

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON KALIP TASARIMINDA
BİLGİSAYAR UYGULAMALARI

AYŞE YAŞAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Doç. Dr. ÖNDER AYER

EDİRNE-2024

AYŞE YAŞAR'ın hazırladığı “**ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON KALIP TASARIMINDA BİLGİSAYAR UYGULAMALARI**” başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalında bir **Yüksek lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	İmza
Doç. Dr. Önder AYER
Doç. Dr. Gürkan İRSEL
Doç. Dr. Ümit HÜNER

Tez Savunma Tarihi: 03/01/2024

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Doç. Dr. Önder AYER
Tez Danışmanı

İmza

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

.....
Prof. Dr. Özlem ÇETİN ERDOĞAN
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.

03 / 01 / 2024

Ayşe YAŞAR

İmza

Yüksek Lisans Tezi

Alüminyum Ekstrüzyon Kalıp Tasarımında Bilgisayar Uygulamaları

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Bu tez çalışmasında, plastik şekil verme yöntemlerinden biri olan ekstrüzyon ile karmaşık şekilli alüminyum profillerin hurdaya atılacak malzeme miktarını azaltarak, kısa sürede kaliteli profilleri elde etmek için uygun tasarımlı alüminyum ekstrüzyon kalıplarının üretilmesi test edilmiştir.

İstenilen alüminyum profilin üretilebilirlik analizi yapılmıştır. Profil üretimi için gerekli olan parametreler pres seçimi, kalıp çapı, ekstrüzyon oranı, figür sayısı ve bolster gibi faktörlerdir. Kalıp tasarımı iki boyutlu AutoCAD yazılımı kullanılarak çizildi.

Alüminyum ekstrüzyon işlemi, Extrude Metal yazılımı kullanılarak simüle edildi. Bu simülasyon programı, sıcaklık, hız, basınç ve biyet gibi faktörlere dayalı olarak sürecin önceden tahmin edilmesine yardımcı olur. Bu yöntem, kalıbın gerçekte deneme ve yanılma sürecine ihtiyaç duymadan daha etkili bir şekilde tasarlanmasını ve ekstrüzyon işlemi sırasında atık malzeme miktarının minimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu sayede daha uzun ömürlü kalıplar kullanarak daha yüksek ürün verimliliği elde etme hedeflenmiştir.

Yıl : 2024

Sayfa Sayısı : 92

Anahtar Kelimeler : Alüminyum Ekstrüzyon, Tasarım, Simülasyon, Metal Ekstrüzyonu

Master's Thesis

Computer Aided Engineering Applications in Aluminum Extrusion Die Design

T.U. Institute of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

ABSTRACT

In the thesis, the production of well-designed aluminum extrusion dies for the extrusion procedure, which is a plastic shaping method, was tested to reduce the amount of scrap material from complex-shaped aluminum profiles and obtain quality profiles quickly.

The producibility analysis of the desired aluminum profile was conducted, and the parameters required for profile production, such as press selection, die diameter, extrusion ratio, number of figures, and bolster, were determined. The die design was created using two-dimensional AutoCAD software.

The aluminum extrusion process was simulated using Extrude Metal software. This simulation program helps predict the process based on factors such as temperature, speed, pressure, and billet. The aim of this method is to design molds more effectively without the need for really need trial and error, and to minimize the waste material during the extrusion process. This, in turn, aims to achieve higher product efficiency by using longer-lasting dies.

Year : 2024

Number of Pages : 92

Keywords : Aluminum Extrusion, Design, Simulation, Metal Extrusion

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamda; her konuda yardımlarını esirgemeyen ve çalışmalarına yön verip beni destekleyen, değerli hocam, Sayın Doç. Dr. Önder AYER'e en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tezimin deneysel kısımlarında ve hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen Makine Yüksek Mühendisi İsmail KARAKAYA ve Eksenal'ın Kurucusu sayın Zafer TOPAL'a ve Eksenal aileme bana bu imkanı tanıdıkları için teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her daim yanımda olan babama, anneme, kardeşlerime, canım anneanneme ve biricik yeğenim Çınar'a, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim sürecinde beni her zaman cesaretlendiren, destekleyen ve her daim yanımda olan değerli nişanlım Mekatronik Mühendisi Aytuğ Onurhan EFİL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayşe YAŞAR

KOCAELİ 2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	5
ALÜMİNYUMUN ŞEKİLLENDİRİLMESİ	5
2.1. Alüminyum ve Alaşımları	10
2.1.1. Dökme Alüminyum Alaşımları	10
2.1.1.1. 1xx.x alaşımları	11
2.1.1.2. 2xx.x alaşımları	11
2.1.1.3. 3xx.x alaşımları	12
2.1.1.4. 4xx.x alaşımları	12
2.1.1.5. 5xx.x alaşımları	12
2.1.1.6. 6xx.x alaşımları	13
2.1.1.7. 7xx.x alaşımları	13
2.1.1.8. 8xx.x alaşımları	13
2.2. Alüminyum Temper Kodları (Termik İşlemleri)	14
2.3. Alüminyum Alaşımlarında Elementlerin Etkisi	15
2.4. Şekil Verme Yöntemleri	18
2.5. Alüminyum Şekillendirilmesinde Kullanılan Üretim Yöntemleri	18
2.5.1. Döküm	18
2.5.2. Kaynak	19
2.5.3. Talaşlı İmalat Yöntemleri	20
2.5.4. Metallere Plastik Şekil Verme Yöntemleri	20
2.6. Ekstrüzyon Nedir?	21
2.6.1. İleri (Direk) Ekstrüzyon Yöntemi	22
2.6.2. Endirekt (Geri) Ekstrüzyon Yöntemi	24
2.6.3. Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi	25
2.7. Ekstrüzyon Prosesini Etkileyen Faktörler	27

2.7.1. Ekstrüzyon Türü	27
2.7.2. Ekstrüzyon Oranı	27
2.7.3. Çalışma Sıcaklığı	27
2.7.4. Ekstrüzyon Hızı	28
2.7.5. Malzemenin Akma Gerilmesi	28
2.8. Ekstrüzyon Kusurları	29
2.8.1. Ekstrüzyon Sırasında Ortaya Çıkan Kusurlar	29
2.8.1.1. Çapaklanma-Silisyum Çapaklanması (Pick up)	30
2.8.1.2. Kalıp İzi (Die Lines)	30
2.8.1.3. Sıcak Yırtılma (Tearing)	31
2.8.1.4. Hava Kabarcık Oluşumu (Blisters)	32
2.8.1.5. Baş-Son Hatası (Front End/Back End Coring Defect)	33
2.8.1.6. Kalın Çizgi-Bant Oluşumu (Die Streak)	34
2.8.1.7. Hız Çatlakları (Speed Cracking)	35
2.8.1.8. Ekstrüzyon Kaynağı (Kaynaşma) Hatası (Welding)	35
2.8.2. Ekstrüzyon Sonrasında Ortaya Çıkan Kusurlar	37
2.8.3. Eloksoal Sonrasında Ortaya Çıkan Kusurlar	37
BÖLÜM 3	38
ALÜMİNYUM EKSTRÜZYON KALIPLARI	38
3.1. Ekstrüzyon Kalıpları	38
3.1.1. Solid Kalıplar	39
3.1.2. Zıvanalı (Köprülü) Kalıplar	40
3.2. Ekstrüzyon Kalıp Tasarımı ve Üretimi	43
3.2.1. Kalıp Tasarım Aşamaları	44
3.2.2. Kalıp Üretim aşamaları	53
3.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi	55
3.4. Kalıp Tasarımında Sonlu Elemanlar Yazılımı	56
3.4.1. Adım 1: Modelleme ve Import Etme	57
3.4.2. Adım 2: Birleştirme	58
3.4.3. Adım 3: Negatif (Akış Hacmi) Oluşturma	58
3.4.4. Adım 4: Profilin ve Sürtünme Yüzeyinin Oluşturulması	59
3.4.5. Adım 5: Geçiş Bölgelerini Kontrolü	60
3.4.6. Adım 6: Profil, 1.-2. Havuz ve Zıvana Akış Yerlerinin Belirlenmesi	61
3.4.7. Adım 7: Biyet Çapı ve Uzunluğunun Belirlenmesi	62
3.4.8. Adım 8: Alüminyum Alaşımının Seçimi	63
3.4.9. Adım 9: Üretim Şartlarının Belirlenmesi	64
BÖLÜM 4	65
MATERYAL VE YÖNTEM	65
4.1. Profil Seçimi	65
4.2. Ekstrüzyon Deneyleri ve Profil Üretimi	66

BÖLÜM 5	69
SONUÇLAR	69
5.1. Sonlu Elemanlar Yazılımı HyperXtrude Sonuçları	69
BÖLÜM 6	75
YORUMLAR ve TARTIŞMA	75
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	80



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Ekstrüzyon Şematik Gösterimi	21
Şekil 2.2. Direkt Ekstrüzyon	22
Şekil 2.3. Direkt Ekstrüzyon Yönteminin Kuvvet Eğrisi	23
Şekil 2.4. Endirekt Ekstrüzyon Yönteminin Kuvvet Eğrisi	24
Şekil 2.5. Hidrostatik ekstrüzyon	26
Şekil 2.6. Silisyum Çapaklanması	30
Şekil 2.7. Kalıp İzi	31
Şekil 2.8. Sıcak Yırtılma	32
Şekil 2.9. Hava Kabarcığı Oluşumu	33
Şekil 2.10. Baş Son Hatası Görünüm	34
Şekil 2.11. Bant Oluşumu	34
Şekil 2.12. Hız Çatlakları	35
Şekil 2.13. Kaynaşma Hatası	36
Şekil 3.1. Ekstrüzyon Ürünlerine Göre Kalıp Seçimi Şematik	38
Şekil 3.2. Solid Kalıp Örneği	39
Şekil 3.3. Zıvanalı Kalıp Örneği	40
Şekil 3.4. Zıvanalı Kalıbın Bölümleri	41
Şekil 3.5. Kalıp Genel Görünümü	49
Şekil 3.6. Odacıkların Oluşturulması	49
Şekil 3.7. Zıvana Alanını Belirleme	50
Şekil 3.8. Zıvana Yükseklik Hesaplama	51
Şekil 3.9. Yan Kesit Oluşturma	51
Şekil 3.10. Kalıp Tasarımının Tamamlanmış Gösterimi	52
Şekil 3.11. Kalıp Kesit Görünümü EK57301	53
Şekil 3.12. Kalıp Üretimi Planlama Akış Şeması	54
Şekil 3.13. Modelleme ve Import Etme	57
Şekil 3.14. Birleştirme	58
Şekil 3.15. Negatif (Akış Hacmi) Oluşturma	59
Şekil 3.16. Profilin ve Sürtünme Yüzeyinin Oluşturulması	59
Şekil 3.17. Geçiş Bölgelerini Kontrolü	60
Şekil 3.18. Profil, 1. Havuz, 2. Havuz ve Zıvana Akış Yerlerinin Belirlenmesi	61
Şekil 3.19. Biyet Çapı ve Uzunluğunun Belirlenmesi	62
Şekil 3.20. Alüminyum Alaşımının Seçimi	63

Şekil 3.21. İşlem Parametrelerinin Programa Tanıtılması	64
Şekil 4.1. Ürün Boyutları	66
Şekil 4.2. Biyet Isıtma İşlemi	67
Şekil 4.3. Profilin Kalıp Çıkış Görüntüsü	68
Şekil 5.1. EK57301 Kodlu Kalıbın Akış Hızı Dağılımı 1. Simülasyon Sonucu	69
Şekil 5.2. EK57301-1 Kodlu Kalıbın Akış Hızı Dağılımı 2. Simülasyon Sonucu	70
Şekil 5.3. EK57301-2 Kodlu Kalıbın Akış Hızı Dağılımı 3. Simülasyon Sonucu	71
Şekil.5.4. EK57301 Ürün Çıkış Sıcaklık Dağılımı	72
Şekil.5.5. EK57301-1 Ürün Çıkış Sıcaklık Dağılımı	73
Şekil.5.6. EK57301-2 Ürün Çıkış Sıcaklık Dağılımı	74



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Alaşımların Sınıflandırılması	11
Çizelge 4.1. AA6063 Alüminyum Kimyasal Bileşimi	67



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Alüminyum, kimyasal sembolü ‘‘Al’’ ile temsil edilen, periyodik tabloda 3A grubunda bulunan ve atom numarası 13 olan kimyasal bir elementtir. Alüminyumun yoğunluğu 25°C sıcaklıkta 2,698g/cm³ olarak ölçülür. Ergime sıcaklığı 659,7°C’dir ve kaynama sıcaklığı ise 2057°C olarak tespit edilmiştir. Alüminyum kimyasal özellikleri nedeniyle oldukça dikkat çeken bir elementtir. Bu metal, hafif bir yapıya sahip ve aynı zamanda yumuşaktır. Ayrıca, dış görünüşü mat gümüş rengindedir. Alüminyum, düşük yoğunluğa sahip bir metal olması nedeniyle hafif bir malzemedir. Atmosfer ile temas ettiğinde kendi kendine doğal bir oksit tabakası oluşturarak korozyona karşı yüksek dayanıklılığa sahip olur, bu da onu paslanmaya karşı korur. Ayrıca elektrik ve ısıyı etkili bir şekilde iletebilen bir metaldir, bu yüzden birçok kullanım alanında elektrik kabloları ve ısı değiştiriciler gibi tercih edilen bir malzeme olarak kullanılır. Doğal alüminyumun çekme dayanımı 49 Megapascal (MPa) düzeyindedir, ancak alaşım yapıldığında bu değer 700 MPa a kadar yükselir. Aynı zamanda geri dönüşüm açısından son derece elverişli bir malzemedir. Kolayca dönüştürülebilir ve birden fazla kez eritilebilir. Bu nedenle alüminyum işlenmesi basit bir metal olarak tanınır ve bu sebeple rahatlıkla form verilebilir ve işlenebilir.

Alüminyum, çok çeşitli sektörde kullanılan son derece yönlü bir malzemedir. Örneğin, ulaşım sektöründe hafifliği sayesinde otomobillerden kamyonlara, uçaklardan trenlere ve bisikletlere kadar geniş bir yelpazede tercih edilir. Ayrıca uzay mekiklerinden uzay roketlerine ve uydulara kadar uzay endüstrisinde kullanılır. İnşaat sektöründe ise pencere çerçeveleri, kapı, merdiven korkulukları, iskele ve cephe kaplamaları gibi malzemelerin üretiminde kullanılır. Ambalaj endüstrisinde alüminyum folyo ve kaplar gıda ürünlerinin korunmasında önemli bir rol oynar. Elektrik ve elektronik cihazlar için soğutma sistemlerinde alüminyumun kullanımı yaygındır. Ayrıca mutfak eşyaları, aydınlatma ürünleri, soğutucular, süs eşyaları ve takılarda kullanılması bu malzemenin dayanıklılığı, düşük yoğunluğu ve geri dönüşüm kolaylığı sayesinde gerçekleşmektedir.

Alüminyum ekstrüzyon işlemi, malzemenin belirli bir sıcaklık aralığında işlenmesini içeren karmaşık bir üretim sürecini ifade eder. Genellikle bu süreç, alüminyum 470-480°C arasında ısıtılması ile 510-520°C değerlerinde imalat gerçekleşir. Ardından özel tasarlanmış kalıplar kullanılarak istenen şeklin verilmesi ile gerçekleştirilir. Bu işlem sonucunda elde edilen ürün, istenilen çıkış sıcaklığına ulaştığında termik işlem (doğal yaşlandırma) ile bir süre daha işlenir. Ancak, ekstrüzyon süreci boyunca karşılaşılan bazı potansiyel sorunlar söz konusudur. Bu sorunlar, ürünlerde ölçü bozukluğuna, kalıpların kırılmasına, istenen sertlik düzeyinin elde edilmesine, malzemeler arasındaki kaynaşma sorunlarına ve iç uzamaya neden olabilir. Bu tür kusurların giderilmesi, alüminyum sektöründe üretim verimliliğini artırmak ve kaliteyi sağlamak adına büyük bir öneme sahiptir.

Alüminyum ekstrüzyon işlemi, ham malzemenin hazırlanmasından son ürünün sevkiyatına kadar olan geniş bir üretim sürecini içerir. Bu süreçte, ekstrüzyonun temel adımını oluşturan ve üretim sürecinin en önemli adımlarından biri olarak kabul edilen aşama, kalıp tasarımıdır. Kalıp tasarımı, alüminyum ekstrüzyon işleminde doğru sonuçlar elde edilmesi için önemli bir aşamadır. Alüminyum ekstrüzyonu, hammaddenin ilk döküm aşamasından başlayarak, ekstrüzyon hattından çıkan ürünün kullanıcıya ulaşana kadar geçen geniş bir üretim sürecini içermektedir. Bu süreçte, ekstrüzyonun temel adımını oluşturan ve genellikle üretim sürecinin en önemli adımlarından biri olarak kabul edilen aşama, kalıp tasarımıdır. Kalıp tasarımı, alüminyum ekstrüzyonunun doğru sonuçlar elde edilmesi için önemli bir aşamadır.

Kalıp tasarımı, malzemenin akışını yönlendirir ve sonucunda ürünün geometrik ve mekanik özelliklerini belirler. Bu nedenle, aynı profil için farklı tasarım yaklaşımları ve davranışları kullanmak mümkündür. Kalıp tasarımının etkili bir şekilde gerçekleştirilmesi, ürün kalitesini artırır, üretim verimliliğini optimize eder ve maliyetleri düşürür. Bu bağlamda, kalıp tasarımı, alüminyum ekstrüzyon endüstrisinde profillerinin iyileştirilmesinde büyük bir öneme sahip olan bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ekstrüzyon işleminde, malzeme akışını doğru bir şekilde tasarlamak büyük bir öneme sahiptir. Sıcaklık, basınç, biyetin kimyasal ve mekanik özellikleri, kullanılan presin özellikleri gibi faktörler, malzeme akışını belirleyen kilit değişkenlerdir. Ayrıca, kalıp içindeki metal akışı, ürünün iç yapısını ve mekanik özelliklerini de belirleyen bir

faktördür. Bu nedenle, farklı araştırmacılar, kalıp içinde malzeme akışını doğru bir şekilde tahmin etmeyi amaçlayan çalışmalar gerçekleştirmişlerdir.

Marin ve ekibi, gerçekleştirdikleri araştırmada, ekstrüzyon işleme sıcaklığın etkisini araştırmışlardır. Sonlu elemanlar yöntemi tabanlı yazılımlar kullanarak, farklı sıcaklık değerlerine göre gereken yükü ve çıkış hızlarını hesaplayarak, en üstün ekstrüzyon kalitesine ulaşmak için en ideal kalıp ve biyet sıcaklıklarını belirlemişlerdir (Marín vd., 2017).

Wang ve ekibi, HyperXtrude yazılımı kullanarak ekstrüzyon sürecini simüle ettiler. Kullandıkları yöntem, ekstrüzyon simülasyonları ve benzer metal şekillendirme simülasyonlarında büyük bir öneme sahip olan Lagrangian-Eulerian aę yeniden yapılandırma tekniğidir. Bu simülasyon çalışmasının sonucunda, simülasyon sonuçları ile deneysel sonuçlar arasındaki uyum tespit edilmiştir (Wang vd., 2012).

X. Ma ve ekibi, alüminyum ekstrüzyon kalıbı üzerindeki profilin sürtünme koşullarını araştırmışlardır. Profilin elde edilen yüzey kalitesini iyileştirmek amacıyla geçiş bölgelerinin uzunluğunu değiştirerek yüzey kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmak için deneyler gerçekleştirmişler ve deney sonuçlarının uyumlu olduğunu gözlemlemişlerdir (Ma vd., 2012).

Li ve ekibi, çok figürlü bir kalıbın malzeme akışını sonlu elemanlar yöntemi kullanarak modellemiştir (Li vd., 2003).

He ve ekibi, zıvanalı kalıpları kullanarak yürüttükleri çalışmada, malzeme akışını inceleyip kalıp tasarımına cepler eklenmesinin malzeme akışını geliştirdiği, bu nedenle daha düşük ekstrüzyon kuvvetlerinin gözlemlendiği sonucuna varmışlardır (He vd., 2010).

Kim ve ekibinin yaptığı çalışma, zıvanalı kalıpların malzeme akışını incelemek amacıyla 1XXX serisine ait iki farklı alüminyum alaşımını kullanmışlardır. Bu çalışmada, bu iki farklı alüminyumun zıvanalı kalıplar üzerindeki malzeme akışına olan etkilerini detaylı bir şekilde incelemişlerdir (Kim vd., 2002).

Gagliardi ve ekibi, odacıklı kalıp tasarımını en verimli ve hata olmadan gerçekleştirmek, ayrıca kaynak bölgesinde oluşacak profilin tahminini yapmak için Sonlu Elemanlar yöntemini kullanmışlardır (Gagliardi vd., 2012).

Llorca-Schenk ve ekibi, kalıp tasarımı matematiksel olarak ifade etmeye çalışmışlardır. Bu amaçla, 4 odacıklı ve 4 figürlü zıvanalı kalıplar için örnek bir tasarım üzerinde çalışmışlar ve Sonlu Elemanlar yöntemini kullanarak deneme yanılma sürelerini kısaltmayı hedeflemişlerdir. Kaynama odası üzerinden yaptıkları hesaplamalarla en uygun malzeme akışını sağlayan bir kalıp elde etmeyi amaçlamışlardır (Llorca-Schenk vd., 2021).

Yukarıda ifade edilen, bir profilin kalıptan düzgün bir şekilde çıkarılması için yazılımların kullanılmasıyla oluşabilecek sorunları önceden tanımlamak ve bu sorunları çözmek veya azaltmak, üretim endüstrisi için son derece kritik bir konudur. Bu problem, sektör için büyük bir öneme sahip olup, bu sorunun çözülmesi, üretim süreçlerinin daha verimli ve hatasız hale getirilmesini sağlamak açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu yüksek lisans tezi, bu sorunu ele alarak kalıp tasarımı sürecinde uygulanabilecek tasarım kriterlerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu tez çalışması, alüminyum ekstrüzyon endüstrisine önemli katkılar sağlamayı hedeflemekte olup, hammadde kayıplarını azaltarak ve verimliliği artırarak sektöre pratik bir çözüm sunmayı planlamaktadır. Ülkemizde büyük bir üretim hacmi olan alüminyum ekstrüzyon süreçlerinde yaşanan hurda sorunu, ciddi maliyet ve zaman kayıplarına neden olmaktadır. Bu tez çalışması, sektörün bu önemli sorununa yönelik çözüm arayışını temsil etmekte ve uzun ömürlü kalıpların kullanılmasını teşvik ederek daha yüksek ürün verimliliğinin elde edilmesine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

BÖLÜM 2

ALÜMİNYUMUN ŞEKİLLENDİRİLMESİ

Alüminyum, kimyasal elementlerle kolayca bileşikler oluşturabilme özelliği sayesinde çeşitli alüminyum alaşımlarının geliştirilmesine imkan verir. Bu alaşımların bileşimine eklenen küçük miktarlardaki katkı maddeleri, alaşımın özelliklerini büyük ölçüde değiştirme kabiliyetine sahiptir ve farklı uygulama alanlarında kullanılmasını sağlar.

Alüminyum, demirden yaklaşık üç kat daha hafif olmasına rağmen aynı derecede dayanıklılığa sahiptir. Ek olarak, yüzeyi sağlam bir oksit film tabakası ile kaplı olduğundan korozyona karşı son derece dirençlidir. Bu nitelik, alüminyumun uzun ömürlü ve dış etkenlere karşı dayanıklı uygulamalarda ideal bir malzeme olmasına katkı sağlar.

Alüminyum, yüksek ve düşük sıcaklıklarda her ikisinde de baskı altında rahat işlenebilen bir malzeme olarak öne çıkar. Bu, alüminyumun rulo yapılabilmesini, çekilebilmesini ve şekillendirilebilmesini olanaklı kılar. Esnek yapısı sayesinde, son derece ince mikronlarda folyolar ve ekstra ince teller gibi ürünler üretmek de mümkün hale gelir. Bu özellikler, alüminyumun birçok endüstriyel ve ticari kullanım alanında geniş bir yelpazede kullanılabilmesine büyük katkı sağlar.

Alüminyum ve alüminyum alaşımları, işlenmesi kolay olması, hafif olması ve korozyona karşı direnç göstermesi gibi özelliklerinden dolayı endüstride ve yeni teknoloji alanlarında da kullanımını sürekli artan bir metaldir. Alüminyumun temel özellikleri aşağıda belirtilmiştir:

- Hafiflik ve Sağlamlık: Alüminyumun yoğunluğu yaklaşık $2,7 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Alüminyum, çelikten yaklaşık üçte biri kadar hafif bir malzemedir. Hafifliği ve bu düşük yoğunluk özelliği, özellikle havacılık, uzay ve otomotiv gibi taşımacılık sektörlerinde büyük öneme sahiptir.

- **Mekanik özellikler:** Alüminyum alaşımlarının dayanıklılığı, mukavemeti, sertliği ve diğer mekanik özellikleri, gerektiğinde ısıtım işlem yöntemleriyle artırılabilir. Bu, alüminyum alaşımlarının önemli bir avantajıdır ve uygulama çeşitliliğini genişletir. Çelik takviyeler, Silisyum (Si), Bakır (Cu), Magnezyum (Mg), Çinko (Zn), Krom (Cr), Titanyum (Ti), Lityum (Li) gibi takviyeler kullanım alanlarına göre alüminyuma dayanım sağlar. Alüminyumun temel mekanik özelliklerinden biri elastisite modülüdür. Saf alüminyumun sertliği genellikle yaklaşık olarak 19-20 Brinell (BH) civarındadır. Ancak alaşım eklenerek bu değer 120 BH'a kadar artırılabilir. Bu alüminyum alaşımlarının mekanik mukavemetini artırma potansiyelini göstermektedir. Ayrıca bazı aşınma alaşımlarının çekme mukavemeti yaklaşık olarak 90 MPa dan 60 MPa ya kadar oldukça geniş bir aralıkta değişebilir. Elastisite modülü alüminyum alaşımlarının temel mekanik özelliklerinden biridir. Saf alüminyumun sertliği genellikle yaklaşık olarak 19-20 BH civarındadır. Ancak alaşımlar eklenerek bu değer 120BH a kadar artırılabilir. Bu alüminyum alaşımlarının mekanik mukavemetini artırma potansiyelini göstermektedir.

- **Korozyon Özellikleri:** Alüminyum, atmosfere maruz kaldığı zaman ince bir oksit tabakası oluşturur. Oksit tabakası hasara uğradığında hızla kendini yeniler. Genellikle 1 ila 8 nanometre kalınlığında bir oksit tabakası oluşturur, bu da onu korozyona karşı korur. Alüminyum sektörü, bu oksit tabakasının sayesinde alüminyumun korozyona karşı dayanıklı hale gelmesinden büyük ölçüde faydalanır. Ancak, diğer pasif metaller gibi, koruyucu bir oksit tabakası oluştururken halojen iyonlarına karşı hassas hale gelirler ve bölgesel korozyona (oyuk oluşumuna) karşı kolayca savunmasız hale gelebilirler.

