T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Al/Mg LAMİNAR YAPILI KOMPOZİTLERİN EKSTRÜZYONLA ÜRETİLMESİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Hazırlayan
Güher Pelin TOKER

Danışman
Doç. Dr. Fehmi NAİR

Yüksek Lisans Tezi

Aralık 2014
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Al/Mg LAMİNAR YAPILI KOMPOZİTLERİN EKSTRÜZYONLA ÜRETİLMESİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Güher Pelin TOKER

Danışman
Doç. Dr. Fehmi NAİR

Aralık 2014
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Güher Pelin TOKER

İmza : 

YÖNERGEYE UYGUNLUK

"Al/Mg Laminar Yapılı Kompozitlerin Ekstrüzyonla Üretilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi" adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Güher Pelin TOKER

Danışman

Doç. Dr. Fehmi NAİR

Makine Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Necdet ALTUNTOP

KABUL ve ONAY

Doç. Dr. Fehmi NAİR danışmanlığında **Güher Pelin TOKER** tarafından hazırlanan "**Al/Mg Laminar Yapılı Kompozitlerin Ekstrüzyonla Üretilmesi ve Mekanik-Özelliklerinin İncelenmesi**" adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

29/12/2014

(Tez savunma sınav tarihi yazılacaktır.)

JÜRİ:

Danışman	:Doç. Dr Fehmi NAİR	.....
Üye	:Prof. Dr. M. Baki KARAMIŞ	.....
Üye	: Doç. Dr. Recep GÜNEŞ	.....

ONAY:
Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 13/01/2015 tarih ve 2015/02-06 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

13 / 01 / 2015

Prof. Dr. Kâzım KEŞLİOĞLU

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında fikir ve görüşlerini benden esirgemeyen çok değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Fehmi NAİR'e teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmada kullanılan magnezyum alaşımlarının teminini sağlayan FORMAL ALÜMİNYUM A.Ş'ye, karşılaştığım zorlukları aşmamda,her zaman yanımda olan ve benden maddi, manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen canım aileme de sonsuz teşekkürler.

Güher Pelin TOKER

Al/Mg LAMİNAR YAPILI KOMPOZİTLERİN EKSTRÜZYONLA ÜRETİLMESİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Güher Pelin TOKER
Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Aralık 2014
Danışman: Doç. Dr. Fehmi NAİR

ÖZET

Magnezyum, yapısal alanda kullanılan en hafif metal olmasının yanında yüksek özgül dayanıma sahiptir. Bu nedenle magnezyum ve alaşımları otomotiv ve havacılık sanayinde kendine yer bulmuştur. Ancak bu iki avantajlı özelliğinin yanında magnezyumun hegzagonal sıkı paket yapısına sahip olması nedeniyle plastik şekillendirilme özelliğinin ve korozyon direncinin düşük olması onun kullanım alanını sınırlandıran dezavantajlarıdır. Çalışmada magnezyumun hem avantajlı yönlerini kullanmak hem de dezavantajlı yönlerini desteklemek amacıyla alüminyum alaşımı kaplama malzemesi olarak seçilmiştir. Alüminyum korozyona karşı direncinin yüksek ve oldukça sünek bir metal olduğu bilinmektedir. Bu özellikler göz önüne alınarak magnezyumun üzerine alüminyum kaplanması ile alüminyuma göre daha hafif, korozyon direnci yüksek ve tok bir malzeme sistemi imal edilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada magnezyum AZ31 alaşımı öz malzeme, alüminyum AA6063 ise kaplama malzemesi olarak kullanılmış ve sıcak ekstrüzyon tekniği ile alüminyum-magnezyum iki metalli ürünler imal edilmiştir. Ekstrüzyon tekniği ile iki metalli ürünler eş zamanlı olarak ekstrüze edilirken metaller arasında mekanik birleşme de sağlamıştır.

İki metal bileşenli biletlerin ekstrüzyonun da farklı sıcaklıklar ve farklı ekstrüzyon oranları kullanılmıştır. Al/Mg iki metalli kompozit biletlerden silindirik ve kare kesitli çubuklar imal edilmiştir. Üretim parametrelerinin ürün özelliklerine etkisiyapılan mekanik testlerle incelenmiş ve optimum şartlar belirlenmiştir. Ekstrüzyon sonrasında ürünlerin ekstrüzyon sıcaklığı arttıkça çekme ve basma dayanımlarının azaldığı, sünekliklerinin arttığı görülmüştür. Yine ekstrüzyon sıcaklığı artıkça mikro sertlik değerleri de düşüş göstermiştir. Ancak ekstrüzyon oranı dayanım değerlerinde sıcaklık kadar etkili olmamıştır. Ek olarak hem bilet kesitinden hem de ürün kesitinden hesaplanan yoğunluk değerleri alüminyumdan daha düşük çıkmıştır.

Anahtar kelimeler: Ekstrüzyon, İki metal bileşenli malzeme, Kompozit

Al/Mg LAMINAR COMPOSITES PRODUCED BY EXTRUSION AND INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES

Güher Pelin TOKER

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
M. Sc. Thesis, December 2014
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Fehmi NAİR

ABSTRACT

Magnesium is the lightest of all metals used in structural applications and has high specific resistance. Therefore, magnesium and alloys have found a place in the automotive and aerospace industries. However even having two advantageous property of magnesium, due to the hexagonal close package structure, plastic forming ability and corrosion resistance are low this disadvantages that limit its usage field. Although, both support of magnesium disadvantageous properties and use of advantageous properties, we chosen aluminum alloy for coating material. It's known that aluminum has high corrosion resistance and it is more than ductile to magnesium. Given these features, when aluminum coating clads on magnesium core, made of material system which has high corrosion resistance, lighter than aluminum and more tough than magnesium.

In this study, AZ31 magnesium alloy is chosen for core and AA6063 aluminum alloy is chosen for coating material. These alloys hot extruded with co-extrusion technique and produced bi-metallic product. With the aid of co-extrusion technique, while bi-metallic billets simultaneously extruded, among the metals mechanically interlocked fittings.

Bi-metallic billets are extruded with four different temperatures and two different extrusion ratio. Cylindrical and square cross bar are produced from Al/Mg bi-metallic composite billets. Effect of extrusion parameters on the product properties were investigated with mechanical tests for the optimum conditions. When extrusion temperature increased, compressive and tensile strength decreased but ductility increased however the extrusion temperature continue to increase, the micro hardness values were decreased. But extrusion ratio was not effective as extrusion temperature on the strengths. Otherwise density values which calculated both billet section and product section, lower than aluminum.

Keywords: Extrusion, Bi-metallic materials, Composite

İÇİNDEKİLER

"Al/Mg LAMİNAR YAPILI KOMPOZİTLERİN EKSTRÜZYONLA ÜRETİLMESİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ"

Sayfa

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK iii
KABUL ve ONAY iv
TEŞEKKÜR v
ÖZET vi
ABSTRACT vii
İÇİNDEKİLER viii
ŞEKİLLER LİSTESİ xi
KISALTMALAR xv
GİRİŞ 1

1.BÖLÜM
GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÖZETİ

1.1. Magnezyum ve Alaşımlarının Genel Özellikleri 3
1.2. Magnezyum Alaşımlarının Tasarıma Uygunluğu 9
1.3. Magnezyumun Kullanım Alanları 11
1.4. Ekstrüzyon Tekniği 13
1.4.1.Ekstrüzyon 13
1.4.2.Ekstrüzyon yöntemleri 13
1.4.2.İki Metalli Biletlerin Ekstrüzyonu 17
1.5. Magnezyumun Ekstrüzyon Yöntemi İle Şekillendirilmesi 21
1.5.1.Magnezyum alaşımlarının ekstrüze edilebilirliği 23
1.5.2.Magnezyum Alaşımlarının Ekstrüzyon Profilleri 23
1.5.3.Magnezyumun Ekstrüzyon mekanizması 24
1.6. Literatür Özeti 25
1.6.1.Magnezyumun ekstrüzyonu ile yapılan çalışmalar 25
1.6.2.İki Metalli Biletlerin Ekstrüzyonu ile Yapılan Çalışmalar 28

2.BÖLÜM
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş 33
2.2. İki Metalli Bilet Ekstrüzyonun Fiziksel Simülasyon Çalışmaları 33
2.2.1.Malzeme ve Metot 34
2.2.2.Biletlerin hazırlanması 36
2.2.2.1. Öz ve Kabuk Mukavemetleri Aynı Olan Biletlerin Hazırlanması ve Ekstrüze Edilmesi 38
2.2.2.2. Öz Mukavemetleri Aynı Kabuk Mukavemetleri Farklı Olan Biletlerin Hazırlanması ve Ekstrüze Edilmesi 40
2.2.2.3. Kabuk Mukavemeti Aynı Öz Mukavemeti Farklı Olan Biletlerin Hazırlanması Ve Ekstrüze Edilmesi 43
2.2.2.4.Deney Numunelerinin İncelenmesi 44
2.3. Al/Mg KOMPOZİT İKİ METALLİ KOMPOZİT BİLETLERİN EKSTRÜZYON DENEYLERİ 45
2.3.1.Deneylerde Kullanılan Malzemeler 45
2.3.2.Biletlerin Hazırlanması 47
2.3.3.Biletlerin Ekstrüze Edilmesi 47
2.3.4.Ürünlerin isimlendirilmesi 50
2.3.5.Ekstrüze Edilen Ürünlerin Mekanik Testleri 50
2.3.5.1.Çekme Deneyi 50
2.3.5.2.Çentik Darbe deneyi 51
2.3.5.3.Basma deneyi 51
2.3.5.4.Sertlik deneyi 52

3.BÖLÜM
BULGULAR ve DEĞERLENDİRMELER

3.1. Ekstrüzyon Sonrası Genel Analizi 53
3.2. Çekme Deneyi Analizi 58

3.2.1. Ekstrüzyon Sıcaklığının Farklı Ekstrüzyon Oranları İçin Gerilme-Şekil Değiştirme Davranışına Etkisi..... 60
3.2.2. 200 ^{o}C de Ekstrüze Edilmiş Al ve Al/Mg Kompozit Ürünlerin Çekme Etkisi Altında Gerilme Şekil Değiştirme Davranışları 62
3.2.3. 300 ^{o}C de Ekstrüze Edilmiş Al ve Al/Mg Kompozit Ürünlerin Çekme Etkisi Altında Gerilme Şekil Değiştirme Davranışları 63
3.2.4. 400 ^{o}C de Ekstrüze Edilmiş Al ve Al/Mg Kompozit Ürünlerin Çekme Etkisi Altında Gerilme Şekil Değiştirme Davranışları 64
3.3. Çentik darbe deney analizi 69
3.4. Basma Deney Analizi 72
3.4.1. Al/Mg Kompozitlerin Ekstrüzyon Oranı ve Sıcaklığa Bağlı Olarak Basmanda Gerilme Şekil Değiştirme Davranışları 74
3.4.2. 200 ^{o}C de Ekstrüze Edilmiş Al Ve Al/Mg Kompozit Ürünlerin Basma Etkisi Altındaki Gerilme Şekil Değiştirme Davranışları 76
3.4.3.300 ^{o}C de Ekstrüze Edilmiş Al Ve Al/Mg Kompozit Ürünlerin Basma Etkisi Altındaki Gerilme Şekil Değiştirme Davranışları 77
3.4.4. 400 ^{o}C de Ekstrüze Edilmiş Al Ve Al/Mg Kompozit Ürünlerin BasmaEtkisi Altındaki Gerilme Şekil Değiştirme Davranışları 78
3.5. Sertlik Deney Sonuçları 80

4.BÖLÜM
GENEL SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1.Sonuçlar..... 83
4.2.Öneriler 84

KAYNAKÇA..... 85
EKLER..... 90
ÖZGEÇMİŞ 93

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Mg-Al ikili faz diyagramı 5
Şekil 1.2 Mg-Zn ikili faz diyagramları [9] 6
Şekil 1.3. Magnezyum alaşımlarının gelişimi 7
Şekil 1.4 Dövme magnezyum alaşımlarının çekme dayanımları..... 7
Şekil 1.5. Çekme zorlamasında özgül dayanım değerlerinin kıyaslanması 10
Şekil 1.6. Eğme ve burulma zorlamasında özgül dayanım 10
Şekil 1.7. Mg alaşımlarının CO_2 emisyonu üzerindeki etkisi [18]..... 11
Şekil 1.8 Magnezyumun kullanıldığı parçalar 12
Şekil 1.9 Alüminyum-magnezyum kompozit motor bloğu 12
Şekil 1.10. Direk ekstrüzyon prensibi [20]..... 14
Şekil 1.11. Direk ekstrüzyon yönteminde kuvvet eğrisi [20] 15
Şekil 1.12. Endirek ekstrüzyon prensibi [20] 15
Şekil 1.13. Endirek ekstrüzyonda kuvvet eğrisi [20] 16
Şekil 1.14. Hidrostatik ekstrüzyonu[20]..... 17
Şekil 1.15. Bi-metalik çubuk ekstrüzyonu..... 18
Şekil 1.16. Farklı tasarımlara sahip bilet geometrileri 20
Şekil 1.17. Bi-metalik çubukların ekstrüzyonu sırasında görülen akış davranışları 21
Şekil 1.18. Sıcak deformasyon sırasında görülen yumuşama mekanizması 25
Şekil 1.19. a) Sert öz, yumuşak kabuk, b) yumuşak öz, sert kabuk. farklı öz ve kabuk boylarındaki biletlerin simülasyonu 30
Şekil 1.20. a) Normal bilet tasarımı b) kısaltılmış öz ile bilet tasarımı..... 32
Şekil 2. 1. Deneyde kullanılan plastina malzemelerin basmada gerilme sekil değiştirme davranışı [19]..... 35
Şekil 2. 2. Farklı tasarımlarda hazırlanan biletlerin teknik resimleri..... 36
Şekil 2. 3. a) Kalıp sıkıştırma aparatı b) kılavuz pulları 37
Şekil 2.4. İki bileşenli biletler..... 37
Şekil 2.5. Minyatür ekstrüzyon makinesi ve aparatları..... 38
Şekil 2. 6.Ürünlerin $D\ddot{u}k/D\ddot{u}\ddot{o}$ oranlarının bulunması 44
Şekil 2. 7. Çalışmada kullanılan AZ31 ve AA-6063 alaşımların çekme diyagramları .. 47
Şekil 2. 8. Çalışmada kullanılan AZ31 ve AA-6063 alaşımların çekme diyagramları .. 48
Şekil 2. 9. Al/Mg iki metalli biletler..... 48

Şekil 2.10. Hidrolik ekstrüzyon presi ve aparatları 49
Şekil 2. 11. Çekme deneyi test numuneler 50
Şekil 2. 12.Çentik darbe test numuneleri 51
Şekil 2.13. Basma deney numuneleri..... 52
Şekil 2.14. Mikro sertlik deneyi için hazırlanan numuneler 52

Şekil 3.1. Ekstrüzyon sonrasında ürünlerin $D_k/D_ö$ oranlarının bulunması ……...55
Şekil 3.2. Ekstrüzyon oranı 14 olan Al/Mg kompozitlerin çekme testi sonrası görüntüleri 58
Şekil 3.3. Ekstrüzyon oranı 9 olan Al/Mg kompozitlerin çekme testi sonrası görüntüleri 58
Şekil 3.4. R:14'te Al/Mg kompozit çubuklarda ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak σ-ε davranışları 60
Şekil 3.5. R:9 da Al/Mg kompozit çubuklarda ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak σ-ε davranışları 61
Şekil 3.6. 200 ^oCde ekstrüze edilmiş Al ve Al/Mg çubuklarda ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak σ-ε davranışları..... 62
Şekil 3.7. 300 ^oCde ekstrüze edilmiş Al ve Al/Mg çubuklarda ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak σ-ε davranışları..... 63
Şekil 3.8. 400 ^oCde ekstrüze edilmiş Al ve Al/Mg çubuklarda ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak σ-ε davranışları..... 64
Şekil 3.9. Ekstrüzyon oranına bağlı olarak özgül mukavemet değerleri 66
Şekil 3.10. Al ve Al/Mg ürünlerin R 9'da ki özgül akma mukavemet değerleri 66
Şekil 3.11. Al ve Al/Mg ürünlerin R 14'te ki özgül akma mukavemet değerleri 67
Şekil 3.12. Ekstrüzyon oranına bağlı olarak özgül çekme mukavemet değerleri 67
Şekil 3.13. Al ve Al/Mg ürünlerin R 9'da ki özgül çekme mukavemet değerleri..... 68
Şekil 3.14. Al ve Al/Mg ürünlerin R 14'de ki özgül çekme mukavemet değerleri 68
Şekil 3.15. Çentik darbe katsayısı – sıcaklık grafiği..... 70
Şekil 3.16. Özgül çentik darbe dayanımı- sıcaklık grafiği 70
Şekil 3.17. Magnezyumun basma deneyi sonrası görüntüsü..... 72
Şekil 3.18. Farklı sıcaklıklarda ekstrüze edilen alüminyum numunelerin basma deneyi sonrası görüntüleri 72
Şekil 3.19. Farklı sıcaklıklarda ekstrüze edilen kompozit ürünlerin basma deneyi sonrası görüntüleri 72

Şekil 3.20. R:14'te Al/Mg kompozit çubuklarda ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak σ-ε davranışları 74
Şekil 3.21. R:9 da Al/Mg kompozit çubuklarda ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak σ-ε davranışları 75
Şekil 3.22. 200 ^{o}Cde ekstrüze edilmiş Al ve Al/Mg çubuklarda ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak σ-ε davranışları 76
Şekil 3.23. 300 ^{o}Cde ekstrüze edilmiş Al ve Al/Mg çubuklarda ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak σ-ε davranışları2 77
Şekil 3.24. 400 ^{o}Cde ekstrüze edilmiş Al ve Al/Mg çubuklarda ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak σ-ε davranışları 78
Şekil 3.25. Ekstrüzyon oranına bağlı olarak özgül mukavemet değerleri 79
Şekil 3.26. Al ve Al/Mg ürünlerin R14'te ki özgül akma mukavemet değerleri 79
Şekil 3.27. Al ve Al/Mg ürünlerin R 9'da ki özgül akma mukavemet değerleri 80

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo1.1. Magnezyum Elementinin Özellikleri 4
Tablo1.2. Alaşım elemanlarının kısaltması 4
Tablo1.3. Dövme Magnezyum Alaşımlarının Sınıflandırılması ve Kimyasal Bileşenleri 8
Tablo1.4. Magnezyum alaşımları ve ekstrüzyon formları 25
Tablo2.1. Farklı bilet tasarımlarına ait öz-kabuk mukavemeti aynı modellerin uç formları 39
Tablo2.2. Farklı bilet tasarımlarına ait öz mukavemeti aynı kabuk malzemesinde %4 vazelin olan modellerin uç formları 41
Tablo2.3. Aynı bilet tasarımlarına ait ekstrüzyon oranları farklı ve öz mukavemeti aynı kabuk malzemesinde %8vazelin olan modellerin çıkış formları ve akış profili 42
Tablo2.4. Aynı bilet tasarımlarına ait ekstrüzyon oranları farklı ve kabuk mukavemeti sabit öz malzemesinde %4 vazelin olan modellerin çıkış formları ve akış profili 43
Tablo2.5. R:9 ve R:14 de ekstrüze edilen modellerin $D_k/D_ö$ oranları 45
Tablo2.6. 6063 ve AZ31 alaşımlarının % ağırlıkça bileşenleri [9] 46
Tablo2.7. AA6063 ve AZ31 alaşımlarının 25 ^oC deki mekanik özellikleri [44] 46
Tablo2.8. Çalışmada kullanılan alaşımların çekme ve basma testi değerleri 46
Tablo3.1. Ekstrüzyon sıcaklığının kuvvete etkisi 53
Tablo3.2. Ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak ürünlerin $D_{ük}/D_{üö}$ oranları 56
Tablo3.3. Farklı sıcaklıkta ve ekstrüzyon oranlarında ekstrüze edilen kompozit biletlerin çıkış formları 57
Tablo3.4. Farklı sıcaklıkta ekstrüze edilen ürünlerin çekme deneyi sonucunda kırılma formları 59
Tablo3.5. Farklı sıcaklıklarda ekstrüze edilen çentik darbe deney numunelerinin kırılma formları 71
Tablo3.6. Alüminyum ürünlerin sertlik değerleri 81
Tablo3.7. Kompozit ürünlerin sertlik değerleri 81
Tablo3.8. Çentik darbe ürünlerinin sertlik değerleri 81

KISALTMALAR

Sembol	Anlamı	Birimi
$D_{kö}$	Biletteki öz çapı	mm
D_{kk}	Biletteki kaplama çapı	mm
$D_{üö}$	Üründeki öz çapı	mm
$D_{ük}$	Üründeki kaplama çapı	mm
g_k	Kaplama malzemesinin yoğunluğu	g/mm^3
$g_ö$	Öz malzemesinin yoğunluğu	g/mm^3
g_{kom}	Kompozitin yoğunluğu	g/mm^3
V_{kom}	Kompozitin birim hacmi	mm^3
R	Ekstrüzyon oranı	---
σ_a	Akma dayanımı	MPa
$\sigma_{aö}$	Özgül akma dayanımı	$MPa/(g/mm^3)$
$\sigma_ç$	Çekme dayanımı	MPa
$\sigma_{çö}$	Özgül çekme dayanımı	$MPa/(g/mm^3)$
$\alpha_ç$	Çentik darbe katsayısı	J/mm^2
$\alpha_{çö}$	Özgül çentik darbe dayanımı	J.mm/g

GİRİŞ

Gelecek yıllarda en büyük yarışın, artan çevre kirliliği nedeniyle zararlı emisyonların düşürülmesi üzerine olacağı düşünülmektedir. Bu durum dikkate alındığında, hafif metal ve alaşımlarının yapı malzemesi olarak kullanılması çevre kirliliği ve enerji sorunlarının çözülmesinde anahtar faktör olmaktadır[1].

