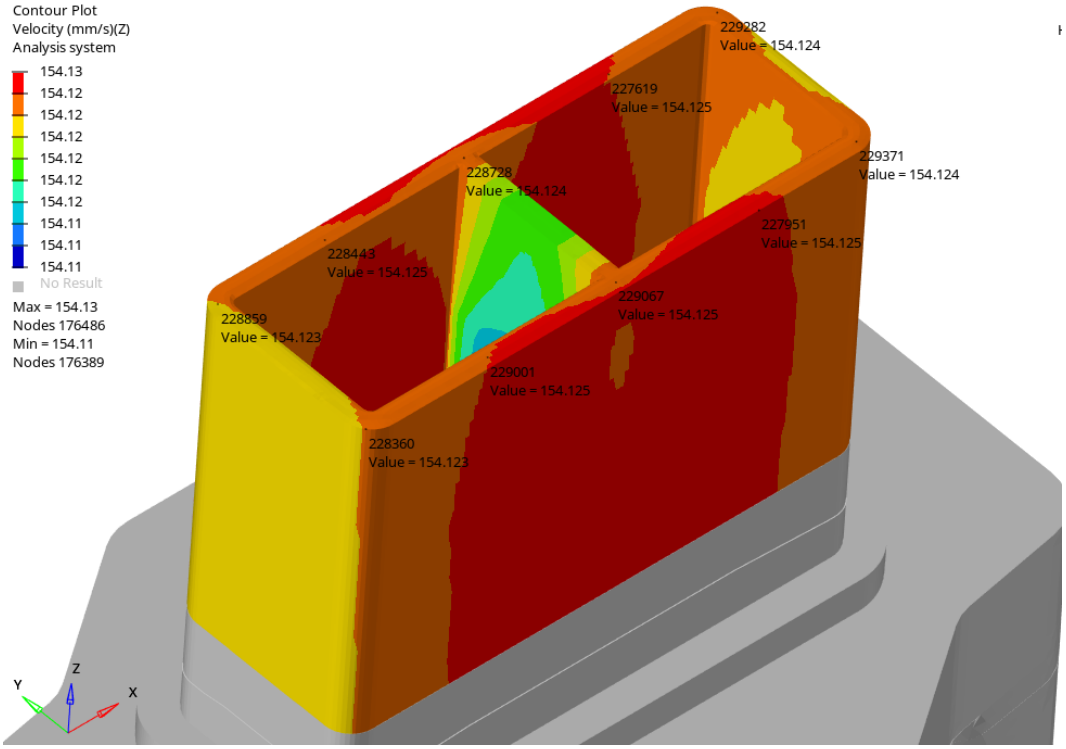
Elde edilen ürünün çıkış profili şekil4.4. de verilmektedir. Şekil 5.1. a EK53708 kodlu modifiye edilmiş kalıptan elde edilen ürün olurken, b olarak gösterilen ürün ilk tasarım kalıp olan EK53684 kodlu kalıptan elde edilmiştir. Ürün profilleri incelendiğinde ilk tasarım kalıptan elde edilen üründe orta bölümde malzeme akışının hızlı olduğu, kaynaşma bölgelerinde yırtılmaların ortaya çıktığı görülmektedir. Kalıbın tasarımında yapılan değişiklikler sonrasında ise malzeme akışının daha dengeli olduğu ve yırtılmaların büyük oranda giderildiği görülmektedir. İlk testin ilk çıkan ürün profili olmasından kaynaklanan şekilde ihmal edilebilir düzeyde bir kenarlarında bir malzeme akışı görülse de profilin kalıptan çıkışıyla birlikte geri kalan kısımlarda dengeli bir malzeme akışı gözlenmiştir.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

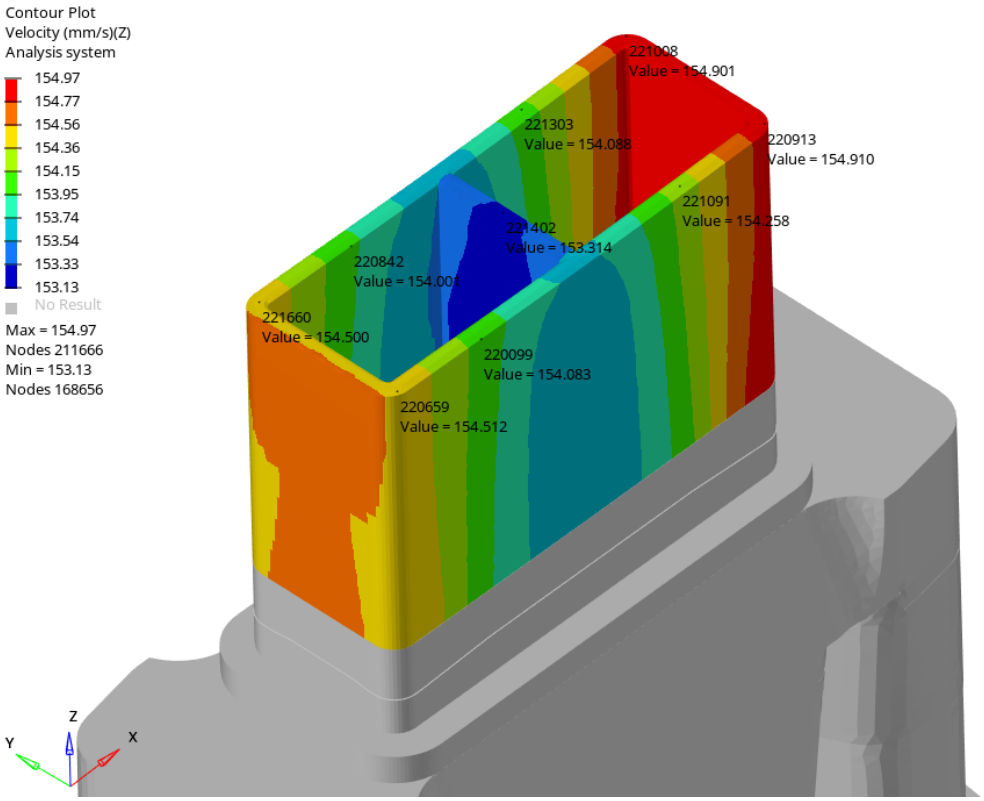
5.1. Sonlu Elemanlar Yazılımı HyperXtrude Sonuçları

Sonlu elemanlar yazılımı HyperXtrude ile elde edilen sonuçlar bu bölümde incelenmektedir. Proses ile ilgili olarak malzeme akışının değerlendirilmesi için akış hızı dağılımı, gerilme dağılımları, sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.