- **Toksikolojik Direnç:** Toksikolojik direnci, özellikle endüstriyel ve mutfak aletlerinin imalatında sıklıkla tavsiye edilen bir özellik haline gelmiştir. Bu özellik, gıda ve ilaç ambalajı gibi pek çok endüstride geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Özellikle ambalaj sektöründe toksikolojik direnç özelliği, ürünlerin güvenli bir şekilde saklanmasına ve taşınmasına olanak tanıırken, endüstriyel ürünlerin dayanıklılığı ve uzun ömürlü olması konusunda da büyük avantaj sağlıyor. Bu nedenle bu özellik, çeşitli endüstrilerde ürünlerin kalitesini ve dayanıklılığını artırmak için yaygın olarak kullanılır.

- **Termal ve Elektriksel İletkenlik:** Alüminyum, üstün bir elektrik iletim özelliğine sahip bir malzemedir. Bu nedenle, elektrik gücünün iletimi gereken birçok uygulamada yaygın olarak kullanılır. Alüminyumun yüksek elektrik iletkenliği, enerji iletimi sırasında enerji

kayıplarını en aza indirir ve böylece sistem verimliliğini artırır. Bu önemli özellik, elektrik kablolarının ve enerji dağıtım sistemlerinin inşasında ve günlük kullanımında vazgeçilmez bir tercih haline getirir. Ayrıca, alüminyum, etkili bir şekilde ısı iletebilen iyi bir termal iletkenidir. Bu, alüminyumun ısı dağılımı ve soğutma uygulamalarında geniş bir kullanım yelpazesi bulmasını sağlar. Örneğin, alüminyumun ısı emici malzemeleri ısıtma sistemlerinde ve radyatörlerde büyük avantajlar sunar. Bilgisayarlar, elektronik cihazlar ve otomotiv endüstrisi gibi birçok sektör, alüminyumun termal iletim yeteneklerinden yararlanır. Alüminyumun bu çift özellikleri, onu birçok mühendislik ve endüstriyel uygulamada çok değerli bir malzeme haline getirir. Yüksek elektrik iletimi ve termal iletkenlik, alüminyumun enerji verimliliğini artırma ve tasarruf sağlama konusundaki önemini vurgular.

- **Yüksek ısı ve ışık yansımaları:** Alüminyumun üstün ısı ve ışık yansıtma özellikleri, bu metali çok sayıda farklı alanda kullanılabilir kılar. Yüksek ısı yansıtma kabiliyeti, alüminyumun ısının büyük bir kısmını yansıttığını gösterir. Dolayısıyla, alüminyum güneş enerjisi toplama panelleri ve ısı yalıtım malzemeleri gibi uygulamalarda önemli bir rol oynar. Güneş enerjisi panelleri, güneş ışığını yakalayıp enerji üretirken aynı zamanda aşırı ısınmanın önüne geçmek için ısıyı yansıtarak tasarlanır. Isı yalıtım malzemeleri, binaların ısı kayıplarını en aza indirmek amacıyla alüminyum kaplamalar kullanır. Alüminyumun yüksek ışık yansıtma özelliği ise, bu metalin aydınlatma uygulamalarında da yaygın olarak kullanılmasına olanak tanır. Alüminyum yüzeyler, ışığı etkili bir şekilde yansıtarak aydınlatma sistemlerinin verimliliğini artırır. Bu nedenle, aydınlatma armatürleri, reflektörler ve aydınlatma tasarımlarında sıkça alüminyum tercih edilir. Alüminyumun ısı ve ışık yansıtma özellikleri, enerji tasarrufu, güneş enerjisi kullanımı ve daha verimli aydınlatma sistemleri gibi birçok uygulamada büyük öneme sahiptir. Bu özellikler, alüminyumun inşaat sektöründen aydınlatma endüstrisine, güneş enerjisi teknolojilerinden birçok başka sektöre kadar geniş bir yelpazede tercih edilmesini sağlar.

- **Metalotermik Reaksiyonlarda Kullanım:** Alüminyum, metalotermik reaksiyonlarda oldukça yaygın bir şekilde kullanılan bir materyaldir. Bu tür reaksiyonlar, farklı endüstrilerde ve uygulamalarda önemli bir rol oynar. Alüminyum, kaynak işlemlerinde sıklıkla başvurulan bir malzemedir. Özellikle demir, çelik ve diğer metallerin kaynak işlemlerinde, alüminyumun kullanılması, yüksek sıcaklıklarda metaller arasında güçlü bir

bağ oluşturmaya yardımcı olur. Bu metot, demirli rayların birleştirilmesi gibi demiryolu endüstrisinde önemli bir rol oynar.

Metalurjik süreçlerde, alüminyum çeşitli metallerin saflaştırılması ve rafine edilmesi için yaygın bir şekilde kullanılır. Bu reaksiyonlarda, alüminyum oksit, metal oksitlerini indirgeyerek metallerin saflaştırılmasına önemli katkı sağlar. Demir döküm endüstrisinde de alüminyumun yaygın bir kullanımı vardır. Bu reaksiyonlarda, alüminyum, metal oksitlerini indirgeyerek demirin üretimini kolaylaştırır. Alüminyum tozu, yangın söndürme uygulamalarında etkili bir şekilde kullanılabilir. Alüminyum tozu, yangın söndürme cihazlarında kullanıldığında, oksijenle reaksiyona girerek yüksek sıcaklıklı yanma sürecini başlatır ve bu şekilde yangının kontrol altına alınmasına yardımcı olur. Demir yapılarıdaki sökme ve geri dönüşüm işlemlerinde de alüminyumun metalotermik reaksiyonlarına başvurulur. Bu yöntem, demir yapının çökertilmesi ve malzemenin geri dönüşümü için oldukça etkili bir seçenektir. Tüm bu uygulamalar, alüminyumun metalotermik reaksiyonlardaki önemini ve çeşitli endüstrilerdeki kullanımını vurgular.

- **Kolay Şekillendirilebilirlik ve İşlenebilirlik:** Alüminyumun düşük yoğunluğu ve yüksek mukavemeti, kolayca şekil verilmesini mümkün kılar. Bu, alüminyumun döküm, haddeleme, çekme veya ekstrüzyon gibi çeşitli işlemlerle farklı şekillerde form almasını sağlar. İnşaat sektöründe, alüminyumun profil, çubuk veya levha şeklinde kullanılması, tasarım esnekliğini artırır. Aynı zamanda, alüminyumun işlenebilirliği dikkate değerdir. Tornalama, frezeleme, kaynak yapma gibi işlemler alüminyumla kolayca gerçekleştirilebilir. Bu, karmaşık parçaların üretimini kolaylaştırır ve ayrıca alüminyum parçaların kesilmesi, delinmesi ve kaynaklanması gibi işlemler de verimli bir şekilde gerçekleştirilebilir. Alüminyumun hafifliği, taşıma ve montaj süreçlerini büyük ölçüde kolaylaştırır. Bu özellik, otomotiv ve havacılık endüstrilerinde, araçların ve uçakların hafifletilmesi ve yakıt verimliliğinin artırılması için tercih edilir. Ayrıca, alüminyumun doğal olarak oluşan bir pas koruyucu tabakası bulunur. Bu, paslanma ve korozyonla mücadeleyi önemli ölçüde azaltır. Alüminyum, açık hava uygulamaları ve denizcilik sektörü gibi çevresel etmenlerin etkili olduğu alanlarda tercih edilen bir malzemedir. Bu özellikler, alüminyumun endüstriyel tasarım, inşaat, otomotiv, havacılık, elektronik ve daha birçok sektörde kullanılmasını olanaklı hale getirir. Kolay şekillendirilebilirlik ve işlenebilirlik, malzemenin özgün gereksinimlere ve tasarım ihtiyaçlarına uygun hale

getirilmesini kolaylaştırır, bu da alüminyumun çok yönlü bir malzeme olarak değerini artırır.

- **Kaynak Edilebilirlik:** Alüminyum, farklı kaynak yöntemleri kullanılarak işlenebilen son derece esnek bir malzemedir. Bu işlemler arasında MIG (Metal Inert Gaz) kaynağı, elektrikli ark kaynağı, nokta ark kaynağı ve TIG (Tungsten Inert Gas) kaynağı gibi bir dizi seçenek bulunmaktadır. Bu çeşitlilik, alüminyumun farklı uygulamalar ve tasarım gereksinimlerine uygun hale getirilmesine olanak tanır. Alüminyumun kaynak işlemleri, genellikle temiz ve güvenilir sonuçlar verir. Alüminyumun oksitlenmesi nedeniyle, kaynak sırasında oksit tabakası temizlenir ve kaynak maddesi ile tam temas sağlanır, bu da güçlü ve sağlam bir bağın oluşmasını destekler. Hafifliği, alüminyumun taşınmasını ve montajını oldukça kolaylaştırır. Özellikle otomotiv ve havacılık endüstrilerinde, araçların ve uçakların hafifletilmesi ve yakıt verimliliğinin artırılması için alüminyumun kullanılması yaygındır. Ayrıca, alüminyumun kendiliğinden oluşan pas koruyucu tabakası, kaynaklı bölgelerin korozyona karşı dayanıklılığını artırır. Bu nedenle, açık hava uygulamaları ve denizcilik sektörü gibi nemli veya tuzlu çevrelerde kullanılan ürünler için tercih edilir. Son olarak, alüminyum, dekoratif veya estetik amaçlarla da kolayca kaynak edilebilir. Bu, mobilya, aydınlatma armatürleri, süslemeler ve daha birçok dekoratif ürünün üretiminde kullanılmasını mümkün kılar. Alüminyumun bu kaynak edilebilirlik özellikleri, farklı endüstrilerde ve birçok uygulamada kullanılmasını olanaklı hale getirir. Tasarımın esnekliği, dayanıklılık ve estetik gereksinimleri karşılama yeteneği, alüminyumun endüstriyel tasarım ve üretimdeki yaygın kullanımının temel nedenlerinden biridir.

- **Düşük Maliyet:** Alüminyum, dünya genelinde bol miktarda bulunan bir malzeme olduğu için hammadde maliyeti oldukça düşüktür. Bu, alüminyumun üretim süreçlerindeki maliyeti önemli ölçüde azaltır. Ayrıca, alüminyum geri dönüşüme son derece uygun bir malzemedir. Geri dönüşüm, kullanılmış alüminyum ürünlerin toplanması ve tekrar işlenmesini içerir. Bu yaklaşım, yeni alüminyum ürünlerin üretilmesi için daha az ham madde gerektirir ve böylece üretim maliyetlerinin düşmesine katkı sağlar. Alüminyumun hafifliği, taşıma ve montaj maliyetlerini gözle görülür bir şekilde azaltır. Özellikle otomotiv ve havacılık endüstrilerinde, araçların ve uçakların hafifletilmesi, yakıt verimliliğini artırmak ve performansı optimize etmek açısından büyük bir önem taşır. Alüminyumun kendiliğinden oluşan pas koruyucu tabakası

sayesinde korozyona karşı son derece dayanıklıdır. Bu özellik, alüminyum ürünlerin uzun ömürlü olmasını ve bakım maliyetlerinin minimumda tutulmasını sağlar. Alüminyumun şekillendirilmesi ve işlenmesi oldukça kolaydır. Bu, üretim süreçlerinin hızlı ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanır, bu da işçilik ve enerji maliyetlerinin düşmesine katkı sağlar. Tüm bu faktörler, alüminyumun ekonomik bir seçenek haline gelmesini sağlar. Bu da alüminyumun endüstriyel uygulamalardaki tercihini artırırken, sürdürülebilir üretim ve tasarımı teşvik eder.

2.1. Alüminyum ve Alaşımları

Alüminyum alaşımları, alaşım elementlerine ve mikro yapısına büyük ölçüde bağlı olarak fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerini değiştirir. Bu özelliklerin belirlenmesinde en kritik alaşım elementleri bakır, çinko, magnezyum ve silisyum gibi unsurların katkısı büyük bir öneme sahiptir. Bu elementlerin miktarları ve dağılımı, alüminyum alaşımlarının son özelliklerini büyük ölçüde etkileyebilir. Bu alaşım elementlerinin oranları ve kombinasyonları, alüminyumun son özelliklerini belirler. Örneğin, bakır ilavesi alüminyumun mukavemetini artırabilir, magnezyum ise korozyon direncini artırabilir. Alüminyum alaşımlarının birçok çeşidi, plastik deformasyon yetenekleri açısından oldukça iyidir ve bu sayede kolayca şekillendirilebilirler. Ayrıca, birçok alüminyum alaşımı ısıtılabilir, bu da onların özelliklerini daha da optimize etmek için kullanılır. Bu alaşımların işlenmesi ve şekillendirilmesi, birçok endüstrinin ihtiyaçlarına uygun özelleştirilmiş parçaların üretilmesini kolaylaştırır. Alüminyum alaşımları, döküm alüminyum alaşımları ve dövme alüminyum alaşımları olarak iki temel sınıfa ayrılırlar. Bu sınıflandırma, bu alaşımların ne tür işleme yöntemleri ve uygulamalar için daha uygun olduğunu belirlemeye yardımcı olur.

2.1.1. Dökme Alüminyum Alaşımları

Dövme alaşımlar, plastik şekil değiştirebilme yetenekleri sayesinde kolay şekillenebilen bir yapıya sahiptir. Alüminyum alaşımlarının büyük bir bölümü, ısıtılabilir. Alüminyum dövme alaşımları dört harfli kodlarla sınıflandırılır ve bu sınıflandırma aşağıda verilmiştir:

Çizelge 2.1. Alaşımaların Sınıflandırılması

Sınıflandırma	Temel Alaşım Elementleri	Isıl İşlem Özellikleri
1xx.x	Alaşımсыз (Saflık of 99.0% ve daha fazla)	Isıl İşlem Yapılamaz
2xx.x	Bakır	Isıl işlemle sertleştirilebilir
3xx.x	Mangan	Isıl İşlem Yapılamaz
4xx.x	Silisyum	Isıl işlemle sertleştirilebilir
5xx.x	Magnezyum	Isıl İşlem Yapılamaz
6xx.x	Magnezyum - Silisyum	Isıl işlemle sertleştirilebilir
7xx.x	Çinko - Magnezyum	Isıl işlemle sertleştirilebilir
8xx.x	Diğer elementler	Isıl işlemle sınırlı sertleştirilebilir

2.1.1.1. 1xx.x alaşımları

Bileşiğin alüminyum oranı %99 ve üzerindedir. Bu malzeme korozyona karşı yüksek dayanıklılık gösterir ve mükemmel elektrik ve ısı iletim özelliklerine sahiptir. Mekanik dayanıklılığı düşüktür, ancak gerinim sertleştirilmesi uygulanarak mukavemetinde sınırlı artışlar elde edilebilir. En yaygın kullanım alanları elektrik, kimya endüstrisidir. Kaynak işlemine uygundur.

Alaşımalar: 1050, 1060, 1100, 1145, 1200, 1230, 1350 vs.

2.1.1.2. 2xx.x alaşımları

Temel alaşım elementi bakırdır ve içeriğinde %6,3'e kadar bakır bulundurur. Ayrıca magnezyum gibi diğer alaşım elementleri de olabilir. Bu alaşım çökeltme sertleştirilmesi özelliği sergiler. Diğer alüminyum alaşımlarıyla aynı seviyede korozyon direncine sahip değildir. Kaynak özellikleri alaşım türüne göre kötüden orta seviyeye kadar değişebilir. Bu alaşımların avantajlarından biri, 150°C (300°F) sıcaklıklarına göre yüksek bir dayanıklılık sergilemeleridir. Bu nedenle, yüksek dayanıklılık gerektiren uçakların gövdesi, mekanik bileşenler, araçların gövde panelleri gibi ürünlerin üretiminde yaygın olarak kullanılırlar. Özellikle 2024 alüminyum alaşımları, uçak tasarımında etkili bir şekilde kullanılan en yaygın alüminyum türüdür.

Alaşımalar: 2011, 2014, 2017, 2018, 2124, 2219, 2319, 2010, 2030, 2060, 2240, 2420 vs.

2.1.1.3. 3xx.x alaşımları

Temel alaşım elementi mangandır ve bu alaşım mükemmel Şekil değiştirme ve kaynak kabiliyetine sahiptir, ayrıca korozyon direnci oldukça iyidir. Genellikle ısıl işleme uygun değildir, ancak bu alaşımların yaklaşık %20'si, 1xxx alaşımlarına göre yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarını içerir. Tipik olarak, yaklaşık 250 MPa'ya kadar akma dayanımına sahiptirler. Bu alaşımlar, içecek kutuları, sanayi çatıları, kimyasal depo tankları ve kavisli borular gibi ürünlerin üretiminde kullanılır.

Alaşımlar: 3003, 3004, 3105, 3830, 3850, 3900 vs.

2.1.1.4. 4xx.x alaşımları

Temel alaşım elementi silisyumdur ve silisyum içeriği %12'ye kadar çıkabilir. Eğer bakır (Cu) içeriyorsa, bu alaşım okelme sertleştirme işlemine uyarlanabilir. Düşük termal genleşme katsayısına ve aşınma ile korozyon direnci yüksektir. Bu tür alüminyum alaşımları, mimari projelerde ve anot oksit kaplamalarında kullanım talebi görmektedir, çünkü içerdikleri silisyum miktarı nedeniyle belirgin bir kömür grisi rengini korurlar. Yüksek sıcaklıklara dayanıklı parçaların, örneğin pistonların imalatında, kaynaklı yapıların oluşturulmasında ve levha üretiminde yaygın olarak kullanılırlar. Bunun yanı sıra, kaynak tellerinde ve lehim alaşımları üretiminde de tercih edilirler.

Alaşımlar: 4032, 4043, 4145, 4643 vs.

2.1.1.5. 5xx.x alaşımları

Temel alaşım elementleri magnezyumdur. İçeriğindeki magnezyum oranı arttıkça, sertlik ve dayanıklılığı artar. Fakat aynı zamanda tokluğu azalır. Çözeltiye %5,1'e kadar magnezyum eklenmesi, deformasyon sertleşmesi hızını artırır. Soğuk sertleştirme ile 260 MPa'ya kadar akma dayanımı elde edilebilir. Bu alaşım, mükemmel kaynak yeteneğine sahiptir ve orta düzeyde dayanıklılığa sahiptir. Yüksek korozyon direnci, özellikle deniz suyu ve kimyasallara karşı, bu alaşımın belirgin bir özelliğidir. Bu nedenle, özellikle gemi endüstrisinde çeşitli farklı uygulama alanları bulmaktadır.

Alaşımlar: 5005, 5049, 5052, 5083, 5754 vs.

2.1.1.6. 6xx.x alaşımları

Temel alaşım elementleri magnezyum ve silisyumdur. Mg ve Si'nin bir araya gelmesi, Mg₂Si çökeltme sertleşmesine olanak tanır. 2xxx ve 7xxx serisi alaşımlar kadar yüksek dayanıklılığa sahip olmasa da, 6xxx serisi alaşımlar, iyi şekillendirilebilirlik, kaynak kabiliyeti, işlenebilirlik ve görece iyi korozyon direnci ile orta düzeyde dayanıklılığa sahiptir. Bu alaşımlar sac, levha ve ekstrüzyon ürünleri olarak bulunurlar ve aynı zamanda 5000 serisi gibi çeşitli uygulama alanlarına sahiptirler.

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

2.1.1.7. 7xx.x alaşımları

Temel alaşım elementi çinkodur. İeriğinde %1 ile %8 arasında Zn içerir. Bu alaşımı, genellikle dayanıklılığını artırmak için sıklıkla magnezyum, bakır ve düşük oranlarda mangan ve krom ile birleştirilir. Isıl işlem uygulanarak yüksek mukavemet elde edilebilir. 7XXX alaşımları, alüminyum alaşımları içinde en yüksek dayanıklılığı olan alaşımlardır. Bu alaşım, gerilimli korozyon çatlaması veya film oluşumunun sorun kaynağı olduğu durumlarda tercih edilir ve sıkça uçaklarda kullanılır. Bakır içeren alaşımlar çökeltme sertleştirme işlemine uyarlanabilir. Kaynak yapma yeteneği, alaşım türüne ve kullanılan yöntemeye bağlı olarak zayıftan mükemmel seviyeye kadar değişebilir.

Alaşımlar: 7008, 7012, 7010, 7049, 7050, 7075 vs.

2.1.1.8. 8xx.x alaşımları

Temel alaşım elementi lityum olan bu malzeme, kalay ilavesi yapılabilecek bir yapıya sahiptir. Demir ve nikel eklemeleri, elektriksel iletkenliği önemli ölçüde düşürmeden dayanımı artırabilir. 8017 gibi özellikle iyi iletkenlik sağlayan alaşımlarda kullanılır. Bu materyal, özellikle havacılık yapısında kullanılmaya başlamış olup, yüksek yorulma dayanıklılığı ve iyi tokluk özellikleri sunar. Ancak, diğer alüminyum alaşımları ile karşılaştırıldığında üretim maliyeti daha yüksektir, bu nedenle genellikle havacılık ve uzay uygulamaları için önerilmektedir.

Alaşımlar: 8006, 8111, 8079, 8500, 8510, 8520 vs.

2.2. Alüminyum Temper Kodları (Termik İşlemleri)

Alüminyumdan üretilen ürünlere, mekanik özelliklerini artırmak amacıyla 'yaşlandırma' olarak adlandırılan bir ısıtma işlemi uygulanır. Bu işlem, genellikle doymuş bir eriyiğin çözeltiye alınmasını ve sonrasında oda sıcaklığında yapılabilen 'doğal yaşlandırma' veya belirli bir sıcaklıkta ve belirli bir süre boyunca 'yapay yaşlandırma' olarak adlandırılan iki temel yöntemle gerçekleştirilir. Yaşlandırma işlemi, alüminyum alaşımlarına çeşitli şekillerde uygulanabilir ve bu işlemler TX sembolleri kullanılarak belirtilir ve ürünün alaşım numarasının yanına yazılır. Yapılan termik ısıtma işlemleri aşağıdaki gibi detaylandırılabilir (serdarkorkut.com).

- T1: Isıtma işleminden sonra doğal yaşlandırma süreciyle soğuk ve kararlı bir duruma gelir.
- T2: Isıtma işleminden sonra soğutulur, soğuk işleme tabi tutulur ve doğal yaşlandırma işlemi ile stabil bir duruma getirilir.
- T3: Çözelti ısıtma işlemi uygulandıktan sonra soğutulur, soğuk işleme tabi tutulur ve doğal yaşlandırma ile stabilize edilir.
- T4: Isıtma işlemi görmüş ve yapay yaşlandırma ile sertleştirilmiş bir çözeltidir.
- T5: Isıtma işlemi gördükten sonra yapay yaşlandırma işlemi uygulandığında soğutulur ve sertleşir.
- T6: Çözeltiye ısıtma işlemi uygulanır ve yapay yaşlandırma işlemi ile sertleştirilir.
- T7: Çözelti ısıtma işleminden geçer ve aşırı yaşlandırma işlemine tabi tutulur.
- T8: Çözelti ısıtma işlemi uygulanır, soğuk işleme geçirir ve yapay olarak yaşlandırılır.
- T9: Çözelti işleminden geçirilir, yapay olarak yaşlandırılır ve soğuk işleme tabi tutulur.
- T10: Sıcak işleminden geçirildikten sonra soğutulur, soğuk işleme tabi tutulur ve yapay yaşlandırma ile stabilize edilir.

2.3. Alüminyum Alaşımlarında Elementlerin Etkisi

Alüminyum, doğal haliyle oldukça yumuşak bir metaldir ve bu nedenle birçok kullanım amacına uygun değildir. Farklı uygulamalar için uygun hale getirilmesi için çeşitli alaşım elementlerinin alüminyumla karıştırılması gerekmektedir. Farklı alaşımlar, alüminyumun mekanik özelliklerini artırmak için önemli bir rol oynarlar. Bu alaşımlar, alüminyumun kristal yapısında bulunarak, çökeltiler oluşturarak ve metal arası bileşikler oluşturarak dayanıklılığını artırır ve böylece çeşitli endüstriyel ve ticari uygulamalarda kullanılabilir hale gelmesini sağlar.

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):** Alüminyum, %20'ye kadar ilave edilebilen (hiperötektik) bir elementtir. Silisyum (Si) ile birlikte bir miktar magnezyum (Mg) eklenerek ısıtılabilir ve uygulanabilen döküm parçaları için Al-Si alaşımları oluşturulur. Bu özel alaşımların çekme mukavemeti yüksek değildir ve genellikle 13.6 ila 15.4 kg/mm² arasında değişir. Ancak, bu alaşımların korozyon direnci yüksektir ve aynı zamanda ısıtılabilir ve elektriksel iletkenlikleri de yüksektir. Genleşme katsayıları düşüktür, ancak işlenebilirlikleri zor olabilir, özellikle silisyum miktarı arttıkça işlenebilirlikleri zayıflar. Döküm alaşımlarında silisyumun %12'ye kadar eklenmesi, akıcılığı artırır ve yüksek sıcaklık dayanımını artırır. 6XXX serisi alüminyum alaşımlarının içeriğinde sıklıkla karşılaşılan bir element olan silisyum (Si), bu serinin ana alaşım elementlerinden biridir.

- **Magnezyum (Mg):** Magnezyum (Mg) ilavesi, alüminyum alaşımlarının dökümünü zorlaştırarak cüruf oluşumuna neden olduğundan, bu sorunu aşmak için genellikle Berilyum (Be) gibi elementler malzemeye eklenir. Özellikle özel parça dökümlerinde, eritme işlemi sırasında dikkatli olunmalıdır, çünkü malzeme oksitlenme eğilimindedir ve magnezyum kaybına yol açabilir. Oksitleri gidermek için sisteme klor gazı verme uygulaması yapılabilir, ancak bu işlem sağlık ve çevre açısından olumsuz etkilere neden

olabilir. %8 magnezyum içeren alüminyum alaşımları, yüksek korozyon direncine sahiptir ve anodik oksidasyon (eloksal kaplama) için uygun bir yapı sunar. 5XXX serisi alüminyum alaşımlarının belirgin bir bileşeni olarak karşımıza çıkan magnezyum (Mg), bu seri için ana alaşım elementidir.

- **Demir (Fe):** Alüminyum ve demir (Fe) alaşımları genellikle yaygın bir tercih değildir. Demir, alüminyum alaşımlarında farklı miktarlarda bulunabilen bir empede olarak görev yapar. Demir, bazı uygulamalarda alaşımın özelliklerini olumlu yönde etkileyebilir, çünkü mukavemeti artırır ve yüksek sıcaklıklarda sertliği artırır. Ayrıca, sürekli döküm kalıplarının sıcak çatlamaya karşı direncini artırabilir. Ara sıra demir eklemek, çekilmeleri azaltmak amacıyla kullanılır. Demir aynı zamanda tane yapısını küçültme özelliği taşır. Ancak, yüksek silisyumlu alaşımlarda demir miktarının fazla olması, genellikle büyük kristalli ve kırılğan bir yapıya yol açabilir.