Kyota Konferansı ile ortaya konulan çevre kavramı, otomotiv sanayinde daha az CO_2emisyonu yaratılması hedefini oluşturmuş ve bunun sonucunda, yeni motor ve araç teknolojilerine olan ihtiyaç artmıştır. Motorların geliştirilmesinde genel eğilim, emisyonların düşürülmesi ve yakıt tüketiminin azaltılması şeklindedir. Bu kapsamda otomobil üreticilerinin 100 kilometrede 3 litre yakıt harcayan otomobil projeleri geliştirilmektedir. Bu projeler motor teknolojilerindeki yenilikler yanında otomobil ağırlığını azaltmayı hedeflemekte, çeliğe alternatif malzeme olarak magnezyum ve alüminyum öngörülmektedir [2].

Magnezyum, düşük yoğunluk, yüksek özgül dayanım, rijitlik, elektrik iletkenliği, yüksek ısı ve titreşim sönümleyebilme gibi mükemmel özelliklere sahiptir. Bu özellikleri, geri dönüşüm ile kombine edildiğinde magnezyum alaşımları, birçok alanda cazip hale gelmiştir[3]. Magnezyum, alüminyumdan %33, çelikten %75 daha hafif bir metaldir. Bu özellikleri magnezyumu, yakıt verimliliği, CO_2emisyonunu azaltma ve geri dönüşüm gibi çevresel sorunların iyileştirilmesinde uygulanabilir çözümler sunmasından dolayı özellikle ulaşım sektöründe önemli hale getirmiştir[4]. Magnezyumun olumlu özellikleri ve yüksek saflıktaki alaşımlarının geliştirilmesine rağmen birçok dövme magnezyum alaşımları denge potansiyellerinin düşük olmasından dolayı daha soy bir metalle teması halinde düşük korozyon direnci sergiler. Yine magnezyumun kimyasal reaktivitesinin yüksek olması, aşınma, sürünme direncinin

düşük olması magnezyumun pek çok uygulamada kullanımını sınırlandırmaktadır [5,6].

İki metalli (bi-metalik) kompozit yapıların kullanımı, tek bileşenli (monolitik) malzemelerden elde edilemeyen özelliklerin bi-metalik ürünlerden elde edilmesinden dolayı her geçen gün artmaktadır, bu bağlamda alüminyum ve magnezyum bileşenli "yeni hafif malzemelerin" dayanım ve kırılma mekanizmaları analiz edilmektedir [7,8].

Hafif yapılı uygulamalarda kullanılan 2.7g/cm^3 yoğunluğa sahip alüminyum, oksijen ile temasa geçtiğinde yüzeyinde yoğun bir oksit tabası oluşturur. Bu oksit tabakası yüzeyi pasifleştirir ve korozyonu engeller. Magnezyum profiller ekstrüzyon ile tek adımda Al ile kapladığında hem hafif hem de korozyon direnci yüksek makro kompozitler elde edilir. Al/Mg kompozitler otomobillerde tampon ve gergi kolu gibi özel uygulamalarda kullanılabilirler[5].

Bu çalışmanın amacı üstün mekanik ve fiziksel özellikleriyle başta havacılık, uzay ve otomobil sanayisi olmak üzere pek çok alanda kullanım potansiyeli bulunan Mg/Al kompozit malzemelerin ekstrüzyon tekniği ile üretilmesi ve optimum üretim parametrelerinin belirlenmesidir.

Bu amaçlar doğrultusunda Mg öz ve Al kaplamadan oluşan Mg/Al tabakalı kompozitin silindirik ve kare kesitli olarak çubuk formunda sıcak ekstrüzyonla farklı üretim parametreleri kullanılarak üretilmesi, Mg-Al iki metalli (bi-metalik) bilet tasarımı, ekstrüzyon oranı, ekstrüzyon sıcaklığı gibi üretim parametrelerinin ürün özelliklerine etkilerinin mekanik testlerle incelenmesi hedeflenmektedir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÖZETİ

1.1. Magnezyum ve Alaşımlarının Genel Özellikleri

Magnezyum elementi, Sir Humphrey tarafından 1808 yılında keşfedilmiştir. Gümüş renkli, periyodik tabloda IIA grubunda yer alan, toprak alkali bir element olan magnezyum yer kabuğunda %2,7 oranında bulunarak en çok bulunan altıncı element olmasına rağmen keşfedildiği dönemde yapısal kullanımı çok azdır(Tablo1.1) [3,10]. Günümüzde ise uygun karakteristikleri sayesinde birçok sektörde kullanılmaktadır. Özellikle otomotiv ve havacılık sektöründe hafifliğinden dolayı tercih edilmektedir. Ancak bu koşulların sağlanabilmesi de kolay olmamış, alüminyuma göre daha maliyetli olmasından dolayı magnezyumun kabul görmesi uzun zaman almıştır. Devamında düsen maliyetler neticesinde magnezyum da endüstride kendine yer bulmaya başlamıştır[9].

Magnezyumun, mühendislik uygulamalarında kullanılması için diğer metallerle alaşımlandırılması gerekmektedir. Magnezyum alaşımları genellikle iki büyük harfi takip eden iki veya üç numara ile tanımlanır. Harfler, alaşımda iki ana alaşım elementi ile ilgilidir. İlk harf en yüksek konsantrasyonu, ikinci harf ikinci yüksek konsantrasyonu gösterir (Tablo1.2.) [9].Alaşımların sınıflandırılması, uygulama ve bileşimini belirleyen alt bölümler ve imalat yöntemi esas alınmıştır. Dolayısıyla ilk sınıflandırma, kum kalıba döküm, sürekli döküm, dövme, haddeleme, ekstrüzyon gibi imalat yöntemleridir. Bundan sonra alaşım elamanına göre alt bölümlere ayrılır[10].

Tablo1. 1 Magnezyum Elementinin Özellikleri[11]

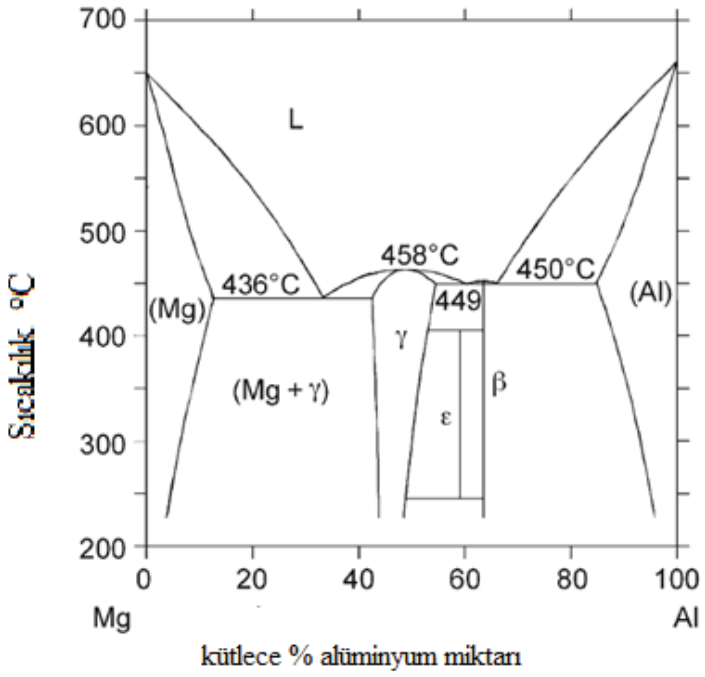
Simgesi	Mg
Atom numarası	12
Atom ağırlığı	24.313
İyon değerliği	+2
Kaynama noktası	1107 ^{o}C
Ergime noktası	650 ^{o}C
Yoğunluğu	1,74 gr/cm^{3}
Kristal yapısı	Hegzagonal sıkı paket
Atom hacmi	14.0
Özgül ısısı	0.25 cal/g ^{o}C
Isıl iletkenliği	0.38 cal/cm^{2} (oda sıcaklığında)
Asid-Baz Özelliği	Baz

Tablo1. 2. Alaşım elemanlarının kısaltması[10]

Kısaltma	**Alaşım Elemanı**
A	Alüminyum
C	Bakır
E	Nadir toprak elementleri
H	Toryum
K	Zirkonyum
L	Lityum
M	Manganez
Q	Gümüş
S	Silisyum
Y	İtriyum
Z	Çinko

Alüminyum, magnezyum için ideal bir alaşım elemanıdır. Dövme alaşımlarında alüminyumun %9-10 oranı en iyi mekanik özellikleri verir(şekil1.1.). %7 oranına kadar Al içeren Mg alaşımı sıcak haddelenebilir. Alaşım oranı daha düşük ise süneklikte önemli bir düşüş olmadan, sıcak haddelemeden sonra soğuk haddeleme yapılabilir.

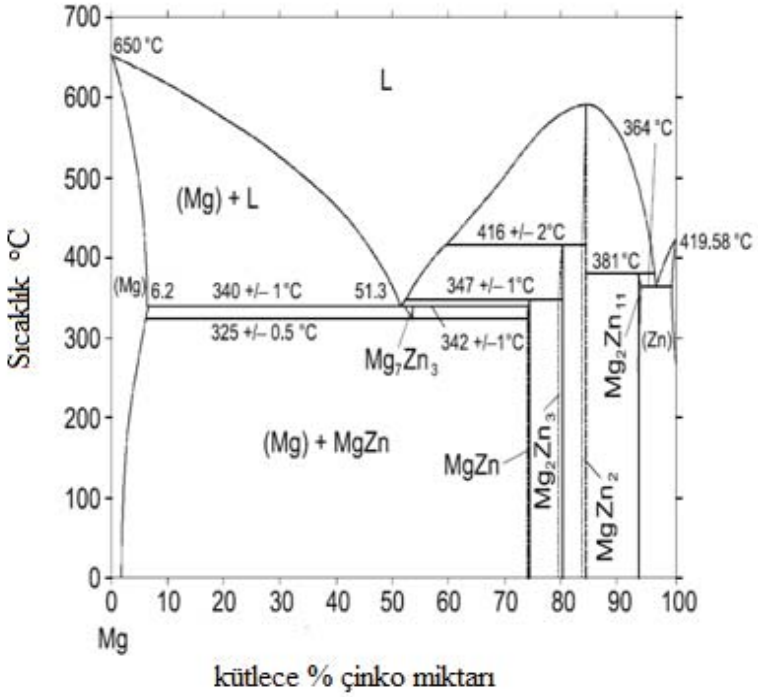
Alüminyum içeriğinin artması işleme gücünü artırır.Ekstrüzyon ve dövme için alaşım içeriği olarak yaklaşık %10 Al kullanılır. Bu alaşımlar yüksek gerilme ve dayanıma sahiptirler. Magnezyum alaşımlarında çinko özellikle oranı %3 ün üzerinde olduğunda dayanımı artırır(Şekil1.2).Tane sınırındaki ötektik miktarını arttırarak, alaşımın katılaşma sıcaklığını düşürmektedir. Alüminyumun alaşımlara yüksek dayanım sağladığından dolayı da AZ alaşım gruplarının dayanımı daha da yüksektir (Şekil1.3) [10].



Şekil1.1Mg-Al ikili faz diyagramı[10]

Lityum, magnezyum alaşımının yoğunluğunu düşürmek için ilave edilir. Eklenen lityum, dayanımı düşürür ancak sünekliği iyileştirir. Magnezyum, genellikle tek başına alaşım elamanı olarak kullanılmaz, Al ile MnAl, $MnAl_6$, $MnAl_4$ bileşimleri oluşur. Manganez, alüminyum ve çinko içeren magnezyum alaşımlarında korozyon kararlılığını geliştirmede etkilidir. Bu alaşımların birçoğu, hem demir içeriğini hem de alaşım aktivitesini kontrol etmek için bulunan manganez, mükemmel korozyon dayanımına sahiptir. Alüminyum ve çinko içermeyen ancak itriyum içeren alaşımları da iyi korozyon dayanımı sergiler[12].

Nadir toprak elementleri Mg alaşımlarına yüksek sıcaklıktaki dayanım ve sürünme dirençlerini artırmak için eklenir. Ötektik noktada magnezyum içinde %4.5 oranında çözünen toryum, 350 ^{0}C nin üzerinde sürünme direnci sağlar. Dökülebilirliği iyileştirir, kaynak edilebilir[10,12].

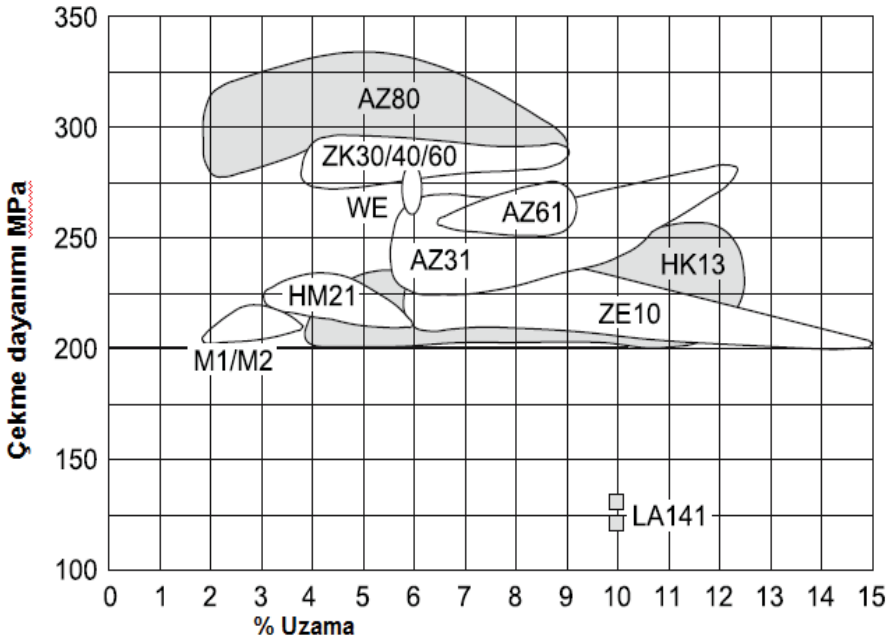


Şekil1. 2Mg-Zn ikili faz diyagramları[10]

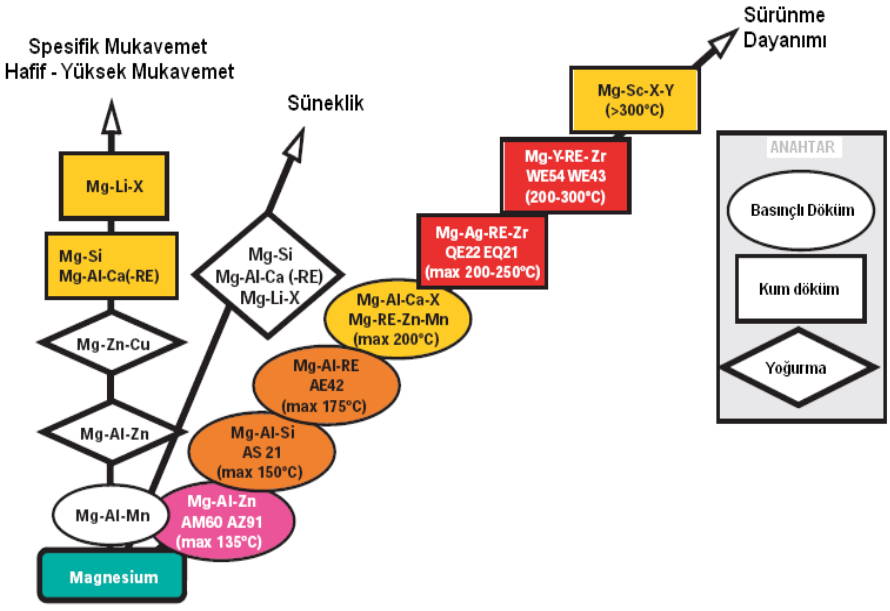
Magnezyum alaşımları genel olarak döküm ve yoğurma (wrought) magnezyum alaşımları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Basınçlı döküm, kum döküm ve yoğurma magnezyum alaşımlarının gelişimi ve sahip oldukları spesifik özellikler Şekil 1.4'teverilen şemada görülmektedir [6].

Magnezyum döküm alaşımları, zirkonyum ilavesinden dolayı ince taneli yapısı ile kum kalıba döküm ve ana alaşım elemanı Al ile basınçlı döküm olarak iki ana gruba ayrılırlar. Farklı magnezyum alaşımları için farklı yöntemler uygulanmakta ve bu alaşımlar farklı mekanik özellikler göstermektedir. Genellikle magnezyum alaşımları, otomobil parçalarında, uzay endüstrisinde ve elektrik-elektronik sanayinde kullanılmak üzere press döküm tekniği ile üretilirler. Döküm yönteminin magnezyum alaşımlarının üretimindeki en önemli avantajı ise hafiflik, yüksek özgül dayanım, iyi işlenebilirlik, iyi

dökülebilirlik, düşük ergime sıcaklığı ve düşük ergitme enerjisi olarak ortaya çıkmaktadır [3,11].