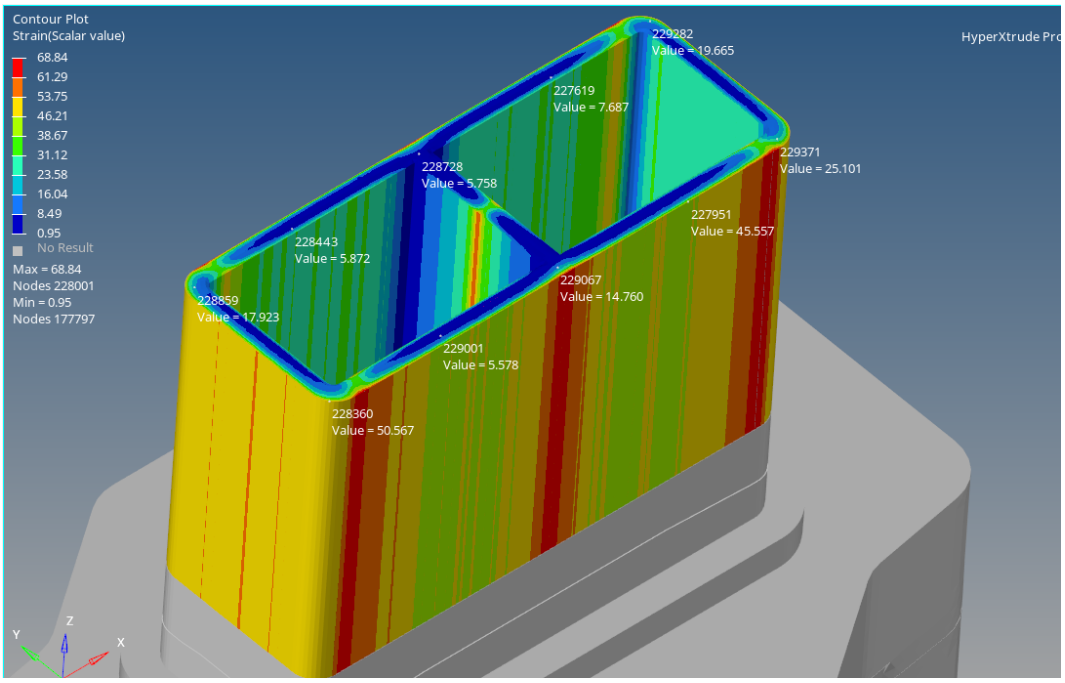
Şekil 5.1 EK 53708 Kodlu Kalıp Akış Hızı Dağılımı

Dizaynda orta bağlantı kısmına akım veri havuzda açı verilerek malzeme akış yönlenderilmesi yapılmıştır ve profildeki bütün hızların birbirine çok yakın çıkması sağlanmıştır. İstenilen et kalınlığı ve malzeme kaynaşmasının oluştuğu ön görülmektedir.



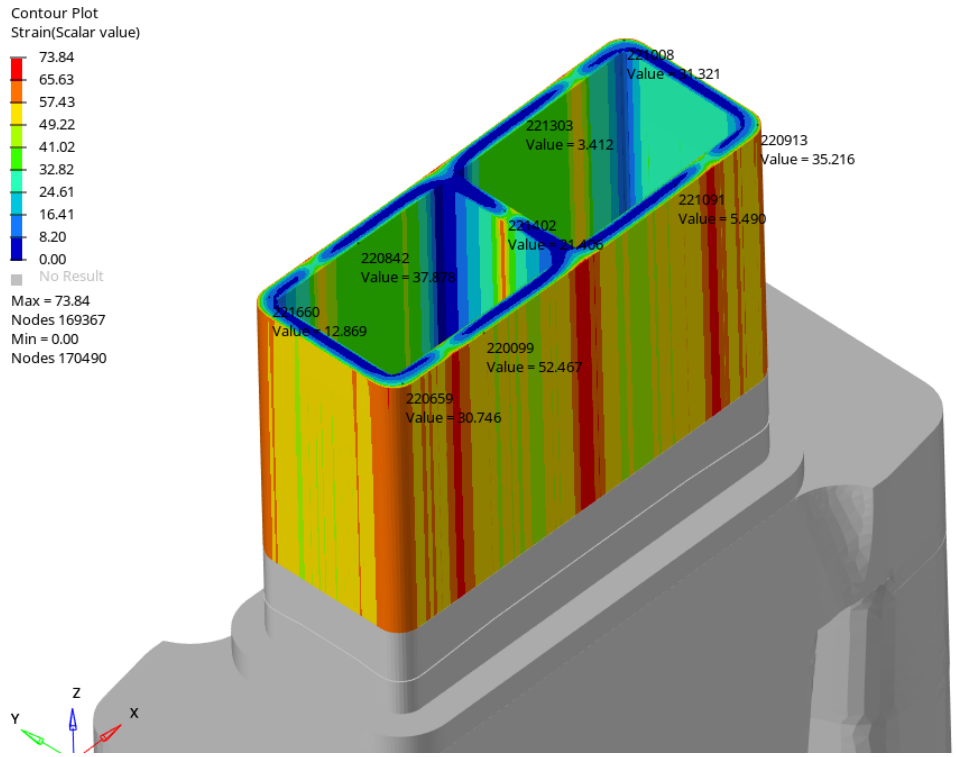
Şekil 5.2. EK53684 Kodlu Kalıp Akış Hızı Dağılımı

Tasarımda orta bağlantı kısmına sadece akım yeri verilerek malzeme akışı sağlanmıştır. Havuz kısmında sıkıştırma yapılmadığı için orta bağlantı kısmı mavi yani en yavaş kısım olmuştur. Mavi renk olması o bölüme daha az malzeme geldiği anlamına gelir. Malzemenin az gelmesi et kalınlığının istenilen ölçüde çıkmamasını ve burada istenilen kaynaşmanın elde edilememesi olarak değerlendirilebiliriz.



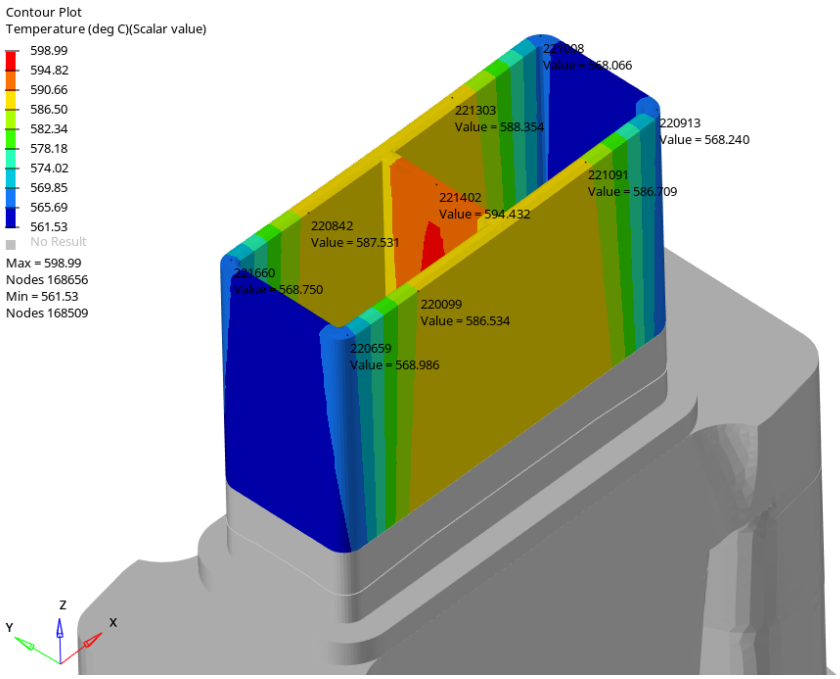
Şekil 5.3. EK 53708 Kodlu Kalıbın Gerilme Dağılımı

Malzemenin sıkıştırmadığımızda gerilmenin daha az olduğu ve gerilme yerlerinin ayak altlarında ve akım yeri verilen kısımlarda olduğu gözlenmektedir.