Demir alüminyum alaşımlarında mineral aşamasından gelen bir elementtir. Alüminyum sıvı metalinde rahatlıkla çözülebilir. Ancak oda sıcaklığına soğutulduğunda demir elementi sıvı metalden çökerek mikroyapıda oluşur. Yapıda bulunan diğer elementlerle AlFeSi (Mn) çökeltileri oluşturur. Mekanik özelliklere katkısı çok fazla yoktur.

- **Titanyum (Ti):** Alüminyum alaşımlarında tane boyutunu küçültme amacıyla titanyum (Ti) eklenmesi yaygın bir uygulamadır. Genellikle %0,05 ile %0,25 arasındaki miktarlarla ilave edilirler. Ancak, basınçlı döküm alaşımlarında titanyumun kullanılması bazen sakıncalı olabilir. Çünkü titanyum eklemesi, akışkanlığı azaltarak döküm işlemi sırasında zorluklar yaratabilir. Basınçlı dökümlerde soğuma hızı hızlı olduğu için küçük taneler genellikle doğal olarak oluşur. Titanyumun çekme mukavemetini artırma ve sünekliği artırma gibi özellikleri vardır, ancak ısı iletimini azaltır. Endüstriyel uygulamalarda titanyum, genellikle bor (AlTiB) ile bir arada kullanılır.

- **Mangan (Mn):** Özellikle tane boyutlarını küçültme konusunda önemli bir rol oynamaktadır. Bu işlevini yerine getirirken alaşımın korozyon direncine herhangi bir zarar vermeden çekme mukavemetini artırır. Özellikle bakır ve silikon alaşımlarıyla birleştirildiğinde, yüksek sıcaklıklara maruz kalan dökümlerin mukavemetini artırmak için etkili bir şekilde kullanılır. Ancak, manganın demirle reaksiyona girmesine veya

birleşmesine izin vermemek kritik önem taşır; aksi takdirde oluşan büyük taneler, alaşımın mukavemetini azaltabilir. Ayrıca, manganın ısı işlem üzerinde herhangi bir etkisi olmadığına dikkat çekmek önemlidir, bu nedenle Al-Mn alaşımlarına ısı işlem uygulanamaz. Bunun ötesinde, manganın alaşımın erime noktasını yükseltme özelliği bulunmaktadır. 3XXX serisi alüminyum alaşımlarının önde gelen bileşeni olarak kabul edilen manganez (Mn), bu serinin ana alaşım elementidir.

- **Krom (Cr):** Krom (Cr), genellikle alüminyum alaşımlarına %0,10 ila %0,60 oranında eklenir. Bu element, tane boyutlarını küçültme görevinde önemli bir rol oynar. Ayrıca, titanyum ile birlikte kullanımı oldukça yaygındır. Korozyon direncini artırmak ve stres çatlama azaltmak amacıyla, Al-Zn-Mg alaşımlarına özellikle krom ilave edilir. Kromun alüminyum içinde çözünürlüğü oldukça sınırlıdır, bu yüzden ikinci bir fazın çökmesi meydana gelmez. Bu yüzden Al-Cr alaşımları ısı işleme tabi tutulmaz. Fakat ortaya çıkan Cr-Al bileşikler, yüksek sıcaklıklarda dayanıklılığı artırır ve malzemeyi korozyona karşı korumaya yardımcı olur. Ayrıca, krom gibi elementler, manganez gibi alaşımın erime noktasını artırma yeteneğine sahiptirler.

- **Bakır (Cu):** Bakır (Cu), alüminyum alaşımlarına eklenen temel bir alaşım elementidir. Genellikle bu alaşımlara %1 ila %12 arasında değişen oranlarda katılır. Alaşımdaki bakır miktarı arttıkça, alaşımın özellikleri de değişir. Özellikle bakır ilavesi, alaşımın akıcılığını, çekme dayanımını ve sertliğini artırır. Ayrıca, bakır iç büzömlerini azaltır ve alaşımın işlenebilirliğini artırır. Ancak, sıcak yırtılma direncini azaltma eğiliminde olduğundan, döküm işlemini karmaşılaştırabilir. Dövme alaşımlarda genellikle bakır %3 ila %5 arasında kullanılır. Ancak, bakır oranı %5'in üzerine çıktığında, malzemenin mekanik işlenebilirliği zorlaşır. Ayrıca, yüksek bakır içeriği korozyon direncini azaltabilir ve elektrik iletkenliğini düşürebilir. Döküm alaşımlarında bakır %12'ye kadar kullanılabilir, ancak genellikle %10'dan fazlasının tercih edilmediğini belirtmek önemlidir. 2XXX serisi alüminyum alaşımlarında sıkça rastladığımız bir element olan bakır (Cu), bu serilerin belirgin bir bileşeni olarak öne çıkar.

- **Çinko (Zn):** Çinko (Zn), belirli alüminyum alaşımlarında istenmeyen bir yabancı element olarak bulunabilir. Çinko miktarının artması, alaşımın akıcılığını artırırken yüksek sıcaklık dayanımını azaltır. Soğuma sürecinde büyük çekilmeler veya çekmeler oluşabilir. İyi bir sonuç elde etmek için döküm işleminin hızlı soğutulması ve büyük

çıkıcılar veya şişler kullanılması gerekebilir. Çinko ilavesi, tüm alüminyum alaşımlarının işlenebilme yeteneğini geliştirir. Özellikle magnezyum ile birlikte eklenirse, işlenebilme yeteneğini artırmanın yanı sıra yüksek çekme ve darbe mukavemeti sağlar. 7XXX serisi alüminyum alaşımlarının temel bileşeni olan bakır (Cu), bu serinin ana alaşım elementidir.

2.4. Şekil Verme Yöntemleri

Üretim sektöründe, metal ve alaşımlardan oluşan malzemeler, özellikle çelik, alüminyum, dökme demir, bakır, titanyum, çinko, nikel gibi metalik malzemeler, büyük bir paya sahiptir. Bu malzemeler genellikle iyi termal iletkenlik ve elektrik iletkenlik özelliklerine sahiptirler. Ayrıca kolayca şekillendirilebilirler ve darbelere karşı dayanıklıdırlar. Bu sebeple, bu materyaller saf metallerin kullanımına ek olarak, belirli özelliklere sahip olmak ve daha üstün sonuçlar elde etmek amacıyla alaşımların oluşturduğu metal karışımları olarak üretimde sıkça tercih edilirler.

Üretilen parçanın son şekli, boyutları, toleransları, üretilecek parça sayısı ve özellikleri gibi faktörler, şekillendirme yöntemi seçiminde büyük öneme sahiptir. Plastik şekil verme yöntemleri, özellikle büyük miktarlarda üretim yapılması gereken durumlarda tercih edilir. Ayrıca, şekil ve boyut açısından diğer yöntemlerle üretimin zor olduğu veya imkansız olduğu durumlarda plastik şekil verme yöntemleri tercih edilir.

Şekillendirme yöntemleri 2.5. Alüminyum Şekillendirilmesinde Kullanılan Üretim Yöntemleri bölümdeki gibi incelenir:

2.5. Alüminyum Şekillendirilmesinde Kullanılan Üretim Yöntemleri

2.5.1. Döküm

Alüminyum döküm yöntemi, demir ve çelikten sonra üretimde en sık kullanılan döküm yöntemlerinden biridir. Bu yöntemle, müşterinin ihtiyaçlarına uygun olarak çeşitli alaşımlarla alüminyum dökümü gerçekleştirilebilir. Alüminyum-silikon alaşımı, bu işlemde sıklıkla kullanılan alaşımlardan biridir. Alüminyum dökümünün birçok endüstride yaygın olarak kullanılmasının temel nedenlerinden biri, alüminyumun sahip olduğu bir dizi avantajlı özelliklerdir. Bu özellikler arasında hafif olması, korozyona dayanıklılığı, kolay şekillendirilebilirliği, dayanıklılığı ve geri dönüşülebilirliği, yüksek

elektriksel iletkenliği gibi özellikler bulunur. Bu nedenle almiyumu döküm yöntemi, birçok farklı endüstri alanında tercih edilir. Almiyumu, döküm işlemi açısından bazen zorlu bir malzeme olabilir; ancak hafifliği ve yüksek dayanımı gibi avantajları nedeniyle birçok sektörde tercih edilmektedir. Bu sektörler arasında en büyük ve en yaygın olarak kullanılanı otomotiv endüstrisidir.

Hassas Döküm, Dolu Kalıba Döküm, Alçı Kalıba Döküm, Kabuk Kalıba Döküm, Kum Kalıba Döküm ve Seramik Kalıba Döküm gibi çeşitli döküm teknikleri, döküm işleminin çeşitli aşamalarını ve bileşenlerini temsil eder.

Kalıcı kalıp ile döküm yöntemlerinde, döküm işlemi için kullanılan kalıp, metal veya benzeri malzemelerden yapılmış ve birden fazla döküm işlemi için tekrar tekrar kullanılabilen bir kalıptır. Bu yöntemler genellikle üretim hızını artırır. Ancak, kalıcı kalıpların kullanılması, döküm işleminde sonra kalıpların açılmasını gerektirdiği için Şekillerin belirli sınırlamalara tabi olabileceği bir kısıtlamayı da beraberinde getirebilir. Kalıcı kalıp ile döküm teknikleri arasında Sürekli Döküm, Kokil Kalıba Döküm, Santrifüj Döküm ve Basınçlı Kalıba Döküm gibi farklı teknikler bulunmaktadır (Gülmez, n.d.).

2.5.2. Kaynak

Şekillendirilebilir alaşımlar arasında kaynak işlemi kolaylıkla uygulanabilenler, 1xxx, 3xxx ve 5xxx alaşımları gibi sıcak işlem gerektirmeyen alaşımlardır. 2xxx ve 4xxx alaşımları ise sıcak işlem gerektiren alaşımlara aittir ve kaynak işlemi bu seriler için mümkün olsa da genellikle özel tekniklerin kullanılması gerekebilir ve sonuç olarak, daha az esneklik elde edilebilir. Yüksek dayanıklılık ve sıcak işlem gerektiren 6xxx ve 7xxx alaşımları da kaynak işlemine uygun olabilir ancak bu alaşımların içsel enerji bariyerleri (IEB), genellikle kırılğan olma eğilimindedir.

Almiyumu alaşımlarının kaynak işlemleri geniş bir yelpazede gerçekleştirilebilir ve bu çeşitlilik aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Almiyumu alaşımların yapılan kaynak eşitleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- TIG kaynağı
- MIG kaynağı
- rtl ubuk elektrotla ark kaynağı
- Oksi-asetilen kaynağı

- Lazer kaynağı
- Katı hal kaynak yöntemleri ve
- Direnç kaynağıdır.

2.5.3. Talaşlı İmalat Yöntemleri

Talaşlı imalat prosesleri, önceden belirlenmiş parçaların şekil, boyut ve yüzey kalitesini sağlamak için kesme operasyonu (talaş kaldırma) kullanılarak metal işleme makinelerinde şekillendirilmesini içerir. Bu tür imalat teknikleri, genellikle karmaşık geometriye sahip parçaların üretiminde tercih edilir ve sıkça yüksek boyutsal hassasiyet ile yüzey bitirme kalitesi elde etmek amacıyla kullanılır. Talaşlı imalat yöntemleri, dokuz ana grupta sınıflandırılabilir ve bu gruplar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Tornalama
2. Frezeleme
3. Delme
4. Vargel ve planyalama
5. Borlama
6. Broşlama
7. Raybalama
8. Testere kullanarak kesme ve tesviye işlemleri
9. Taşlama

2.5.4. Metallere Plastik Şekil Verme Yöntemleri

İmalat sektöründe, metaller ve alaşımlar gibi malzemeler en büyük paya sahiptir. Metalik malzemeler, bakır, titanyum, çinko dökme demir, alüminyum, nikel gibi metalleri ve bu metallerden oluşan alaşımları içerir. Bu materyaller genellikle yüksek termal iletkenlik ve elektrik iletkenlik özelliklerine sahiptir. Ayrıca, bu malzemeler kolayca şekillendirilebilir ve darbelere dayanıklıdır. İmalat sektöründe, saf metallerin yanı sıra özel özellikler elde etmek ve gelişmiş özellikler elde etmek için metal karışımlarından oluşan alaşımlar da kullanılır. Malzemenin şekillendirme yöntemi seçilirken, son ürünün formu, boyutları, toleransları, üretilecek parça sayısı ve özellikleri gibi kritik faktörler belirleyici rol oynar. Plastik şekillendirme teknikleri, genellikle çok sayıda parçanın üretildiği, diğer yöntemlerle istenilen şekil ve boyutların elde edilemediği

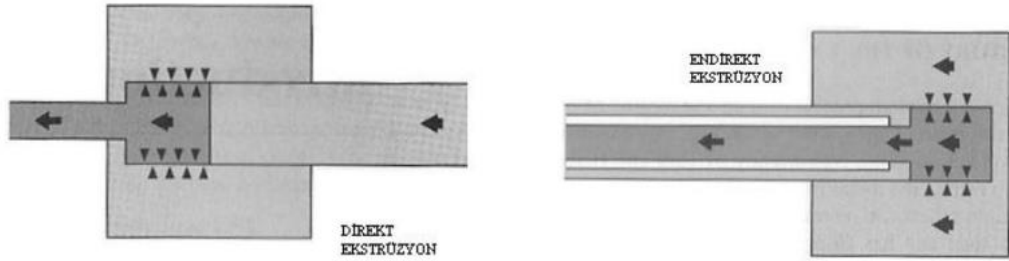
durumlarda tercih edilir. Plastik şekil verme yöntemleri genellikle iki farklı kategoriye ayrılır.

Kütlesel şekillendirme yöntemleri, haddeleme, dövme, ekstrüzyon, tel çekme ve çubuk çekme gibi işlemleri içerirken, sac şekillendirme ise kesme, bükme, derin çekme ve diğer benzer yöntemleri içermektedir.

Alüminyum ve alaşımları, dövme, haddeleme, soğuk çekme, boru üretimi, sac şekillendirme ve ekstrüzyon gibi yöntemlerle şekillendirilebilirler. Metallerin şekillendirilmesi yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılan metot ekstrüzyon prosesidir.

2.6. Ekstrüzyon Nedir?

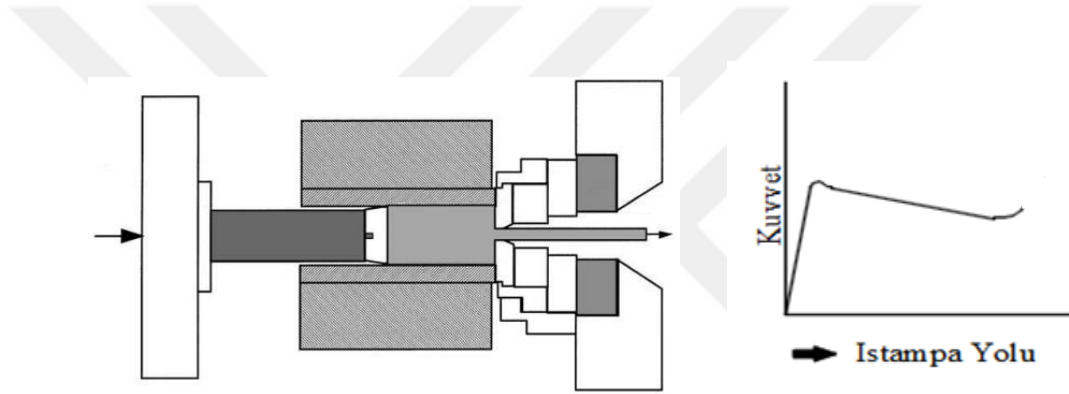
Ekstrüzyon işlemi genellikle bir malzemenin, bir kalıp açıklığından geçirilerek şekillendirildiği bir plastik şekillendirme işlemi olarak tanımlanır. Bu işlem, iş parçasının bir kovan içine yerleştirilmesi ve ardından bir pres tarafından uygulanan kuvvetle kalıp açıklığından itilmesiyle gerçekleşir. Bu yöntemle, dolu kesitli profillerin yanı sıra boşluklu profiller ve karmaşık kesitlere sahip profiller de üretilebilir. /Ekstrüzyon işlemi, magnezyum, bakır, alüminyum ve kurşun gibi metal alaşımlarında geniş bir kullanım alanına sahiptir çünkü bu metaller, düşük akma mukavemeti ve düşük ekstrüzyon sıcaklığına sahip olduklarından dolayı tercih edilmektedirler.



Şekil 2.1. Ekstrüzyon Şematik Gösterimi 1) İleri Ekstrüzyon, 2) Endirekt Ekstrüzyon (Sheppard, 1999)

Sürtünme kuvveti, malzemenin kalıba akışını engeller, bu nedenle ekstrüzyon kuvveti artar ve ekstrüzyon artığı oluşur. Ayrıca, blok veya kütük ile kovan arasındaki sürtünme, malzemenin çevresinin daha yavaş, merkezinin ise daha hızlı hareket etmesine neden olarak nihayetinde malzemenin sonunda huni şeklinde bir boşluk oluşturur. Yüksek ekstrüzyon kuvveti uygulandığında, malzeme tamamen ekstrüze edilirse ürün, hatalı olabilir çünkü malzemenin dış kısmı iç kısmını sarmış olur. Direkt ekstrüzyon yönteminde, belirli bir miktar malzeme ara işlem olarak bırakılır ve hurdaya atılır.

Sürtünme, ekstrüzyon basıncını artırırken malzemenin düzensiz akışına neden olan bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 2.1'de, direkt ekstrüzyon yöntemi ile ilgili olarak kuvvet eğrisi ve akış tipleri bir arada gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Direkt Ekstrüzyon Yönteminin (Saha, 2000) Kuvvet Eğrisi

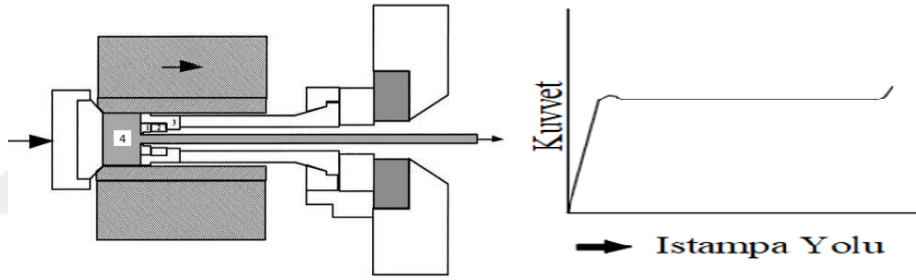
Direkt ekstrüzyonun dezavantajları şunlardır:

- Diğer yöntemlere kıyasla daha fazla basınç gerektirir, bu en büyük zayıf yönlerinden biridir.
- Bu yöntemde çekirdek ve kovan hasarları daha sık meydana gelir.
- Yüksek sıcaklık sorunuyla karşılaşılır.
- Ekstrüzyon hızı düşüktür, diğer yöntemlere göre daha yavaş çalışır.

Direkt ekstrüzyon yöntemi, bazı dezavantajlara sahip olmasına rağmen, işletmeler için basit bir takım düzenlemesi sunması nedeniyle yaygın bir şekilde kullanılan bir yöntemdir. İstenilen uzunluk, çap ve kalınlıklarda çeşitli içi boş ve dolu profiller üretilmesine olanak tanır.

2.6.2. Endirekt (Geri) Ekstrüzyon Yöntemi

Endirekt ekstrüzyon, genellikle kablo, çubuk ve bakır kesiti gibi üretimlerde kullanılır. Ayrıca, yüksek alaşımlı alüminyum ekstrüzyonunda da tercih edilen bir yöntemdir. Bu işlemden, kalıp boş bir zımbaya yerleştirilir ve ardından kovan içine itilir. Kovan, hem kalıp üzerinde hareket edebilir hem de kalıp kovan içinde hareket edebilir. Biyet kovana yerleştirildikten sonra ekstrüzyon süresince sabit kalır ve bu, biyet ile kovan çekirdeği arasındaki sürtünmeyi en aza indirir. Endirekt ekstrüzyon, metal akışını daha homojen hale getirir, bu da daha yüksek kaliteli formların elde edilmesine yardımcı olur. Bu yöntemde biyet ve çekirdek arasında sürtünme olmaz, bu nedenle daha uzun biyet basmaya olanak tanır. Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha yüksek ekstrüzyon hızları ve daha uzun profiller elde edilir. Ayrıca, daha az çapak oluşumu ve yüksek ürün kalitesi de bu yöntemin avantajları arasındadır.



Şekil 2.4. Endirekt Ekstrüzyon Yönteminin (Saha, 2000) Kuvvet Eğrisi (1. Kalıp, 2. Destek, 3. Kalıp Tutucu, 4. Biyet)

Endirekt ekstrüzyonun avantajları şunlardır:

- Gerekli ekstrüzyon kuvveti yaklaşık %30 oranında azalır, bu da daha yüksek ekstrüzyon hızlarının kullanılmasına olanak tanır.
- Daha uzun biyet kullanma imkanı vardır.
- Ara işlem aşamaları daha azdır.
- Daha iyi bir malzeme akışı sağlanır.
- Ekstrüzyon işlemi sırasında daha iyi boyut hassasiyeti elde edilir.
- Profil boyunca daha homojen bir kalite sağlanır.
- Takımların ömrü daha uzundur.

Endirekt ekstrüzyonun dezavantajları şunlardır:

- Uzun biyetlerde ısıtma süresi daha uzun olacaktır.
- Profilin genişliği belirli bir sınırlamaya tabidir.
- Verimli kullanım için biyetteki yüzeyin temiz olması gereklidir.

Endirekt ekstrüzyon yöntemi, ileri ekstrüzyon yöntemiyle karşılaştırıldığında daha yüksek ekstrüzyon oranlarına, hızlarına ve düşük biyet sıcaklıklarıyla çalışabilme kapasitesine sahiptir. Endirekt ekstrüzyon yönteminde alıcı iç çapına bağlı olarak kalıp çapı belirlenir ve takım kurulumunu daha karmaşık hale getirir.

Direk ekstrüzyon yöntemi, birçok avantaja sahip olmasına rağmen, özel imalatlar için endirekt ekstrüzyon tercih edilebilir. Direk ekstrüzyon yöntemi birçok avantaja sahip olsa da, özel imalatlar için endirekt ekstrüzyon yöntemi tercih edilir. Ayrıca, karmaşık kesitler için uygun bir seçenek değildir. Zıvananın boy uzunluğu da eğilme gerilimi tarafından sınırlanır.

2.6.3. Hidrostatik Ekstrüzyon Yöntemi

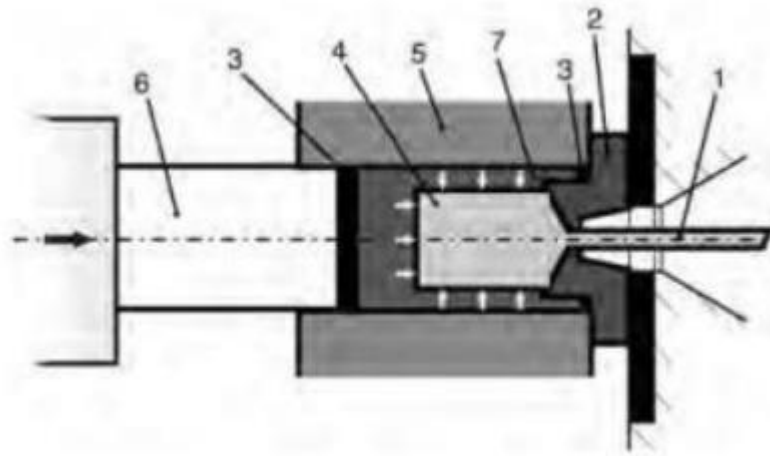
Hidrostatik ekstrüzyon yöntemi, ıstampa basıncının alıcı içine yerleştirilen bir akışkan aracılığıyla iletilmesi esasına dayanır. Bu akışkan aynı zamanda takoz ile alıcı arasındaki sürtünmeyi azaltır. Ekstrüzyon işlemi hem soğuk hem de sıcak koşullarda kullanılabilen bir tekniktir. Sıcak ekstrüzyon uygulandığında, takozlar ekstrüzyon sıcaklığına ısıtılmadan önce alıcı içine yerleştirilir, özellikle düşük ekstrüzyon hızlarında alıcıların ısıtılması gerekebilir. Büyük takozlar kullanılarak çok uzun ürünler elde etmek mümkün olsa da, bu işlemin kesintisiz bir süreç olmadığını belirtmek önemlidir. Ayrıca, aynı eksen üzerinde bulunan takozları kullanarak, metal kaplama işlemi ekstrüzyon ile gerçekleştirilebilir, örneğin bakırın üzerine gümüş kaplama gibi. Ancak bu işlem için her iki metalin akma sınırlarının benzer olması gerekmektedir.

Hidrostatik ekstrüzyonu direk ve endirek ekstrüzyon ile kıyasladığımız zaman avantaj ve dezavantajları vardır.

Hidrostatik ekstrüzyon yönteminin avantajları aşağıda sıralanmıştır:

- İşlem başlangıcında zımba kuvveti azalır ve biyet ile kovanın temas ettiği yerler ile ekstrüzyon basıncında artış olmaksızın istenilen uzunluktaki biyet ekstrüzyon edilebilir, çünkü biyet ile kovan arasında sürtünme oluşmaz.

- Biyetin ve kalıbın yüzeyinin temas ettiği yerde yağ filmi sayesinde matris yüzeyindeki sürtünme büyük ölçüde azalır. Bu, küçük açılı kalıp yüzeyinin kullanılmasını ve ekstrüzyon basıncını azaltarak istenmeyen şekil değişimlerini önlemeyi mümkün kılar. Ayrıca, sert malzemeler soğuk ekstrüzyon yapılabilir.
- Belirli sınırlar içinde, silindirik olmayan biyetleri kullanma zorunluluğu yoktur. Hidrostatik ekstrüzyon yönteminin dezavantajları da şunlardır:
- Yüksek basınçlar, bir akışkanın sıkıştırılması sonucunda meydana gelir. Bu durum, enerji verimliliğini azaltır ve potansiyel olarak tehlikeli miktarda enerji üretebilir
- Ekipmanda mükemmel bir sızdırmazlık sağlanması önemlidir ve aynı zamanda malzemenin bir ön işleme tabi tutulması gereklidir.
- Kalıp yüzeyine fazla yük gelmesini önlemek için, ekstrüzyon işleminden önce biyeti kalıp deliğiyle uyumlu bir koniklikte şekillendirilmesi gereklidir. Döküm biyetleri kullanılıyorsa, bu biyetlerin yüzeylerinin kusurlardan arındırılması gerekmektedir (Sönmez, 1989).