Şekil1.3.Magnezyum alaşımlarının gelişimi [3]



Şekil1.4. Dövme magnezyum alaşımlarının çekme dayanımları[6]

Dövme alaşımlar düşük şekillendirilme özelliklerinden dolayı tüm magnezyum alaşımlarından %10-15 daha düşük maliyetlidir. Sıcak şekillendirme yöntemlerinden olan haddeleme ve ekstrüzyon 350 ile 500 ^{o}C arasında yapılır. Soğuk şekillendirme çatlak oluşumundan dolayı sınırlıdır. Dövme magnezyum alaşımları, yüksek mukavemetli ve sünektirler ayrıca gözenekli olmadıkları için sızdırmazlık özellikleri vardır. Termomekaniksel işlemlerle çok iyi mekanik özellikler kazanabilirler. AZ80, ZK21, ZK60, ZC71, ZM61 alaşımları ekstrüzyon sınıfındadır. AZ31, ZE10, M10, ZM21, HM21, HK31 gibi alaşımlarda haddeleme sınıfındadır. Seçilen alaşım sistemleri, alaşımların kimyasal bileşenleri ile temel özellikleri Tablo 1.3 te verilmiştir [3,10].

Tablo1.3. Dövme Magnezyum Alaşımlarının Sınıflandırılması Ve Kimyasal Bileşenleri[3]

Alaşım	Sınıfı	Al	Mn	Zr	Zn	Katılaşma Sıvılaşma ^{o}C	Temel özellik
Mg-Mn	M1A		1.2			648	Orta mekanik özellikli, ısıl işleme uygun değil, genelde haddelenir.
Mg-Mn-Zn	ZM21		1.0		2		İyi dövülebilir, orta dayanım, haddeye uygun
Mg-Mn-Al-Zn	AZ10A	1.2	0.2		0.4	630-645	Düşük maliyetli ekstrüzyon alaşımı, orta dayanımlı ve yüksek uzama özellikli
	AZ31	3	0.3		1	605-630	Orta dayanımlı, genel amaçlı alaşım
	AZ61A	6.5	0.3		1	525-620	Genel amaçlı ekstrüzyon ile iyi özellikler ve orta maliyetli
	AZ80A	8.5	0.12		0.5	490-610	Ekstrüzyon ürünü ve ısıl işleme uygun
Mg-Mn-Zn	ZK21A			0.45	2.3	626-642	Orta dayanımlı ekstrüzyon alaşımı ve iyi kaynak edilebilir.
	ZK40A			0.45	4.0		Akması yüksek ekstrüzyon alaşımı, ZZK60dan düşük dayanımlı
	ZK60A			0.45	5.5	520-635	Ekstrüze ürünü, yüksek dayanım ve sünekliği iyi

1.2. Magnezyum Alaşımlarının Tasarıma Uygunluğu

20. yüzyıl boyunca başarılı ve ilginç uygulamalara konu olmuş magnezyum alaşımları hızla gelişme göstermekte ve 21. yüzyılın metalik malzemeleri arasında sayılmaktadır. 1.74 gr/cm^3 öz kütlesi ile alüminyumdan % 36, çelikten % 78 daha hafif olan magnezyum alaşımları, yapısal metaller arasında en hafif olanıdır [13].

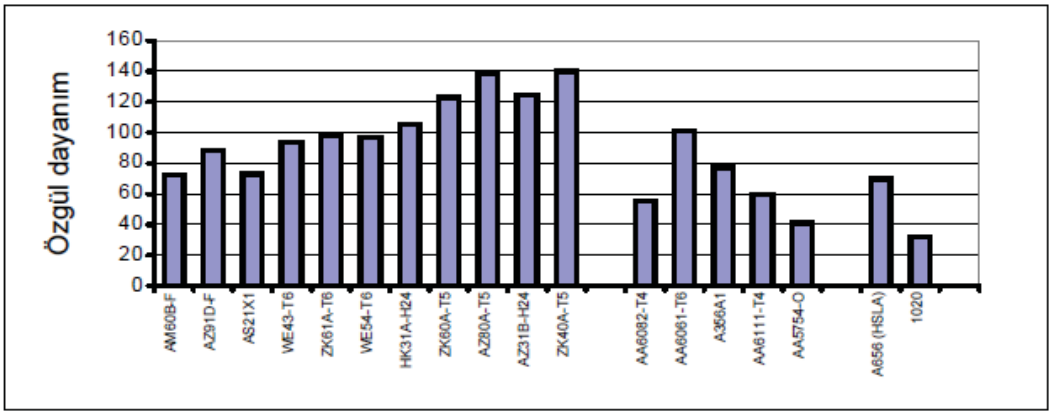
Düşük yoğunluğundan kaynaklanan düşük eylemsizliği, hızlı hareket eden parçalar için bir avantajdır. Hafiflik aynı zamanda, imalat sırasında parçanın daha kolay taşınması ve bitmiş ürünün daha ucuza sevk edilmesi demektir. Hafiflik bakımından en büyük rakibi

de alüminyumdur ancak magnezyum alaşımları alüminyum alaşımları kadar yüksek dayanımlı olmamakla birlikte özgül dayanım (dayanım/ağırlık) oranları daha yüksek olabilmektedir. Bunun sonucu olarak, magnezyum alaşımları hafifliğin önemli olduğu hava ve kara taşıt araçlarında ve el aletleri gibi makine ve cihazlarda kullanılmaktadır [9,14].

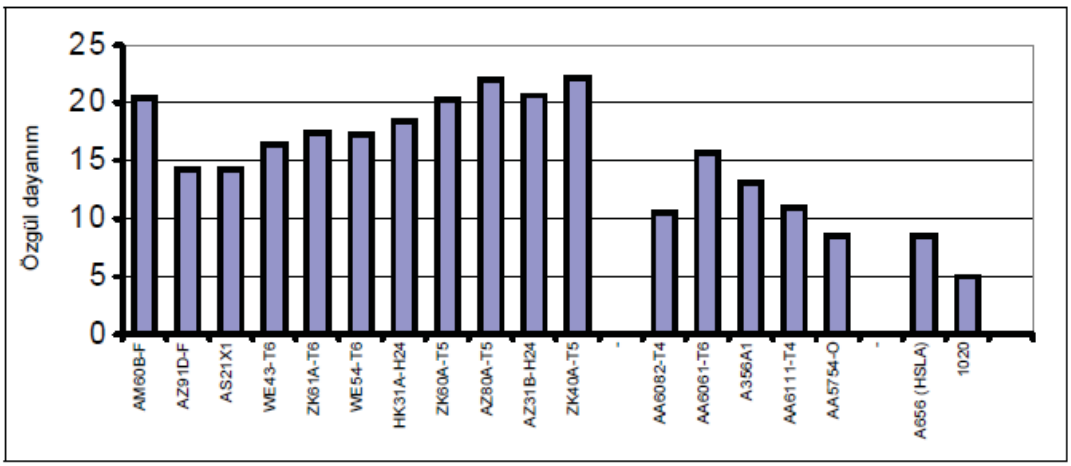
Magnezyum alaşımlarının hem dövülebilir (plastik şekil verilebilir) hem de dökülebilir (plastik şekil verilemez) ve her ikisinin de ısıl işlem uygulanabilir ve uygulanamaz sınıfları vardır. Dayanımlarının artırılması, alaşımlama soğuk deformasyon, pekleşme, tane boyutunun küçültülmesi, çökelme serleştirmesi ile sağlanır Dövme alaşımları döküm alaşımlarına göre daha iyi mekanik özellikler göstermektedir. Mukavemetleri ve süneklikleri döküm alaşımlarına göre ve hatta rakip malzemelere göre daha yüksektir. Yüksek eğme dayancı ve bükülmezlik gerektiren kapı, kaput ve bagaj kapağı gibi geniş dış panel saclarında magnezyum alaşımlarının kullanımı çeliğe göre % 50, alüminyuma göre % 20 ağırlık kazancı sağlayabilecektir[13,14].

Bir malzemenin özgül dayanım değeri ne kadar yüksek olursa, aynı zorlamayı karşılamada daha hafif olur. Bir malzemenin özgül rijitlik değeri ne kadar büyük olursa o kadar çok rijit olur (az esneyebilir). Mesnetler arası mesafe uzun olan miller gibi elemanlarda, milin çökme miktarı az olması için, özgül rijitlik değerinin yüksek olması istenirken, yaylar gibi darbeli yüklemeler altında çalışan elemanlar için özgül rijitlik değeri düşük olsun istenir. Şekil1.5 ve şekil 1.6 da verilen grafikler incelendiğinde yapısal veya döküm malzemesi olarak kullanılan magnezyum alaşımlarının özgül dayanım ve özgül rijitlik değerleri alüminyum alaşımlarından yüksek, çeliğe göre ise iki

katı civarındadır. Bu özelliklerinin iyi olması magnezyum alaşımlarının yapısal malzeme olarak kullanılmasında büyük bir avantaja sahip olduğunu göstermektedir[14].



Şekil1.5.Çekme zorlamasında özgül dayanım değerlerinin kıyaslanması [14]

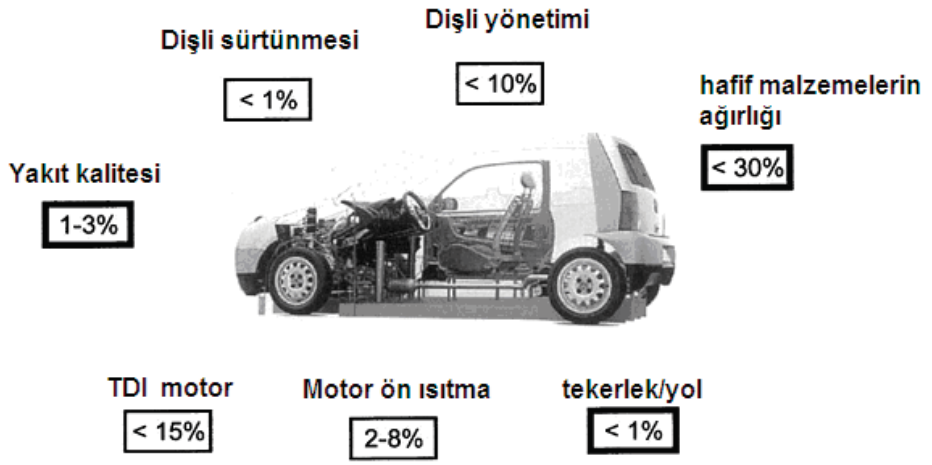


Şekil1. 6.Eğme ve burulma zorlamasında özgül dayanım [14]

Magnezyum alaşımları için çok çeşitli uygulamalar olmasına rağmen, üç faktörden dolayı kullanımı sınırlanır; birincisi magnezyum ve magnezyum alaşımlarının hegzagonal sıkı paket yapısına sahip olması ile birlikte düşük erime noktası sünekliği, tokluğu ve sürünme dayanımını sınırlar. İkinci faktör, magnezyum ve alaşımlarının düşük korozyon dayanımı olmasından dolayı korunmasız magnezyum alaşımları sulu çözeltilerde hızlıca çözünürler. Üçüncü faktörde magnezyum ve magnezyum alaşımlarının fiyatlarının hala yüksek oranda alüminyum veya plastikle karşılaştırılmasıdır[15].

1.3. Magnezyumun Kullanım Alanları

1990lı yılların başında, atmosferi korumak ve CO_2 emisyonunu azaltmak sosyal tartışmalarda önemli hale gelmiş ve uluslar arası otomobil endüstrisi 2008 de, 1990'a göre CO_2 emisyonunu %25 azaltmaya yönelmişleridir[9]. Otomobillerde yakıt tüketiminin % 60'ı otomobil ağırlığından kaynaklandığından, ağırlığın azaltılması doğrudan yakıt tüketimini ve dolayısıyla CO_2emisyonlarının düşürülmesini sağlamaktadır. CO_2emisyonlarının büyük oranda azalmasının ve sınırlı yakıt rezervlerinin korunmasının sağlanmasıyla beraber; araçlardaki ışık, ses, güvenlik, konfor, eğlence donanımları gibi ek unsurlardan kaynaklanan ağırlık artışı sorunlarının giderilmesi noktasında magnezyum alaşımlı ürünler artan bir önem kazanmıştır. Şeki1.7 de Mg alaşımlarının CO_2emisyonunu düşürmek için kullanıldığı yerlerdeki teknik ölçümler görülmektedir[16].



Şekil1.7. Mg alaşımlarının CO_2 emisyonu üzerindeki etkisi [17].

Magnezyum alaşımlarının yaygın olarak kullanıldığı otomotiv parçalarına örnek olarak koltuk iskeleti, tekerlek, gösterge tablosu, direksiyon simidi, motor valf kapağı, emme manifoldu, vites kutusu, kapı kolu, pedal ve yağ karteri verilebilmektedir (Şekil 1.8). Mangan içeren AM serisi alaşımlar, yüksek toklukları ve enerji soğurma özellikleri nedeniyle koltuk iskeleti, tekerlek ve direksiyon simidi yapımında kullanılmaktadır.



Şekil1.8Magnezyumun kullanıldığı parçalar[6]

Magnezyumun bir yüksek sıcaklık motor uygulamasında ilk kez kullanılması ise, magnezyum-alüminyum kompozit motor bloğunun BMW firması tarafından üretilmesi ile gerçekleşmiştir. Otomobillerin dış yüzey parçalarında kullanılan magnezyum levhaların korozyon dirençlerinin arttırılması ve kaplama yöntemlerinin iyileştirilmesi üzerine araştırmalar yapılmaktadır(Şekil1.9).



Şekil1.9Alüminyum-magnezyum kompozit motor bloğu[6]

Yakıt tüketimindeki 3l /100km hedefine VW Lupo serisinde üretilen araçla ulaşılmıştır. Geleneksel Lupo ile karşılaştırıldığında 100 kg hafiflik yakıt tüketiminde etkin bir rol oynamıştır. Günümüzde, magnezyum alaşımı levhalar lüks otomobillerde ve yarış arabalarında bulunmakla birlikte, VW 3l Lupo, Opel G90 gibi prototip otomobillerin

üretiminde de kullanılmaktadır. VW 3l Lupo'nun kaportasında magnezyum AZ31 alaşımı levha, Opel G90'ın ise panel kısmında magnezyum levha kullanılmıştır[6,10].

1.4. Ekstrüzyon Tekniği

1.4.1. Ekstrüzyon

Ekstrüzyon yöntemi, çubuk, profil, boru, tel ve diğer kalın cidarlı profillerin şekillendirilmesinde kullanılan önemli bir plastik şekil verme yöntemidir. Günümüzde çok yaygın uygulama alanı bulan ekstrüzyon yöntemi ile biçimlendirilen malzemelerin ve yarı mamullerin çeşidi hızla artmaktadır.

Ekstrüzyon işleminin esası, alıcı içerisindeki bloğun (malzemenin) basınç altında matris kanalından geçirilerek kesiti küçülecek şekilde basılmasıdır. Biçim veren takımların (matrislerin) uygun olarak dizayn edilmesi ile ekstrüzyon malzemesinin cinsine bağlı olarak basit veya karmaşık profilli çubuk olarak yapılabilir[18].

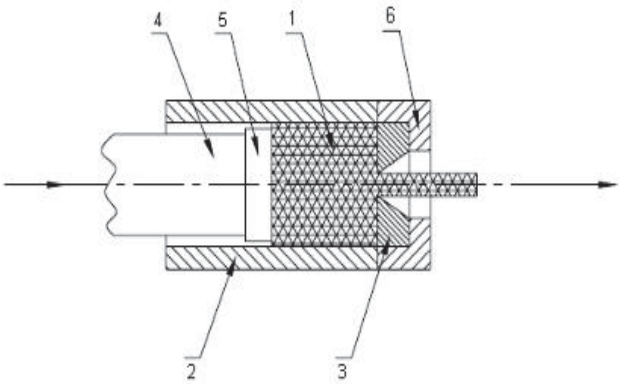
1.4.2. Ekstrüzyon yöntemleri

Ekstrüzyon yöntemlerini, zorlama ve malzeme akışı yönüne, matrisin hareketli veya sabit olmasına ve kuvvet iletme tarzına göre 4 gruba ayırabiliriz.

1. Direk ekstrüzyon
2. Endirek ekstrüzyon
3. Darbeli ekstrüzyon
4. Hidrostatik ekstrüzyon

Direk ekstrüzyonda yönteminde**,** alıcı içindeki blok ıstampa tarafından itilerek diğer uçlardaki matris profil deliğinden geçirilir (Şekil1.10.). Malzeme akışı ve zorlama yönü aynıdır. Matris sabittir, ıstampa ve blok alıcıya göre bağlı hareket yağarlar. Bu bağış hareketten dolayı ile blok arasında sürtünme meydana gelir. Sürtünme kuvveti bloğun matrise doğru ilerlemesini engeller ve gerekli ekstrüzyon kuvvetini ve ekstrüzyon artığını arttırmaktadır. Şekil1.11'de ekstrüzyon esnasında ıstampa yoluna bağlı olarak gerekli ekstrüzyon kuvvetinin değişimi görülmektedir. Kuvvet, önce yükselip maksimuma ulaştıktan düşmeye başlar ve ıstampa strok sonuna yaklaştığında tekrar yükselir. Kuvvetin tekrar yükselmesi, strok sonunda disk şeklinde küçük bir blok parçasının radyal olarak akıp matris deliğine esnasında ön levha ve matris alın yüzeylerinde büyük sürtünme kuvvetlerinin oluşmasındandır. Ayrıca blok ile alıcı

arasındaki sürtünmeden dolayı blok çevresi yavaş, blok merkezi hızlı hareket ederek blok sonunda huni biçiminde bir boşluk meydana gelmektedir. Büyük ekstrüzyon kuvveti uygulayıp, bloğun tamamı ekstrüzyon edilse dahi yarı mamülün sonu hatalı olmaktadır. Bu nedenle direk ekstrüzyonda belli bir miktar ekstrüzyon artığı bırakılmaktadır[18].



1.Bilet
2.Kovan
3.Kalıp
4.Istampa

Şekil1.10. Direk ekstrüzyon prensibi[19].

Sürtünme, ekstrüzyon kuvvetini arttırdığı gibi düzensiz bir malzeme akışına da neden olmaktadır. Direk ekstrüzyon yöntemi, dezavantajlarına rağmen, takım düzenlemesi basit ve işletme yönünden kolay olduğundan çok tercih edilen bir yöntemdir.

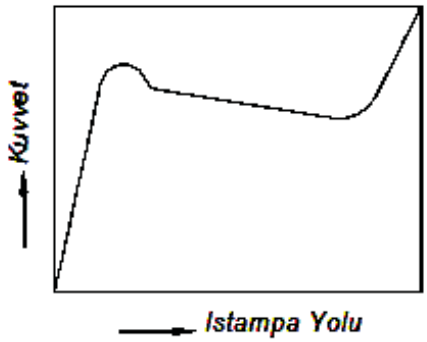
Direk ekstrüzyonun avantajları;

- İstenilen uzunluk, çap ve kalınlıkta yarı mamul imal olanağı sağlar.
- Çeşitli dolu ve içi boş profiller kolaylıkla imal edilebilir.
- Takım düzenlenmesi kolaydır.
- İşletme yönünden kolaylıklar sağlar.
- Matris çapı, alıcı iç çapı tarafından sınırlanmamaktadır

Direk ekstrüzyonun dezavantajları;

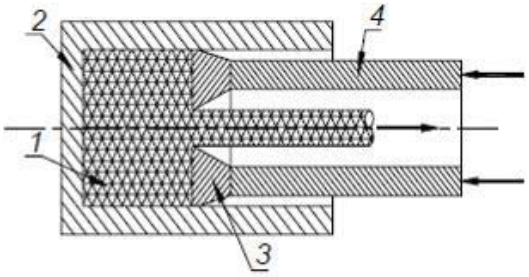
- Gerekli ekstrüzyon kuvveti, endirek ve hidrostatik ekstrüzyon yöntemlerinden daha yüksektir. Bu yüzden ekstrüzyon oranı ve hızı istenildiği kadar yükseltilememektedir.
- Blok ile alıcı arasındaki sürtünme uzun blokların kullanılmasını önlemektedir.
- Ekstrüzyon artığı fazladır.