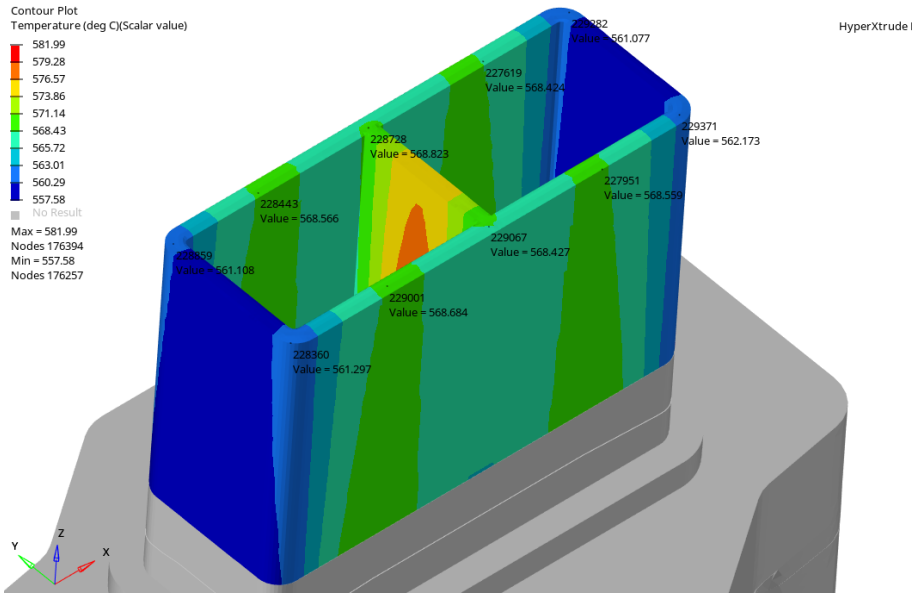
Şekil 5.4. EK53684 Kodlu Kalıbın Gerilme Dağılımı

Malzemeyi sıkıştırma yaptığımızda gerilmenin daha fazla olduğu ve akım yeri ve ayak gelen kısımlar dışında oluştuğu gözlenmektedir.



Şekil.5.5. EK53684 Ürün Çıkış Sıcaklık Dağılımı

Ürün çıkış sıcaklığı incelendiğinde modifiye kalıptan elde edilen sıcaklıkların orta bölümde 594 ^{0}C civarına yükseldiği ancak kenarlarda 568^{0}C civarında olduğu hesaplanmıştır. Sarı renkle belirtilen diğer bölümlerde ortalama sıcaklık değerinin 586-588 düzeyinde olduğu görülmektedir. Malzemeye havuz kısmından sıkıştırma yaptığımızda sıcaklıkların diğer kalıba göre özellikle orta bölümde 20^{0}C kadar fark olduğu diğer kısımlar arasındaki farkın (4-5)^{0}C daha fazla olduğu gözlenmektedir.



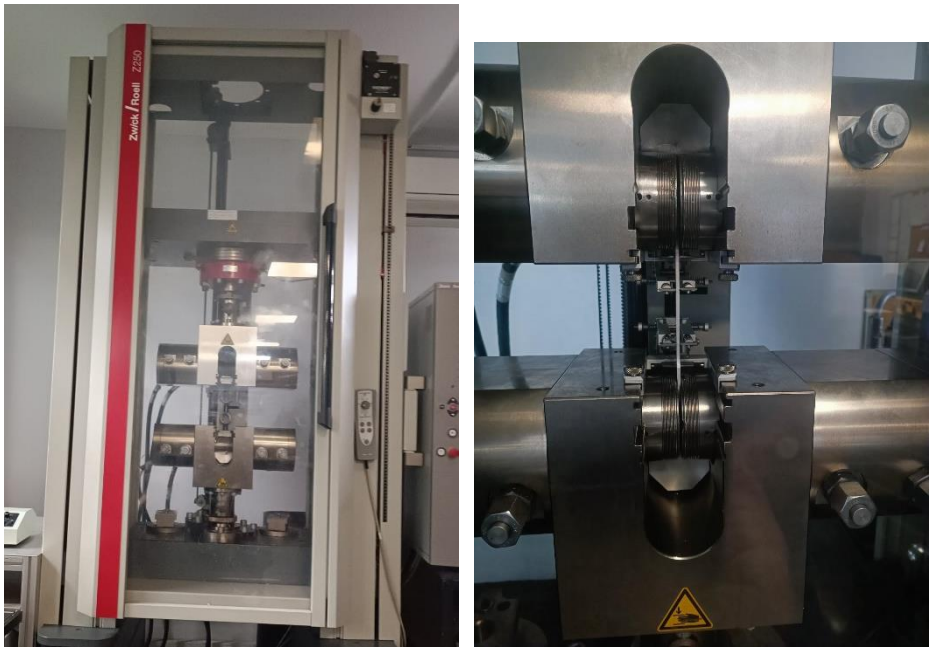
Şekil.5.6. EK53708-Ürün Çıkış Sıcaklık Dağılımı

Ürün çıkış sıcaklığı incelendiğinde malzeme akışı normal olan kalıptan elde edilen sıcaklıkların orta bölümde 574 ^{0}C civarınada olduğu sadece akım yeri verildiği için dış kısımlar ile arasında fazla sıcaklık farkı oluşmadığı gözlenmektedir.

5.2. Malzeme Karakterizasyon Test Sonuçları

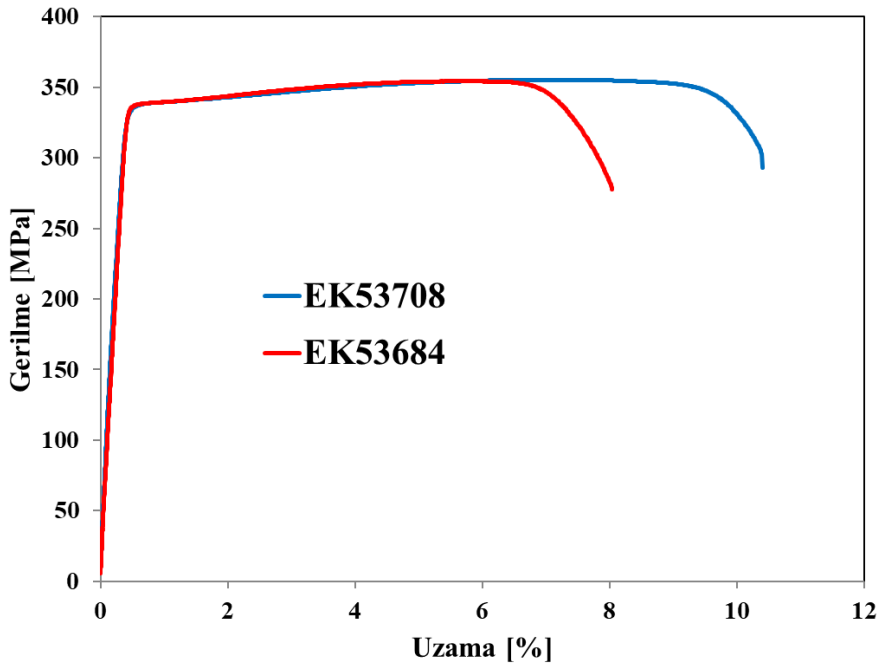
5.2.1. Çekme Deneyi

Numuneler standart çubuk numune olarak hazırlanmıştır. Kesit üzerinden tel erozyon ile kesilerek elde edilen kare kesitli numuneler çekme test cihazına yerleştirilmişlerdir. Çekme testleri Şekil 5.7. de görülen Zwick/Roell Z250 model test makinesında yükleme hızı 20 mm/dk. olacak şekilde test edilmiştir.