Şekil 2.5. Hidrostatik ekstrüzyon. 1. Ekstrüzyon ürünü; 2. Kalıp; 3. Conta; 4. Takoz; 5. Kovan; 6. İstampa; 7. Hidrostatik ortam (Bauser, 2006)

2.7. Ekstrüzyon Prosesini Etkileyen Faktörler

Ekstrüzyon sürecini etkileyen bir dizi faktör mevcuttur. Bu faktörler arasında ekstrüzyon tipi, ekstrüzyon oranı, çalışma sıcaklığı, ekstrüzyon hızı, sürtünme kuvveti ve malzemenin akma gerilmesi gibi bazı etkenler, süreci büyük ölçüde etkileyen faktörlerdir. Eğer yüksek maliyetli ekstrüzyon ekipmanlarını doğru şekilde ve düşük maliyetli bir şekilde kullanmak isteniyorsa, bu parametrelerle ilgili ayrıntılı bilgi sahibi olmak büyük önem taşır.

2.7.1. Ekstrüzyon Türü

Parçanın şekli ve istenilen malzemelerin niteliklerine bağlı olarak çeşitli ekstrüzyon yöntemleri geliştirilmiştir. En yaygın ve en fazla kullanılanlar arasında direkt ve endirekt ekstrüzyon bulunmaktadır. Ayrıca hidrostatik ve darbeli ekstrüzyon teknikleri de mevcuttur. Ek olarak, biyetin boyutları ve dayanıklılığına bağlı olarak ekstrüzyon işlemi sıcak ya da soğuk koşullarda da gerçekleştirilebilmektedir.

2.7.2. Ekstrüzyon Oranı

Ekstrüzyon işleminin genel anlamda en belirleyici parametresi, ekstrüzyon oranı olarak adlandırılabilir ve biyet kesitin çıkan ürün profil yüzey alanına oranıdır. Birden fazla figür içeren üretimlerde, ürün kesit yüzey alanı figür sayısı (n) ile çarpılarak hesaplanır.

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

Sanayide kullanılan sert alaşımlar için ekstrüzyon oranları tipik olarak 10 ile 35 arasında, yumuşak alaşımlar için ise 10 ile 100 arasındadır. Bu oranları elde etmek için, aynı anda birçok ürün elde etme yöntemi olarak adlandırılan "figür sayısı" kullanılabilir. Ekstrüzyon oranı, ürünün geometrisine göre değişebilir.

2.7.3. Çalışma Sıcaklığı

Malzemelerin akma gerilmeleri sıcaklık arttıkça azalır, bu da şekil değiştirme işlemini kolaylaştırır. Ancak, başlangıç sıcaklığı yükseldikçe, işlem sırasında

malzemenin yerel olarak ısınması, kısmi ergimelere neden olabilir, bu da maksimum ekstrüzyon hızının düşmesine yol açar. Ekstrüzyon sürecindeki değişiklikler, biyetin sıcaklığına, biyetten kovanın ısısına ve ayrıca şekil değiştirme ile sürtünmeden kaynaklanan ısı üretimine sıkı bir şekilde bağlıdır. Örneğin, alüminyum ekstrüzyon işlemi sırasında, ısınmış biyetin önceden ısıtılmış bir kovana yerleştirilmesi ve ekstrüzyonun başlamasıyla birlikte karmaşık ısı değişimleri ortaya çıkmaya başlar.

2.7.4. Ekstrüzyon Hızı

Metalin ekstrüzyon işlemine verdiği tepki, deformasyon hızını etkileyebilir. Koç hızı arttıkça ekstrüzyonun basıncı artacaktır. Artan koç hızı, ekstrüzyon sırasında meydana gelen sıcaklığın yükselmesine neden olur. Bu, deformasyon hızının koç hızıyla ve üretilen ısı miktarının deformasyon hızı ile doğru orantılı olmasından dolayı kaynaklanır. Koç hızı azaldıkça, meydana gelen ısının daha iyi dağılması mümkün olur. Yüksek ısı iletkenliğine sahip olan alüminyum, bu etki daha fazla görülmektedir. Koç hızı ile ekstrüzyonun hızı arasındaki ilişki, hacmin korunması gerekliliği nedeniyle ekstrüzyon hızının belirlendiği bir faktördür. Burada V_z koç hızı, R_e ekstrüzyon oranı olarak ifade edilmektedir.

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

2.7.5. Malzemenin Akma Gerilmesi

Plastik deformasyon sürecinde oluşan şekil verme kuvveti veya gerilmenin, parça şekline, sürtünme ve malzemenin akmasına bağlı olduğu göz önüne alındığında, akma gerilmesi ekstrüzyon işlemi için kritik bir faktördür. Bir malzemenin akma gerilmesi, aşağıdaki faktörlerden etkilenir:

- Gerinim veya deformasyon hızı
- Şekil alma sıcaklığı,
- Deformasyon miktarı,
- Malzemenin bileşimi ve metalurjik yapısıdır.

2.8. Ekstrüzyon Kusurları

Üretim kaynaklı hatalar, ekstrüzyon işlemi sonucunda elde edilen ürünlerde farklı şekillerde meydana gelebilir. Bu hataların derecesi, ürünün kullanılacağı alana bağlı olarak önemli ölçüde değişebilir. Özellikle kritik parçaların üretiminde, ürünlerin hatasız olması kritik bir gerekliliktir. Ekstrüzyon işlemi sırasında meydana gelen hatalar genellikle aşağıdaki üç ana kategoriye ayrılabilir:

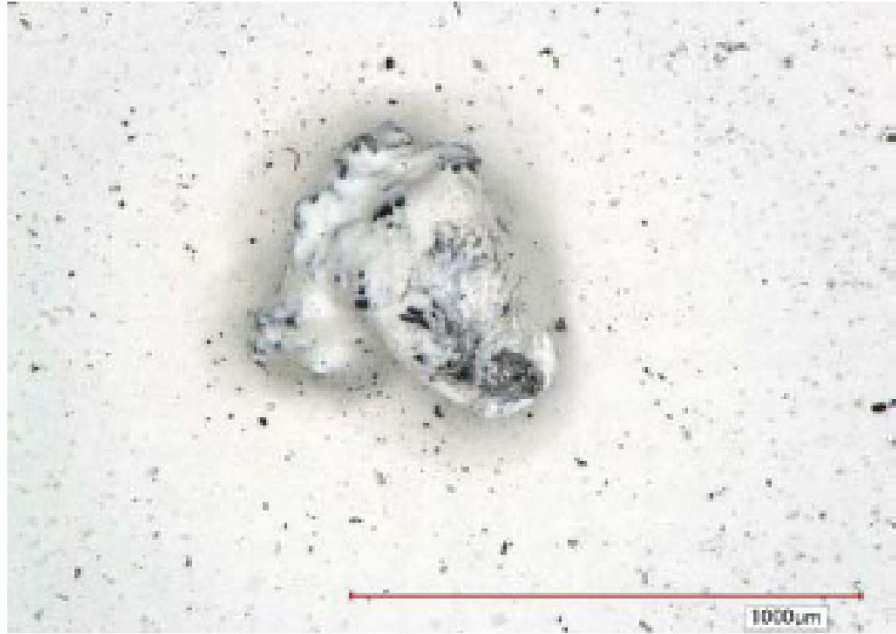
- 1- Ekstrüzyon süreci sırasında meydana gelen hatalar
- 2- Ekstrüzyon işlemi sonucu meydana gelen hatalar
- 3- Eloksoz işlemi (Anodizasyon) sonucu meydana gelen hatalar

2.8.1. Ekstrüzyon Sırasında Ortaya Çıkan Kusurlar

Ekstrüzyon yöntemiyle üretilen alüminyum profillerde sıkça karşılaşılan yüzey kusuru, yapısal hatalardır. Bu yapısal hata, alüminyum profil yüzeyinde sürekli bir bant şeklinde meydana gelir ve estetik açıdan bir kalite sorunu olarak kabul edilir. Bu nedenle, profilin kullanımı imkansız hale gelir ve hurda olarak ayrılır. Bu tür profillerin ekstrüzyon süreci, sıkı bir işlem kontrol sistematığı gerektirdiğinden, profillerin hurdaya ayrılması ciddi bir değer kaybına yol açar. Ekstrüzyon endüstrisi için, bu tür hataların minimize edilmesi, proses verimliliğini artırmanın yanı sıra, katma değerli ürünlerin üretim miktarını artırmak açısından da büyük önem taşır. Tüm dünya çapındaki ekstrüzyon endüstrisinde, yüzey kusurları oldukça yaygın bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kusurlar arasında kalıp izleri, kabarcıklar ve sıcak yırtılma gibi farklı türde kusurlar bulunmaktadır. Özellikle bu yüzey kusurlarının büyük bir kısmı, belli bir boyutu aşmadığı sürece eloksoz kaplama veya toz boya gibi yöntemlerle gizlenebilmektedir. Bu nedenle, üreticiler, yüzey kusurlarını minimize etmek amacıyla ürünleri daha yavaş bir hızda ekstrüzyon işlemine tabi tutma yoluna gitmektedirler, böylece yüzey kusurları daha az belirgin hale gelir. Ancak, bu yaklaşımın üretkenliği olumsuz etkilediği bir gerçektir. Bu tezin temel hedefi, ürünlerdeki kusurları en aza indirerek homojen bir üretim elde etmek ve böylece zaman kaybını önleyerek üretkenliği artırmaktır. Aynı zamanda hurdaya atılacak ürün miktarını minimize ederek kusurları azaltmayı amaçlamaktadır. Alüminyum ekstrüzyonunun işleme ilgili sorunları şu şekilde özetlenebilir:

2.8.1.1. Çapaklanma-Silisyum Çapaklanması (Pick up)

Silisyum çapaklanması olarak da adlandırılan çapaklanma, ekstrüzyon yönü boyunca uzanan bir damla veya yıldız benzeri kusurdur. Genellikle uzunluğu 0,5 mm ile 3 mm arasında değişir ve ürün yüzeyinde herhangi bir bölgede ortaya çıkabilir. Çapaklanmanın oluşma sıklığı, işlem parametrelerine bağlıdır. Bu yüzey kusuru, kütükteki inklüzyonlara, yetersiz homojenizasyona, kalıp esnemesine, ekstrüzyon prosesi parametrelerine, kalıp geçiş kanalı yüzeyindeki demir oksit ve alüminyum oksit gibi faktörlere bağlanabilir.



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

2.8.1.2. Kalıp İzi (Die Lines)

Kalıp izi oluşumu, ekstrüzyon yönünde sürekli olarak belirgin bir derin çizgi şeklinde kendini gösteren bir kusurdur. Bu tür kusurların kökeni, kalıp geçişlerindeki intermetalik partiküllerin ve biriken alüminyumun etkileşimine dayanabilir. Ayrıca, bu oluşumlar, kalıp yüzeyi aşırı parlak olduğunda ve kalıp çıkış açısı en uygun durumda olduğunda da gözlemlenebilir. Genellikle bir kalıp izi, 0,2 µm ile 0,5 µm arasında bir derinliğe sahip olabilir ve bu tür kusurlar, ürünün eloksal kaplama işlemi için problem oluşturabileceği unutulmamalıdır.



Şekil 2.7. Kalıp İzi

2.8.1.3. Sıcak Yırtılma (Tearing)

Sürtünme ve erimenin başlangıcıyla ilişkilendirilen iki farklı türde yırtılma mevcuttur. Bu süreçler sırasında, sıcak metalin kohezyon kuvveti, yüksek sıcaklıklarda daha az plastisiteye sahip olduğundan dolayı sürtünme kuvvetinden daha düşüktür. Bu nedenle, sıcak metalden kaynaklanan yapışma gücü daha düşük olur ve sonuç olarak yırtılma meydana gelir. Genellikle bu tür yırtılmaya "mekanik yırtılma" denir. Bu tür yırtılma genellikle ekstrüzyon işleminin yüzeyinden başlar ve ürünün yüzeyinde yaklaşık olarak 100 µm kadar uzanabilir. Her alüminyum alaşımında, inklüzyonlar ve alaşım elementlerinden kaynaklanan ikinci faz partikülleri bulunmaktadır. Örneğin, AA6060 alaşımı içerisinde Mg₂Si ve AlFeSi gibi ara faz bileşikleri bulundurur. Bu bileşikler Si ve Al ile reaksiyona girer ve düşük sıcaklıklarda sıvı bir faz oluşturabilirler. AA6060 alaşımının erime noktası 640°C olsa da, fazla Si içeriğine sahip AA6060, 555°C'lik bölgelerde eriyebilir. Bu izole edilen sıvı katılaşmaya başladığında, daha düşük mukavemetli olan ve yüzeyde yırtılmaya neden olan dendritler meydana gelir.



Şekil 2.8. Sıcak Yırtılma

2.8.1.4. Hava Kabarcık Oluşumu (Blisters)

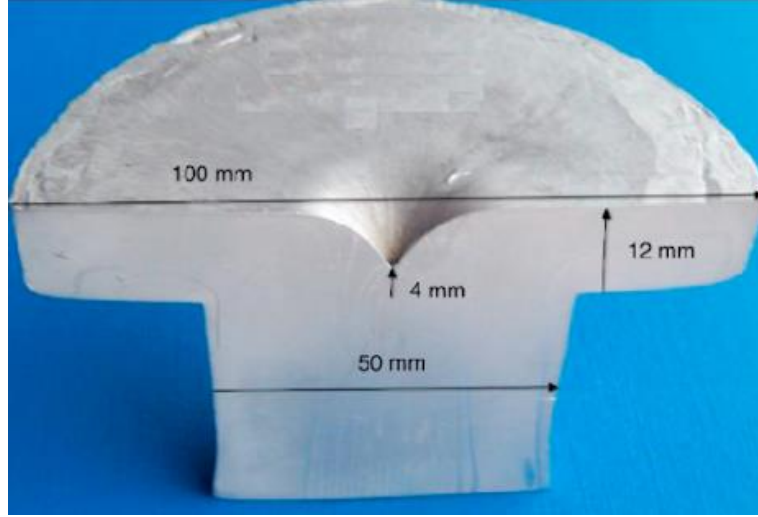
Ekstrüzyon yüzeyinde gözlemlenen ve belirli bir bölgeden yukarı doğru soyulan ince tabakalar, oldukça yaygın bir sorundur. Bu kusurların tam kökeni net olarak anlaşılmasa da genel bir görüş, ekstrüzyon işlemi sırasında hava ve yağlayıcıların içerde kalması nedeniyle bu tabakaların oluştuğu yönündedir. Aynı zamanda, bu tür kusurların varlığı, ayrı bir tabakanın, oksit tabakası ile alüminyum substrat arasındaki zayıf bağlantıdan kaynaklanabilir. Bu tür sorunların ortaya çıkmasına neden olan çeşitli faktörler arasında, biyetin kalitesinin düşük olması, eksiklikleri bulunan bir kalıp setinin kullanılması, biyetin yüksek sıcaklıklarda işlenmesi ve biyetteki hidrojen miktarı gibi etkenler bulunmaktadır.



Şekil 2.9. Hava Kabarcığı Oluşumu

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

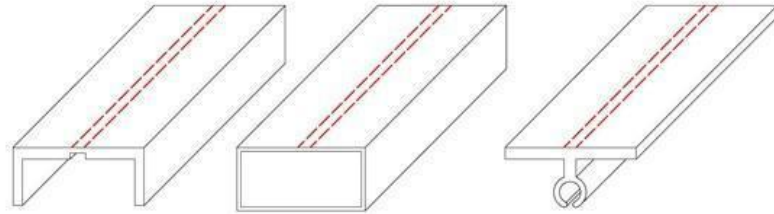
Çekirdeklenme, alaşımlarda meydana gelen bir kusur türüdür ve genellikle uygun olmayan dengesiz sıcaklık koşulları nedeniyle oluşur. Bu sorun, bir alaşım içinde merkezi tanelerde daha yüksek erime sıcaklığına sahip elementin fazla birikmesi sonucunda ortaya çıkar. Bu durum meydana geldiğinde, dışarıdan oluşan dendrit kolları, iç bölgelerdeki alaşımdan farklı bir bileşime sahip olurlar, bu da yerel bir bileşim farklılığına yol açar. Bu farklılık ise alaşımın kalitesini ve performansını olumsuz etkiler. Döküm biyetinde (kütükte) mevcut olan bu kusur, gereken dikkat ve önlem alınmadığında, ekstrüzyon ürününün içerisinde yer alabilir ve sonuç olarak ürünün kullanılamaz hale gelmesine neden olabilir.



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

2.8.1.6. Kalın Çizgi-Bant Oluşumu (Die Streak)

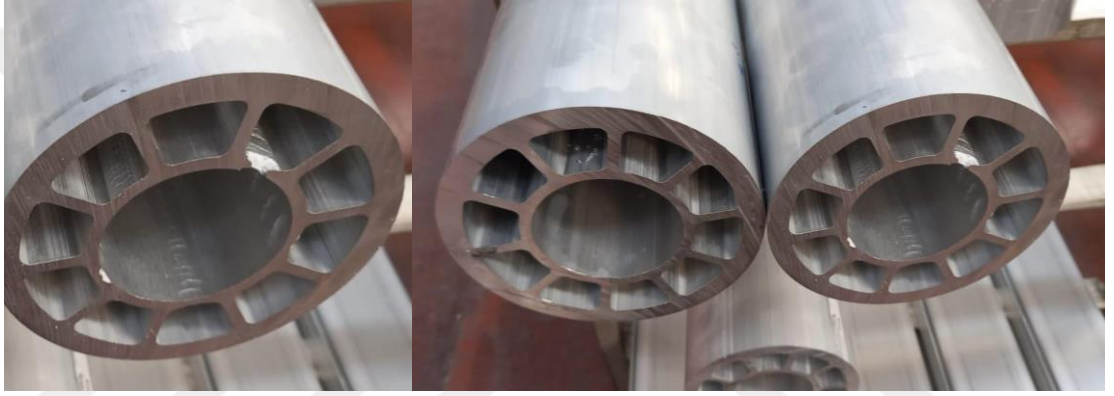
Bu kusur, genellikle "çizgilenme" veya "akış çizgileri" olarak adlandırılır (bu çalışmada "çizgilenme" terimi kullanılmaktadır) ve ekstrüzyon süresince uzanan açık veya koyu çizgiler ile belirginleşir. Kalıp çizgileri, genellikle aşındırma ve eloksal işlemleri yapılmadan önce görünmezler ve bu sorun, alüminyumun metalurjik yapısındaki bir değişiklikten kaynaklanır. Bir kalıp çizgisi, ekstrüde edilen bir profilin yüzeyinde uzunlamasına oluşan bir çukur veya kabartıdan farklıdır. Genellikle, enine kesit kalınlığına sahip bölgelerin etrafında bulunur ve en yaygın çizgi tipidir. Örneğin, bir AA6060 malzemesinde eloksal işlemden sonra alüminyum ekstrüzyon ürünü üzerinde konumunu belirleyen çizgiler bulunmaktadır (Walker, n.d.). Bu çizgi, vida portları bölgesinde oluşmuştur.



Şekil 2.11. Bant Oluşumu (Hart, 2023)

2.8.1.7. Hız Çatlakları (Speed Cracking)

Alüminyum profilinin kenarında, paralel doğrultusu boyunca belli bir açıda periyodik aralıklarla ortaya çıkan çatlaklardır. Bu çatlaklar, hafif olduklarında genellikle yüzey altında gizlenir, ancak metalin bütünlüğünü ciddi şekilde etkileyebilen girintili çatlaklardır. Ekstrüzyon çatlacağı, ekstrüzyon işlemi sırasında kalıp duvarının aşırı çekme gerilimi nedeniyle metal yüzey tabakasının kopması sonucu meydana gelir. Bu tür bir çatlak oluşumu, ekstrüzyon işleminin çok hızlı olduğu, yüksek sıcaklıkta gerçekleştiği veya biyetin homojen olmadığı durumlarda meydana gelebilir. Bu durum da alüminyum profilde deformeye neden olur.



Şekil 2.12. Hız Çatlakları

2.8.1.8. Ekstrüzyon Kaynağı (Kaynaşma) Hatası (Welding)

Ekstrüzyon işlemi sırasında, zıvanalı kalıplarda oluşan kaynaklar ekstrüde alüminyum profillerde uzunlamasına kaynaklar veya enine kaynaklar olarak tanımlanabilir. Boyuna kaynaklar yalnızca içi boş profillerde meydana gelirken, enine kaynaklar her zaman kütüğün önceki ekstrüzyondan kalıpta kalan kısmına ekstrüde edildiği durumlarda görülür. Bu, içi boş ürünlerin ekstrüzyonu sırasında veya dolu profillerin ön hazneli kalıpların kullanıldığı işlemlerde ortaya çıkar. Ekstrüzyon kaynağı ile ilgili sorunlar, kullanılan alaşıma bağlı olarak bir dereceye kadar değişebilir. Yumuşak alaşımlar, uygun şekilde tasarlanmış zıvanalı kalıpta iyi bir kaynak dikişi elde edebilirler. Ancak aynı kalıpta daha sert bir alaşım ekstrüde edilirse, kaynak kalitesi ile ilgili sorunlar ortaya çıkabilir. Bir ekstrüzyon hatasının bir kaynak hatası olarak sınıflandırılıp

sınıflandırılmayacağına karar vermek bazen zor olabilir. Bazı alaşımlarda, uzunlamasına ekstrüzyon kaynağının dağlama yoluyla belirlenmesi zorlayıcı olabilir. Dahası, dağlamadan sonra kaynağın gözlemlenebilir olduğu alaşımlarda, kırılma kısmen kaynak düzlemi ile uyumlu olabilir, ancak aynı zamanda yüzey kusurundan ayrılma belirtileri gösterebilir. Bu nedenle, üründe meydana gelen sorunun kökenini tanımlamak için ayrıntılı bir hasar analizi gerekebilir. Enine kaynaklar boyuna kaynaklardan farklı olarak her iki taraftan yavaşça yaklaştığı için ve ekstrüzyonun arka ucuna doğru kaynaktan ayrıştırılması zor olduğu için, belirli bir kaynak tipini belirli bir kaynak hatasıyla ilişkilendirmek karmaşık olabilir. Enine ve boyuna kaynaklarda meydana gelen kusurlar olarak karşımıza çıkar.



Şekil 2.13. Kaynaşma Hatası

2.8.2. Ekstrüzyon Sonrasında Ortaya Çıkan Kusurlar

Ekstrüzyon sonrası meydana gelen kusurlar genellikle metalurjik faktörlere bağlı olsa da prosesin uygun koşullarda gerçekleştirilmemesi gibi etkenler de etkili olabilir. Bu kusurlar aşağıdakileri içerebilir:

- 1- Kaba taneli Mg₂Si (Coarse Mg₂Si)
- 2- Tane sınırlarında Mg₂Si birikmesi (Mg₂Si 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 sonrası ürünler, farklı çevresel koşullara maruz kalacakları ve korozyon riski taşıdıkları için koruyucu bir kaplama işlemi olan eloksallama veya anodizasyon işlemi ile işlenirler. Eloksal işlemi, mekanik ve elektrokimyasal bir yöntem olup özellikle alüminyum malzemeler için geliştirilmiş bir yüzey kaplama işlemidir. Eloksal işlemi sonucunda ortaya çıkan kusurlar şunlar olabilir:





- 1- Atmosferik korozyon (atmospheric corrosion)
- 2- Alkali korozyon (Alkali corrosion)
- 3- Mat yüzey görünümü (Dull finish)
- 4- Mg₂Si kaynaklı renk değişimi (Coloring due to Mg₂Si)
- 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

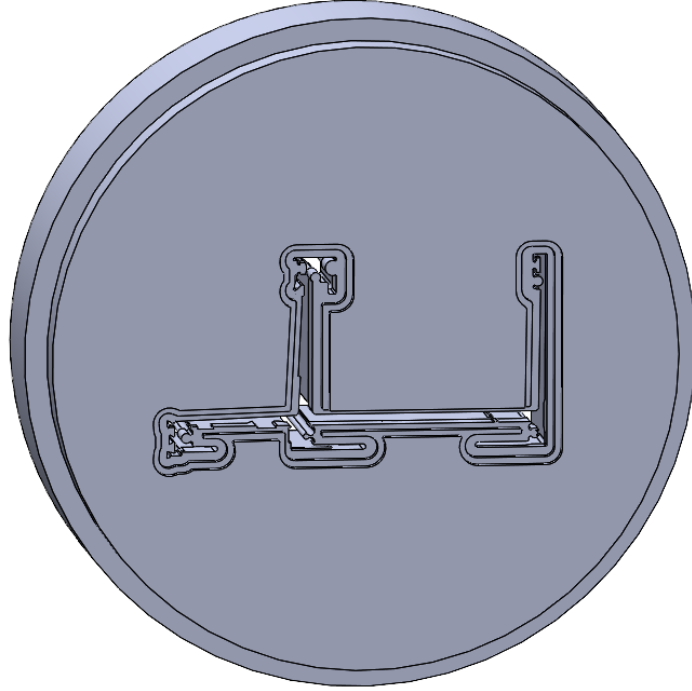
Ekstrüzyon kalıpları, ekstrüzyon makinelerinde belirli özelliklere sahip ürünlerin üretilmesini sağlamak için kullanılan kalıplardır. Bu kalıplar, genellikle profil, levha ve boru gibi plastik parçaların istenen geometrik özelliklerini oluşturmak için özel olarak tasarlanmış boşluklara sahiptir. Ekstrüzyon kalıpları, ekstrüzyon işlemi sırasında malzemenin şeklini ve boyutunu belirler ve son ürünün istenen formunu elde etmek için kritik bir rol oynar. Ekstrüzyon kalıpları, genellikle dolu veya kapalı profillerle, yarı-açık ve açık olarak tanımlanan içi boş profillerin belirli bir duvar kalınlığına sahip olanlar gibi, farklı profil tiplerini üretmek için kullanılır. Ekstrüzyon kalıpları, hedeflenen nihai profilin geometrisine bağlı olarak solid (katı) ve zıvanalı (köprülü) kalıplar olmak üzere iki ana kategoriye ayrılabilir. Kapalı profiller tamamen solid kalıplarla üretilirken, yarı-açık ve açık profiller ise genellikle zıvanalı kalıplarla üretilir. Ekstrüzyon kalıpları için kullanılan malzemenin, yüksek sıcaklıklara dayanabilme özelliğine ve sıcak işlem sırasında aşınmaya karşı direnç gösterebilme yeteneğine sahip olması önemlidir. Bu nedenle, genellikle DIN 2344, 2343 ve 2367 gibi sıcak iş takım çelikleri olarak adlandırılan çelikler tercih edilir.