- Malzeme akışı endirek ve hidrostatik ekstrüzyon yöntemlerinden daha düzensiz olmaktadır[18].



Şekil1.11. Direk ekstrüzyon yönteminde kuvvet eğrisi[19]

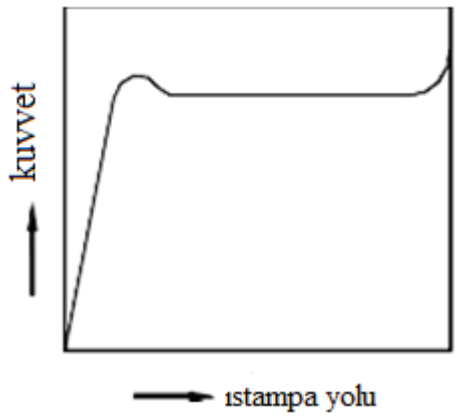
Endirek ekstrüzyon yönteminde matris, içi boş bir ıstampanın ucuna monte edilir ve ıstampa ile birlikte hareket eder şekil1.12 Matris hareketli, blok sabit olduğundan ıstampa alıcıya göre bağıl hareket yaparken, blok ile alıcı arasında bağıl bir hareket yoktur. Malzeme akışı ile zorlama yönü tam zıttır.



1.Bilet
2.Kovan
3.Kalıp
4.Istampa

Şekil1.12.Endirek ekstrüzyon prensibi[19]

Bu yöntem ile ekstrüzyonda, blok yüzeyi ile alıcı cidarı arasında sürtünme oluşmadığından gerekli ekstrüzyon kuvveti azalmaktadır(Şekil1.13). Endirek ekstrüzyonda kayıp miktarı %5-10 arasındadır. Alüminyum malzemeden silindirik bir çubuğun ekstrüzyonun da, direk ekstrüzyonda, endirek ekstrüzyondan Fistere'e göre %22, Petsche göre %30 oranında bir kuvvet tasarrufu olmaktadır. Böylece daha büyük ekstrüzyon oranları, daha yüksek ekstrüzyon hızları, daha düşük blok sıcaklığında çalışma imkanı sağlamaktadır[18].



Şekil1. 13. .Endirek ekstrüzyonda kuvvet eğrisi[19]

Aynı zamanda malzeme akışı daha düzenli olmakta ve ekstrüzyon hatalarının oranı azalmaktadır. Bilet ile kovan arasındaki sürtünmeden dolayı sıcaklık artışı olmadığından alüminyum alaşımlarının endirek ekstrüzyonunda yüzeyde oluşan çatlak hataları azalmaktadır. Oluşan yüzey hatalarının daha hızlı belirlenmesi ve önlenme imkanı sağlar.

Endirek ekstrüzyon çeşitli avantajlar sağlamasının yanında, bilet ölçüsü kovan çapı ile sınırlanması, karmaşık kesitli ürünlerin ekstrüzyonuna uygun olmaması gibi dezavantajları bulunmaktadır. Endirek ekstrüzyonda bilet yüzeyindeki gayri safiyetler mamül yüzeyine geçtiğinden, genellikle bilet yüzeyi ekstrüzyondan önce bir ön işleme tabi tutulmaktadır[18].

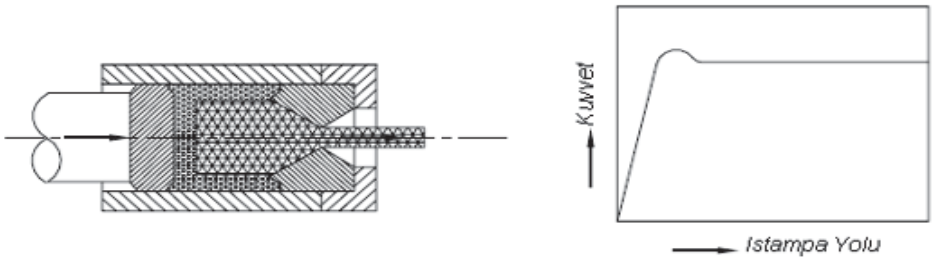
Darbeli ekstrüzyon ile ile genellikle dönel simetriye sahip içi boş veya dolu parçalar imal edilebilir. Çapı, imal dilecek tüpün dış çapına eşit olan bir kovan içerisine yerleştirilen ekstrüzyon malzemesine, ıstampa ile basarak biçim verilir. Kovan içindeki malzeme ıstampanın basıncı ile ön levhanın çevresinden akarak yükselir ve silindirik kap biçimini alır.

Darbeli ekstrüzyon ile ilaç sanayinin çeşitli tüpleri, metal sanayinde basınçlı tüpler, supaplar, ve çeşitli küçük makine parçaları imal edilebilir. İşlem sıcak veya soğuk olarak yapılabilmektedir. Darbeli ekstrüzyonda demir dışı metaller (alüminyum, bakır, çinko, pirinç, kurşun, kalay) ve çeşitli çelikler kullanılır. Darbeli ekstrüzyonda

kullanılacak malzemelerin akma sınırının ve sertliğinin düşük, uzama ve büzülme özelliklerinin yüksek olması istenir[18].

Hidrostatik ekstrüzyon, biletin alıcıda ıstampa kuvvetinin etkisi ile değil basınç ortamıyla kalıptan geçirildiği bir yöntemdir. Şekil1.14. Bu yöntemde bilet yüksek basınç akışkanı ile çevrilmiştir ve akışkanın basıncı ile ekstrüzyon edilmektedir.

Hidrostatik ekstrüzyon sadece plastiklik özelliği az olan metallerin biçimlendirilmesinde kullanılmayıp aynı zamanda alüminyum ve bakır alaşımlarının şekillendirilmesinde de birçok avantaj sağlamaktadır. Bu yöntemde soğuk ve sıcak biletle çalışılabilindiği için soğuk ve sıcak ekstrüzyon mümkündür[19].



Şekil1.14. a) Hidrostatik ekstrüzyon b) Kuvvet eğrisi[19]

Çubuk ve dolu profillerin ekstrüzyonunda direk ekstrüzyon en basit yöntemdir. Çubuk ve profillerin ekstrüzyonun da (sürekli blok sistemi dışında) daima bir ekstrüzyon kalıntısı ile çalışılmakta ve kalıntının uzunluğu malzeme akış tipine bağlı olarak değişmektedir. Özellikle dolu profillerin ekstrüzyonunda matris deliklerinin matristeki yeri ve dizaynı çok önemlidir. Ayrıca soğuma nedeniyle oluşan büzülme ve kalıp kanal uzunluğunun malzeme akışına yapacağı etki dikkat edilmesi gereken noktalardandır[18].

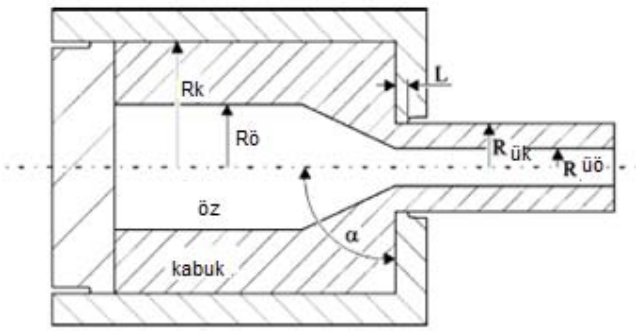
1.4.2. İki MetalliBiletlerin Ekstrüzyonu

Özel amaçlar için kaplanmış çubuklar, teller, profil ve borular gerekmektedir. Kaplama ekstrüzyon (co-ekstrüzyon) özellikle duralüminyum patentinin alınmasından sonra korozyona dayanıklı profillerin imalinde hafif metaller için geliştirilmiştir. Yüksek dayanıma sahip, ancak korozyondan çabuk etkilenen esas alaşımlar saf alüminyum ile kaplanmıştır. İki metalin ko-ekstrüzyon ile birleştirilebilmesi işlemi uygulamaya

konulunca bu konuda birçok çalışma yapılmış ve bu yöntem ağır metallerde büyük önem kazanmıştır[18].

Farklı şekillerdeki dolu profillerin ve tüplerin üretim tekniği olan kaplama ekstrüzyon aynı anda iki ya da daha fazla metalden tek bir kompozit kütüğü ekstrüze etme işlemidir. Başlangıç ekstrüzyon kütüğünde birden fazla malzeme bulunur ve bu malzemeler eş zamanlı olarak ekstrüze edilirken malzemeler metalürjik olarak basınç ve sıcaklık altında bağlanırlar (Şekil1.15.). Çoğunlukla iki farklı metal alaşımı aynı malzeme sistemi içinde nihai kompozit bir ürün oluşturmak için kullanılır. Kompozit ürünlerin bu şekilde bileşen malzemelerinin bireysel yararları maksimum olmaktadır. Genellikle bir alaşım veya metal korozyon direnci gibi belirli bir özelliğinden dolayı seçilir. Daha sonra ya daha düşük yoğunluklu ya da daha ucuz olan bir malzeme ile veya nihai ürün için isteten fiziksel özelliklere sahip bir başka malzeme ile eşleştirilir. Bir alaşım nihai üründe kaplama olarak kullanılabilir, ilave malzeme ile destek ve dayanım sağlamak için sunulur[5,20].

Kompozit parçaları üretmek için kullanılan ekstrüzyonun en önemli yararları arasında nihai ürünü üretilmesinde birleşme/yapışma için ilave bir işleme ihtiyaç olmamasıdır. Malzemeler net veya net şekle yakın deforme olurken aynı zamanda bu malzemeler metalürjik olarak da bağlanırlar.



Şekil1. 15.iki metal bileşenli çubuk ekstrüzyonu[24]

Bu durum, füzyon kaynağı(hem kaplama hem birleştirme) veya mekanik birleşme(bağlantı elemanları veya yapıştırıcıların kullanımı ile) gibi işlemleri olan ihtiyacı ortadan kaldırır; ancak ekstrüze olabilen geometrileri sınırlandırır. Bağın sürekliliği hem dayanım hem de fiziksel özellikler(korozyon dayanımı, termal

iletkenlik, vb.) için önemli bir husustur. İki tabaka arasındaki dönüşümün gelişmesi özellikle sıcak ekstrüzyon sırasında dikkate alınması gereken önemli bir faktördür[19]

İki metalli çubukların imalatı için farklı şekillendirme işlemleri uygulanabilmektedir. Ancak kaplamalı ekstrüzyon metodu diğer işlemlere göre daha avantajlıdır. Ekstrüzyon basıncındaki sıkışmadan dolayı malzemeler daha düşük plastiklik ile şekil değiştirebilirler. Ayrıca uygun kalıp tasarımı ve imalatı ile daha karmaşık parçaların imal edilebilir. İki metalli bileşenlerin ekstrüzyonunda ki gelişim, ürünlerin geometrik toleranslarını iyileştirmeye, malzeme tüketimini ve artık malzeme oluşumunu minimuma indirmeye ve mevcut üretim sürecinde enerji tasarrufu yapmaya yardımcı olmaktadır[21,22].

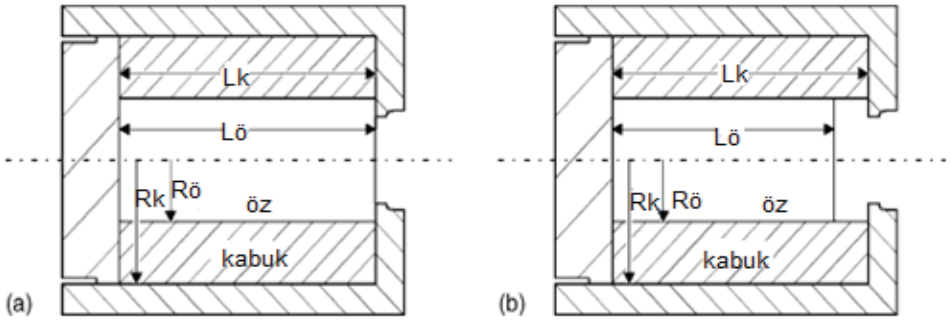
İki metalli çubuk ve tellerin ekstrüzyonu üzerine birçok deneysel ve analitik çalışma yapılmıştır. Yapısal malzemeler olarak kullanılan iki metalli bileşenler, nükleer, kimyasal ve daha bir çok endüstri alanında ilgi görmektedir Bu ürünlerin özelliklerine tekli metallerin ekstrüzyonu ile ulaşmak mümkün değildir. Metallerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin farklı olmasından dolayı, farklı metal kombinasyonlarını bir arada üretmek oldukça zordur. Kaplamalı ekstrüzyonda hem öz hem de kılıf/kabuk malzemenin homojen deforme olduğu varsayılır, hatasız ürün üretmek için her iki metal de eş zamanlı olarak aynı küçülmeye maruz kalırlar. Ancak farklı mikro yapı ve akış karakteristikleri homojen akışı oldukça zorlaştırır. Tek metallerin ekstrüzyonu ile karşılaştırıldığında, kompozit çubukların ekstrüzyonundaki plastik deformasyon mekanizması çok daha karmaşıktır. Uygun olmayan işlem değişkenlerinin seçilmesi kaplamalı ekstrüzyon da kusurların oluşumuna neden olmaktadır. İki metalli bileşenlerin ekstrüzyonun da görülen problemler tek malzemelerin ekstrüzyonun da görülmezler. Şekil 1.17 de iki metalli malzemelerin ekstrüzyonu sırasında oluşabilecek akış ve olası kusurların farklı şekilleri görülmektedir[8,22,24].

Ekstrüze edilmiş iki metalli çubuğun kırılma modlarını etkileyen faktörler özetlenirse;

1. Alandaki r(%) veya ekstrüzyon oranındaki R yüzde azalma
2. Yarı koni kalıp açısı, a
3. Kalıp uzunluğu, L
4. Kütük ile kovan duvarları arasındaki sürtünme, m
5. Çekirdek ve kabuk yarı çap oranı Rç/Rk

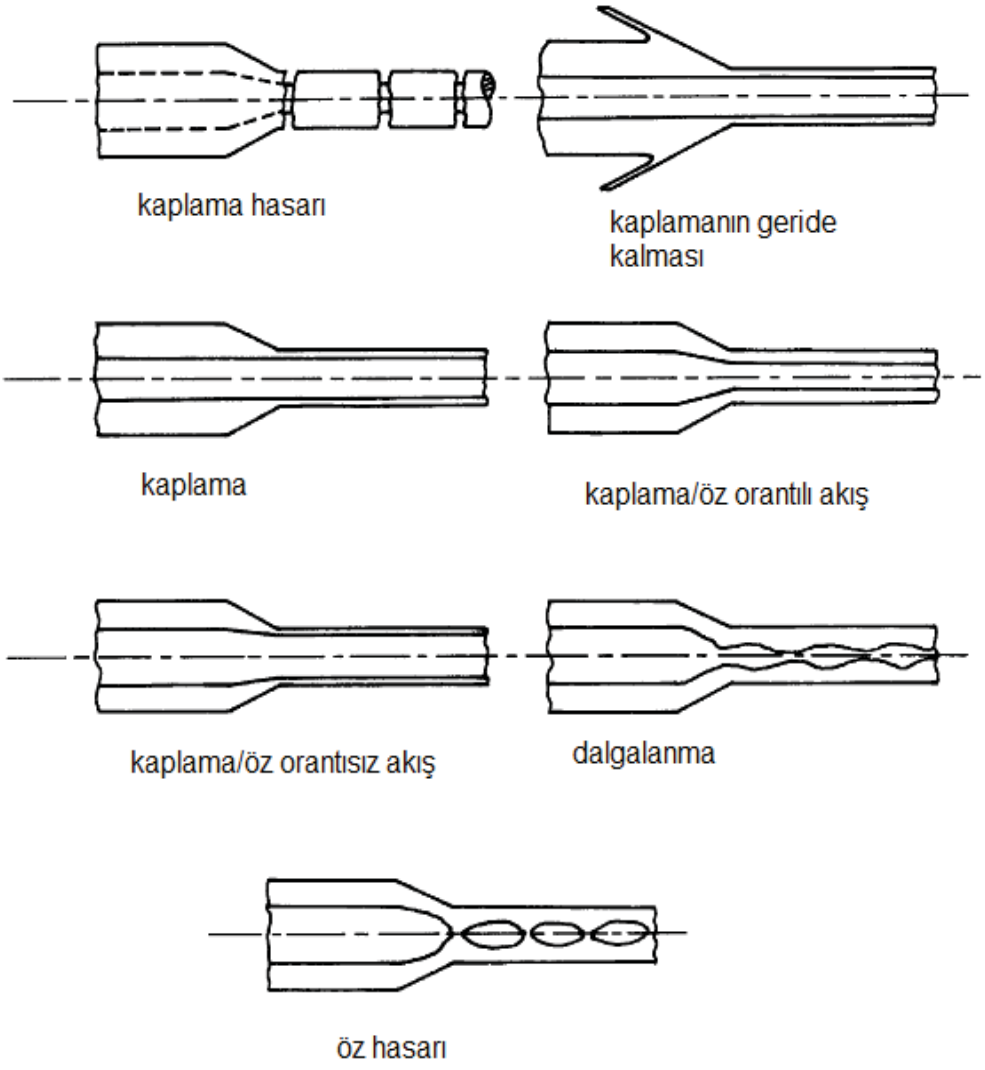
6. Ön gerilmelerin varlığı
7. Çekirdek ve kabuk arasındaki ara yüzey bağ dayanımı
8. Çekirdek ve kabuk uzunluk oranı Lç/Lk.

Başlangıç bilet geometrisi, kaplamalı ekstrüzyon işleminde ürünün nihani mekanik özelliklerini ve geometrik toleranslarını etkileyen en önemli faktörlerden biridir ve ekstrüzyon kesitindeki boyutsal kararlılık kullanılan malzemelere ve işlem parametrelere bağlıdır. Basit bilet geometrisinde kılıf ve öz boyu birbirine eşittir (Lö=Lk) (şekil1.16.a). Bu tasarımın dezavantajı, öz malzemenin bir kısmının ekstrüzyon sonrasında hurda olmasıdır.



Şekil1. 16.Farklı tasarımlara sahip bilet geometrileri
a) öz-kılıf boyu aynı
b) öz boyu kılıf boyundan kısa[24]

Bu durum öz boyunu kısaltarak (Lö<Lk) engellenmeye çalışılmaktadır (Şekil1.16.b). Bir başka parametre ise kalıp açısıdır; daha önce yapılan araştırmalar da düz kalıp yerine konik kalıbın hurda malzeme miktarını azalttığı ve ekstrüzyon boyunca daha iyi boyutsal tolerans gösterdiği belirlenmiştir. Ancak literatürde, konik kalıp açısının ürün yüzeyinde çeşitli kusurlar oluşturmasından dolayı kullanımı kısıtlı olduğu da bilinmektedir [24].