Şekil 5.7. Numunelerin Çekme Test Cihazı İçerisinde Görünümü

Çekme deneyi sırasında alınan veriler yazılım marifetiyle kaydedilmiş ve her iki kalıptan elde edilen numunelerin çekme test sonuçları Şekil 5.8'de grafik olarak verilmiştir.

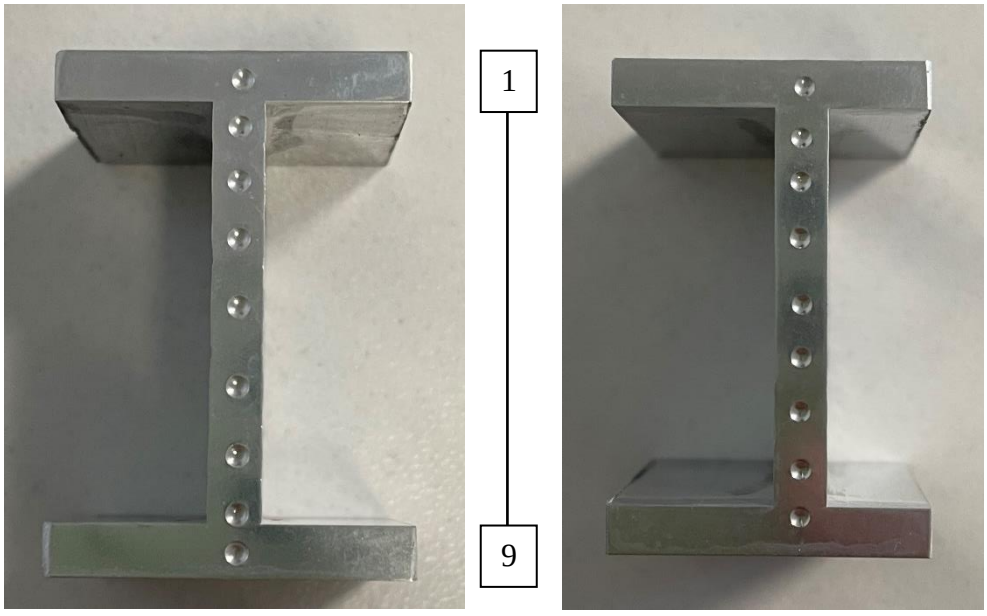


Şekil 5.8. Çekme Deney Sonuçları

Elde edilen Gerilme-Uzama grafiği incelendiğinde her iki numunenin de ulaştığı maksimum çekme gerilme değeri 355 MPa olarak ölçülmüştür. EK 53684 koduyla belirtilen ilk tasarımın numunelerden elde edilen uzama değerlerinin %8.1 olduğu ve EK53708 kodlu olarak tanımlanan yeni tasarım kalıplarından elde edilen numunelerin uzama değerlerinin %10.4 olduğu ölçülmüştür. Yeni tasarım kalıplardan elde edilen numunelerde kaynaşma probleminin çözümüne ek olarak uzama özelliklerinin arttığı da gözlenmiştir. Yeni kalıp tasarımıyla üretilen numunelerin daha sünek karaktarde olduğu anlaşılmaktadır.

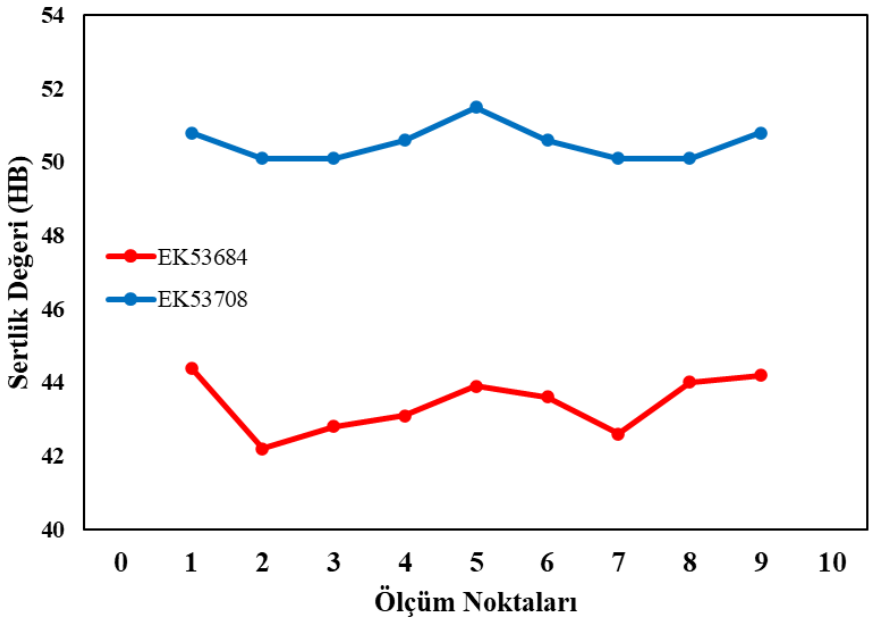
5.2.2. Sertlik Deneyi

Ekstrüzyon yöntemiyle elde edilen numuneler sertlik deneyine tabi tutulmuşlardır. Alüminyum alaşımlarında çelik esaslı malzemelere kıyasla sertlik ölçümlerinde genel olarak Brinell ölçüm tercih edilmektedir. Brinell Sertlik Yönteminde çelik bilyenin numune yüzeyine belirli bir kuvvet ile batırılması sonucu oluşan izin çapının ölçülmesi ile sertlik tayini gerçekleştilir. Yapılan sertlik testlerinde bilye çapı 2,5 mm ve uygulanan kuvvet 62,5 Kg olarak seçilmiştir.



a b

Şekil 5.9. Sertlik Ölçüm Sonuçları a-EK53684 Kodlu Kalıp b-EK53708 Kodlu Kalıp



Şekil 5.10. Sertlik Ölçüm Sonuçları (Brinell Sertlik Değeri)

EK53684 kodlu ilk tasarım olan kalıptan elde edilen ürünler ile EK53708 kodlu kalıptan elde edilen test sonuçları incelendiğinde aralarında belirgin bir fark ortaya çıktığı göze çarpmaktadır. EK53684 kodlu kalıp ürünlerinden elde edilen Brinell Sertlik Değerleri ortalama olarak 42-44 BSD iken EK53784 kodlu kalıp ürünlerinde ölçülen sertlik değerleri 50-51 BSD civarındadır. Orta noktalarından elde edilen en büyük sertlik değeri EK53684 kalıpta 43,9 iken bu değer EK53708 kalıbında 51,5 değerine kadar yükseldiği görülmektedir. Kalıp tasarımının değişimiyle birlikte kaynak bölgesinde sertlik değerlerinin arttığı gözlemlenmektedir. Bu sonuç kaynaşma bölgesinde ortaya çıkan mikroyapının yeniden kristalleşme dolayısıyla sertlik değerlerinin artması olarak yorumlanabilir. Sertlik değerinin artışı aynı zamanda çekme deney sonuçlarıyla karşılatırıldığında uyumlu olduğu ve yeni tasarıma sahip EK53708 kodlu kalıp ürünlerinin mekanik özelliklerinin iyileştiğini göstermektedir.