Açık Profil	
Yarı Açık Profil	
Dolu Profil	
Kapalı Profil	

Şekil 3.1. Ekstrüzyon Ürünlerine Göre Kalıp Seçimi Şematik

3.1.1. Solid Kalıplar

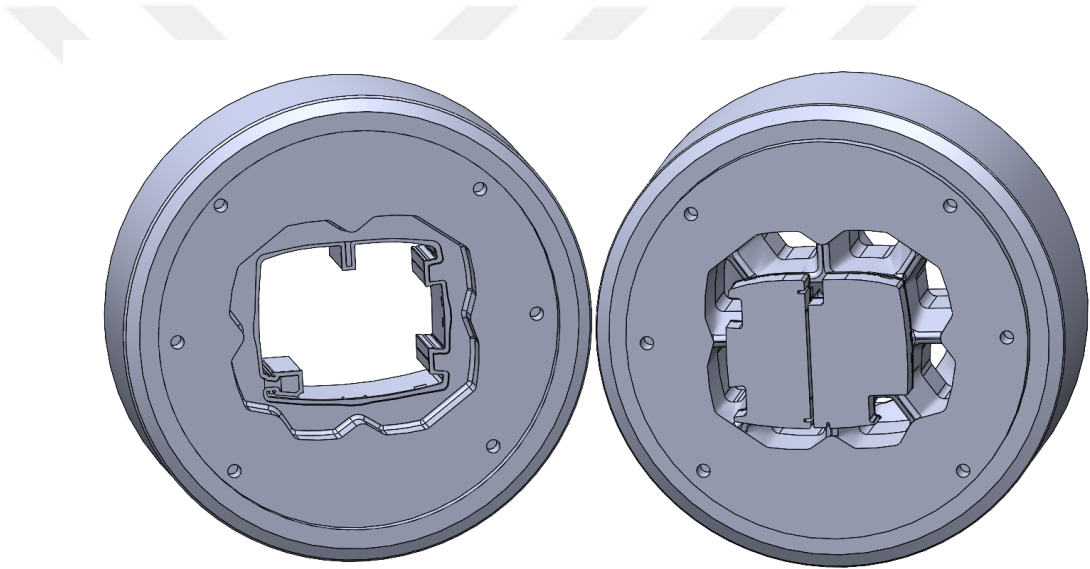
Solid kalıp, genellikle sabit formların üretiminde kullanılan bir ekstrüzyon kalıbı türünü ifade eder. Bu kalıp, düz çubuklar, dolu çubuklar ve boşluksuz profiller gibi sabit şekillerin üretimine olanak tanır. Solid kalıp, tipik olarak bir kapak ve bir destek bölümünden oluşur ve ürünün alüminyum havuzdan çıkarak istenilen şekli almasına yardımcı olur. Özellikle düşük basınç gerektiren ürünlerin üretiminde kullanılır ve yüksek basınçlı köprü kalıplarından farklıdır. Solid kalıplar, profilin içinde boşluklar olmayan ve genellikle daha basit formların üretimi için uygundur. Solid kalıplara; düz alüminyum levhalar yuvarlak alüminyum çubuklar, kare alüminyum profiller, alüminyum borular, dikdörtgen alüminyum levhalar örnek verilebilir.



Şekil 3.2. Solid Kalıp Örneği

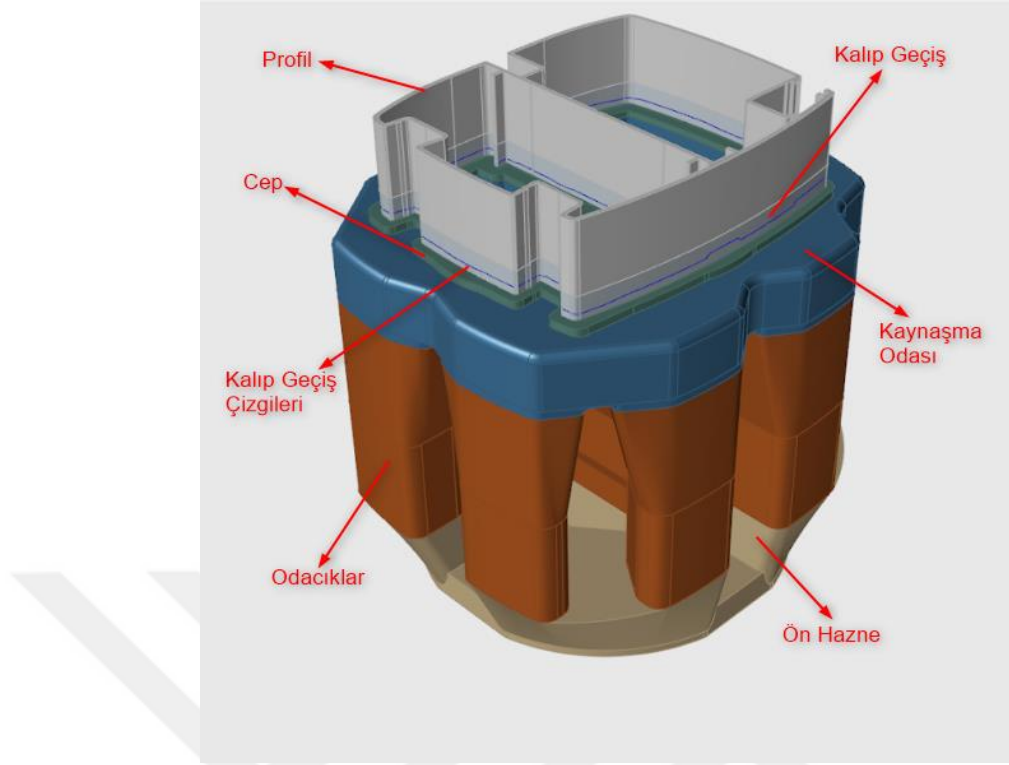
3.1.2. Zıvanalı (Köprülü) Kalıplar

Köprülü kalıp, bir malzemenin ekstrüzyon işlemi sırasında istenilen şekli almasını sağlayan bir kalıp türüdür. Bu kalıp, özellikle alüminyum gibi malzemelerin şekillendirilmesi için kullanılır. "Köprülü" adı, kalıbın içerisindeki zıvana ve kapak bölümlerinin birleşerek profilin şeklini ve et kalınlığını oluşturmasından kaynaklanır. Köprülü kalıplar, borular, kutular ve içi boş profiller gibi daha karmaşık şekillerin üretiminde kullanılır. Bu tür kalıplar, malzeme ekstrüzyon sırasında profili şekillendiren et kalınlığı, zıvana yüksekliği, kalıp havuzları ve sürtünme gibi faktörleri kontrol eder. Köprülü kalıplar, profilin iç yapısını ve dış şeklini belirleyen önemli bileşenlerden biridir ve endüstriyel üretimde yaygın olarak kullanılır.



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: Kovan, ekstrüzyon işleminde kullanılan bir terimdir ve genellikle biyet veya kütük olarak adlandırılan hammaddenin çekirdeği olarak hizmet eder. Kovanda, metal veya plastik gibi malzeme, ekstrüzyon presinin bir parçası olan ekstrüzyon kalıbına beslenmek üzere yerleştirilir. Ekstrüzyon işlemi sırasında, kovanın içinden malzeme basınç altında geçer ve kalıbın şeklini alarak istenen profil veya şekil oluşturulur. Kovandaki malzemenin çapı, nihai ürünün boyutunu belirleyen önemli bir faktördür.

Ön Hazne: Ön hazne, ekstrüzyon işleminin bir parçası olarak kullanılan bir terimdir. Bu, alüminyum veya başka bir malzemenin ekstrüzyon işlemine girmeden önceki bölgesini ifade eder. Ön hazne, malzemenin ilk temas ettiği bölge olarak bilinir ve ekstrüzyon kalıbına girmeden önce malzemenin ısınmasına, yumuşamasına ve şekil almaya başlamasına izin verir. Ön hazne aynı zamanda malzemenin kalıpla temas etmeden önceki son düzeltme ve şekillendirme noktasıdır. Bu bölge, malzemenin kalıba daha düzgün bir şekilde beslenmesini ve ekstrüzyon işleminin başarılı bir şekilde gerçekleşmesini sağlar. Ön hazne, ekstrüzyon işleminin birinci aşamasıdır ve işlem

sırasında malzeme kalıp tarafından şekillendirilir ve istenen profil elde edilir. Bu nedenle, ön haznenin tasarımı ve işlevi, ekstrüzyon işleminin kalitesini ve başarısını etkiler.

Odacıklar: Ekstrüzyon işlemi sırasında, alüminyum veya başka bir malzeme kalıpta belirli bir şekilde şekillendirilir. Bu süreçte, profili oluşturmak için malzeme kalıp içinde farklı bölgelere gönderilir. İşte bu bölgelere "odacıklar" denir. Odacıklar, malzemenin belirli bir profilde istenen yerlere dağılmasını sağlar. Profilin şekline ve tasarımına bağlı olarak odacık sayısı ve konumu değişebilir. Bu odacıklar, ekstrüzyon işlemi sırasında alüminyumun veya malzemenin nasıl dağılacığını belirlemeye yardımcı olur. Bu terim, ekstrüzyon kalıbı tasarımı ve malzemenin şekillendirilmesi sürecinde önemlidir. İstenilen profilin oluşturulmasında odacıkların düzgün ve dengeli bir şekilde yerleştirilmesi, işlem verimliliğini ve kalitesini etkileyebilir.

Kaynaşma Odası: Kaynaşma odası, alüminyum şekillendirilirken malzemenin birleştiği veya kaynaştığı bölgeyi ifade eder. Ekstrüzyon kalıpları, genellikle profili oluşturmak için malzemeyi farklı bölgelere gönderir ve bu bölgelerde malzeme bir araya gelerek kaynaşma odasını oluşturur. Kaynaşma odası, malzemenin ayrıldığı odacıklardan veya diğer bölgelerden gelen akışları bir araya getirir ve profili şekillendirmek için gerekli kaynaşma işlemi burada gerçekleşir. Bu bölge, profildeki köşelerin veya yüzeylerin birleştiği yerlerde bulunabilir ve tasarım gereksinimlerine göre farklı şekillerde olabilir. Kaynaşma odası, ekstrüzyon işlemi sırasında malzemenin bütünlüğünü ve istenilen profili oluşturmayı sağlar. Kaynaşma odası, ekstrüzyon kalıbı tasarımı ve işlem kontrolü açısından önemlidir ve malzemenin bir araya getirildiği kritik bir bölgedir.

Cep: Ekstrüde edilen malzemenin şekillendiği veya yüzey düzeltme işleminin gerçekleştirildiği son bölgeyi ifade eder. Cep bölgesi, ekstrüzyon işlemi sonunda ürünün son şeklini aldığı yerdir. Malzeme, kaynaşma odasından sonra bu bölgeye gelir ve burada istenilen profil şeklini alır. Cep aynı zamanda, ekstrüzyon işlemi sırasında profildeki son düzeltmelerin veya yüzey kalitesinin sağlandığı bölgedir. Bu bölge, profilin son dokunuşunu alır ve son ürünün görünüm ve özelliklerini belirler. Cep bölgesi, ekstrüzyon kalıbı tasarımında ve işlem kontrolünde önemli bir rol oynar. İstenilen profilin doğru şekilde oluşturulmasını ve yüzey kalitesinin iyileştirilmesini sağlar.

Geçiş Çizgileri: Geçiş çizgileri, profildeki et kalınlığının ve profilin merkezden uzaklığının değiştiği bölgeyi temsil eder. Bu bölgeler, ekstrüzyon işlemi sonucunda profilin son formunu alırken malzemenin hareket ettiği ve şekillendiği bölgelerdir. Geçiş

çizgilerinin uzunluğu ve şekli, üretilen profilin özelliklerini etkiler. Profilin istenen şeklini alması ve belirli özelliklere sahip olması için geçiş çizgileri tasarımı dikkatlice yapılmalıdır. Bu bölgelerdeki et kalınlığı ve profil merkezine olan uzaklık, son ürünün özelliklerini ve görünümünü etkiler. Bu nedenle, geçiş çizgileri ekstrüzyon kalıbı tasarımında büyük bir öneme sahiptir.

3.2. Ekstrüzyon Kalıp Tasarımı ve Üretimi

Ekstrüzyon kalıp tasarımı ve üretimi, bir üretim sürecidir. Bu süreç, özellikle alüminyum gibi malzemelerin şekillendirilmesi amacıyla kullanılır. Kalıp tasarımı; ürün profili, pres kapasitesi, pres özellikleri, kullanılacak malzeme, işlem sıcaklığı gibi faktörleri ele alarak ürünün kalitesini belirler. Ekstrüzyon kalıp tasarımı ve üretiminde izlenecek adımlar:

- **Profilin Üretilirlik Analizi:** İlk adım, istenilen alüminyum profilin üretilebilirliğini değerlendirmektir.
- **Uygun Pres Seçimi:** Profilin üretimi için hangi tür presin kullanılacağı belirlenir.
- **Kalıp Çapı Belirleme:** Kalıp çapı, profil sayısı ve boyutuna göre değişiklik gösterir.
- **Figür Sayısı Belirleme:** Profilin ağırlığı, şekli, malzeme özellikleri ve kullanılacak prese göre belirlenir.
- **Uygun Bolster Kontrolü:** Kalıp tasarımında uygun bolster kontrolü, profilin esnekliğini en aza indirmek amacıyla belirlenir.
- **Kalıp Tasarımı:** Kalıp tasarımı, bilgisayar destekli tasarım yazılımları kullanılarak oluşturulur.
- **Simülasyon Modellemesi:** Tasarım, simülasyon modellemesi ile değerlendirilir.
- **Üretime Aktarım:** Onaylanan tasarım, üretime aktarılır.

Bu süreç, alüminyum gibi malzemelerin istenilen profillerde şekillendirilmesini sağlar ve ürünün kalitesini belirler. Ekstrüzyon kalıp tasarımı ve üretimi, birçok endüstride yaygın olarak kullanılan bir üretim yöntemidir.

3.2.1. Kalıp Tasarım Aşamaları

Kalıp tasarımı, genellikle bir üretim süreci veya imalat işlemi sırasında kullanılan kalıp, matris veya döküm kalıbı gibi araçların tasarımını içeren bir mühendislik sürecidir. Bu tasarım süreci, bir malzemenin belirli bir şekil, desen veya özellikteki bir nesneye dönüştürülmesi amacıyla kalıpların üretildiği endüstriyel veya üretim alanlarında yaygın olarak kullanılır.

Kalıp tasarımı, nihai ürünün özelliklerini belirlemek ve kalıpların doğru şekilde çalışmasını sağlamak için titiz bir mühendislik sürecini içerir. Bu süreç, malzemenin akışını, soğutmasını ve şekillendirilmesini kontrol etmeyi amaçlar. Kalıp tasarımı, malzeme türüne, işlem sıcaklığına, basınca ve diğer faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterir. Kalıp tasarım aşamaları şu şekilde özetlenebilir:

Başlangıç: Ürün profili temel alınır ve solid kalıp veya köprülü kalıp seçimi yapılır.

Çekme Payı Hesaplaması: Alüminyumun türüne bağlı olarak ısı genleşme katsayısı kullanılarak profilin çekme payı hesaplanır. Bu hesaplama, bir malzemenin ekstrüzyon işlemi sırasında kalıptan geçerken boyutlarının nasıl değişeceğini belirlemek için yapılır. Çekme payı, ekstrüde edilecek profilin son ölçüleri ve özellikleri ile başlangıç ölçüleri arasındaki farkı ifade eder.

Çekme payı hesaplaması, malzemenin ısı genleşme katsayısı, ekstrüzyon oranı, hız, basınç ve diğer faktörlere dayanarak yapılır. Bu hesaplama, malzemenin ekstrüzyon işlemi sırasında istenen boyutlara ulaşabilmesi için başlangıç boyutlarının nasıl ayarlanması gerektiği belirlenir. Çekme payı, ekstrüzyon sonucu elde edilen profilin toleranslarını karşılamak ve istenen boyutlara sahip olmasını sağlar.

Bu nedenle, çekme payı hesaplaması ekstrüzyon işlemi için önemlidir çünkü bu hesaplamalar, kalıp tasarımından ürünün son ölçülerine kadar olan tüm süreçte profilin doğru boyutlara ulaşmasını sağlar.

Boyutlar ve Toleranslar: Profil geometrisinin boyutları, tolerans sınırları içinde kalacak şekilde tasarlanır. Boyutlar ürünün uzunluğu, genişliği, yüksekliği veya diğer fiziksel ölçüleri boyutlar olarak kabul edilir. Boyutlar, bir nesnenin teknik çizimlerinde veya tasarım belgelerinde ayrıntılı olarak belirtilir. Boyutlar, genellikle metrik (milimetre veya santimetre) veya imperial (inç) birimlerle ifade edilir. Toleranslar ise ürünün üretim sürecindeki hassasiyetini veya doğruluğunu

belirler. Örneğin, bir metal parçanın uzunluğu 100 milimetre olarak belirlenmiş olabilir, ancak toleranslar, bu uzunluğun ne kadar sapma gösterebileceğini belirtir.

Kalıp Çıkış Geometrisi: Kalıptan çıkacak profil geometrisi belirlenir. Ekstrüzyon işlemi sırasında nihai ürünün profilinin ilk aşamasını tanımlar. Ekstrüzyon işlemi, genellikle bir kalıp veya die (kalıp) kullanılarak yapılır ve bu kalıp çıkış geometrisi, ürünün başlangıç aşamasını şekillendirir.

Esneme Miktarı: Kalıpta oluşabilecek esneme miktarı hesaplanır. Esneme miktarı, ekstrüzyon işlemi sırasında kalıptan çıkan malzemenin gerçek boyutlarına dönüşebilmesi için önemlidir.

Esneme miktarı, işlem sırasında kullanılan malzemenin özelliklerine ve son ürünün tasarımına bağlı olarak değişebilir. Bu, tasarım aşamasında dikkate alınması gereken kritik bir parametredir çünkü yetersiz veya fazla esneme miktarı, son ürünün boyutlarını etkileyebilir ve istenmeyen sonuçlara yol açabilir. Bu nedenle, doğru esneme miktarını hesaplanarak istenilen sonuçları elde etmeye çalışılır.

Yürüme Yüzeyi: Profilin yere temas edeceği yürüme yüzeyi belirlenir ve profil merkezi konumlandırılır. Profilin kalıptan çıkmasını ve uzunlamasına bir yüzey üzerinde düzgün bir şekilde ilerlemesini sağlar. Yürüme yüzeyi, profili sıkıca tutar ve istenmeyen titreşimleri veya hareketleri engeller. Böylece profilin kalıptan çıkış sırasında herhangi bir şekil bozulması veya çapak oluşmamasını sağlar.

Ekstrüzyon Oranı ve Figür Sayısı: Ürün profiline bağlı olarak ekstrüzyon oranı hesaplanarak kalıpta kullanılacak figür sayısı belirlenir ve profil merkezlenir. Ekstrüzyon oranı, profilin kesit alanının nasıl değiştiğini ve profilin son şeklini nasıl aldığını belirler. Daha yüksek bir ekstrüzyon oranı, biyetteki çap ile profil çapı arasındaki büyük farkı gösterir. Bu, profilin ekstrüzyon işlemi sırasında daha fazla şekil değiştirmesine neden olur. Ekstrüzyon oranı, profilin son kalınlığını, boyutunu ve şeklini etkiler.

Figür sayısı ise ekstrüzyon işleminde profilin kesit şeklini ve detaylarını belirleyen faktörlerden biridir. Figürler, profilin yüzeyindeki desenler, oluklar, delikler veya şekil özelliklerini ifade eder. Figürler, profilin son kullanım amacına veya tasarımına göre çeşitlilik gösterebilir.

Ekstrüzyon oranı ve figür sayısı, bir profilin son özelliklerini belirlemek için önemlidir. Bu faktörler, profilin boyutları, duvar kalınlığı ve dış yüzey şeklini etkiler.

Dolayısıyla, ekstrüzyon işlemi sırasında bu parametrelerin doğru bir şekilde ayarlanması, istenen son ürünün elde edilmesi için kritiktir.

Havuz (Kaynama Odaları): Malzeme akışı ve profil çıkışı için havuz yükseklikleri ve sayıları belirlenir. Havuzlar veya kaynama odaları, ekstrüzyon işlemi sırasında alüminyum veya başka bir malzemenin şeklini alarak ürün haline gelmesinden önce geçici olarak depolanan bölgelerdir. Bu bölgelerde malzeme biriktirilir ve şekil almaya başlar.

Ekstrüzyon işlemi sırasında, malzeme kaynama odalarına yönlendirilir ve burada birikir. Bu havuzlar, malzemenin sürekli olarak şekil almasını sağlayan bir depolama ve basınç dengeleme mekanizması olarak işlev görür. Malzeme kaynama odasında biriktikten sonra, profilin istenen şeklini almaya başlar ve son ürün haline gelir. Havuzlar, profilin istenilen boyutlara, duvar kalınlığına ve şekle sahip olmasını sağlar.

Ayrıca havuzlar, ekstrüzyon işleminin sürekli ve düzgün bir şekilde ilerlemesini sağlar. Malzeme biriktirilerek ani basınç değişikliklerinin önlenmesine yardımcı olurlar.

Köprülü Kalıplar (Opsiyonel): Eğer köprülü kalıplar kullanılacaksa, ayak sayıları ve kalınlıkları belirlenir. Köprülü kalıplar, ekstrüzyon işlemi sırasında kullanılan kalıp türlerinden biridir. Bu kalıplar, özellikle iç kısmında boşluk olan veya karmaşık profillerin üretimi için tercih edilir. Köprülü kalıplar, profilin şeklini oluşturan bölge olarak kapak ve destekten oluşur. Malzeme, kalıbın zıvana girişinden girer ve profilin şekli oluşana kadar kaynar. Köprülü kalıplar, malzemenin yükseklik, kalıp havuzları ve et kalınlığı gibi özelliklerini belirler.

Zıvana Yüksekliği: Kalıp zıvana yüksekliği hesaplanır. Zıvana, ekstrüzyon işlemi sırasında alüminyumun kalıp içine giriş yaptığı bölgeyi ifade eder. Zıvana yüksekliği, bu giriş bölgesinin ne kadar yüksek olduğunu veya kalıp içindeki malzeme akışının hangi yükseklikte başladığını gösterir. Zıvana yüksekliği, ekstrüzyon işleminde profilin şeklini ve boyutlarını etkiler. Yüksek bir zıvana, daha fazla malzeme akışını sağlayabilir, bu da daha büyük veya daha karmaşık profillerin üretilmesine yardımcı olabilir. Düşük bir zıvana yüksekliği ise daha ince veya daha küçük profillerin üretimine daha uygundur.

Bu nedenle, zıvana yüksekliği, kalıp tasarımında dikkate alınması gereken önemli bir parametredir. İstenilen profilin özelliklerine ve üretim gereksinimlerine bağlı olarak zıvana yüksekliği ayarlanır. Zıvana yüksekliği, ekstrüzyon işlemini başladığında malzemenin kalıba nasıl gireceğini ve nasıl akacağını belirleyen önemli bir parametredir.

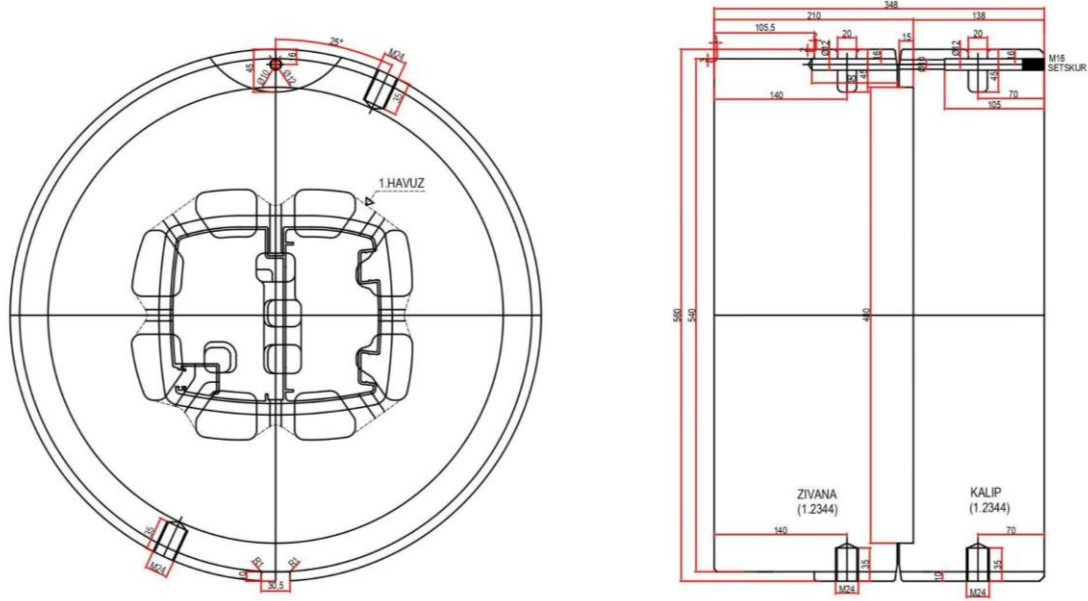
Kalıp Geçiş Sürtünme Katsayıları: Kalıp tasarımı tamamlanır ve kalıp geçiş sürtünme katsayıları hesaplanır. Kalıp geçiş sürtünme katsayıları, ekstrüzyon işleminin sırasında kalıp ve malzeme arasındaki sürtünmeyi belirleyen değerlerdir. Bu katsayılar, ekstrüzyon kalıbının tasarımı ve işlem sırasında malzemenin akışını yönlendirmek için önemlidir. Kalıp geçiş sürtünme katsayıları, ekstrüzyon işleminin verimliliği ve ürün kalitesini etkiler. Ekstrüzyon işleminin sırasında, kalıp ve malzeme arasındaki sürtünme, malzemenin kalıbın içinden geçerken hangi hızda ve ne şekilde akacağını belirler. Bu nedenle, kalıp geçiş sürtünme katsayıları, ekstrüzyon işleminin için uygun bir tasarımın oluşturulmasına yardımcı olur. Aynı zamanda, malzemenin kalıptan daha kolay veya daha zor çıkmasını da etkileyebilir. Kalıp geçiş sürtünme katsayıları, malzeme ve kalıp malzemesi arasındaki temas yüzeylerinin özelliklerine, sıcaklığa ve diğer faktörlere bağlı olarak değişebilir. Bu katsayılar, dikkatli bir tasarım ve simülasyon çalışması ile belirlenir ve ekstrüzyon işleminin istenen sonuçları elde etmesine yardımcı olur.

CAD Modeli ve Teknik Resim: Kalıp tasarımı CAD ortamında model ve teknik resim olarak oluşturulur. CAD, bilgisayar destekli tasarım anlamına gelir. Bu, bir bilgisayar programı kullanılarak bir ürünün veya parçanın üç boyutlu (3D) tasarımının oluşturulmasını sağlar. CAD modeli, bir ürünün geometrisini, boyutlarını ve tasarım ayrıntılarını ayrıntılı bir şekilde gösterir. CAD yazılımı kullanılarak tasarımılanan ürünün geliştirilmesi, analizi ve üretimi için temel bir referans noktasıdır. Teknik resimler, bir ürünün veya parçanın iki boyutlu (2D) temsilleridir. Bunlar, bir ürünün boyutlarını, toleranslarını, malzeme özelliklerini ve montaj talimatlarını içeren ayrıntılı çizimlerdir. Teknik resimler, ürünün üretimi ve montajı için çok önemlidir. Geleneksel olarak, teknik resimler elle çizilirdi, ancak günümüzde bilgisayar tabanlı CAD yazılımları, teknik resimlerin dijital olarak oluşturulmasını sağlar.