Şekil1. 17.İki metalli çubukların ekstrüzyonu sırasında görülen akış davranışları [22]

1.5. Magnezyumun Ekstrüzyon Yöntemi İle Şekillendirilmesi

Magnezyum alaşımları, düşük yoğunluk, yüksek özgül dayanım ve geri dönüşümlü bir malzeme olmasından dolayı otomotiv, havacılık ve elektronik uygulamalarda kullanılmaktadır. Ancak magnezyum, hegzagonal sıkı paket (HSP) kafes yapısına sahip olması nedeniyle sınırlı sayıda kayma sistemine sahiptir ve bu durum oda sıcaklığında şekil değişiminin düşük olmasına neden olmaktadır. Magnezyumun HSP kafes yapısından dolayı magnezyum alaşımlarının plastik deformasyonunda sıcaklık ana faktördür. Bu yüzden de ılık ve yüksek sıcaklık koşulları altında yapılan araştırmalar, şekillendirme işlemini optimize etmek için en ideal yoldur[25,26].

Ekstrüzyon, hafif yapılı magnezyum alaşımları için uzun şekilli ve ince cidarlı ürünlerin imalatına olanak sağlayan yöntemlerden biridir. Magnezyum profilleri işleme teknolojisi mevcut olmasına ve profiller için alaşımların 60 yıldan fazla zamandır bulunmasına rağmen günümüzde bileşimlerin büyük miktarda üretimi yoktur. Mevcut alaşımlar dar bir aralıkta özellik gösterirler ve oda sıcaklığında şekillendirilebilirliği sınırlıdır. Bütün şekillendirme işlemleri yüksek sıcaklıklarda yapılması gerekir, bilindiği gibi 200-225 ^{o}C altındaki sıcaklıklarda magnezyum alaşımlarının işlenebilirliği sınırlıdır ve hatta soğuk çatlamaya neden olabilir. Magnezyum alaşımlarının direk ya da endirek ekstrüzyon yönteminde işleme sıcaklığı 260-450^{o}C aralığındadır [27].

Alüminyum alaşımları gibi, magnezyum alaşımları da, direk, endirek, yağlamalı, yağlamasız gibi ekstrüzyon teknikleri kullanılarak farklı şekil ve profillerde ekstrüze edilebilir.

Ekstrüze edilecek magnezyum alaşımlarının çapları 550mm'den büyük ise ön ekstrüzyona tabi tutulurlar. Ön ekstrüzyon magnezyum alaşımlarının ekstrüzyon yönteminde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Homojen bir yapı elde edebilmek için ön-ekstrüzyondan önce bilet 300-500 ^{o}C arasında ısıtılabilir. Alaşım içeriğine ve bilet boyutlarına bağlı olarak, ön-ekstrüzyon yüksek kapasiteli preslerde nispeten daha yüksek ekstrüzyon hızıyla ekstrüze edilirler (30-50 m/dk). Kesit daralması 5:1 ile 10:1 oranında değişebilir. Ön-ekstrüzyon aşamasının ana amacı, ince ve üniform dağılmış taneleri elde etmektir. Ön-ekstrüze edilmiş biletlerin tane boyutunda ana faktör, ekstrüzyon sıcaklığı, hızı ve deformasyon oranıdır. İnce tanelerin oluşumundan dolayı, ön-ekstrüze edilmiş biletlerin ekstrüze edilebilirliği çok iyidir. Ekstrüzyon hızı direk ekstrüzyonda 3-30 m/dk arasında değişiklik gösterir.

İyi yüzey kalitesine sahip ve küçük çaplı (150-200mm) olan biletlerin ekstrüzyonunda zaman alması açısından ön-ekstrüzyon işlemi yapılmayabilir. Ekstrüze edilecek biletlerden maksimum ekstrüzyon hızı isteniyorsa homojenizasyon yapılması ve bu işlemi takiben de yüzeyin düzgünleştirilmesi önerilir. Ekstrüzyon için biletler 300-450 ^{o}C arasında ön ısıtma işlemine tabi tutulur.

Direk ekstrüzyon yöntemi, magnezyum alaşımları için yaygın olarak kullanılır. Kovan ve kalıp ekstrüzyon sıcaklığında tutulurken bilet bu sıcaklığın 25-50 ^{o}C altında tutulur. Direk ekstrüzyon ile düz ve içi boşluklu şekiller üretilebilir [10].

1.5.1. Magnezyum alaşımlarının ekstrüze edilebilirliği

Magnezyum alaşımlarının ekstrüze edilebilirliği ekstrüzyon hızı ile ölçülebilir. Genellikle magnezyum alaşımları, alüminyum alaşımlarından daha düşük ekstrüzyon hızında ve daha yüksek ekstrüzyon basıncında ekstrüze edilirler. Yüksek ekstrüzyon hızları, ekonomik sebeplerden dolayı istenmesine rağmen ekstrüze edilen ürünlerin ısıl gerilme çatlamasına meyilli olmalarından ve mekanik özelliklerin azalmasından dolayı sınırlanır.

Ekstrüze edilebilirliğin değerlendirilmesinde sadece ekstrüzyon hızı ile değil aynı zamanda ürünlerin mekanik özellikleri ve yüzey kaliteleri de dikkate alınır.

Genel olarak ekstrüzyon hızı şu parametrelerle sınırlanır:

- Kabarcık oluşumu
- Mekanik özellikler
- Isıl gerilme çatlaması

Kabarcık oluşumu direk yüzey kalitesi ile alakalı olup, yüzey oksidasyonu ve segregasyon varlığında ekstrüzyon sırasında meydana gelir. Ekstrüzyon hızı ve ekstrüzyon öncesinde biletim homojenizasyonu ile kabarcık oluşumu önemli ölçüde azaltılabilir hatta engellenebilir. İyi bilet yüzey kalitesi, kabarcık oluşmadan yüksek ekstrüzyon hızına ulaşmada belirleyici faktördür.

AZ31 alaşımı iyi ekstrüze edilebilirliği yani 20 m/dk gibi yüksek ekstrüzyon hızına sahip olmasından dolayı yaygın olarak kullanılır. AZ61A, AZ80A ve ZK60A gibi diğer ekstrüzyon alaşımları da özellikle çekme dayanımında yüksek mekanik özellikler sergilerler [10].

1.5.2. Magnezyum Alaşımlarının Ekstrüzyon Profilleri

Ekstrüze edilmiş magnezyum alaşımlarını çeşitli standartlarda ve formlarda bulmak mümkündür. Alaşımların ekstrüzyon formları Tablo1.4'te gösterilmektedir.

Tipik magnezyum ekstrüzyon formları, dairesel, kare, dikdörtgen ve hegzagonal çubuklar, H profil, I profil, ve kanallardır. Kesit ve et kalınlığı, ürünün şekline, kesit ölçülerine ve alaşım elemanlarına bağlıdır. AZ31B ve AZ21 alaşımlarının ekstrüzyon

kesit ölçüleri AZ61 ve ZK60A alaşımlarına göre daha küçüktür. AZ80A alaşımları boru ve tüp ekstrüzyonuna uygun değildir[10].

1.5.3. Magnezyumun Ekstrüzyon mekanizması

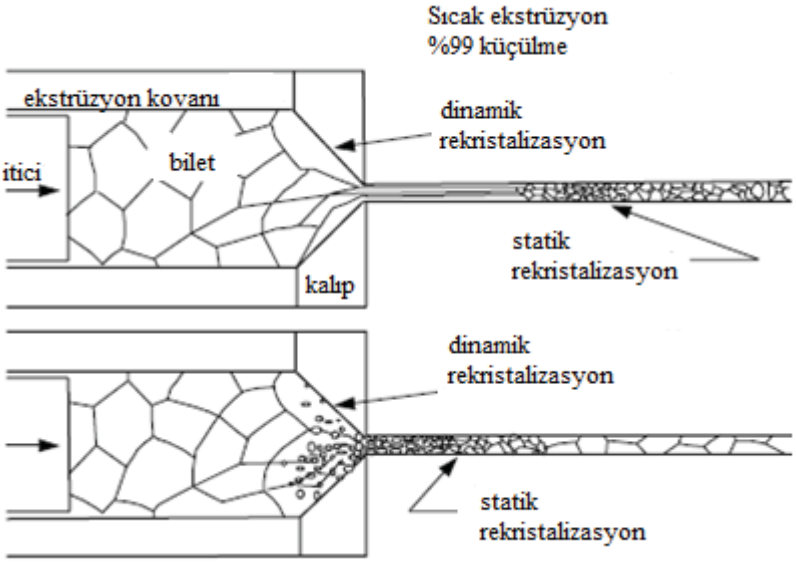
Magnezyum alaşımlarının ekstrüzyonu sıcak deformasyon mantığına dayanır, ısıtılan biletin istenen şekil de belli bir hızda üretim ekipmanları ile istenen şekil verme işlemidir. Sıcak deformasyon sırasında yumuşama işlemlerinin tüm formları meydana gelir yani statik toparlanma ve rekristalizasyon ile dinamik toparlanma ve rekristalizasyon mekanizmaları görülür. Sıcak deformasyon sırasında meydana gelen statik ve dinamik yumuşama süreçleri Şekil1.18'de görülmektedir.

Magnezyumun, 240 ^{o}C'nin üzerinde dinamik rekristalizyonunu sağlamak için dinamik toparlanma seviyesi oldukça düşüktür. İnce tanelerin oluşumu tane sınırında oluşur. Ürünün dayanımı, dinamik rekristalizasyondan veya tane incelmesinden dolayı artar. AZ31B ve ZK60A gibi magnezyum alaşımları 180-240 ^{o}C aralığında ikizlenme deformasyon mekanizması ile sertleşebilirler. 300 ^{o}C de dinamik toparlanmanın oluşumu sertleşmeyi sınırlar. 360 ^{o}C'nin üzerinde dinamik rekristalizasyon görülür ve süneklik önemli derecede artar.

Magnezyumum alaşımlarının sıcak deformasyon mekanizması diğer metallere benzer ancak birkaç önemli farklılık vardır. Başlangıç deformasyonunda yüksek derecede ikizlenme ve dinamik toparlanma görülür. Kademeli olarak dinamik artar ve sonuçta sertliği daha düşük, sünekliği daha yüksek yapı oluşur. 300 ^{o}C de yeniden kristalleşme başlar ve kademeli olarak sıcaklık arttıkça ve deformasyon hızı düştükçe daha büyük taneler etkilenir. Dinamik rekristalizasyondan dolayı tane sınırlarında yeni taneler oluşur ve süneklik artar [10].

Tablo1.4. Magnezyum alaşımları ve ekstrüzyon formları[10]

Ekstrüzyon formu	AZ21	AZ31B	AZ61A	AZ80A	ZK60A
Çubuk	X	X	X	X	X
Yapısal formlar	-	X	X	X	X
Tel	-	X	X	-	-
Tüp	X	X	X	-	X
Boru	X	X	X	-	X



Şekil1.18.Sıcak deformasyon sırasında görülen yumuşama mekanizması[10]

1.6. Literatür Özeti

1.6.1. Magnezyumun ekstrüzyonu ile yapılan çalışmalar

Uematsu ve arkadaşları[28]AZ31B, AZ61A ve AZ80 magnezyum alaşımlarının ekstrüze edilmesiyle yorulma davranışı ve kontrollü ekstrüzyondan dolayı tane küçülmesini incelemişlerdir. İlk olarak çalışma sıcaklığını araştırmak amacıyla AZ31B ve AZ61A kütükleri 67 ekstrüzyon oranı altında üç farklı sıcaklıkta ekstrüze edilmişlerdir. Tane küçülmesinin her iki alaşımda da çalışma sıcaklığının düşmesi ile azaldığı elde edilmiştir. Döner eğme yorulma testinde; AZ31B'nin yorulma dayanımı düşen tane boyutu ile artarken AZ61A da yorulma dayanımının tane boyutuna bağlı

olmadığı görülmüştür. Sıcaklık etkisinin araştırılmasından sonra ekstrüzyon oranlarının etkisini araştırmak için AZ61A ve AZ80 kütükleri üç farklı ekstrüzyon oranları ile kontrollü şartlar altında ekstrüze edilmiştir. Artan ekstrüzyon oranı ile tane boyutunun küçüldüğü görülmüştür ancak mekanik özellikler ekstrüzyon oranından önemli ölçüde etkilenmemişlerdir yani tane boyutu ve yorulma dayanımının tane boyutuna bağlılığı alaşımlar arasında farklılık göstermektedir. AZ61A daha düşük ekstrüzyon oranında ekstrüze edildiğinde daha yüksek yorulma dayanımına sahip olurken(iri taneli) AZ80 alaşımı daha yüksek ekstrüzyon oranında ekstrüze edilmiştir(daha ince taneli).

Zhang ve arkadaşları[29] AZ31 magnezyum alaşımının sürekli ekstrüzyon ile şekillendirilmesinin mümkün olup olmadığını araştırmışlarıdır. Sonuç olarak sürekli ekstrüzyonun yapıyı arıtabildiğini, yapının homojenlik derecesini iyileştirebildiğini, bazal düzemin kristal yönünü değiştirebildiğini dolayısıyla sünekliğin iyileştiği ancak çekme dayanımının oda sıcaklığında düştüğü görülmüştür.

Chandrasekaran ve Jhon[30] magnezyum alaşımlarının düşük sıcaklıktaki şekillendirilebilirliğini değerlendirmeyi amaçlamışlarıdır. Asimetrik ekstrüzyon için AZ31, AZ61 ve dövme alaşımı ZK60 malzemeleri seçilmiştir. Sıcaklık kontrol bölümünde oda sıcaklığından 300 ^{o}C ye kadar çeşitli sıcaklıklara çıkılabilir. Ancak sonuçlarda sadece oda sıcaklığı, 100, 150, 175 ve 200 ^{o}C de yapılan testler gösterilmiştir. 200 ^{o}C' nin üzerinde şekillendirme çalışmaları başarılı olmasına rağmen örnekleri kalıp boşluğundan çıkarmak zor olmuştur. Söz konusu olan AZ31 ve ZK60 örneklerini çıkarma işlemi çatlakla sonuçlanmıştır bu yüzden de örnekleri ve işlem sürecini değerlendirmek zor olmuştur. Ancak AZ61 örneklerinin çıkarma işleminde çatlak oluşumuna dair herhangi bir kanıt görülmemiştir. Simülasyon sonuçları ve deneysel çalışmalar magnezyumun (AZ31) 300 ^{o}C' den yüksek sıcaklıklarda kolayca şekillendirilebildiğini göstermiştir. Simülasyon ve deneysel sonuçların akma noktası tahminleri arasında iyi bir oran olmasına rağmen ekstrüzyon yükleri çok yüksek olduğu görülmüştür.

Luo ve arkadaşları[31]'nın yüksek sünekliğe sahip Mg-Zn-Ce ekstrüzyon alaşımları üzerinde yaptığı çalışma Mg-%0.2Ce alaşımına az miktarda Zn (yaklaşık %2)ilavesi ile dayanımın önemli ölçüde iyileşebileceğini göstermiştir. Daha yüksek Zn ilavesi Mg-Zn-Ce alaşımlarının maksimum ekstrüzyon oranını düşürmektedir.

Hasiang ve Kuo [32] magnezyum alaşımlı levhaların çeşitli sıcaklık, hız, yağlama ve malzemelerdeki sıcak ekstrüzyonunu incelemişlerdir. Ekstrüzyon ürününün mekanik özelliklerini belirlemek ve işlem parametreleri ve malzeme özellikleri arasındaki ilişkiyi elde etmek için magnezyum alaşımları ile farklı bileşimlerini deneysel olarak test etmişlerdir.

Wu ve arkadaşları [33] Mg-I ve saf Mg çiftini ekstrüzyonla hazırlamışlar ve itriyumun mekanik özelliklere etkisini saf magnezyum ve Mg-I alaşımı arasında karşılaştırmışlardır. Sonuç ekstrüzyon ve tavlamadan sonra itriyum ilavesinin artması ile magnezyumun kopma uzamasının arttığı ancak dayanımının düştüğü görülmüştür.

Sadeghi ve arkadaşlarının[34] üç farklı Mg alaşımı (AZ31, AZ31+0.4 ve 0.8 %Sr) kullanarak 400C deki tüpleri porthole kalıbından geçirerek yaptıkları sıcak ekstrüzyon başarılı olmuştur. AZ31 alaşımına ilave edilen Stronyum (Sr) ikizlenmeyi ve dinamik yeniden kristallenme tane boyutunu azaltmıştır. Ancak, Sr ekstrüzyon sırasında yüzeyde çatlak oluşumunu artırmıştır. Bu karmaşık deformasyonda Porthole kalıbı içerisinde Sr zengin çökeltisi mikro yapı boyunca homojen olarak dağılmış ve kalıntı çizgilerinin oluşumunun da etkili bir şekilde önlendiği görülmüştür.

Chang ve arkadaşlarının[35] yaptığı çalışmada 673K de yapılan tek geçişli asimetrik sıcak ekstrüzyon AZ31 magnezyum alaşımından levha üretmek için birincil işlem sırasında yüksek kesme gerilmesini göstermek amacıyla kullanıldı. Ekstrüzyon düzlemleri boyunca alt yüzeyden üst yüzeye kadar doku, mikro yapı ve mekanik özellikler incelenmiştir. Deneysel sonuçlar asimetrik sıcak ekstrüzyonun oda sıcaklığında bazal dokuyu etkili bir şekilde zayıflattığını, sünekliği geliştirdiğini göstermiştir.

Zhang ve arkadaşları [36] AZ31 magnezyum alaşımlarını 20, 35 ve 50 ekstrüzyon oranları ile 573K ve 623K de sıcak ekstrüze etmişleridir. Sıcak ekstrüze edilmiş AZ31'in korozyon ve mekaniksel davranışı galvanik ve çekme testleri kullanılarak incelenmiştir. Kullanılan alaşımların mikro yapıları optik mikroskopla incelenmiştir. Sonuçlar, tüm sıcak ekstrüze edilmiş AZ31 alaşımları ile AZ31 döküm alaşımları karşılaştırıldığında; ekstrüzyon alaşımlarının korozyon potansiyelleri 60mV arttığını göstermiştir. Ayrıca, 623K ekstrüzyon sıcaklığında AZ31'in mevcut galvaniği artan ekstrüzyon ile azalmış ve galvanik korozyon direnci ekstrüzyon oranı 50 iken %10

artmıştır. Ekstrüze edilmiş alaşımların çekme dayanımları ve uzamaları önemli ölçüde iyileşmiştir (yaklaşık olarak sırasıyla %20 ve%140). AZ31 alaşımlarının mekanik özelliklerinin belli bir şekilde artması ve korozyon direncinin iyileşmesi tane küçültme ve mikro yapısal değişiklikler ile birlikte ara metalik fazların matriks boyunca homojen şekilde dağılmasına bağlanmıştır.

Swiostek ve arkadaşları [37] 100 ^{o}C deki ticari magnezyum alaşımlarının deformasyonu için nadiren başvurulan hidrostatik ekstrüzyonu kullanmışlardır. 100 ^{o}C yeni kayma sistemlerinin aktivasyonu için gerekli sıcaklığın oldukça altındadır. Bütün deneyler ekstrüzyon oranı ve ekstrüzyon hızı gibi ortak endüstriyel ekstrüzyon parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiş fakat oldukça ince taneli maddeler elde etmek amacıyla genellikle ECAE işlemi olarak kabul edilmiştir. Bu deneyler, magnezyum alaşımlarının 100 ^{o}C sıcaklıkta bile işlenebileceğinin mümkün olduğunu göstermiştir.