5.2.3. Mikroyapı İncelemesi

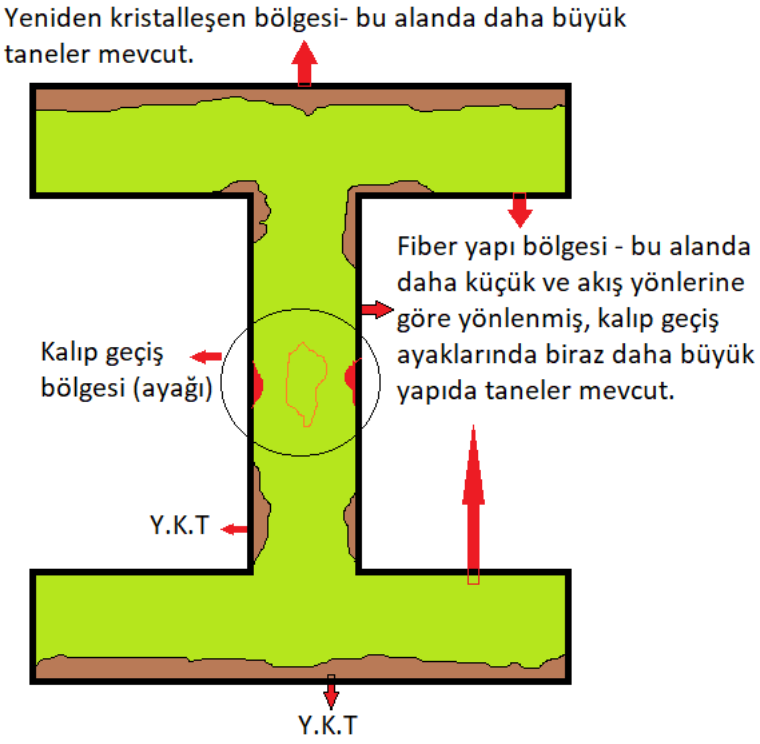
Mikroyapı incelemesi Nikon Eclipse LV150N marka optik mikroskopta gerçekleştirilmiştir. Al-Mg-Si alaşımları, endüstride genellikle ekstrüzyon profilleri olarak tedarik edilir. Özellikle korozyon dirençleri bakımından da büyük öneme sahip olan bu profiller için Al-Mg-Si ürünlerinin korozyon direnci endüstriyel uygılamalar için ciddi bir ilgi alanıdır. Bu nedenle iç yapılardan elde edilen görüntüler malzeme hakkında önemli bilgiler verir.



Şekil 5.11. Mikroyapı İncelemesi Yapılan Optik Mikroskop

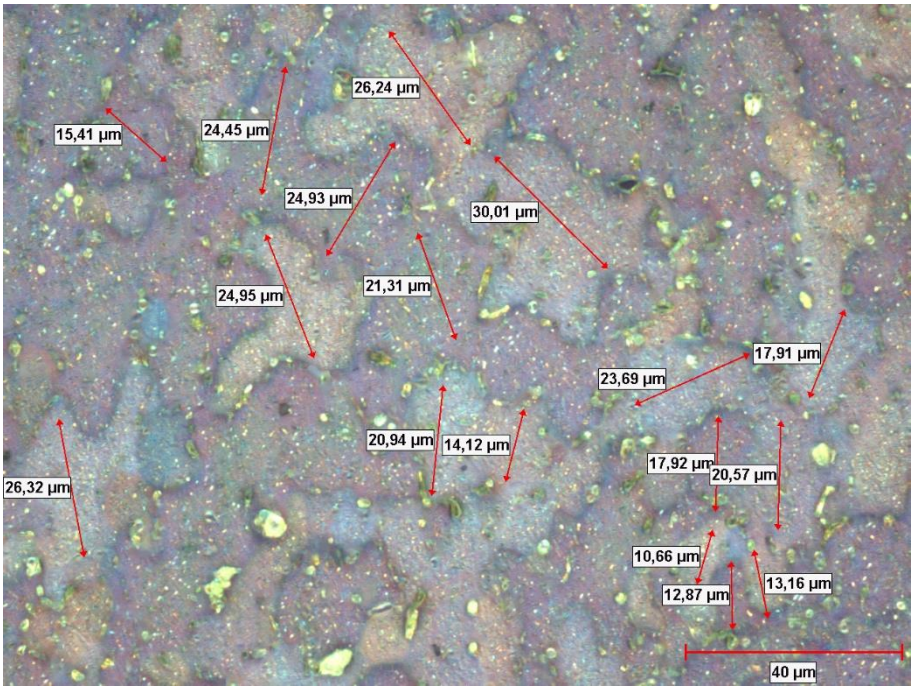
Mikroyapı incelemesi sonucunda elde edilen görüntüler incelendiğinde; yeniden kristalleşen ve fiber yapılı kısımların olduğu görülmektedir. AA6082 tip aluminyun alaşımı ile elde edilen ekstrüzyon profillerinde genel mikro yapı görüntüsü fiber yapıdadır. Çeşitli geometrilerde farklı olmakla birlikte kalıp çıkış sıcaklığı veya ürün

eldesi sonrası soğutma süreçlerine göre yeniden kristalleşen tanelerin kalınlığı ve büyüklüğü değişkenlik göstermektedir. Daha az veya daha büyük taneler oluşabilir. Genel olarak iç yapı görüntüsünün alındığı bölgelerin ve gelen mikroyapı karakterinin şematik gösterimi Şekil 5.12. de verilmiştir.



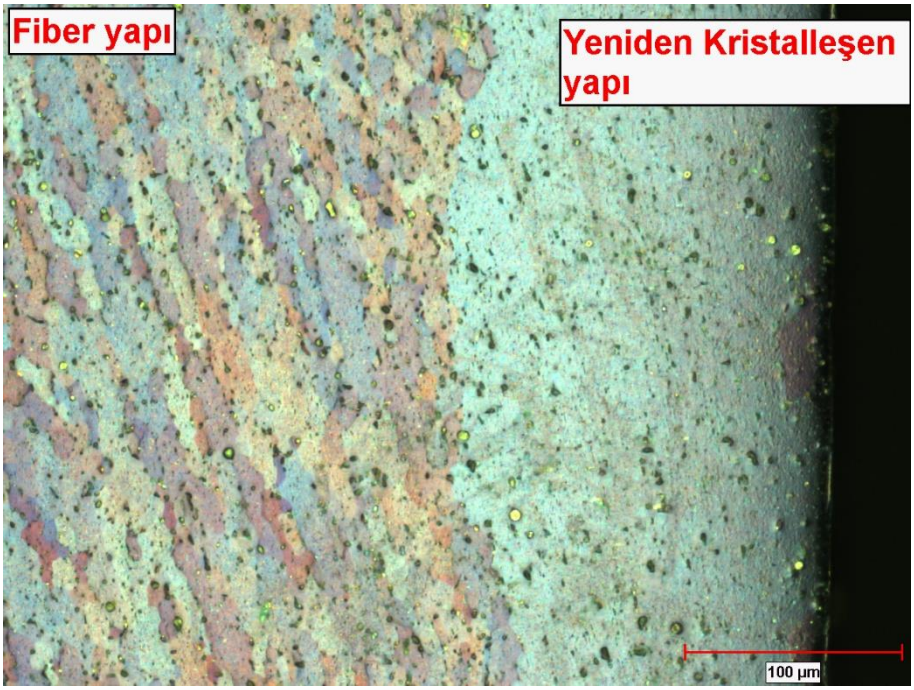
Şekil 5.12. Mikroyapı Örnekleme Alınan Bölgeler ve İç Yapı Karakteristiği

EK53684 Kodlu kalıp numuneleri için ölçülen tane büyüklükleri Şekil 5.13. de verilmektedir.