Pres ve Bolster Seçimi: Profilin üretimi için ekstrüzyon oranına uygun pres ve uygun kalıp çapı ile bolster seçimi yapılır. Pres, ekstrüzyon işlemi sırasında kullanılan büyük bir makinedir. Bu makine, alüminyum veya diğer malzemeleri yüksek basınç altında kalıplardan çıkarmak için kullanılır. Presin doğru seçimi, işlem sırasında uygulanacak basınç, hız, işleme kapasitesi ve diğer faktörlerin belirlenmesinde önemlidir. Hangi tür presin kullanılacağı, ürünün boyutları, kalıp tasarımı, malzeme özellikleri ve diğer faktörlere bağlıdır. Pres seçimi, işlem verimliliği ve ürün kalitesi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Bolster, ekstrüzyon işlemi sırasında presin alt kısmında bulunan destek yapısıdır. Bu yapı, presin altında yer alan kalıpların ve kalıp taşıyıcılarının desteklenmesini sağlar. Bolster, presin yükünü taşır ve ekstrüzyon işlemi sırasında oluşan kuvvetlere dayanıklı olmalıdır. Bolster seçimi, pres kapasitesi, kalıp tasarımı ve ürünün boyutlarına göre yapılır. Ayrıca, kalıp değişimi ve bakım süreçlerini kolaylaştırmak için tasarım özellikleri de dikkate alınır. Pres ve bolster seçimi, ekstrüzyon işlemi için gereken gücü ve dayanıklılığı sağlama amacı taşır. Doğru seçim, işlem verimliliği ve ürün kalitesini artırır.

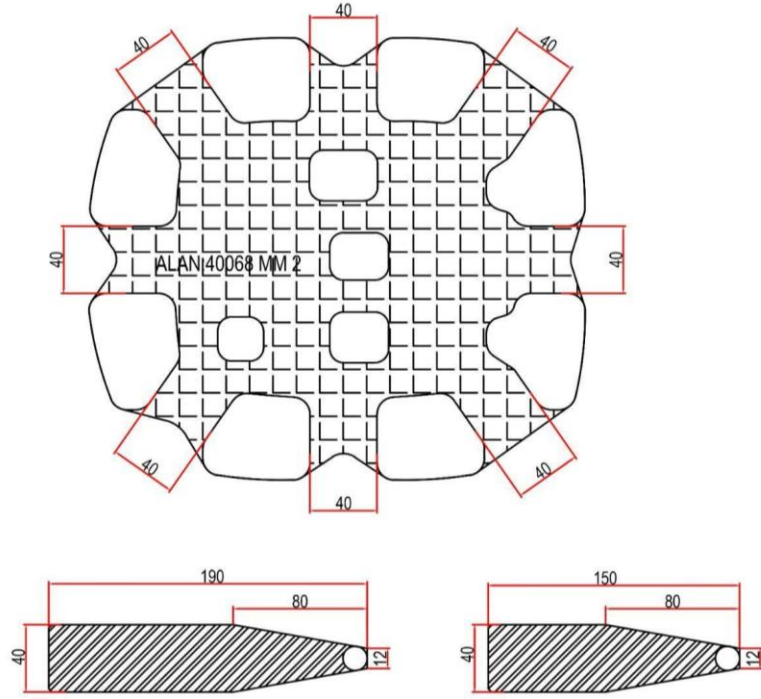
Bu adımlar, kalıp tasarım aşamasını oluşturan temel süreçleri içerir. Kalıp tasarımı ve üretimi, alüminyum ve diğer malzemelerin ekstrüzyon işlemi sırasında istenilen profilin oluşturulmasını sağlar.

Göz odacıkları oluşturulduktan sonra, en büyük malzeme temas alanı ve zıvananın kalıp ile bulunduğu bölge olan 1. havuz sınırları belirlenir.

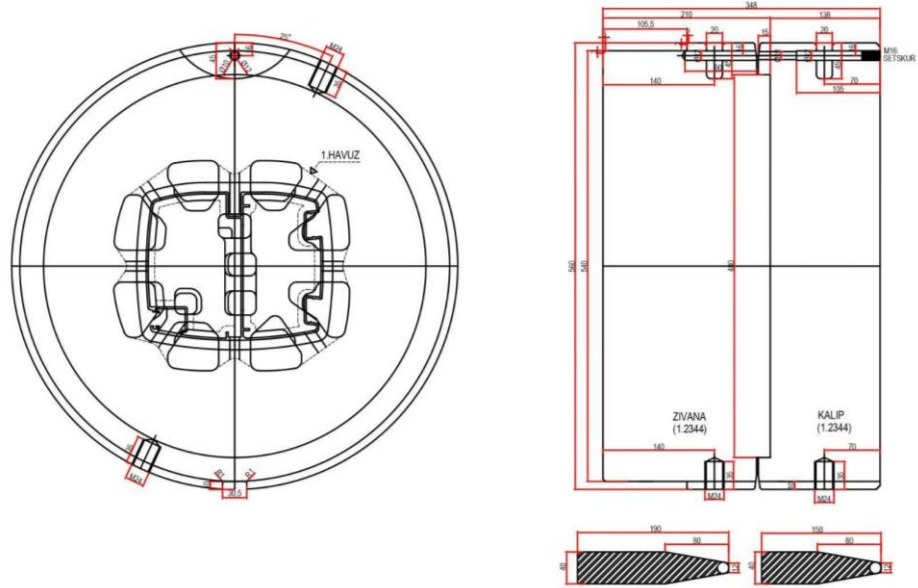


Şekil 3.7. Zıvana Alanını Belirleme

Ayak kalınlıkları ve ayak sayıları belirlendikten sonra, zıvana yüksekliğinin hesaplaması yapılır. Zıvana yüksekliği, uygulanan kuvvetlere karşı kalıbın sağlam ve güvenli bir şekilde durmasını sağlamak için büyük öneme sahiptir.

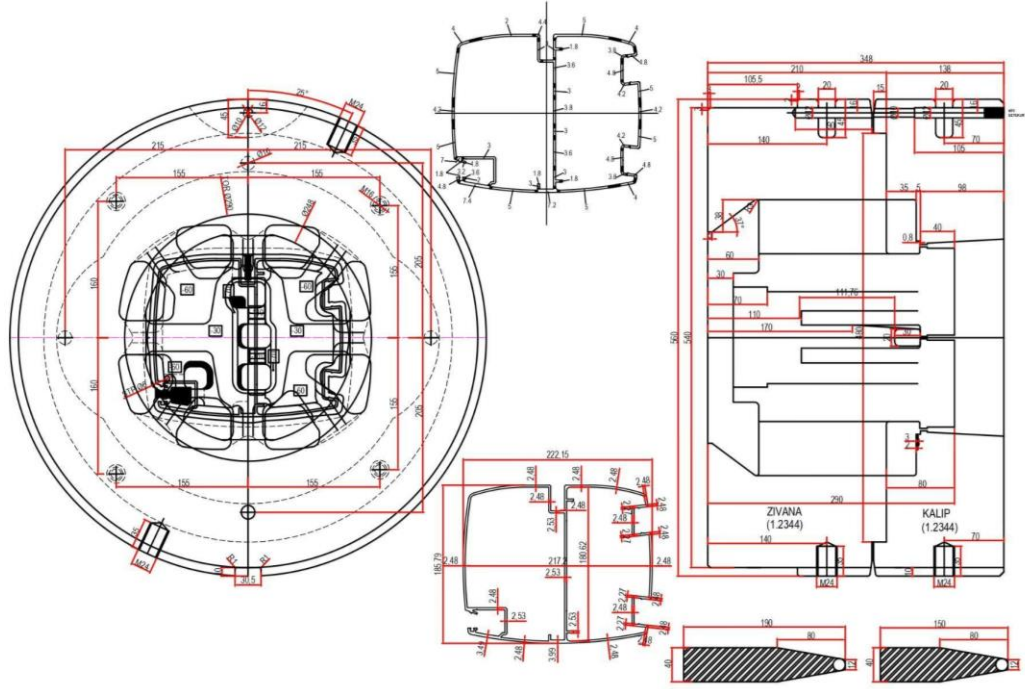


Şekil 3.8. Zıvana Yükseklik Hesaplama

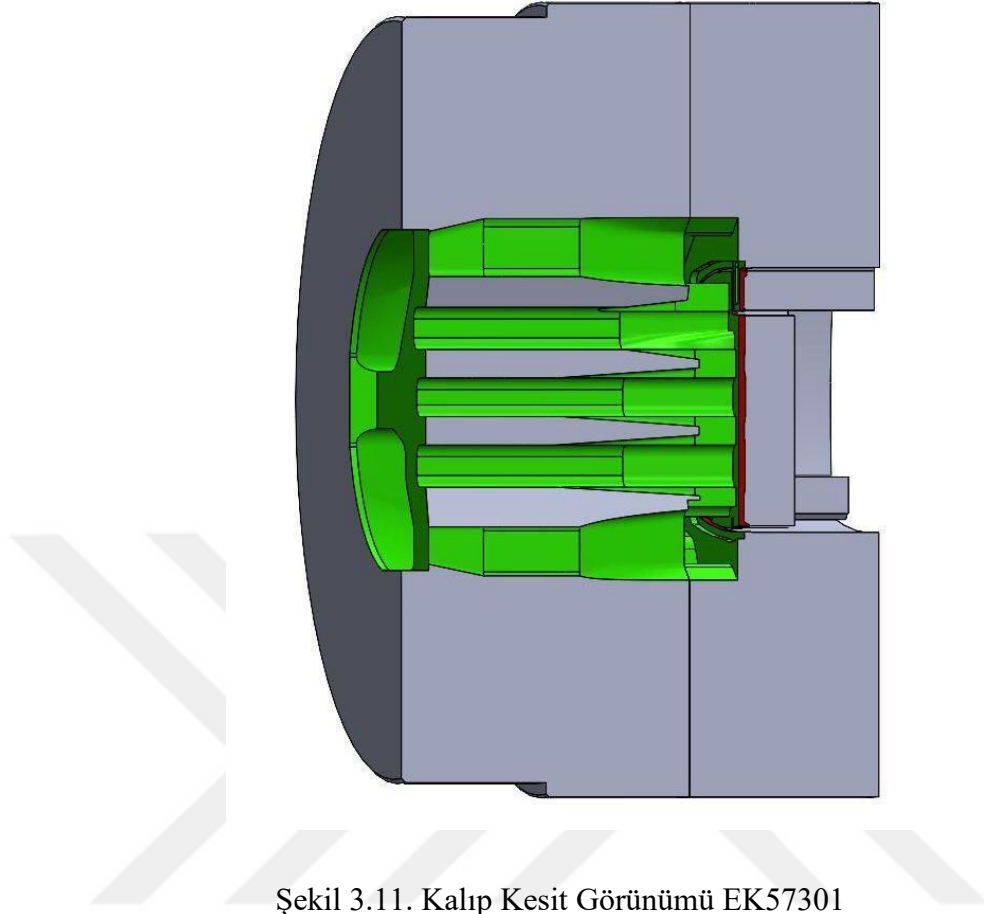


Şekil 3.9. Yan Kesit Oluşturma

Zıvana yüksekliği ayarlandıktan sonra, kalıp kalınlığı ve destek kalınlığı oluşturulur. Ardından, 2. Havuz ve destek tasarımı yapılır, yan görünüşte havuz derinlikleri tasarlanır. Cıvata ve pimlerin yerleştirileceği bölgeler ve eksenlere olan uzaklıkları belirlenir. Zıvana T'si ve malzeme akışı için Zıvana T'sinin akım noktaları belirlenir. Sürtünme (geçiş) katsayısı, merkezden uzaklığı akıma yön veren önemli noktalar Şekil 3.10'da görüldüğü gibi detaylı bir şekilde çizilir.



Şekil 3.10. Kalıp Tasarımının Tamamlanmış Gösterimi



Şekil 3.11. Kalıp Kesit Görünümü EK57301

3.2.2. Kalıp Üretim aşamaları

Kalıp üretimi aşamaları, bir kalıbın tasarımından son ürün haline gelmesine kadar olan süreci ifade eder.

Kalıp üretim aşamaları, özetle aşağıdaki gibidir:

1. Tasarımı yapılan kalıbın istenilen ölçülere uygun olarak çelik kesimi yapılır.
2. Kesilen çelikler tornada istenilen ölçülere işlenir ve işleme merkezlerine gönderilir.
3. İşleme merkezlerinde, kalıp havuzları, zıvana gözleri ve kalıp-zıvana geçişleri gibi detaylar işlenir ve ardından ısıl işleme gönderilir.
4. Ham çelik malzemelerin sertliği, işlendikten sonra 48-50 HRC sertliğine gelene kadar ısıl işleme artırılır.
5. Isıl işlemden çıkan malzemeler, çarpılma sorunlarını gidermek için taşlama işlemine tabi tutulur.

6. Taşlama işleminden sonra, kalıp kapakları tel erezyonda zıvanalarla ve erozyon işlemiyle son dokunuşlar yapılır.
7. Son olarak, tesviye kısmında temizlik yapılır ve et kalınlıkları kontrol edilir.
8. Bu süreçte, kalıp üretiminde kesme, işleme, ısıl işlem ve son işlemler gibi adımlar izlenir. Akış şeması, üretim aşamalarını görsel olarak gösterir.



Şekil 3.12. Kalıp Üretimi Planlama Akış Şeması

3.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu Eleman Analizi (FEA) veya bilinen adıyla Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM), teknik ve matematiksel modellerde sıkça kullanılan sayısal bir analiz tekniğidir. Bu sayısal çözüm yöntemi, verileri sayısal formatta kullanarak çeşitli fiziksel problemlerin çözümü için kullanılır. Genellikle yapı statiği, kütle transferi, ısı transferi, akışkanlar mekaniği ve elektrik potansiyeli problemlerini içeren birçok alanda tercih edilir. Bu yöntem, esasen iki veya üç boyutlu kısmi diferansiyel denklemlerin ve sınır değer problemlerinin çözümünde kullanılır (Wikipedia.org, n.d).

Mühendisler, ürün geliştirmenin daha hızlı ve maliyet açısından daha verimli olmasını sağlamak, aynı zamanda fiziksel prototipler ve deneylerin sayısını azaltmak amacıyla bileşenleri tasarım süreçlerinde optimize etmek için bu yönteme başvururlar. Sonlu Elemanlar Yöntemi, temelde tüm bir sistemi, sonlu elemanlar olarak adlandırılan küçük bileşenlere bölerek, denklemin çözümü için uzayı bölgelere ayırma ilkesine dayanır (Wikipedia.org, n.d).

Mühendisler, ürün geliştirmenin daha hızlı ve maliyet açısından daha verimli olmasını sağlamak, aynı zamanda fiziksel prototipler ve deneylerin sayısını azaltmak amacıyla bileşenleri tasarım süreçlerinde optimize etmek için bu yönteme başvururlar. Sonlu Elemanlar Yöntemi, temelde tüm bir sistemi, sonlu elemanlar olarak adlandırılan küçük bileşenlere bölerek, denklemin çözümü için uzayı bölgelere ayırma ilkesine dayanır (Wikipedia.org, n.d).

Sınır değer probleminin oluşturulmasıyla, bir grup cebirsel denklem kümesi elde edilir. Daha sonra, bu küme, Rayleigh-Ritz veya Galerkin yöntemleri gibi farklılıkları yöntemler kullanılarak çözülür. Esasen, fonksiyonlar kullanılarak asıl çözümün interpolasyonu gerçekleştirilir. Bu teknik ilk defa 1940'larda önerildi ve 1950'lerde uçak dizaynlarında kullanıldı. Bu yöntem, ne kadar karmaşık olursa olsun, çözümü bilinen klasik mekaniğe göre bilinen sonlu sayıda elemana bölmek ilkesiyle çalışır. Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan temel eleman türleri; çubuk eleman, kabuk eleman, düzlem eleman ve katı elemandır. Sonlu elemanlar yöntemi sonuçlarının doğruluğu, giriş verilerinin uygunluğuyla doğru orantılıdır. Giriş sınır şartları olarak adlandırılan giriş verileri, gerçek fiziksel modelin doğru bir şekilde tanımlanmasıyla elde edilen sonuçların doğruluğunu etkiler. Yükler, katı mekaniğinde moment, kuvvet ve yer değiştirme gibi farklı büyüklükleri içerirken, termodinamik problemlerde ısı, ısı akışı ve sıcaklık gibi

farklılıklar gösterebilir. Mesnetler ise, mekanik problemlerde elemanın türüne göre uygulanan yüklerle ilişkilidir ve sistemi sabitlemek için kullanılır. Sınır şartları, özenle seçilmeli ve gerçek modele uygun bir şekilde tanımlanmalıdır (Ciminli, n.d.).

3.4. Kalıp Tasarımında Sonlu Elemanlar Yazılımı

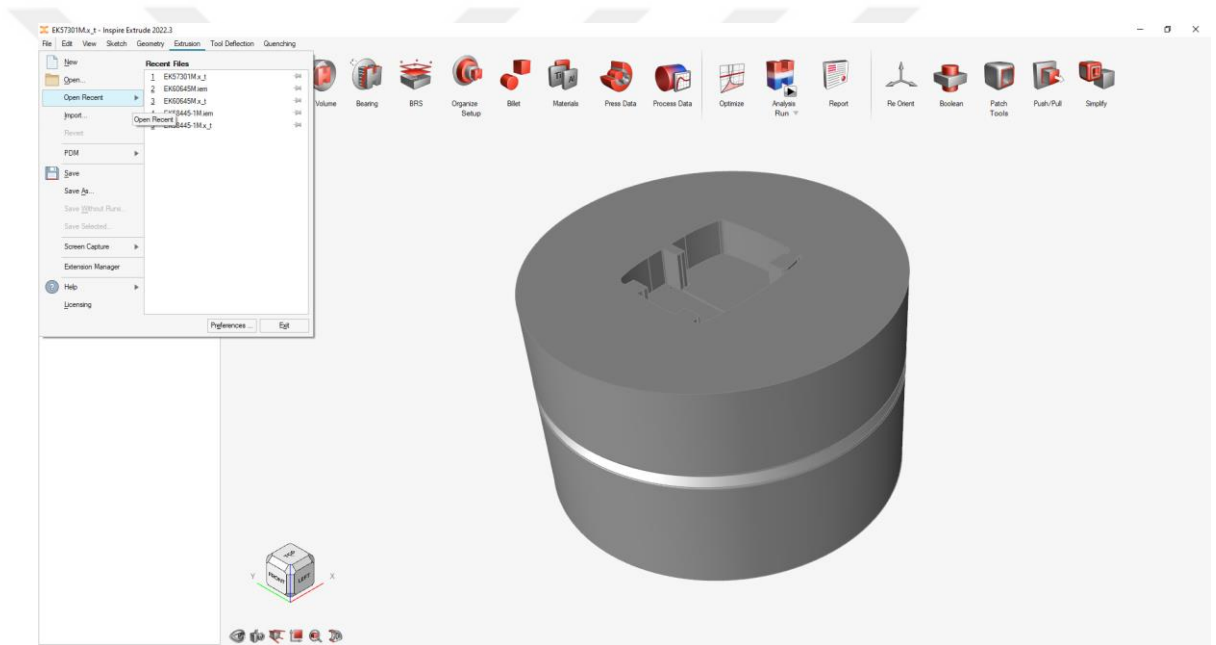
Sonlu elemanlar yönteminin mühendislik çalışmalarında kullanımı, bilgisayar teknolojisinin ilerlemesiyle 1970'lerin sonlarında önemli bir gelişme kaydetmiştir. Mühendislik yazılımları, makine sistemlerinin ve parçalarının performansını değerlendirmek için mühendislere yardımcı olmaktadır. Sonlu elemanlar temelli yazılımlar, bilgisayar destekli teknolojileri entegre ederek tasarım sürecini daha etkili hale getirir ve tasarım ekibine büyük kolaylık sağlar. Bu sayede tasarım ekibi daha fazla verimlilik elde eder. Üç boyutlu katı model tasarımı tamamlandıktan sonra, bir sonraki adım sürecin analizidir. Bu analiz için kullanılan yazılımlar, farklı alanlarda çalışan mühendisler için uygun özel yazılımlar sunar. Genellikle her bir süreç veya şekillendirme yöntemine göre özelleştirilmiş yazılımlar kullanılır. Özellikle ekstrüzyon gibi plastik şekillendirme yöntemleri için geliştirilen analiz yazılımları arasında Qform, DEFORM, HyperXtrude gibi programlar tercih edilmektedir. Bu analizler sonucunda, kalıbın maruz kaldığı kuvvetler, şekillendirme esnasındaki kuvvetler, sıcaklık, gerilme ve şekil değişiklikleri gibi çeşitli sonuçlar elde edilmektedir. Bu veriler sayesinde, ürünün çıkış profil geometrisi, sıcaklık ve malzemenin akış özellikleri gibi önemli faktörler değerlendirilir ve gerektiğinde kalıp tasarımı revize edilerek deneme yanılma yöntemiyle ortaya çıkabilecek büyük maliyetler, zaman ve enerji kayıpları önlenebilir. Sorunsuz bir malzeme akışı sağlamak için, asimetrik kalıp geçişlerini odacıklı kalıplara uygun bir şekilde tasarlamak son derece önemlidir. Sayısal yöntemlerle desteklenen sanal üretim teknikleri, deneme yanılma sürecini azaltmak için etkili bir alternatif sunar. Ticari sonlu elemanlar tabanlı yazılımlar ekstrüzyon sürecini simüle etmek için kullanılabilir, ancak kesin tahminler yapmak her zaman kolay değildir. Son yıllarda, farklı kalıp uzunlukları ve eğim açılarının odacıklı kalıplar üzerindeki etkilerini inceleyen birçok araştırmacı çalışmalarını sürdürmektedir (Dong vd., 2016; Engelhardt vd., 2019; He 3.5. HyperXtrude ile Ekstrüzyon Prosesi Modellemesi).

Tez çalışmasında, HyperXtrude adlı sonlu elemanlar yöntemi tabanlı yazılım kullanılarak ekstrüzyon işleminin modellenmesi ve kalıp içinde malzeme akışı, ürün çıkış

hızı ve ürün çıkış sıcaklığı gibi faktörler incelenmiştir. Altair firmasının yazılımı olan HyperXtrude (Inspire Extrude Metal 2019.1) yazılımı bu amaçla kullanılmıştır. İşlemi modellemek için izlenen adımlar aşağıda sıralanmıştır.

3.4.1. Adım 1: Modelleme ve Import Etme

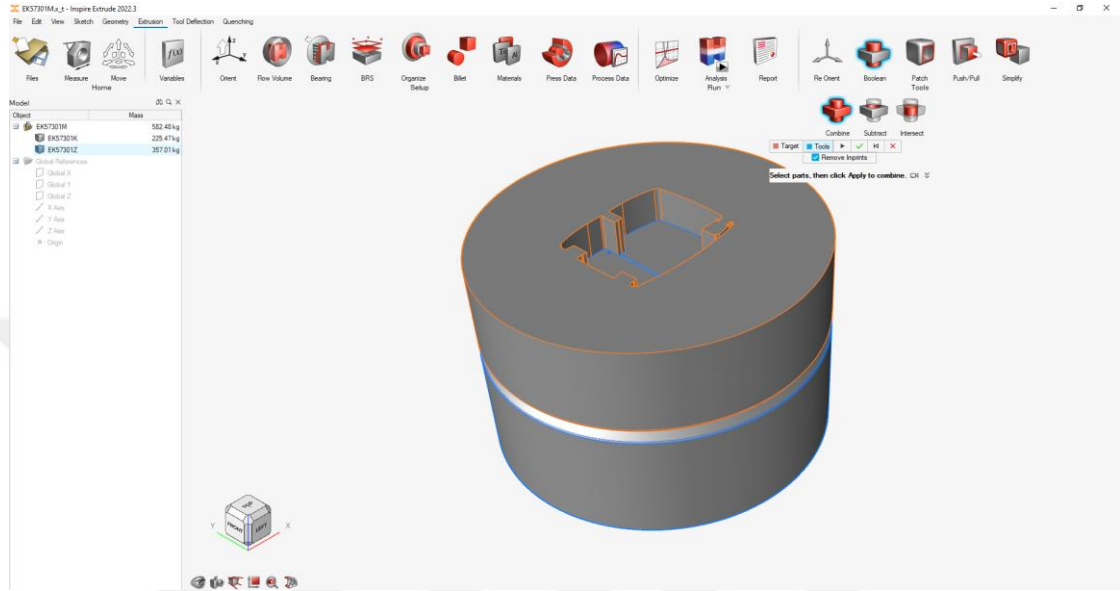
Kalıp tasarımının bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımında oluşturulan modeli, ayrı bir yazılıma aktarılır, bu yazılım HyperXtrude adını taşır. Aktarılan veri, akış yönünde, yani z eksenini boyunca merkeze hizalanır.



Şekil 3.13. Modelleme ve Import Etme

3.4.2. Adım 2: Birleştirme

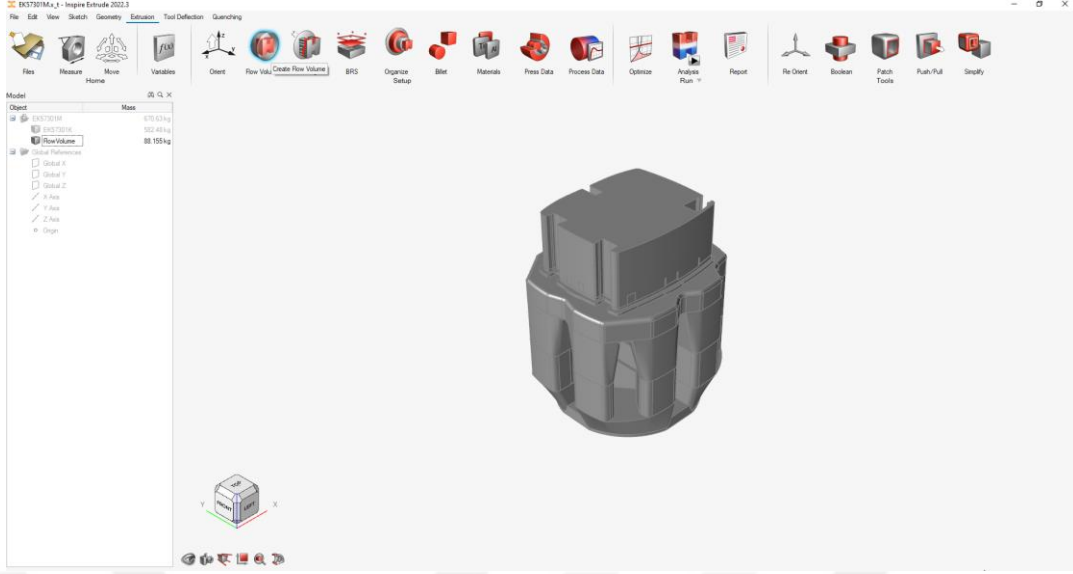
Kalıp ve zıvana, tek bir bileşen olarak birleştirilir ve tasarım onaylanır. Bu adımda, akış hacmini belirleyebilmek için program içinde ilgili işlemler gerçekleştirilir.