Thirumurugan ve arkadaşları[38] ZM21 döküm magnezyum alaşımını dört farklı sıcaklıkta(200, 250, 300, 350 ^{o}C) sırasıyla 4:1, 9:1,16:1 üç ekstrüzyon oranı ile simetrik ekstrüzyona tabi tutmuşlardır. Sıcaklık ve ekstrüzyon oranı gibi ekstrüzyon parametrelerinin etkileri optik mikroskop, X-ray difraksiyon ve çekme testleri ile incelenmiştir. Optik mikrograflar yeniden kristalleştirmenin (rekristalizasyonun) çeşitli etaplarını gösterirler. Yüksek ekstrüzyon sıcaklığı kaba taneli ürünle sonuçlanırken ince taneli ürün yüksek ekstrüzyon oranları ile elde edilmiştir. Bu alaşımların 250 ^{o}C sıcaklıkta ve 9:1 ekstrüzyon oranında yapılan ekstrüzyondan sonra maksimum çekme dayanımı 160MPa'dan 316 Mpa'a çıkmıştır.

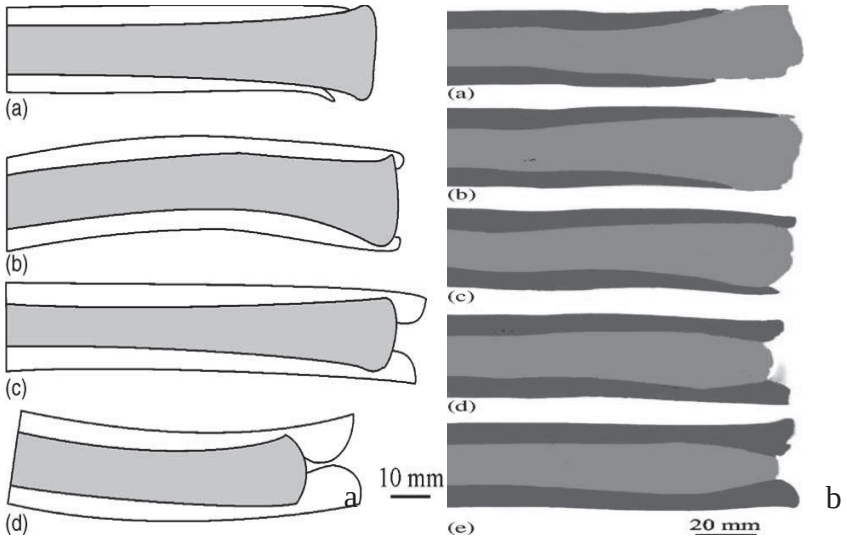
1.6.2. İki Metalli Biletlerin Ekstrüzyonu ile Yapılan Çalışmalar

Thirumurugan ve arkadaşları[39] milimetrik ölçüde alüminyum filmaşin takviyesi içeren ZM21 magnezyum alaşımı/CP alüminyum makro kompoziti, direk sıcak ko-ekstrüzyon yoluyla üretmişlerdir. Kompozit sabit ram hızı ile 4:1, 9:1, 16:1 gibi 3 farklı ekstrüzyon oranı (EO) ile 450 ^{0} C de ekstrüze edilmiştir. Makro kompozit mekanik test (çekme ve sertlik) ve mikroskopi yoluyla karakterize edilmiştir. Karakterizasyon, alüminyum ve ZM21 Mg alaşımı arasındaki yapısal bütünlüğü fark edilir şekilde tane küçültülmüş ZM21 Mg alaşımı içindeki bütün ekstrüzyon oranlarında iyi olduğunu kanıtlamıştır. 16:1 EO yoluyla elde edilen makro kompozit süneklikte önemli iyileştirmelerle daha iyi çekme ve akma dayanımı göstermiştir. ZM21 Mg alaşımındaki

takviye alüminyumun sünekliğe ve dayanıma önemli katkısı vardır ki mikrografiler ve kırılma yüzey fotoğraflayıcılar tarafından onaylanmıştır.

Kazanowski ve arkadaşları [24] bi metalik çubuk ekstrüzyonu sırasında başlangıç kütük geometrisinin nihai ürün geometrisi üzerindeki etkisi araştırmışlardır. Çalışmada hem fiziksel hem de nümerik modelleme teknikleri kullanılmıştır. Bi metal kütük içindeki başlangıç iç malzeme uzunluğu optimize edilmiştir. Elde edilen deneysel ve sayısal sonuçlar başlangıç bi-metal kütük geometrisinin ekstrüzyon kesitinin geometrik kararlılığını etkilediğini doğrulamıştır. Deneylerdeki model malzemelerde sırası ile iki kütük ve iki çekirdek malzeme incelenmiştir. Bunlar sert kabuk malzemesi ile yumuşak çekirdek ve yumuşak kabuk ile sert çekirdek şeklindedir. Alüminyum alaşımlarının ilk serisinde; 2014 sert malzeme (çekirdek) olarak ve 6063 yumuşak malzemedir.(kabuk). Aynı malzeme serisi bi-metalik çubuk ekstrüzyonunun sonlu elamanlar modellemesinde kullanılmıştır. Çalışmanın amacı, ekstrüze edilmiş bi-metalik çubuğun kesitinde ölçülen geometrik toleranslarını iyileştirmek ve çubuğun uç kısmındaki hurda malzemeyi azalmaktır. Temel bi-metalik kütük tasarımı başlangıç uzunluğu aynı kılıf ve öz malzemeden oluşur(Lö=Lk). Bu tasarımın dezavantajlarından birisiide ekstrüzyon sonrasında içteki malzemenin büyük ölçüde hurda olmasıdır. Şekil1.19 (a) da sert öz malzemesi (AA2014) ve yumuşak kılıf malzemesi (AA6063), şekil 1.19.(b) de de yumuşak öz ve sert malzemelerinin farklı kütük tasarımlarıyla ekstrüze edilmiş bi-metalik çubukların uç kısımları görülmektedir

Eşit uzunluktaki çekirdek ve kılıf uzunluklarında çekirdek akış hızının önemli ölçüde yüksek olduğu ve kabuk malzemesinin çekirdekten ayrılma eğiliminde olduğu görülmüştür. Bu ayrılma ekstrüzyon sırasında yayılabilir ve hurda hacminin çok yüksek olmasına neden olabilir. Deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında en uygun çekirdek uzunluğu kabuk uzunluğundan %15-20 daha kısa olduğu görülmüştür. Ayrıca bi-metalik çubukta çekirdek kısaltma metodunun sadece geometrik kararlılığı iyileştirmesi değil aynı zamanda malzemelerin ayrılma eğilimini azalttığı görülmüştür[24].



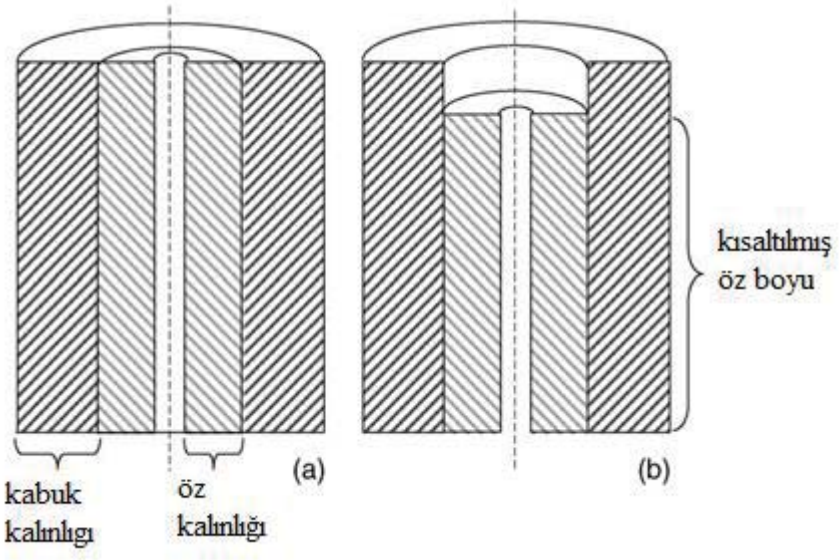
Şekil1.19. Farklı öz ve kabuk boylarındaki biletlerin simülasyonu
a)sert öz, yumuşak kabuk, b) yumuşak öz, sert kabuk [24]

Negendank ve arkadaşları [5] co-ekstrüzyon prosesini hafif metal magnezyum ve alüminyum makro kompozitleri üzerinde araştırmak ve geliştirmek için ekstrüzyon deneyleri yapmışlardır. Kaplama malzemesi EN AW-6060 ve çekirdek malzemesi için çeşitli Mg alaşımlarından (ZM21, AZ31, AS11, AM10, AM30 ve AM50) oluşan hibrit bilet kombinasyonları kullanarak dikişsiz borular ekstrüze edilmiştir. Testlerde silindirik AZ31 ve EN AW-6060 örnekleri kullanılmıştır, AZ31/ EN AW-6060 çubukları kalıp açısını ve farklı Mg çekirdek ve Al kabuk kombinasyon tekniklerinin difüzyon tabakası oluşumu üzerindeki etkilerini incelemek için üretilmiştir. İlave olarak mekanik kilitleme parçaları ve Zn tabakalar arası malzemesinin ko-ekstrüzyon süreci ve imalatı üzerindeki etkileri incelemişlerdir. Ayrıca deneylerde magnezyum çekirdek ve alüminyum kabuğun akış hızlarındaki farklılığı engelleyip mekanik kilitlenmeye yardım edip etmeyeceğini araştırmak için AZ31 çekirdeğinin yüzeyine iki farklı şekilde çentik açılmıştır. Deney sonuçları; ekstrüzyon sonrasında Al kaplı tüplerin yüzeyleri incelenmiş ve sadece AZ31/6060 tüpü başlangıçtan sona kadar başarılı olarak ekstrüze edilmiş ve herhangi bir çatlak veya yüzey kusuruna rastlanmadığı görülmüştür. AZ31/6060 kombinasyonu diğer kombinasyonlara göre en homojen dağılımlı metal akışı göstermiştir.

Rhee ve arkadaşları[8]Al/Cu kaplamalı kompoziti 320 ^{o}C hidrostatik sıcak ekstrüzyon tekniği ile üretmişler. Üç farklı ekstrüzyon oranı (8.5, 19, 49) ve kalıp açısı (30^{o}, 45^{o}, 60^{o})kullanarak ekstrüzyon oranı ve kalıp açısının sıcak hidrostatik ekstrüzyon ile

üretilen Al/Cu kaplamalı kompozite etkilerini incelemişlerdir. Ekstrüzyon oranı 8.5 de kalıp açısı artarken ekstrüzyon basıncı da artmıştır. Ekstrüzyon oranı 49 da kalıp açısı arttığında ekstrüzyon basıncı düşmüştür. Ekstrüzyon oranı 19 olduğunda ise ekstrüzyon basıncı kalıp açısı ile birlikte düşüş göstermiş ancak kalıp açısı daha da yükseldiğinde ekstrüzyon basıncıda yükselmiştir. Sonuçlar aynı zamanda sertliğin de artan ekstrüzyon oranı ile arttığını göstermiştir. Sertlik dağılımı, ekstrüzyon oranı ve kalıp açısının artması ile daha üniform dağılım göstermiştir. Ekstrüzyon oranı 19 ve kalıp açısı 45^{o} olduğunda yüzeyler arasındaki difüzyon tabakasının kalınlığı maksimum düzeyde olduğu ve ekstrüzyon basınının ise en düşük seviyede olduğu görülmüştür. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde Al/Cu kaplamalı kompozitin sıcak hidrostatik ekstrüzyonunda optimum koşulların; ekstrüzyon oranı için 19 kalıp açısı için 45^{o} olduğu belirlenmiştir.

Epler ve Misiolek [20], kısaltılmış öz kullanarak yaptıkları yeni bilet tasarımı ile karbon çeliği/ paslanmaz çelik tüplerin co-ekstrüzyonu sırasında malzeme akışının kontrol edilmesini araştırmışlarıdır(Şekil1.20). Eş zamanlı olmayan malzeme akışının bir sonucu olan " geometrik tolerans dışı" malzeme miktarını en aza indirmek amacıyla biletteki öz boyu kısaltılmıştır. Ekstrüzyon, sonlu elemanlar modelleme Deform 2D programı ile simule edilmiş ve gerçek deneylerle karşılaştırılmıştır. Sonlu elemanlar ve gerçek ekstrüzyon sonuçları iki farklı ekstrüzyon oranı için karşılaştırılmıştır. Öz malzemenin ekstrüzyon boyunca dağılımı incelendiğinde sonlu elemanlar modellemesi ile gerçek sonuçlar arasında ciddi bir uyum olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre, biletteki öz boyu kılıf boyundan yaklaşık olarak %15-20 civarında kısa tutulduğunda eş zamanlı malzeme akışı ekstrüzyonun ilk evresinde başladığı ve tolerans dışı malzeme miktarının en aza indiği görülmüştür.



Şekil1. 20. a) Normal bilet tasarımı b) kısaltılmış öz ile bilet tasarımı [20]

2. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

İkili bilet sistemini oluşturan malzemelerin akış davranışlarının önemi kadar biletin tasarımı da nihai ürünün özelliklerini etkilemesi metallerle çalışma öncesinde uygun bilet tasarımını bulmaya yöneltmiştir. Bu nedenle önce fiziksel modelleme tekniği kullanılarak bi-metalik ürün için uygun bilet tasarımı seçildi daha sonra Alüminyum ve Magnezyum ile gerçek deneyler yapıldı.

Çalışmada Al/Mg laminar kompozit yapının ekstrüze edilerek dairesel ve kare profil formundaki ürünlere dönüştürülmesi hedeflendi.

Kompozit yarı mamul kütüğü oluşturan bileşenlerin boyutları, kütükteki Mg öz çapı $\mathbf{D_{kö}}$; Al kaplama çapı, $\mathbf{D_k}$ ile nihai ürünü oluşturan bileşenlerin, üründeki magnezyumun öz çapı, $\mathbf{D_{üö}}$; kabuk çapı $\mathbf{D_{kü}}$ boyutları arasındaki ilişki belirlendi. Bu ilişkinin belirlenmesinde kütük bileşenleri, bileşen oranları ($\mathbf{D_{kö}/D_k}$), ekstrüzyon oranı ve sıcaklığı temel parametrelerdir. Alınan numunelere sertlik ölçümleri yapıldı. Ürünlerin mekanik özellikleri çekme, basma, ve çentik darbe deneyleri ile belirlendi.

2.2. İki Metalli Bilet Ekstrüzyonun Fiziksel Simülasyon Çalışmaları

Fiziksel modelleme tekniği, metallerin plastik akış davranışlarını, iki ve üç boyutlu gerilme dağılımlarını görebilme imkanı veren alternatif bir tekniktir. Metal şekillendirme işlemlerinde simülasyon, gerçek metal ve model malzemesi arasındaki ilişki, benzerlik yasaları ile ifade edilir[19,40].

Bunlar;

- Fiziksel benzerlik,

- Mekanik benzerlik: eşdeğer veya oransal akış stres,
- Eşdeğer sürtünme koşulları,
- Isıl benzerliktir.

Metal akışını anlamak ve kontrol etmek mühendislik uygulamalarında son derece önemlidir. Özelikle de ekstrüzyon teknolojisinde en popüler olan direk ekstrüzyon yönteminde önemli bir durumdur Metal akışını etkileyen ana faktör bilet ve kovan arasındaki sürtünmedir. Bunun yanında ekstrüzyon basıncı ve ekstrüzyon çıkış hızı da metal akışını etkileyen faktörlerdir [41].

Fiziksel modelleme yaklaşımı nispeten ucuz ve basit bir tekniktir, karmaşık ve pahalı ekipmanlar gerektirmez ayrıca gerçek metalin deformasyonu için gerekli olan yükten çok daha düşük yüklerde deforme olurlar. Modelleme malzemeleri arasında en yaygın olan plastina, metallerin plastik deformasyon simülasyonlarını görmek için son 40-50 yıldır başarılı bir şeklide kullanılmaktadır. Plastina, metal şekillendirme işleminde gözlemlenen akış davranışları ile ilgili nitel veri sağlayan bir model malzemesidir. Ayrıca plastina oda sıcaklığında, metallerin ektrüzyon sıcaklığındaki davranışlarına benzer özellikler göstermektedir [40,41,42].

Fiziksel model yapımında kullanılan plastina genellikle üç adımda hazırlanır

- Malzeme ilk adımda ısıtılarak yumuşatılır,
- Malzeme homojenliğini makul bir düzeyde sağlamak için malzeme içinde yer alan hava boşlukları haddeleme veya pres yardımı hava boşlukları giderilir,
- Daha sonra yapılması planlanan model için şekillendirilir[19].

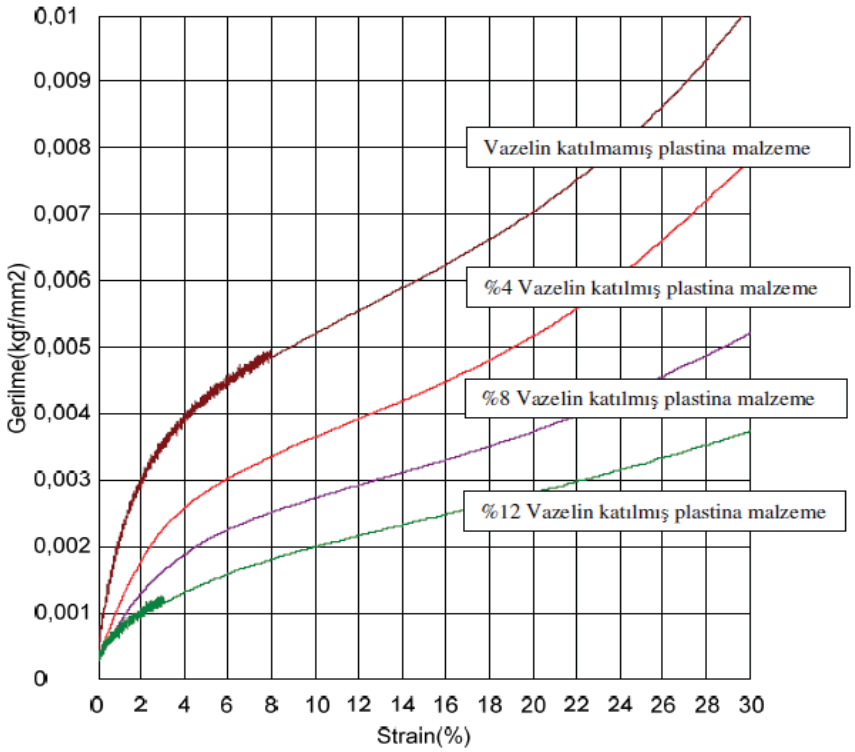
2.2.1. Malzeme ve Metot

Yapılması planlanan deneylerde fiziksel modelleme tekniğinde anlatılan faktörler göz önüne alınarak plastina model malzemesi kullanıldı. Hazır olarak alınan farklı renklerdeki plastina içerisine mukavemet değerlerini düşürmek için belirli oranlarda vazelin katıldı. Fiziksel modelleme yönteminde dört grup hazırlandı.

Birinci grubun öz ve kabuk ve öz malzemesine vazelin katılmadı. İkinci grubun sadece kabuk malzemesine %4 oranında vazelin katıldı. Üçüncü grubun kabuk malzemesine %8 oranında vazelin katıldı. Dördüncü grubun ise öz malzemesine %4 oranında vazelin katıldı.