Şekil 5.13. EK53684 Kodlu Kalıp Numuneleri Tane Büyüklükleri

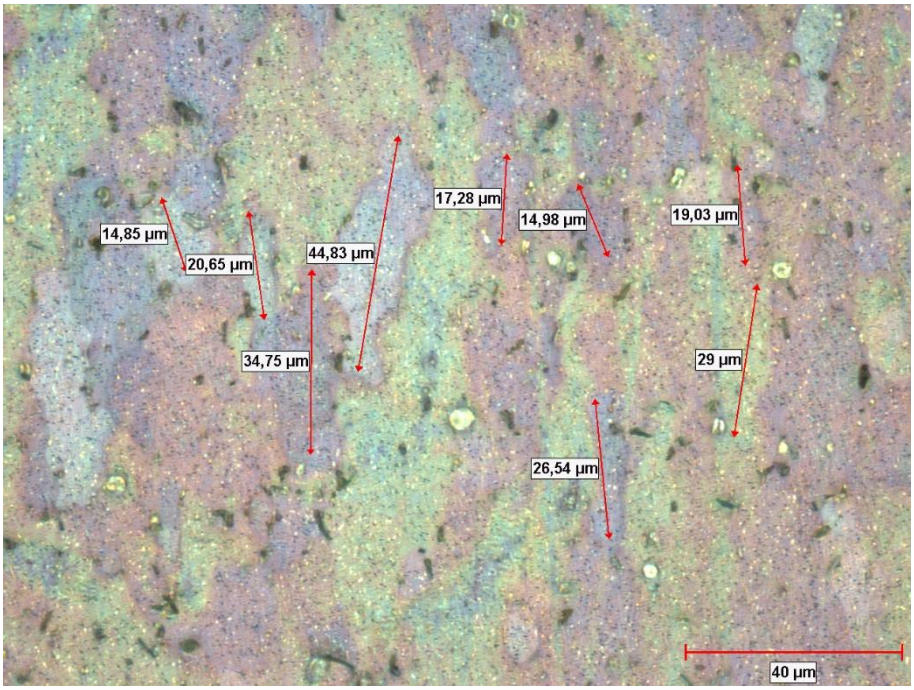
EK53684 Kodlu kalıp ürünleri için elde edilen görüntüler incelendiğinde fiber yapıya sahip bölümlerde tane büyüklüklerinin 20-24 µm aralığında olduğu görülmektedir.



Şekil 5.14. EK53684 Kodlu Kalıp için YKS ve Fiber Yapı Geçiş Arayüzey Görünümü

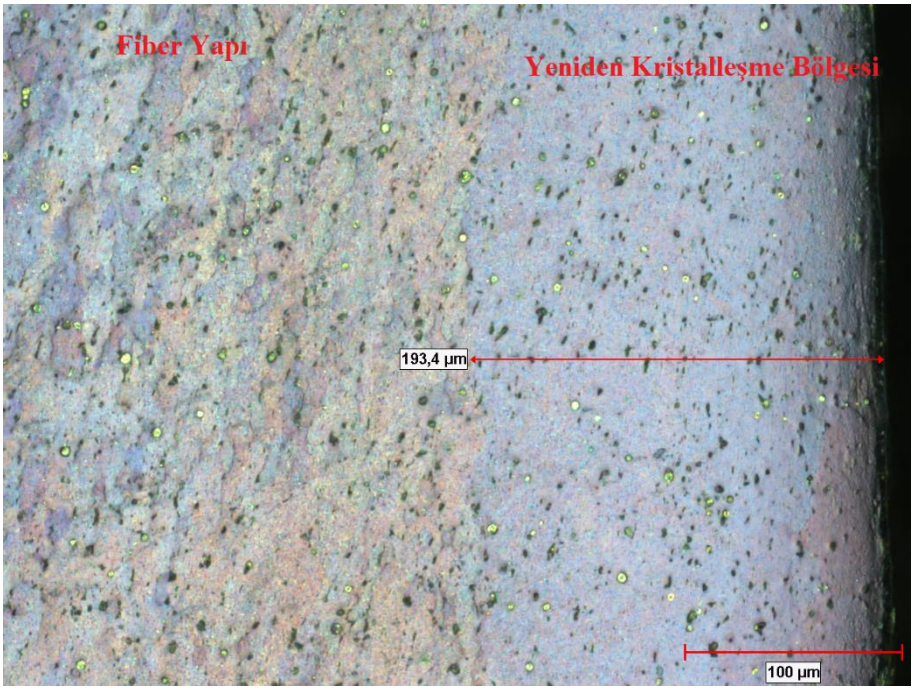
Ekstrüzyon sırasında, yüzeye yakın bölgede yeniden kristalleşme meydana gelir ve kaba eş eksenli tanelerin oluşumuna yol açar; oysa yüzeyden daha uzaktaki taneler, tipik lif yapısı, yani yeniden kristalleşmemiş tane yapısı sergileyerek, ağır şekilde deforme olmaya devam eder. Sonuç olarak, Al-Mg-Si ekstrüzyonlarında hem kaba eş eksenli tanelerden oluşan yeniden kristalleşmiş bölge hem de aşırı derecede deforme olmuş tanelere sahip yeniden kristalleşmemiş bölgeler mevcuttur. EK63684 Kodlu kalıp ürünleri için yeniden kristalleşen bölge ile fiber yapı geçişi net bir şekilde görülmektedir.

EK53708 Kodlu kalıp numuneleri için tane büyüklükleri Şekil 5.15.'de verilmektedir.



Şekil 5.15. EK53708 Kodlu Kalıp Numuneleri Tane Büyüklükleri

EK53708 Kodlu kalıp numuneleri için elde edilen görüntüler incelendiğinde fiber yapıya sahip bölümlerde tane büyüklüklerinin değişkenlik gösterse de ağırlıklı olarak 15-20 µm aralığında olduğu görülmektedir. Bazı tanelerin ekstrüzyon sırasında uzadıkları da göze çarpmaktadır.



Şekil 5.16. EK53708 Kodlu Kalıp için YKS ve Fiber Yapı Geçiş Arayüzey Görünümü

EK53708 kodlu kalıptan elde edilen numunelerden alınan mikroyapı görüntülerinde de yeniden kristalleşen bölge ile fiber yapı arasında belirgin fark ortaya koymaktadır.