Şekil 3.14. Birleştirme

3.4.3. Adım 3: Negatif (Akış Hacmi) Oluşturma

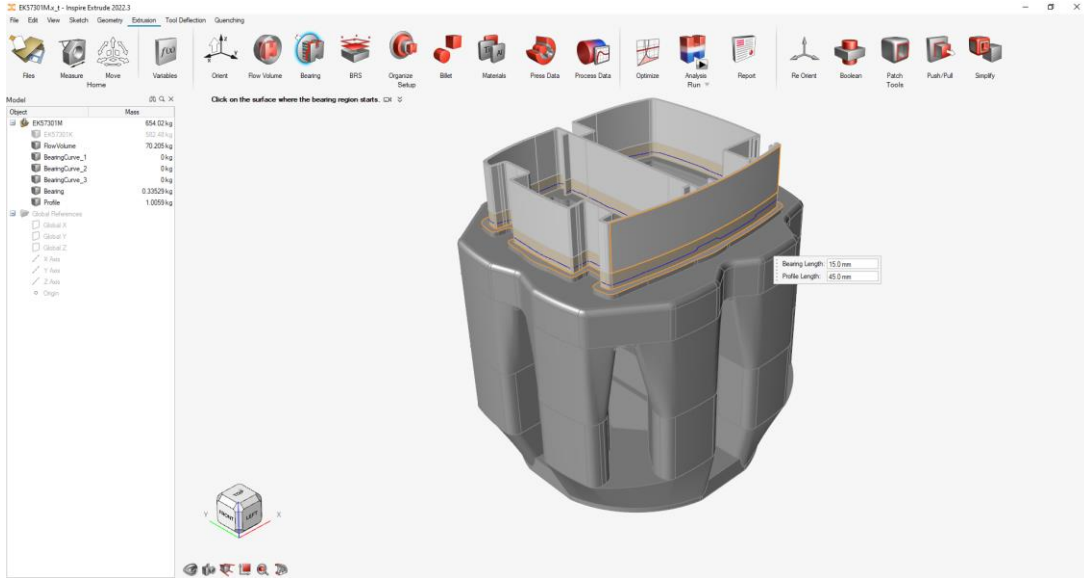
Aktarılan modelin malzeme akışını içerecek bölümü oluşturulur ve programın önerdiği model incelenir. Eğer önerilen model uygunsa, onaylanır. Aksi takdirde, aktif hacim seçilerek onaylama işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 3.15. Negatif (Akış Hacmi) Oluşturma

3.4.4. Adım 4: Profilin ve Sürtünme Yüzeyinin Oluşturulması

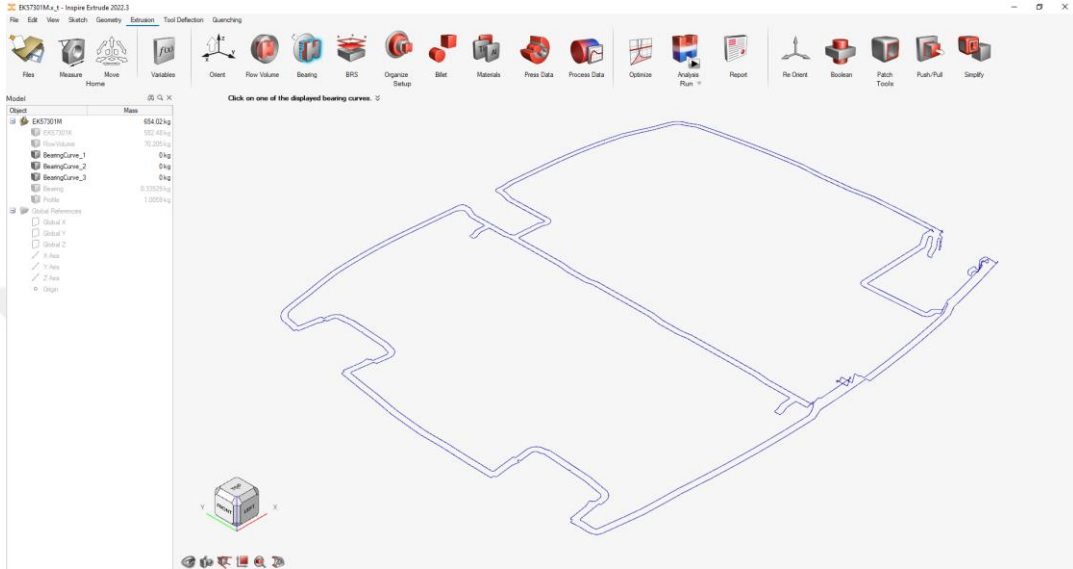
Aktarılan modelin akış hacmi saptandıktan sonra, profilin ve sürtünme yüzeylerinin tanımlanması işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 3.16. Profilin ve Sürtünme Yüzeyinin Oluşturulması

3.4.5. Adım 5: Geçiş Bölgelerini Kontrolü

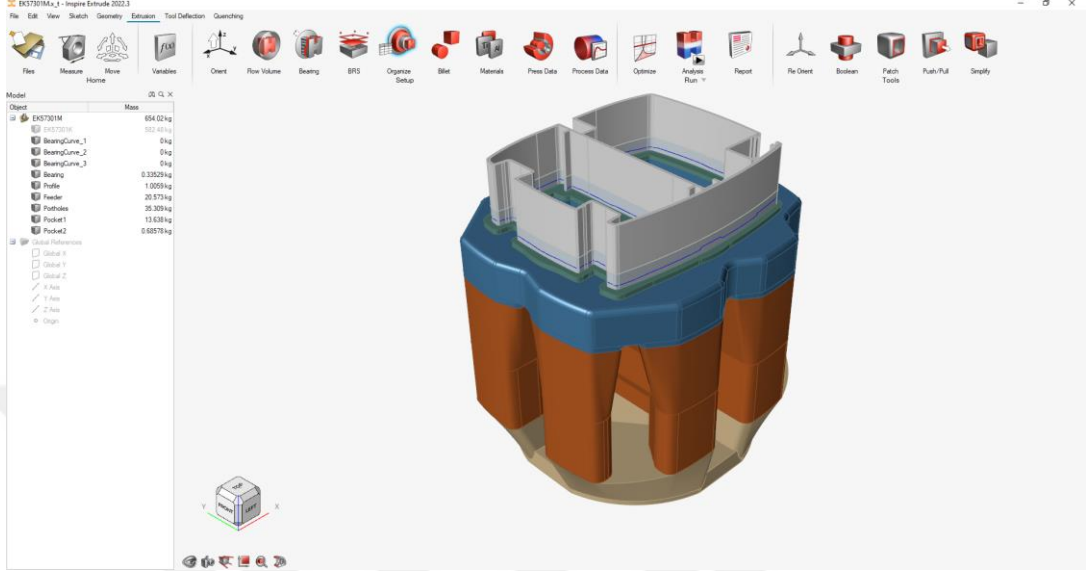
Sürtünme ve profil yüzeyleri tanımlandıktan sonra, geçiş bölgelerinin belirlenmesi sağlanır. Bu sayede, yüzeyler arasındaki geçiş çizgisi kullanılarak uygun malzeme akışı modellemesi gerçekleştirilir.



Şekil 3.17. Geçiş Bölgelerini Kontrolü

3.4.6. Adım 6: Profil, 1.-2. Havuz ve Zıvana Akış Yerlerinin Belirlenmesi

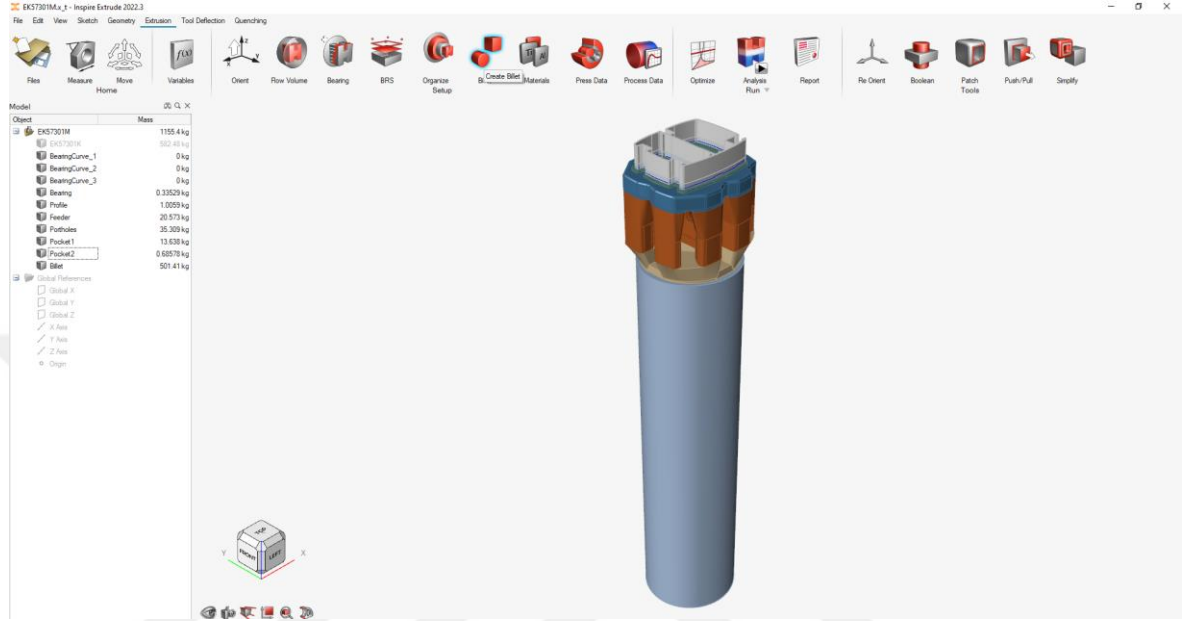
Bu aşamada, program içinde profil, 1.havuz, 2. havuz ve zıvana akış bölgeleri tanıtlılır.



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

3.4.7. Adım 7: Biyet Çapı ve Uzunluğunun Belirlenmesi

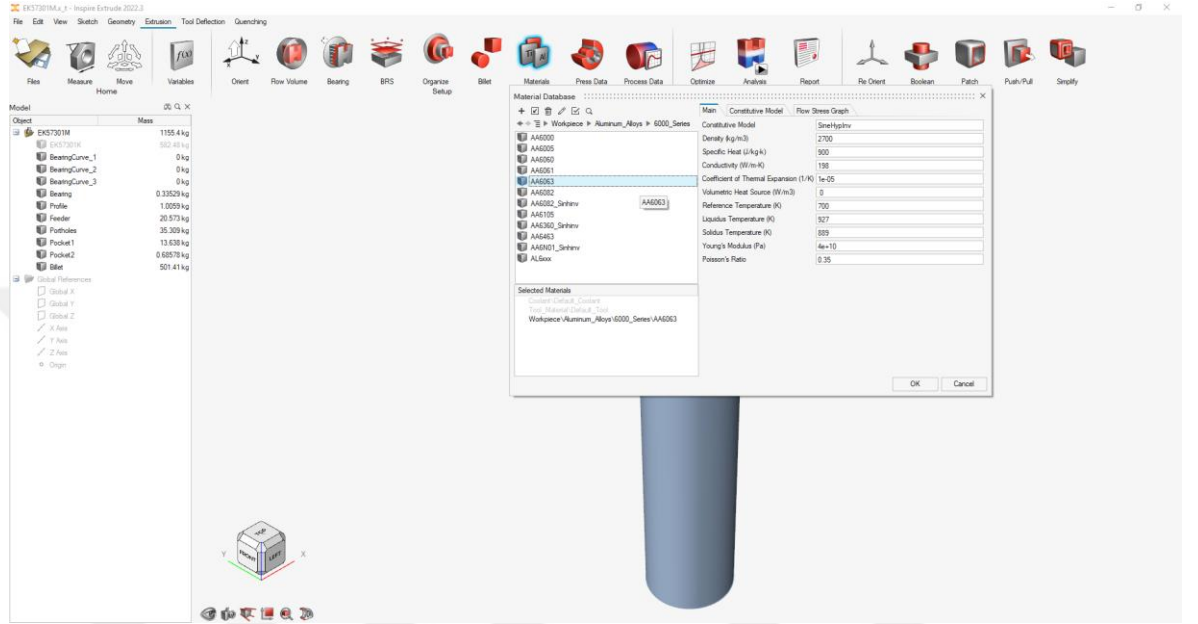
Programa kalıpla ilgili bilgilerin tanıtılmasının ardından biyet çapı ve boyu girişi gerçekleştirilir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Biyet Çapı ve Uzunluğunun Belirlenmesi

3.4.8. Adım 8: Alüminyum Alaşımının Seçimi

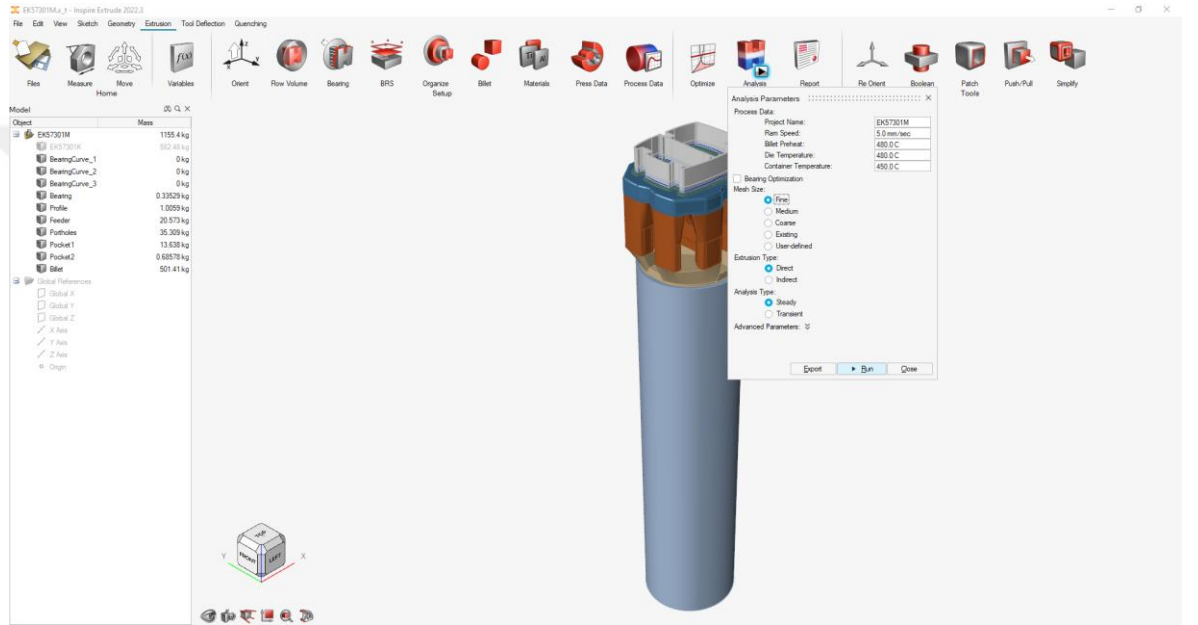
Bu noktada, programın malzeme arşivinden seçilerek tanımlanan ekstrüde edilecek malzemenin türü belirlenir. Bu tez çalışması için AA6063 tipi alüminyum malzemesi seçilmiştir.



Şekil 3.20. Alüminyum Alaşımının Seçimi

3.4.9. Adım 9: Üretim Şartlarının Belirlenmesi

Bu aşamada işleme ilişkin gerekli bilgiler programın veri tabanına aktarılır. Bu kapsamda gerçek üretimde kullanılacak parametreler, biyet sıcaklığı, kalıp sıcaklığı, kovan sıcaklığı, ram hızı gibi veriler programa tanıtılır. Bu tez çalışmasında, 5 mm/s ram hızı ve kalıp, kovan ve biyet sıcaklıkları 450°C olarak seçilmiştir. Modelin mesh işlemi, en yüksek kaliteyi belirten "Fine" olarak ayarlanmıştır. Seçilen analiz türü "Steady" analiz modudur.



Şekil 3.21. İşlem Parametrelerinin Programa Tanıtılması

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Profil Seçimi

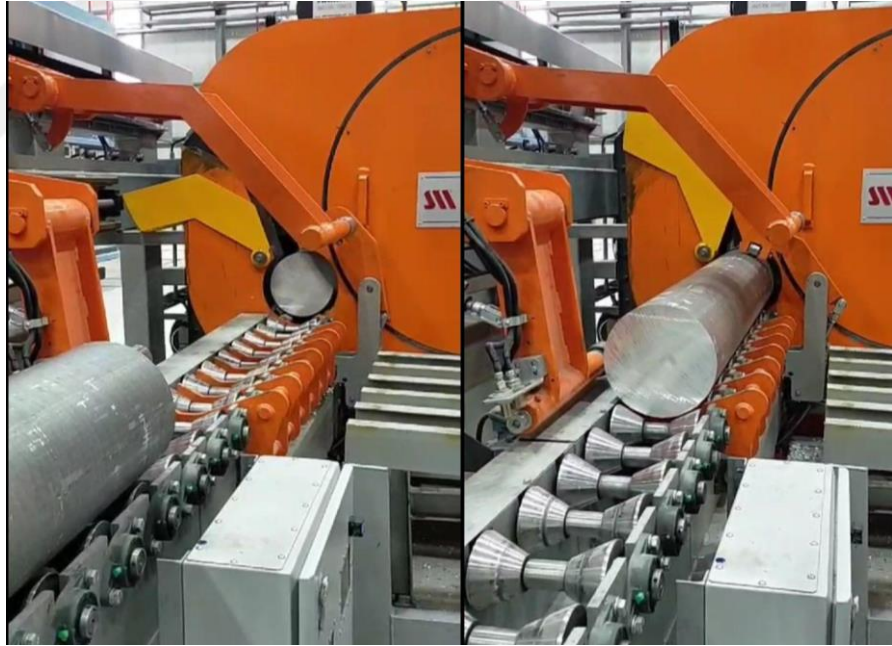
Alüminyum ekstrüzyon, yeni ürünlerin geliştirilmesi için neredeyse sınırsız tasarım olanakları sunar. Ancak ekstrüzyon sırasında karşılaşılan önemli bir sorun, kaynaşma problemleridir. Başarılı bir tasarım elde etmek için bazı temel ekstrüzyon tasarım kavramlarının anlaşılması, hatasız ve yüksek kalitede mekanik özelliklere sahip bir ürünün oluşturulmasına yardımcı olabilir. Bu, ürünün daha iyi bir şekilde ekstrüzyon yöntemi ile üretilmesini sağlayarak, daha düşük üretim maliyetleri ve ekonomik bir ürünün ortaya çıkmasına katkıda bulunabilir. Alüminyum, şekillendirilmesi kolay bir malzeme olup aynı zamanda çeşitli alaşımlarla yüksek mekanik dayanıklılık sağlayabilmesi nedeniyle birçok endüstriye hizmet etmektedir. Alüminyumdan üretilen çeşitli profiller arasında kapı ve pencere profilleri, giydirme cephe profilleri, kutu profiller, köşebentler, lambri profiller, tenteler, asansörler, araç kasaları, duşakabinler ve sigma profiller gibi çok geniş bir yelpaze bulunmaktadır.

İçi boş profillerin üretilmesi için zıvanalı ekstrüzyon kalıpları kullanılmalıdır. Zıvanalı kalıplarda, malzeme önce belirli bir sayıda akış çizgisi izleyerek ayrışır ve daha sonra kaynaşma odasında ısı ve basınç etkisiyle konsolide olarak birleşir, böylece kalıp çıkışında istenilen profil elde edilir. Ancak malzeme akışı sırasında yetersiz olabilir ve ısı ve basınç nedeniyle ürün kesitinde bazı kaynaşma problemleri oluşabilir. Bu tez çalışmasında, zıvanalı kalıplarla üretilen içi boş bir profil seçilmiş ve farklı kalıp tasarım prensipleri ile kaynaşma problemlerine yaklaşım incelenmektedir.

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al
0,35	0,2-0,6	0,1	0,1	0,45-0,9	0,1	<0,1	0,15	Kalan

Çizelge 4.1. AA6063 Alüminyum Kimyasal Bileşimi

Farklı alüminyum alaşımları mevcut olup, bu alaşımların üretim süreçleri arasında çeşitlilik gösterebilir. Öncelikle, kalıp ve biyet ısısını 460-480 °C arasına getirildikten sonra ekstrüzyon işlemi gerçekleştirilir. Gerekli ekstrüzyon parametreleri belirlendikten sonra, profilin üretimine başlanır ve ürün boyutlarının belirtilen spesifikasyonlara uygun olup olmadığını doğrulamak amacıyla ölçümler yapılır. Ürünün uygunluğu onaylandıktan sonra, üretime devam edilir. Bu süreç, çeşitli alüminyum alaşımları için uygulanan üretim yöntemlerini ve standartları içermektedir.



Şekil 4.2. Biyet Isıtma İşlemi

Alüminyum ekstrüzyon işlemi sırasında genellikle 460-480 °C arasında bir sıcaklık kullanılır, ancak sürtünme nedeniyle sıcaklık 510-530 °C aralığına kadar çıkabilir. Profil istenen boyuta ve sıcaklığa ulaştığında, tamamen soğuması için konveyör bandında bekletilir ve ardından tavlama işlemi uygulanır. Tavlama sırasında,

başlangıçta kavisli profili düzleştirmek için gerekli kuvvetler konveyöre uygulanır. Tavlama sırasında uygulanan kuvvetlerin miktarı, profilin şekli ve duvar kalınlığına göre ayarlanmalıdır. Örneğin, farklı açıklık boyutlarına sahip profillere fazla kuvvet uygulanması, üretilen profilin istenilen toleranslardan sapmasına yol açabilir.



Şekil 4.3. Profilin Kalıp Çıkış Görüntüsü

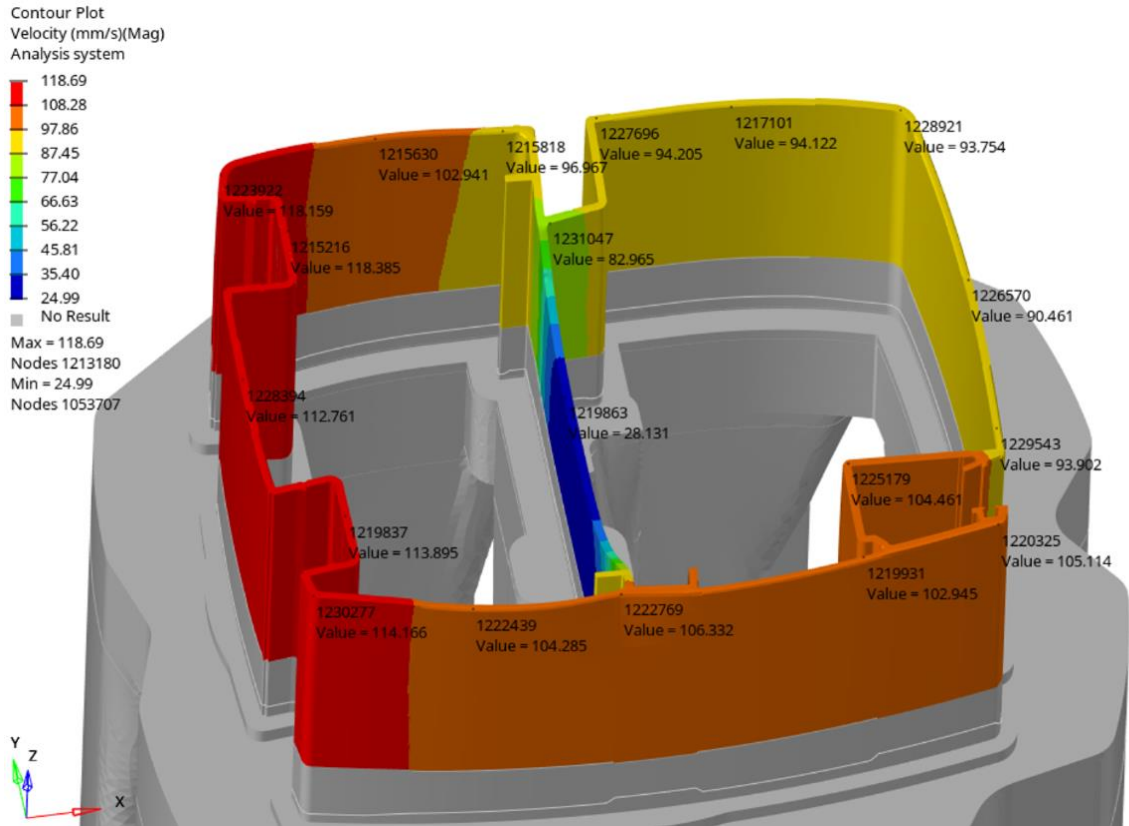
Germe işlemi sona erdikten sonra profilin boyutları incelenir ve istenilen sertliği elde etmek amacıyla bir ısıl işlem (yapay yaşlandırma) uygulanır. Profilin bu ısıl işlemi başarıyla tamamlayabilmesi için ekstrüzyon sırasında 510-530°C aralığındaki sıcaklıklara ulaşmış olması oldukça kritiktir. Isıl işlem esnasında fırın içinde etkili hava sirkülasyonunu sağlamak için profillerin belli aralıklarla sıcak fırına yerleştirilmesi önemlidir. Daha sonra malzeme, 180-190 °C sıcaklığındaki fırında 5-6 saat boyunca dinlendirilir. Profiller, ısıl işlemin ardından taşınmaya ve teslimata hazır hale gelir. Bu aşamadan sonra ürünler müşterilere teslim edilmek üzere hazır duruma gelir.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

5.1. Sonlu Elemanlar Yazılımı HyperXtrude Sonuçları

Sonlu elemanlar yazılımı HyperXtrude kullanılarak elde edilen sonuçlar bu bölümde ayrıntılı olarak değerlendirilmektedir. Prosesle ilgili olarak malzeme akışı, akış hızı dağılımları, gerilim dağılımları ve sıcaklık dağılımlarının analizleri yapılmıştır. Aşağıda elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

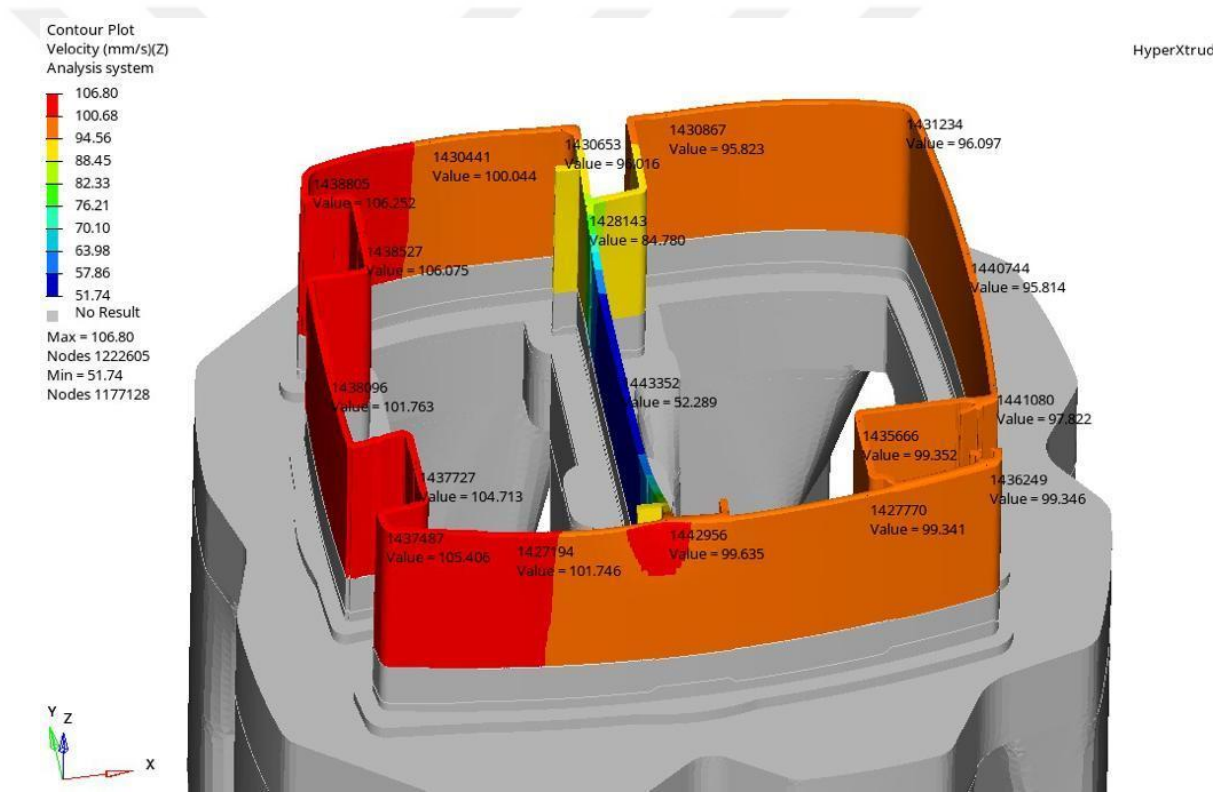


Şekil 5.1. EK57301 Kodlu Kalıbın Akış Hızı Dağılımı 1. Simülasyon Sonucu

Tasarımda, profilin orta kısmı, girinti çıkıntılı bölgelerden kaçınılması gereken kritik alanlardır. Tasarım sürecinde, bu bölgelere malzeme akışını sağlamak amacıyla

gözler (besleme odaları) çizilmiştir. Yan profil kısımların gözlerine ayak açıları eklenerek akış desteklenmiştir. Profilin orta kısmındaki gözler aşamalı bir şekilde tasarlanıp çöktürmeler yapılmıştır. Bu sayede, profilin homojen bir yapıya sahip olması için akım hızlarının birbirine yakın olması hedeflenmiştir.