Kuzulu [19]'nun yaptığı çalışmada, farklı mukavemet değerlerinde malzemeler elde edebilmek için hazır olarak alınan plastina içerisine belirli oranlarda vazelin katılmış ve bu malzemelerin plastik olarak şekil değiştirme karakteristiklerini belirlemek ve mukayese etmek için plastinalar basma testine tabi tutulmuştur.

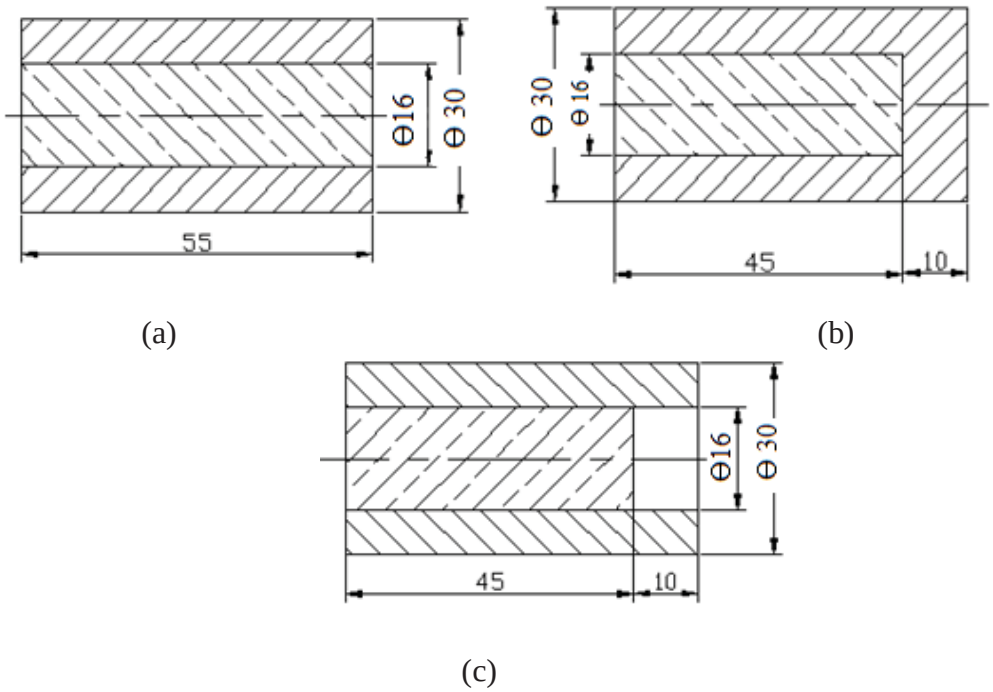
Basma test sonuçları (Şekil2.1.) belirli oranlarda katılan vazelininin malzemenin mukavemet değerlerini düşürdüğü görülmektedir [19].



Şekil2. 1.Deneyde kullanılan plastina malzemelerin basmada gerilme sekil değiştirme davranışı[19]

İki bileşenli biletlerin ekstrüzyonunda akış profilini ve ürün kalitesini, malzeme özellikleri kadar bilet tasarımının da etkilemesinden dolayı farklı bilet tasarımları denendi. Hazırlanan bilet tasarımları şu şekildedir:

- Öz ve kabuk boyu 55 mm, (Şekil (2.2. a)
- Kabuk 55mm, öz 50mm (biletlerin önünde 10 mm'lik tampon olan tasarım)olan biletler)(şekil2.2.b)
- Kabuk 55mm, öz 45 mm (biletlerin önünde 10 mm boşluklu tasarım)(şekil2.2c)



Şekil 2.2. Farklı tasarımlarda hazırlanan biletlerin teknik resimleri

a) öz ve kabuk boyu aynı olan, b)öz boyu kısa ve önünde dolu tampon olan,
c) öz boyu kısa ve biletin önünde boşluklu tampon olan

2.2.2. Biletlerin hazırlanması

Hazır olarak alınan farklı renklerdeki plastinalar kullanılarak iki bileşenli biletler hazırlandı. Biletleri hazırlamak için yeterli miktarda plastinalar alınarak el ile şekillendirilebilecek sıcaklığa geldikten sonra içerisinde hava boşluğa kalmaması için bilet sıkıştırma aparatına yerleştirilip 4 bar basınç altında sıkıştırıldı (Şekil2.3.). Sıkıştırılan biletler, bilet sıkıştırma aparatından çıkarılarak 55 mm boyunda kesildi. Tekrar bilet sıkıştırma aparatının içine yerleştirildi, aparatın alt ve üst kısmına çapı 16 mm olan kılavuz pulları koyularak 16 mm çapındaki boru ile biletin içi boşaltıldı. İçi boşalan biletin içerisine ekstrüzyonla hazırlanmış aynı çaptaki öz yerleştirildi. İki bileşenli biletler bilet sıkıştırma aparatında çıkarılarak belirlenen ekstrüzyon oranlarında ekstrüze edilmek için hazır hale getirildi (Şekil 2.4).

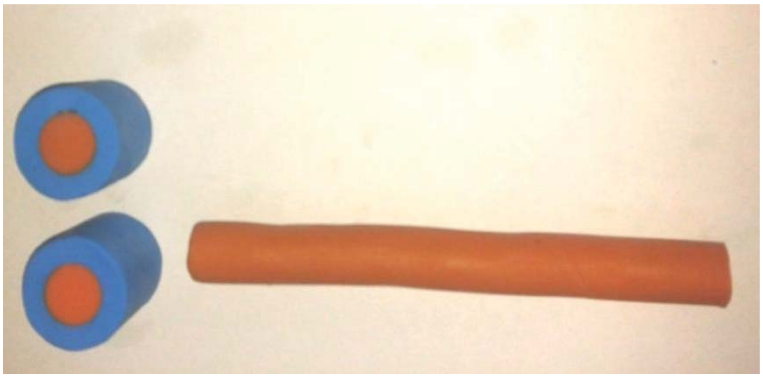
Plastinanın çok kolay deforme olmasından dolayı öz ve kabuk boyu farklı olan biletler hazırlanırken önce öz-kabuk boyu aynı biletler hazırlandı daha sonra hazırlanan tamponlar eklendi. Biletlerin uçlarına eklemek için yapılan tamponlar da bilet sıkıştırma aparatında sıkıştırıldıktan sonra 10 mm boylarında kesildi. Boşluklu olanlar kılavuz pulları arasına yerleştirilerek delindi. Hazırlanan bu tamponlar uç kısmına belirlenen

tasarımlara göre 10 mm'lik boşluklu ve 10 mm'lik boşluksuz tamponlar eklendi. Sonuçta çapı 30mm boyu 55 mm olan farklı tasarımlarda biletler üretildi.



Şekil 2.3. a) Kalıp sıkıştırma aparatı b) kılavuz pulları

Ürünlerin çıkış formları, akış karakteristikleri ve bilet bileşenlerinin oranı ile ürün bileşen oranlarının belirlenmesi tasarlandı. Hazırlanan biletlerin ekstrüzyonunda minyatür ekstrüzyon makinesi kullanıldı (Şekil2.5.).



Şekil 2.4.İki bileşenli biletler

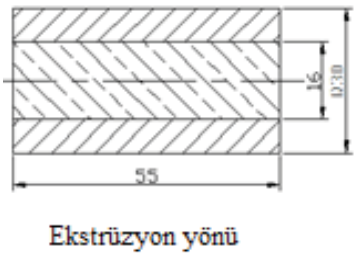
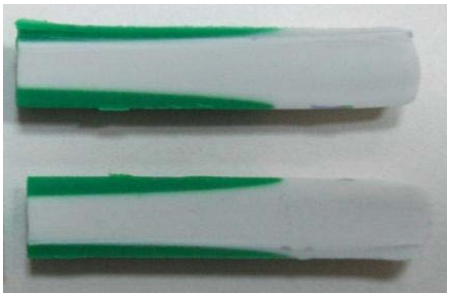
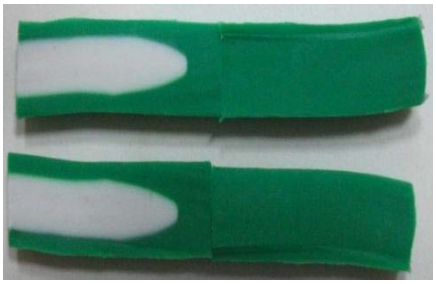
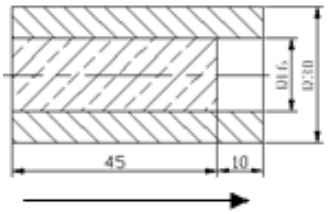


Şekil2.5.Minyatür ekstrüzyon makinesi ve aparatları
a)minyatür ekstrüzyon makinesi,b) kovan, c) kalıp

2.2.2.1. Öz ve Kabuk Mukavemetleri Aynı Olan Biletlerin Hazırlanması ve Ekstrüze Edilmesi

Öz ve kabuk mukavemetleri aynı olan biletler hazırlanırken öz ve kılıf malzemesine vazelin katılmadı. Kılıf çapı 30 mm, öz çapı 16 mm olan biletler ekstrüzyon oranı R:9 için hazırlandı. Bilet tasarımının ürün kabuk/öz oranına ve çıkış profiline etkisini incelemek için üç farklı tasarımda bilet hazırlandı. Hazırlanan biletler 2 bar basınç altında ekstrüze edildi. Biletlerin kalıba girişini akış profillerini görebilmek için tamamı ekstrüze edilmedi. Üretilen ürünler 40 mm boylarında kesildi, bilet tasarımına göre çıkış profilleri incelendi. Tablo 2.1.de üç farklı bilet tasarımına sahip ürünlerin çıkış profilleri verildi.

Tablo2.1. Farklı bilet tasarımlarına ait öz-kabuk mukavemeti aynı modellerin uç formları

Ekstrüzyon oranı	Bilet tasarımı	Uç formu	Dk/Dö
9			1,8
9			1,77
9			1,78

Mukavemet değerleri aynı olan model hamurlarının ekstrüzyon sonrasındaki çıkış profilleri incelendiğinde aynı boyda öz ve kabuk tasarımına sahip biletler ile önünde kabuk malzemesinden boşluksuz tampon olan ürünlerin çıkışında ve sonunda malzemenin büyük bir kısmının hurda olduğu görülmüştür. Başlangıçta rejime ulaşmada sıkıntı yaşanmıştır son kısımda ise çıkışta hurda olan malzeme sonuna kadar eşit şekilde akışı engellemiştir.

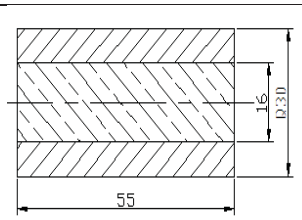
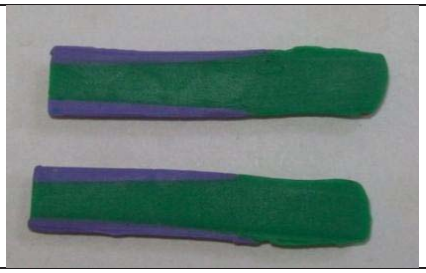
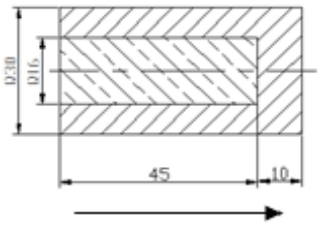
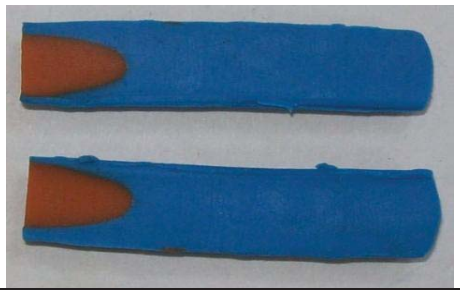
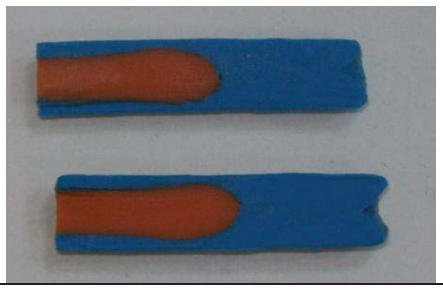
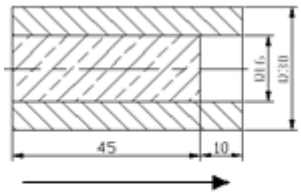
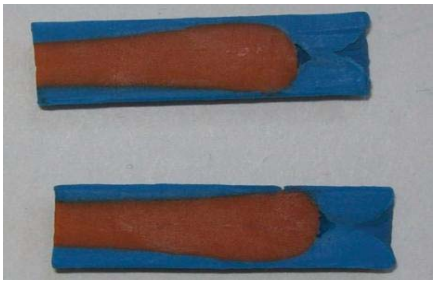
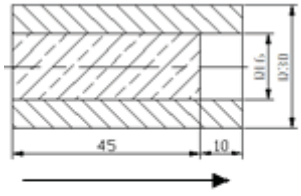
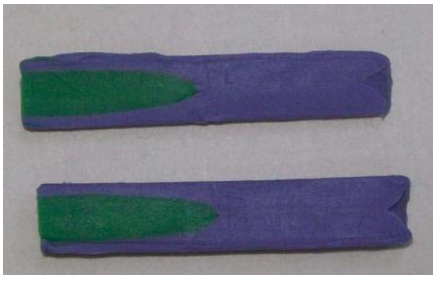
2.2.2.2. Öz Mukavemetleri Aynı Kabuk Mukavemetleri FarklıOlan Biletlerin Hazırlanması ve Ekstrüze Edilmesi

Öz mukavemetleri sabit kabuk mukavemetleri farklı olan iki grup bilet hazırlanmıştır. İlk grup hazırlanırken, kabuk malzemesine %4 oranında vazelin katıldı. İkinci grubun kabuk malzemesine ise %8 oranında vazelin katıldı. Öz malzemesinin mukavemeti değiştirilmedi. Birinci grubun biletleri hazırlanırken ekstrüzyon oranı R:9 için belirlenen üç farklı bilet tasarımına göre hazırlandı. Biletler 2 bar basınç altında ekstrüze edildi. Ekstrüzyon sonrasında biletler 40 mm boyunda kesildi ve uç formları Tablo2.2. de verildi.

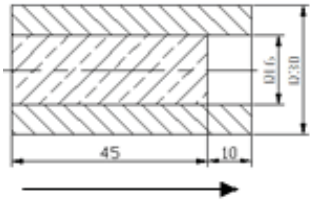
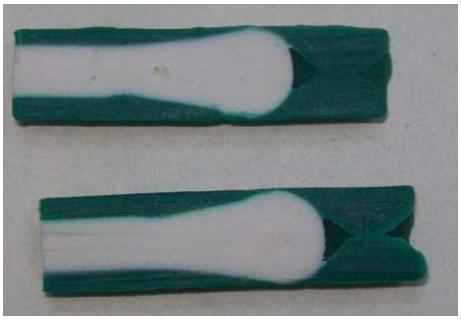
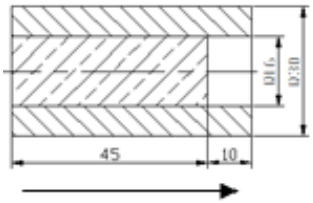
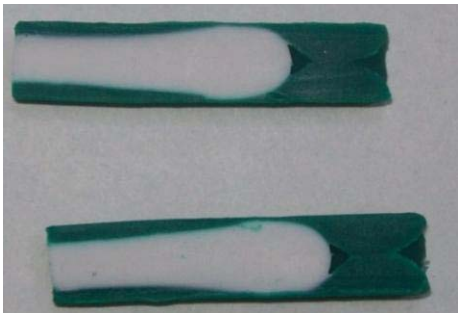
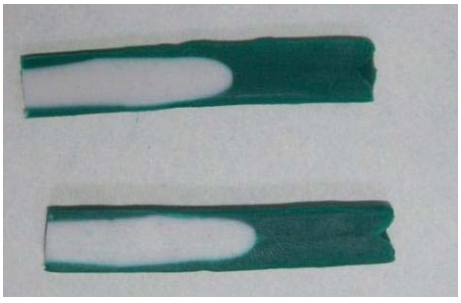
Kabuk mukavemeti öz mukavemetinden düşük olan biletler de aynı sıkıntı yaşanmıştır boyları eşit olan öz-kabuk tasarımında içteki malzeme, biletin önüne tampon eklendiğinde ise kabuk malzemesinin hurda olduğu görülmüştür. Bu nedenle ideal bilet tasarımının önünde 10mm'lik boşluk bulunan biletler olduğuna karar verildi ve bu tasarımdaki biletler üzerinden çalışmalara devam edildi. Bu aşamadan sonra bilet tasarımının ekstrüzyon oranı ile ilişkisini de görmek için önünde 10 mm'lik boşluk olan biletlerden hazırlandı ve ekstrüzyon oranı R:14 ve R:6,25 de 2 bar basınç altında ekstrüze edildi.

Öz mukavemetleri sabit, kabuk mukavemetleri farklı olan ikici grupta öz malzemesine vazelin katılmadı, kabuk malzemesine %8 oranında vazelin katıldı. En ideal bilet tasarımının öz ile kabuk boyları arasında 10 mm'lik fark olan tasarımı olduğu önceki yapılan üretimlerde belirlenmişti. Bu tasarımdan devam ederek biletlerin önünde 10 mm'lik boşluk olan tasarıma göre ekstrüzyon oranı R:14, R:9, R:6,25 için hazırlandı. Ekstrüzyon oranına bağlı olarak malzemelerin çıkış profilleri incelendi (Tablo2.3).

Tablo 2.2. Farklı bilet tasarımlarına ait öz mukavemeti aynı kabuk malzemesinde %4 vazelin olan modellerin uç formları

Ekstrüzyon oranı	Bilet tasarımı	Uç formu	Dk/Dö
9			1,85
9			1,8
9			1,84
6,25			1,9
14			1,75

Tablo 2.3.Aynı bilet tasarımlarına ait ekstrüzyon oranları farklı ve öz mukavemeti aynı kabuk malzemesinde %8vazelin olan modellerin çıkış formları ve akış profili

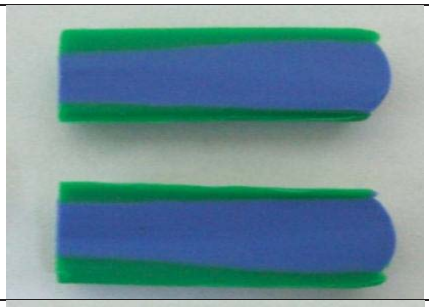
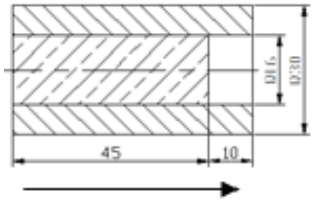
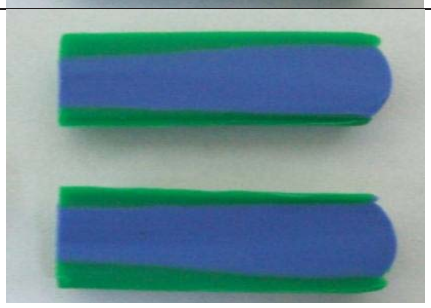
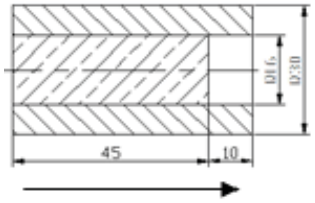
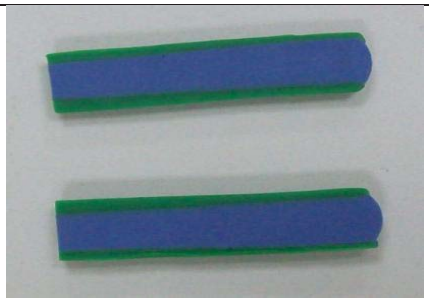
Ekstrüzyon oranı	Bilet tasarımı	Ürün çıkış formu	Dk/Dü
6,25			1,9
9			1,75
14			1,85

Öz boyunun kabuk boyundan daha kısa olduğu ve kabuk malzemesine %4 ve %8 vazelin katılan ürünlerin çıkış profilleri incelendiğinde ölü bölgelerin ekstrüzyon oranına bağlı olduğu görülmüştür. Ekstrüzyon oranı artıkça ölü bölge artmaya başlamıştır ancak öz malzemesinin rejime girmesi daha erken olmuştur.