BÖLÜM 6

YORUMLAR ve TARTIŞMA

Ekstrüzyon yöntemi özellikle alüminyum alaşımlarının şekillendirilmesinde en çok kullanılan yöntemlerden birisidir. Farklı geometrilerde ürünlerin ekstrüzyonu için uygun proses parametrelerinin seçilmesi ürün kalitesini arttıracaktır. Üretim metodu olarak seçtiğimiz ekstrüzyon yöntemi hammadde, kalıp tasarımı ve işlem parametreleri olarak farklı etmenler üzerinden ürün kalitesinin etkilendiği bir karmaşık sistemdir. Bu nedenle optimum üretim parametrelerini seçerek hatasız ve istenen mekanik ve optik özelliklerde ekstrüzyon ürünlerinin üretilebilmesi mümkün olabilmektedir. Ekstrüzyon yönteminde kaynaşma problemi ürünün optik ve mekanik özelliklerini kötü anlamda etkilediği ve daha da önemli olan imalat süreçleri tamamlandığında çoğunlukla ortaya çıkmasından dolayı önemli bir sorun olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle Kaynaşma sorunun incelenmesi önem arz etmektedir.

Yapılan tez çalışmasında AA6082 tip alüminyum alaşım kullanılarak kaynaşma sorunu üzerine iki farklı kalıp tasarımı yapılarak aynı ekstrüzyon parametreleriyle üründe ortaya çıkan farklılıklar incelenmiştir. İlk kalıp tasarımı EK53684 koduyla belirlenmiş, geliştirilmiş tasarım olarak elde edilen ikinci kalıp seti EK53708 koduyla işaretlenmiştir.

Bölüm 3 içerisinde kalıp tasarım süreçleri ve kalıpların detayları verilmiştir. Kalıp tasarımı bilgisayar destekli çizim programıyla gerçekleştirildikten sonra sonlu elemanlar tabanlı HyperXtrude yazılımı ile prosesin modellemesi yapılarak analiz gerçekleştirilmiştir.

Sonlu elemanlar sonuçlarından yola çıkılarak deneysel çalışma aşamasına geçilmiştir. Bölüm 4. te ekstrüzyon deneyleri detaylıca anlatılmıştır.

Bölüm 5 içerisinde sonlu elemanlar sonuçları ürün malzeme akışı, gerilme dağılımı ve çıkış sıcaklığı incelenmiştir. Buradan elde edilen sonuçlarda iyileştirilmiş kalıplarda daha homojen malzeme akışı gözlemlenmiş ve ürün üzerinde ortaya çıkan

efektif gerilme dağılımının özellikle daha iyi olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar ışığında EK53708 kodlu kalıp setinden elde edilen ürünlerin kaynaşma probleminin minimize edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Sonrasında ekstrüzyon deneylerinde elde edilen numunelerin çekme, sertlik testleri yapılmış ve mikro yapı görüntülemesi gerçekleştirilmiştir. EK53684 kodlu kalıp setinden alınan numuneler ile EK53708 kodlu kalıp setinden elde edilen numunelerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde EK53708 kodlu kalıptan elde edilen numunelerin mekanik özelliklerinin daha iyi olduğu özellikle kaynaşma probleminin görülme ihtimali olan orta kesitte mekanik özelliklerin ilk kalıp tasarımdan alınan ürünlere kıyasla önemli oranda iyileştiği görülmüştür. Buna ek olarak profil orta kısmının iç yapısında da tanelerin boyutlarının küçüldüğü, daha ince taneli bir iç yapı ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin kalıp tasarımında gerçekleştirilen malzeme akışının yönlendirilmesi olduğu anlaşılmaktadır. Kalıp tasarımında ortaya konan farklılıklar Şekil 3.11. de verilen kalıp kesitlerinde belirgin şekilde ortaya çıkmaktadır. Geliştirilmiş EK53708 kodlu kalıp setinde malzeme akışını sıkıştırarak zıvana ve havuz kısmı açı ile daraltılmış ve kaynaşma odasının hacmi 1.8 mm^3 den 1.4 mm^3'e yaklaşık yüzde 30 azaltılarak kaynaşma problemi yaşanan bölgelere daha fazla malzeme gönderilmiştir. Böylelikle malzemenin odacıklara ayrılmasının sonrasında konsolide olarak bu akımların bir bağ kurması sağlanmıştır. Kaynaşma için gereken zaman ve sıcaklık böylelikle arttırılmış olup kaynak kalitesi artış göstermiştir. Mekanik deney sonuçları ve mikroyapı sonuçları incelendiğinde; EK53708 kodlu kalıp seti ürünlerinin kaynak bölgesinde kaynaşma kabiliyetinin artmış olduğu görülmektedir.

Her iki kalıp seti ile elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, iki kalıp setinin de aynı ekstrüzyon presinde aynı işlem parametreleriyle kullanıldıklarında EK53708 koduyla belirtilen iyileştirilmiş kalıp tasarımının daha yüksek kalitede ürün verdiği ve kaynaşma probleminin minimize edildiği gözlemlenmiştir. Yapılan tasarım değişikliğinin kaynaşma problemine çözüm getirdiği ve belirtilen kalıp tasarım iyileştirmelerinin yapılmasının faydalı olduğu ortaya çıkmıştır.

KAYNAKLAR

alüminyumburada.com. https://alüminyumburada.com/blog?=alüminyum-temper-kodları

Ayer, Ö., & Karakaya, İ. (n.d.). *Fem Simulation Study for A Weld Seam Defect of an Extruded Profile*. Retrieved from http://dergipark.gov.tr/tujes

Bayram, H. (n.d.). *Ekstrüzyon Yönteminde Sıcaklık, Ekstrüzyon Hızı Ve Sürtünme Parametrelerinin Profil Kalitesine Etkisinin Araştırılması*. İstanbul.

Bingol, S., & Keskin, M. S. (2007). A quality problem in seam welds in aluminum extrusion. *Archives of Materials Science and Engineering*, *28*(7), 397–400.

Ceretti, E., Fratini, L., Gagliardi, F., & Giardini, C. (2009). A new approach to study material bonding in extrusion porthole dies. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, *58*(1), 259–262. doi: 10.1016/j.cirp.2009.03.010

Chen, G., Chen, L., Zhao, G., & Lu, B. (2017). Investigation on longitudinal weld seams during porthole die extrusion process of high strength 7075 aluminum alloy. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *91*(5–8), 1897–1907. doi: 10.1007/s00170-016-9902-8

Ciminli, E. (n.d.). *Cu/MgB2 Süperiletken Tellerin Toz İçinde Toz Tekniği İle Üretilebilirliğinin İncelenmesi*.

Columbus, O.-, & Fourmann, J. (2017). *Extrusion Defects Fundamentals & Solutions for Optimum Finish Defects framework-6xxx series aluminum alloys Common Extrusion Alloys Soft Alloys Medium Strength Alloys Properties increase Extrudability decrease*.