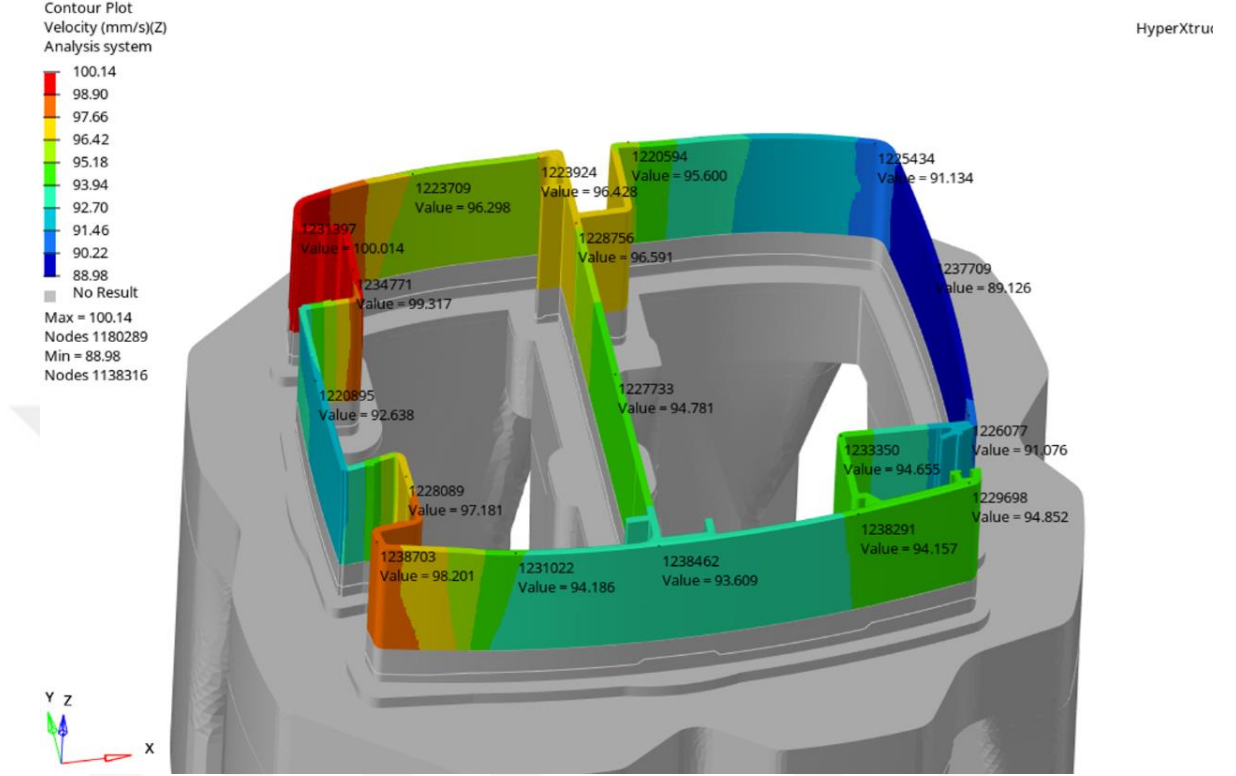
Ancak, EK57301 Kodlu kalıbın akış dağılımı için yapılan ilk simülasyon sonuçları incelendiğinde, profilin girintili çıkıntılı bölgelerinin kırmızı renkte olması yoğun bir akışın gerçekleştiği, ancak profilin orta kısımlarının mavi renkte olması istenilen akışın sağlanamadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.2. EK57301-1 Kodlu Kalıbın Akış Hızı Dağılımı 2. Simülasyon Sonucu

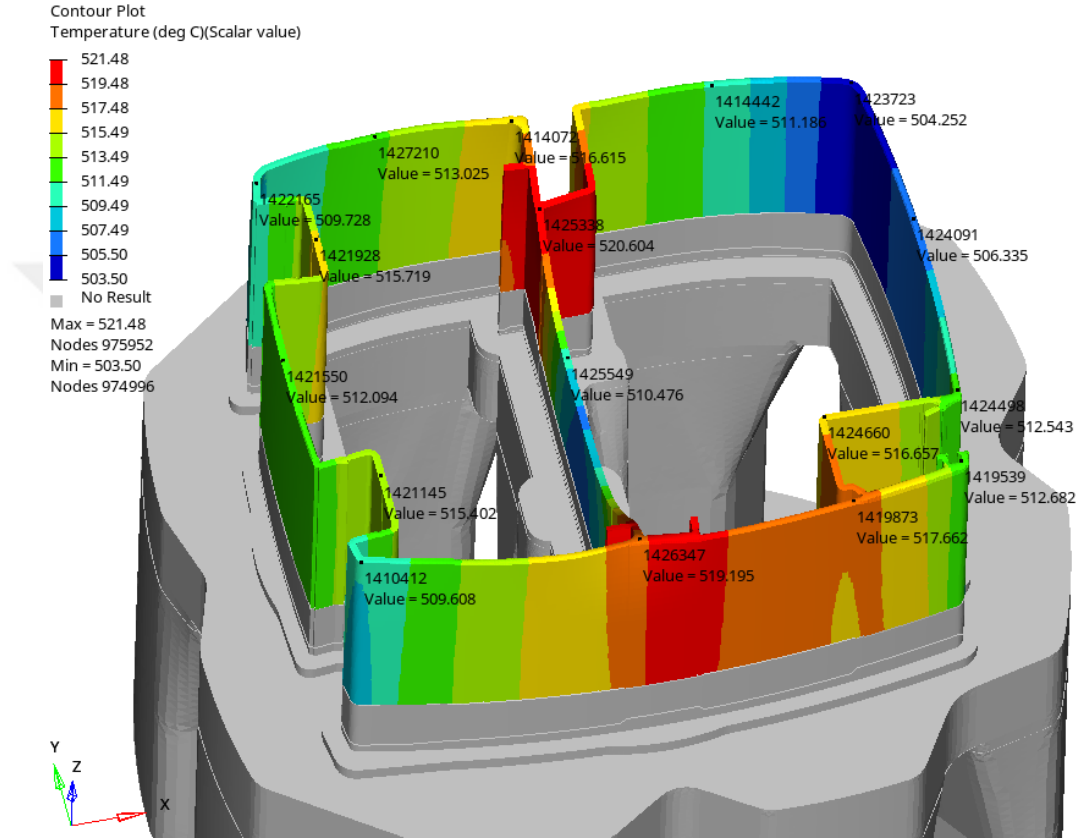
EK57301-1 Kodlu kalıp için tasarımda düzenlemeler yapıldı. Profilin orta bağlantı kısımları için göz derinlikleri artırılarak akışın mavi bölgelere daha iyi yönlendirilmesi hedeflendi. Ancak, EK57301-1 Kodlu kalıp için yapılan ikinci simülasyon sonuçları incelendiğinde, hızların tam olarak yeterli olmadığı, profilin orta

bağlantı yerinin ilk simülasyona göre daha iyi olsa da istenilen sonuca ulaşamadığı gözlemlenmiştir.



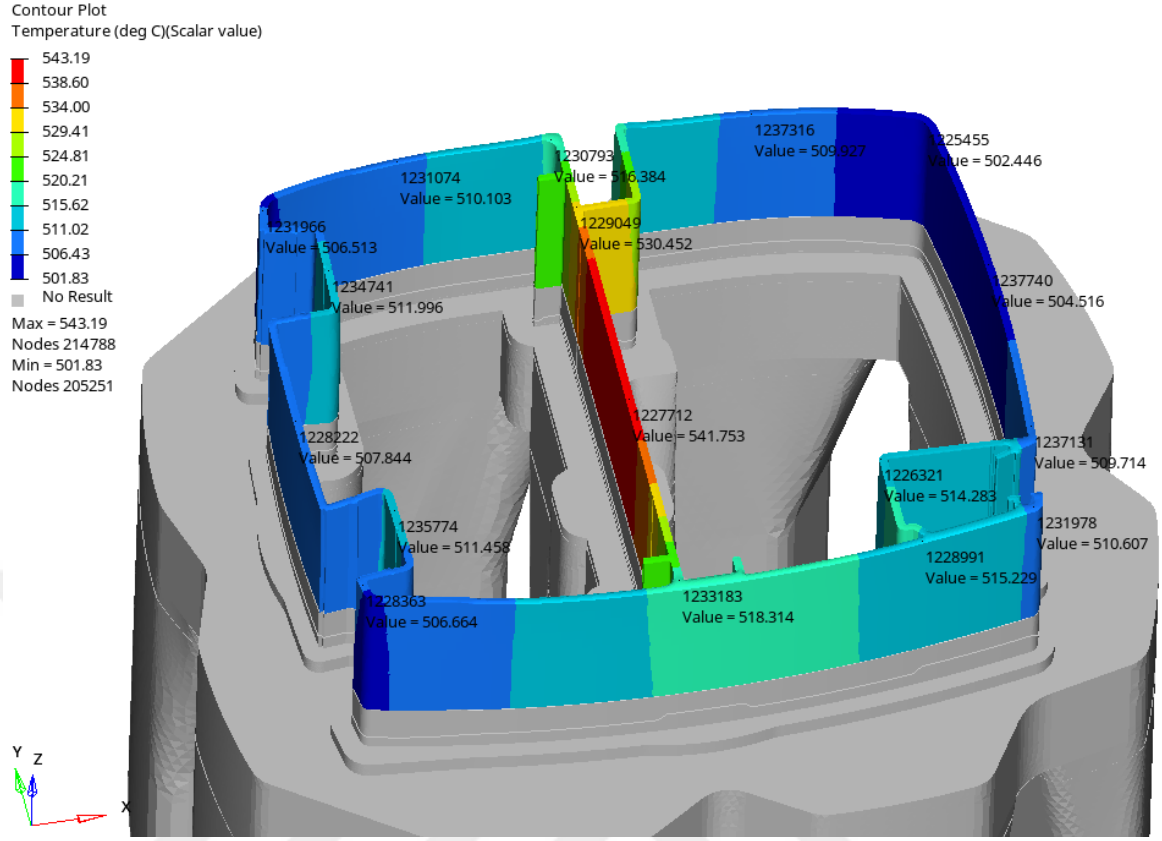
Şekil 5.3. EK57301-2 Kodlu Kalıbın Akış Hızı Dağılımı 3. Simülasyon Sonucu

EK57301-2 Kodlu kalıp için tasarımda orta gözlere daha fazla malzeme akışını sağlamak için ortak bir göz çizilip üç göze malzeme akış desteği sağlanmıştır. Bu dizayn iyileştirmesi göz derinlikleri artırılmasıyla desteklenmiştir. Bu değişiklikler sonucunda EK57301-2 Kodlu kalıp için yapılan üçüncü simülasyon sonuçları incelendiğinde, hızların birbirine yakın olduğu, tasarımın ilk ve ikinci simülasyon sonuçlarına kıyasla geliştiği ve orta bağlantı kısmı için yeterli akımın sağlandığı gözlemlenmiştir.



Şekil.5.4. EK57301 Ürün Çıkış Sıcaklık Dağılımı

EK57301 Kodlu kalıp ürün çıkış sıcaklık dağılımı Şekil.5.4. te gösterilmiştir. Ürün çıkış sıcaklığı incelendiğinde orta bölümde 510 °C civarında olduğu ancak kenarlarda 504 °C civarında olduğu hesaplanmıştır. Sarı renkle belirtilen diğer bölümlerde ortalama sıcaklık değerinin 509-520 düzeyinde olduğu görülmektedir. Profilin orta kısmının diğer yerlere kıyasla ürün çıkış sıcaklık dağılımının düşük olduğu olduğu gözlemlenmektedir.

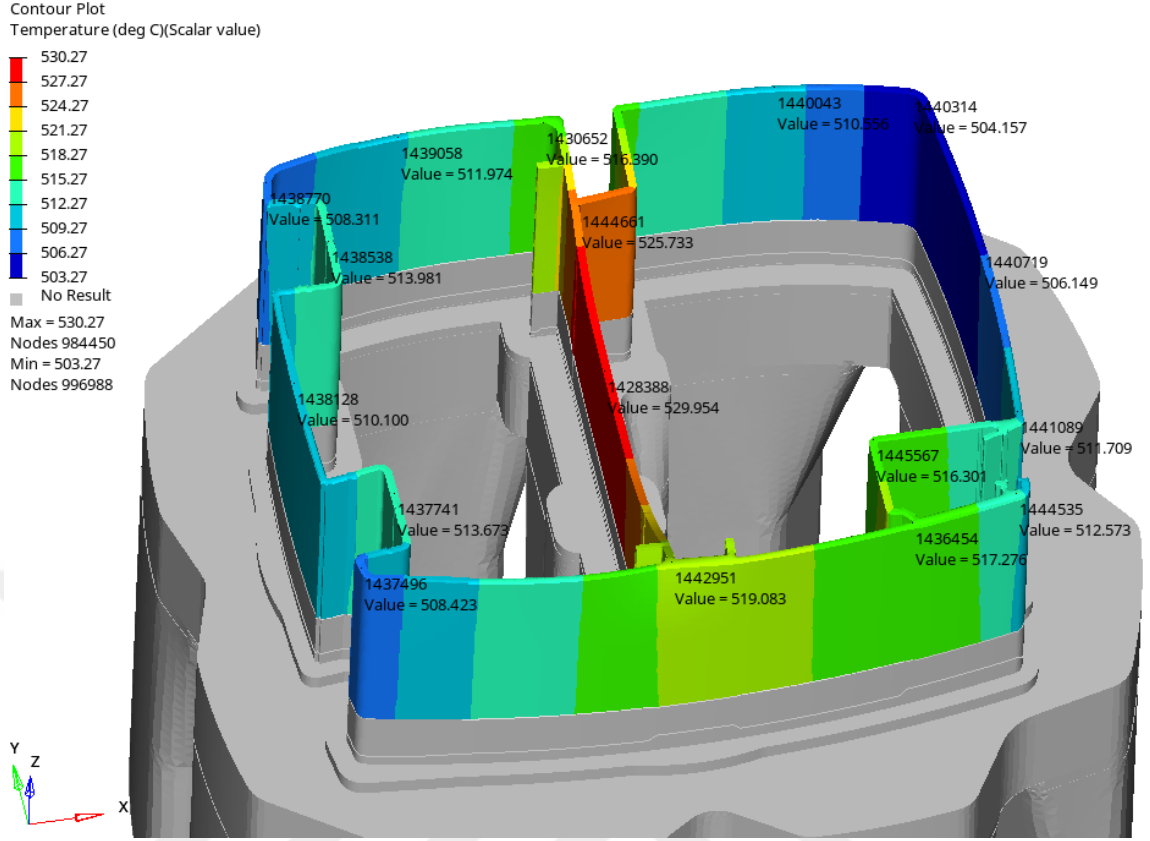


Şekil.5.5. EK57301-1 Ürün Çıkış Sıcaklık Dağılımı

EK57301-1 kodlu kalıpta, EK57301 kodlu kalıba kıyasla sıcaklık dağılımını incelediğimizde orta kısmın sıcaklığının 510°C 'den 541°C 'ye çıktığı ve genel bir artış olduğu görülmektedir.

Dizaynda orta kısım hız olarak geri kaldığından ikinci kalıp tasarımında ortak bir göz çizilip daha fazla malzeme gelmesi için yeni bir alan oluşturulmuştur. Oluşturulan yeni alan orta kısımdaki üç bölmeye daha fazla malzeme akışını sağlamaktadır. Bu durum sağlandığı için EK57301-1 Kodlu kalıp ürün çıkış sıcaklığını incelediğimiz zaman orta sıcaklık değerleri 37°C 'lik artış sağlandığı gözlemlenmiştir.

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



Şekil.5.6. EK57301-2 Ürün Çıkış Sıcaklık Dağılımı

EK57301-2 Kodlu kalıpta dizayn sıcaklığı 543 °C'den 530 °C'ye düştüğü görülmektedir. EK57301-1 Kodlu kalıba kıyasla sıcaklık dağılımında sıcaklık değerlerinde azalma görülmektedir. Bunun nedeni sürtünmenin azalması olarak gözlemlenmiştir.

Orta kısım profilin malzeme akışı, diğer kısımlara göre gelmesi en zor kısımdır. Dizaynda orta kısımlara ortak biz göz eklenerek ve gözlerin derinlikleri artırılarak akışın daha rahat gelmesi ve sürtünmenin azalması sağlanmıştır. EK57301-2 ürün çıkış sıcaklık dağılımını incelediğimizde, EK57301 numaralı kalıbın ürün çıkış sıcaklık dağılımına göre kalıp sıcaklığının yükseltilmesi, profil kesitindeki akış hızının daha homojen hale gelmesine neden olmuştur. Bu durum, nihai ürün kalitesinin artmasına katkıda bulunacaktır.

BÖLÜM 6

YORUMLAR ve TARTIŞMA

Ekstrüzyon yöntemi, alüminyum ve alüminyum alaşımlarının şekillendirilmesinde en yaygın kullanılan tekniklerden biridir. Çeşitli şekillerde ve boyutlardaki ürünlerin ekstrüzyonu için uygun proses parametrelerinin seçilmesi, ürün kalitesini ve verimliliğini artıracaktır. Seçilen üretim yöntemi olan ekstrüzyon, hammadde, kalıp tasarımı ve işlem parametreleri gibi çeşitli faktörlerden etkilendiği karmaşık bir sistem oluşturur. Bu nedenle optimum üretim parametrelerini seçerek, hatasız ve istenen mekanik ve optik özelliklere sahip ekstrüzyon ürünlerinin üretilebilmesi mümkündür. Ekstrüzyon sürecinde atık ürün, zaman kayıpları ve maliyet sorunları, üretim süreçleri tamamlandıktan sonra ortaya çıkması nedeniyle önemli bir sorun olarak kabul edilmektedir.

AA6063 tip alüminyum alaşım kullanılarak plastik şekillendirme işlemine tabi tutulan karmaşık şekilli alüminyum profilin hurdaya atılacak malzeme miktarını azaltmak için homojen akış sağlanana ve doğru sonuç elde edilene kadar kalıp tasarımı yapılmıştır. Aynı parametreler kullanılarak, ilk kalıp EK57301 koduyla belirlenmiştir. Sonuç incelendiğinde yapılan ilk kalıp tasarımının istenilen sonucu vermediği incelenmiştir. Tasarım da geri kalan orta kısmı bekleyen üç gözün alanlarının az geldiği gözlemlenmiştir. Ortak bir göz çizilip gözler üçe bölünmüştür. İlk tasarımda orta gözün alanlarının 3450 mm^2 iken, ikinci tasarımda 6600 mm^2 lik bir alan oluşturularak malzeme girişi sağlanmıştır. İyileştirmeler yapılarak ikinci kalıp tasarımı EK57301-1 koduyla belirlenmiştir. Bu kalıbın simülasyon sonucu incelendiğinde sonucun iyileştiği fakat tam istenilen sonucun elde edilmediği gözlemlenmiştir. Üçüncü tasarım EK57301-2 koduyla gösterilmiştir. Üçüncü tasarımda giren malzeme sabit tutulup, orta kısımdaki sürtünme azaltılarak tasarım tekrardan iyileştirilmiştir. Üçüncü simülasyon sonucu incelendiğinde akışların istenilen değerlere geldiği gözlemlenmiştir.

Bu tez çalışmasında üç farklı tasarım yapılarak aynı ekstrüzyon parametreleri kullanılarak, profilde ortaya çıkan farklılıklar incelenmiş zaman kaybı ve hurda sorunu minimize edilmiştir.

Bölüm 3'te, kalıp tasarım süreçleri ve kalıpların detayları ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Kalıp tasarımı, bilgisayar destekli çizim programı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve ardından sonlu elemanlar tabanlı HyperXtrude yazılımı ile prosesin modellemesi yapılarak analiz gerçekleştirilmiştir.

Sonlu elemanlar analizi sonuçları temel alınarak deneysel çalışma aşamasına geçilmiştir. Bölüm 4'te, ekstrüzyon deneyleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Bölüm 5'te, sonlu elemanlar analizi sonuçları aracılığıyla ürün malzeme akışı ve çıkış sıcaklığı detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre, iyileştirilmiş kalıplarda daha homojen bir malzeme akışı gözlemlenmiş ve özellikle ürün üzerinde ortaya çıkan sürtünme azaltılarak sıcaklık dağılımının daha iyi olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular ışığında, EK57301 kodlu kalıp setinden elde edilen ürünlerdeki akış hızı sorunu minimize edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Üç farklı kalıp seti ile elde edilen sonuçları incelediğimizde, üç kalıp setinin de aynı ekstrüzyon prosesinde ve aynı işlem parametreleriyle kullanıldığında, özellikle EK57301-2 kodlu iyileştirilmiş kalıp tasarımının daha yüksek kalitede ürün verdiği ve hurdaya atılacak ürün problemi üzerinde olumlu etkiler sağladığı gözlemlenmiştir. Tasarım değişikliğinin hurda miktarını, zaman kaybını ve maliyet sorunlarını düşürdüğü ve belirtilen kalıp tasarım iyileştirmelerinin yapılmasının faydalı olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- alüminyumburada.com.* <https://alüminyumburada.com/blog?=alüminyum-temper-kodları>
- Ayan, S. M. (2017). *Alüminyum Ekstrüzyon Profil Tasarım Prensipleri ve Ürün Tasarım İyileştirme Tavsiyeleri*. Alüminyum Yapı Dergisi, Mart - Nisan, Sayı 76, İstanbul.
- 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>
- 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
- çelikler alüminyum.* <https://www.celikeraluminyum.com.tr/en/aluminum/>
- 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
- Eksenal Aluminium Extrusion Technologies A.Ş. Dökümanları, (2022).Kocaeli.
- 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/>

Güngördü, Fırat (2019). *Aluminum Extrusion Die Design and Simulation By Finite Element Method*. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli.

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

He Z., Wang H., Wang M., Li G., (2012). “Simulation of extrusion process of complicated aluminium profile and die trial,” *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 7, 1732–1737

Karakaya, İsmail (2023). *Alüminyum Ekstrüzyon Kaynaşma Kalitesi ve İç Uzama Probleminin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.

J.Zhou, L. Li, J. Duszczyc (2003). *3D FEM simulation of the whole cycle of aluminum extrusion throughout the transient state and the steady state using the updated Lagrangian approach*, *Journal of Materials Processing Technology*, 134, 383–397, China.

Keleş, Prof. Dr. Özgül (2021). *Alüminyumun Serüveni*, İtü Vakfı Yayınları, İstanbul.

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

malzemebilimi.net. <https://malzemebilimi.net/aluminyum-nedir-nerelerde-kullanilir-ozellikleri-nelerdir.html>

- Marín M., Camacho A., Pérez A., (2017). "Influence of the temperature on AA6061 aluminum alloy in a hot extrusion process," *Procedia Manuf.*, 13, 327– 334.)
- Ma X., Rooij M., Schipper D., (2012). "Friction conditions in the bearing area of an aluminium extrusion process," *Wear*.
- Saha, Pradip K. (2000). *Aluminum Extrusion Technology*, America: McGraw-Hill Inc.
- Serdar Korkut. <https://www.serdarkorkut.com/2017/05/08/aluminyum-aliasimlar>
- 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

İlk ve orta öğrenimini Darıca/Kocaeli'de tamamladıktan sonra lise eğitimini Süleyman Demirel Lisesi'nde aldı. 2011 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümüne kabul edildi. Mezuniyetini 2015 yılında tamamladıktan sonra, 2017 yılında Eksenal firmasında çalışmaya başlayarak Alüminyum Ekstrüzyon Kalıp sektörüne adım attı. Türkiye'deki ekstrüzyon kalıp sektöründeki tek Tasarım Merkezi olan Eksenal'da Kalıp Tasarım Mühendisi olarak görev aldı. Şu anda Eksenal firmasında Kalıp Tasarımcısı olarak görevine devam etmektedir.