Dariusz, L., & Pawel, G. (2020). Estimation of extrusion welding conditions for 6xxx aluminum alloys. *Procedia Manufacturing*, *47*(2019), 253–260. doi: 10.1016/j.promfg.2020.04.213

den Bakker, A. J., Katgerman, L., & van der Zwaag, S. (2016). Analysis of the structure and resulting mechanical properties of aluminium extrusions containing a charge weld interface. *Journal of Materials Processing Technology*, *229*, 9–21. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2015.09.013

Dong, Y., Zhang, C., Luo, W., Yang, S., & Zhao, G. (2016). Material flow analysis and extrusion die modifications for an irregular and multitooth aluminum alloy radiator. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *85*(5–8), 1927–1935. doi: 10.1007/s00170-016-8666-5

Engelhardt, M., Kurmajev, S., Maier, J., Becker, C., & Hora, P. (2019). The application of FEA for optimization of die design. *Materials Today: Proceedings*, *10*, 226–233. doi: 10.1016/j.matpr.2018.10.400

Fan, X., Chen, L., Chen, G., Zhao, G., & Zhang, C. (2017). Joining of 1060/6063 aluminum alloys based on porthole die extrusion process. *Journal of Materials Processing Technology*, *250*(July), 65–72. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2017.07.009

Fang, W., Tang, D., Wang, H., Li, D., & Peng, Y. (2020). Optimization of die design for thin-walled flat multi-port tube with the aid of finite element simulation. *Journal of Materials Processing Technology*, *277*(August 2019), 116418. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2019.116418

Gagliardi, F., Ambrogio, G., & Filice, L. (2012). On the die design in AA6082 porthole extrusion. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, *61*(1), 231–234. doi: 10.1016/j.cirp.2012.03.122

Gülmez, Turgut. (n.d.). *İMAL USULLERİ Ders Notları*.

Hart, R. (2023, January 3). *Frequently asked questions – What causes a die line streak on aluminium extrusions?* Retrieved from https://www.linkedin.com/pulse/frequently-asked-questions-what-causes-die-line-streak-richard-hart/

He, Y. F., Xie, S. S., Cheng, L., Huang, G. J., & Fu, Y. (2010). FEM simulation of aluminum extrusion process in porthole die with pockets. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, *20*(6), 1067–1071. doi: 10.1016/S1003-6326(09)60259-4

Kim, Y. T., Ikeda, K., & Murakami, T. (2002). Metal flow in porthole die extrusion of aluminium. *Journal of Materials Processing Technology*, *121*(1), 107–115. doi: 10.1016/S0924-0136(01)01215-8

Koopman, A. J. (2008). Analysis tools for the design of aluminium extrusion dies. In University of Twente, The Netherlands.

Li, Q., Smith, C. J., Harris, C., & Jolly, M. R. (2003). Finite element modelling investigations upon the influence of pocket die designs on metal flow in aluminium extrusion: Part II. Effect of pocket geometry configurations on metal flow. *Journal of Materials Processing Technology*, *135*(2-3 SPEC.), 197–203. doi: 10.1016/S0924-0136(02)00875-0

Liu, Z., Li, L., Li, S., Yi, J., & Wang, G. (2018). Simulation analysis of porthole die extrusion process and die structure modifications for an aluminum profile with high length-width ratio and small cavity. *Materials*, *11*(9). doi: 10.3390/ma11091517

Llorca-Schenk, J., Sentana-Gadea, I., & Sanchez-Lozano, M. (2021). Design of porthole aluminium extrusion dies through mathematical formulation. *Materials Today Communications*, *27*, 102301. doi: 10.1016/j.mtcomm.2021.102301

Qamar, S. Z., Arif, A. F. M., & Sheikh, A. K. (2004). Analysis of product defects in a typical aluminum extrusion facility. *Materials and Manufacturing Processes*, *19*(3), 391–405. doi: 10.1081/AMP-120038650

Valberg, H. S., Lefstad, M., & de Moraes Costa, A. L. (2020). On the mechanism of formation of back-end defects in the extrusion process. *Procedia Manufacturing*, *47*, 245–252. doi: 10.1016/j.promfg.2020.04.207

Walker, J. (n.d.). *Streaking on Aluminium alloy extrusions*.

Wikipedia.org. https://tr.wikipedia.org/wiki/Sonlu_elemanlar_yöntemi

Xianghong, W., Guoqun, Z., Yiguo, L., & Xinwu, M. (2006). Numerical simulation and die structure optimization of an aluminum rectangular hollow pipe extrusion process. *Materials Science and Engineering A*, *435–436*, 266–274. doi: 10.1016/j.msea.2006.06.114

YI, J., WANG, Z. hu, LIU, Z. wen, ZHANG, J. ming, & HE, X. (2018). FE analysis of extrusion defect and optimization of metal flow in porthole die for complex hollow aluminium profile. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, *28*(10), 2094–2101. doi: 10.1016/S1003-6326(18)64853-8

Yu, J., & Zhao, G. (2017). Study on the welding quality in the porthole die extrusion process of aluminum alloy profiles. *Procedia Engineering*, *207*, 401–406. doi: 10.1016/j.proeng.2017.10.795

Yu, J., & Zhao, G. (2018). Interfacial structure and bonding mechanism of weld seams during porthole die extrusion of aluminum alloy profiles. *Materials Characterization*, *138*(December 2017), 56–66. doi: 10.1016/j.matchar.2018.01.052

Yu, J., Zhao, G., & Chen, L. (2016). Analysis of longitudinal weld seam defects and investigation of solid-state bonding criteria in porthole die extrusion process of aluminum alloy profiles. *Journal of Materials Processing Technology*, *237*, 31–47. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2016.05.024

Yu, J., Zhao, G., Cui, W., Chen, L., & Chen, X. (2019). Evaluating the welding quality of longitudinal welds in a hollow profile manufactured by porthole die extrusion: Experiments and simulation. *Journal of Manufacturing Processes*, *38*(November 2018), 502–515. doi: 10.1016/j.jmapro.2019.01.044

Yu, J., Zhao, G., Cui, W., Zhang, C., & Chen, L. (2017). Microstructural evolution and mechanical properties of welding seams in aluminum alloy profiles extruded by a porthole die under different billet heating temperatures and extrusion speeds. *Journal of Materials Processing Technology*, *247*(April), 214–222. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2017.04.030

Zhang, C., Dong, Y., Zhao, G., & Chen, L. (2017). Experimental and numerical investigations on transverse weld of hollow aluminum profile during porthole extrusion process. *Procedia Engineering*, *207*, 1653–1658. doi: 10.1016/j.proeng.2017.10.1095

ÖZGEÇMİŞ

İsmail KARAKAYA; 1983 yılında Sivas da doğdu. İlk ve orta öğrenimimi Yatağan/Muğla da tamamladıktan sonra liseyi Gebze/Kocaeli de Fevzi Çakmak lisesinde okudu.2001 yılında Mersin Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü kazandım. 2006 yılında mezun olduktan sonra kalıp sektörü dışında iki firmada çalıştı. 2008 yılında Eksenal firmasına başlayarak Alüminyum Ekstrüzyon Kalıp sektörüne girdi. Türkiye de ekstrüzyon kalıp sektöründe tek Tasarım Merkezi olan Eksenal da 3 Tübitak projesinde proje yöneticisi olarak görev aldı.

EksenAL firmasında Tasarım Merkezi sorumlusu olarak görevine devam etmektedir.