2.2.2.3. Kabuk Mukavemeti Aynı Öz Mukavemeti Farklı Olan Biletlerin Hazırlanması Ve Ekstrüze Edilmesi

Bu gruptaki biletler hazırlanırken kabuk malzemesinin mukavemeti değiştirilmedi, öz malzemesine ise %4 oranında vazelin katıldı. Biletler 10 mm boşluklu tasarıma göre ekstrüzyon oranları R:14, R:9,R:6.25 için hazırlandı. Ekstrüzyon sonrasında ürünlerin çıkış profilleriTablo2.4'te gösterilmiştir.

Tablo2.4. Aynı bilet tasarımlarına ait ekstrüzyon oranları farklı ve kabuk mukavemeti aynı öz malzemesinde %4 vazelin olan modellerin çıkış formları ve akış profili

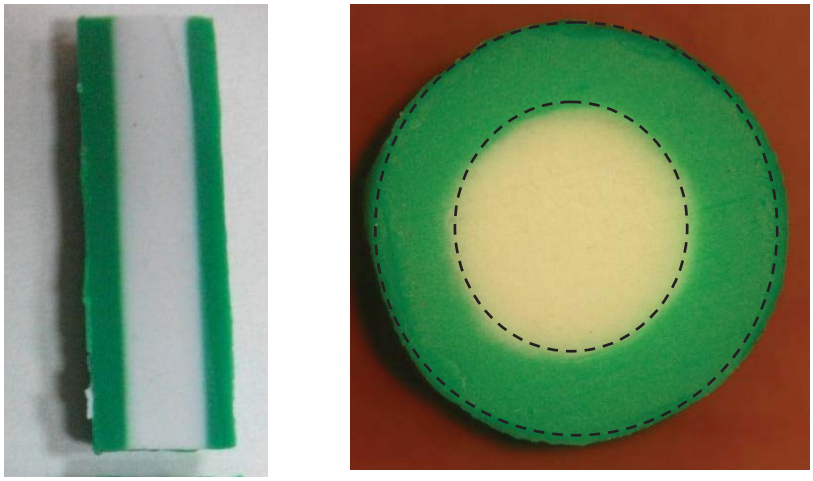
Ekstrüzyon oranı	Bilet tasarımı	Ürün çıkış formu	Dk/Dü
6,25			1,9
9			1,88
14			1,9

Öz mukavemetinin kabuk mukavemetinden düşük olduğu ve öz boyu kabuk boyundan kısa olan tasarımlarda ölü bölge oluşumu yoktur, başlangıçtan ekstrüzyon sonuna kadar geometrik kararlılık sağlanmıştır.

2.2.2.4. Deney Numunelerinin İncelenmesi

Kılıf sert- öz vazelinli olan farklı bilet tasarımlarına sahip ürünler, 40 mm boylarında kesildi önce çıkış profillerine bakıldı sonra akışın rejime ulaştığı bölge incelendi (Şekil3.11.) Akışın rejime ulaştığı bölgeden kesitler alındı ve bu kesitler makroskopta büyütülerek $D_{\text{ük}}/D_{\text{üö}}$ oranına bakıldı (Şekil2.6.).

Fiziksel modelleme çalışmasının yapılmasındaki temel neden ikili biletlerin ekstrüzyonun da ki akış profillerini incelemek en uygun bilet tasarımına yaklaşmaktı. Bu amaçlar doğrultusunda farklı mukavemet değerlerine sahip model hamurları ile farklı bilet tasarımları oluşturuldu. Ekstrüze edilen ürünler incelendi ve öz boyunun kabuk boyundan kısa olduğu tasarımların hem rejime ulaşması bakımından hem de üretilen çubuklardaki ölü bölgelerin en aza indirilmesi bakımından ideal olduğu görülmüştür.



Şekil2. 6.Ürünlerin $D_{\text{ük}}/D_{\text{üö}}$ oranlarının bulunması

Ayrıca yapılan tüm ekstrüzyonlar sonrasında ürünlerin $D_k/D_ö$ oranları incelendi. Ekstrüzyon oranının ve farklı mukavemet değerlerindeki malzemelerin $D_k/D_ö$ oranlarına etkisi görüldü. İdeal bilet tasarımı belirlendikten sonra metallerde yapılması planlanan R:9 ve R:14 de ekstrüze edilen modellerin mukavemet değerlerindeki farklılığın $D_k/D_ö$ oranına yansıması Tablo 2.5 te verilmiştir.

Tablo2.5. R:9 ve R:14 de ekstrüze edilen modellerin $D_k/D_ö$ oranları

Ekstrüzyon oranı (R)	Kabuk-öz mukavemeti aynı	Kabuk %4 vazelinli-öz sabit	Kabuk %8 vazelinli- öz sabit	Kabuk sabit- öz %4 vazelinli
9	1,75	1,84	1,75	1,88
14	----	1,75	1,85	1,9

Ayrıca fiziksel modelleme çalışmasın da yapılan öz malzemeye %4 oranında vazelin katılıp kabuk malzemesi başlangıç değerlerinde bırakılarak hazırlanan biletlerin ekstrüzyon sonrasındaki çıkış profilleri ve ürün kesit oranları metallerle yapılan deneylerle benzerlik göstermiştir.

2.3. Al/Mg KOMPOZİT İKİ METALLİ KOMPOZİT BİLETLERİN EKSTRÜZYON DENEYLERİ

Çalışmada alüminyum 6063 ve magnezyum AZ31 alaşımları kullanılarak bi-metalik kompozit biletlerin ekstrüzyon edilebilirliği araştırılmıştır. Bi-metalik kompozit biletler R:9 ve R:14 ekstrüzyon oranlarında 200, 250, 300, 350 ve 400 ^oC sıcaklıklarda ekstrüze edilmiştir. Ekstrüzyon sonrasında ürünlerin mekanik ve metalografik özellikleri incelenmiştir.

2.3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bi-metalik ürünlerde, ekstrüzyon yöntemi ile şekillendirebilirlikleri iyi olan AZ31 magnezyum alaşımı öz, AA6063 alüminyum alaşımı ise kabuk olarak kullanıldı Tablo2.6 da AZ31 ve AA6063 alaşımlarının kimyasal bileşimleri, Tablo2.7. de de AZ31 ve AA6063 alaşımlarının 25 ^oC deki mekanik özellikleri görülmektedir.

Tablo2.8. de verilen özellikler bu alaşımların işlem görmemiş özellikleridir. Çalışmada kullanılacak olan alaşımların çekme ve basma değerleri firma tarafından ölçülmüş grafikleri şekil2.8.ve şekil2.9 da, grafik değerleri de Tablo2.8 de verilmiştir. Testlerden elde edilen veriler çalışma sonunda ekstrüze edilen ürünlerin değerleri ile kıyaslanacaktır.

Tablo2.6. 6063 ve AZ31 alaşımlarının % ağırlıkça bileşenleri [9]

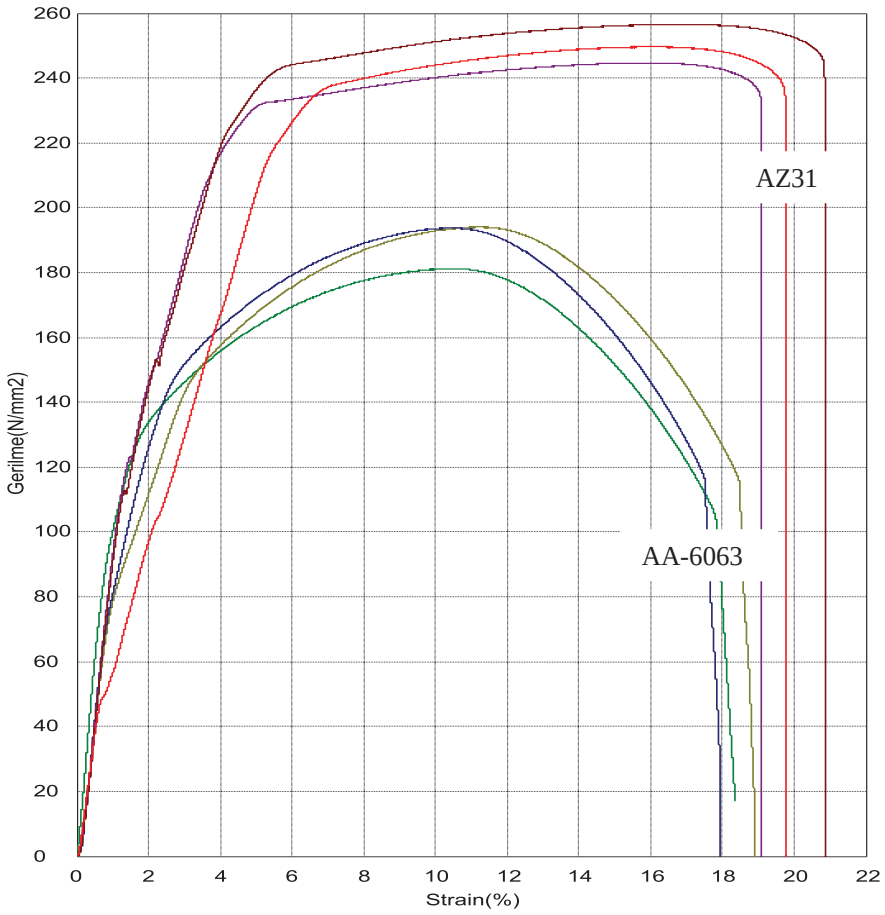
	Al	Mg	Si	Fe	Cu	Mn	Ni	Zn
AA60603	98.8	0.39	0.5	0.19	0.082	0.119	-	0.022
AZ31	2.5-3.5		0.1	0.005	0.5	0.2-1.0	0.005	0.6-1.4

Tablo2.7. AA6063 ve AZ31 alaşımlarının 25 ^{o}C deki mekanik özellikleri[44]

Özellik	AA6063	AZ31
Yoğunluk (g/cm^3)	2.77	1.77
Poisson oranı	0.33	0.35
Elastisite modülü (GPa)	70-80	44.8
Çekme dayanımı (MPa)	90	260
Akma dayanımı (MPa)	48	200
Uzama (%)	-	15
Sertlik (HB500)	25	49

Tablo 2.8. Çalışmada kullanılan alaşımların çekme ve basma testi değerleri

Malzeme	İşlem	Çekme de Akma Gerilmesi N/mm^2	Max çekme Gerilmesi N/mm^2	Yüzde uzama (%)	Basma da akma gerilmesi
AZ31B	Ekstrüzyon	120	250	20	102
AA-6063	Ekstrüzyon	105	189	18	152



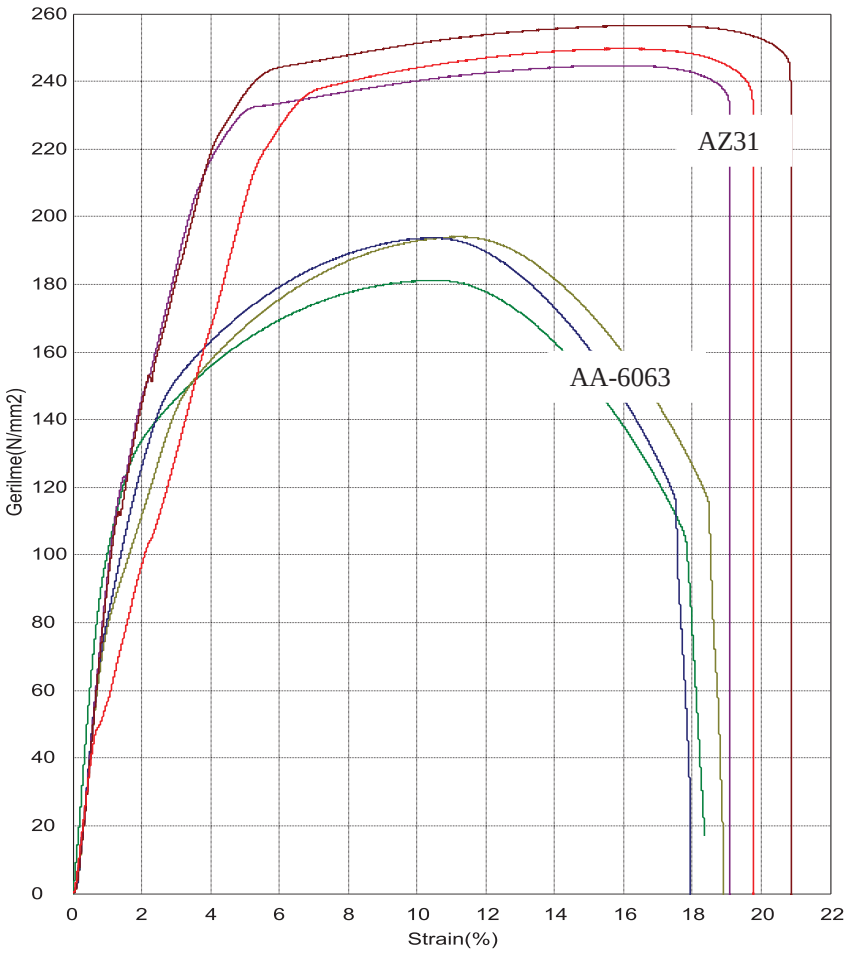
Şekil2.7. Çalışmada kullanılan AZ31 ve AA-6063 alaşımların çekme diyagramları

2.3.2. Biletlerin Hazırlanması

Fiziksel modelleme ile elde edilen ideal bilet tasarımına göre metallerde de aynı boyutsal özellikler kullanılarak biletler hazırlandı. Ekstrüzyonda kabuk çapı Ø 30 mm, öz çapı Ø 16 mm ve kabuk boyu 55mm, öz boyu 45 mm olan biletler kullanıldı. Çapı Ø 30 mm olan alüminyum kılıfların içi torna ile Ø 16 mm çapında boydan boya delindi. Ø 16 mm çapındaki magnezyum özler pres yardımıyla alüminyum kılıfların içine sıkı geçme ile yerleştirildi(Şekil2.9.)

2.3.3. Biletlerin Ekstrüze Edilmesi

Biletlerin ekstrüzyonunda farklı ekstrüzyon oranları ve farklı sıcaklıklar kullanılmıştır. Ekstrüzyon oranı olarak R:9 ve R:14 belirlenmiştir. Kompozit biletler için 200, 250, 300, 350 ve 400 ^{o}C, alüminyum biletler için 200, 300 ve 400 ^{o}C sıcaklıklar belirlenmiştir. Çentik darbe deneyi için üretilen ürünler sadece 200, 300 ve 400 ^{o}C de ekstrüze edilmiş ara sıcaklıklar da üretim yapılmamıştır

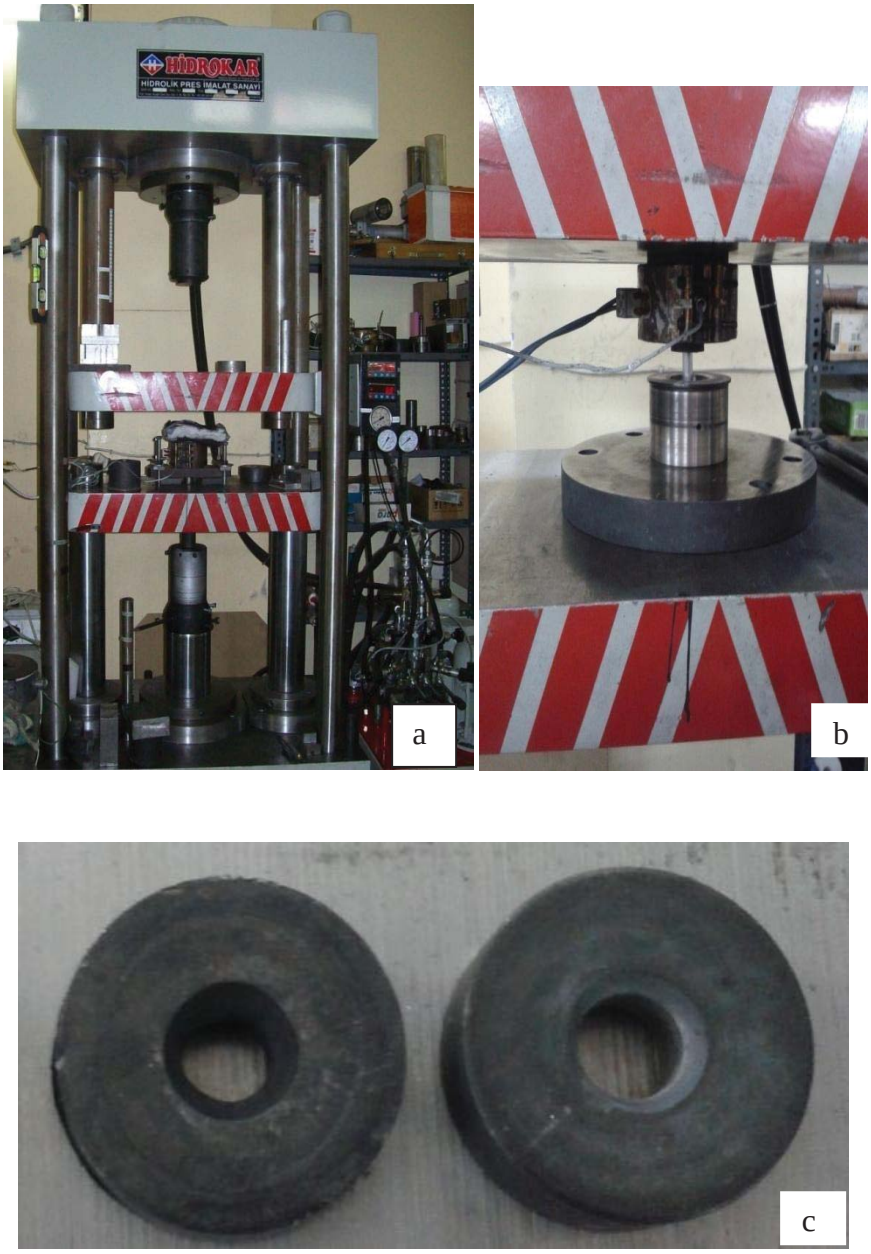


Şekil2.8. Çalışmada kullanılan AZ31 ve AA-6063 alaşımların çekme diyagramları



Şekil 2.9. Al/Mg iki metalli biletler

Ekstrüzyonda bilet ve kovan sıcaklığı aynı tutulmuş ve biletlerin ısıtılmasında yüksek sıcaklık fırını kullanılmıştır. Fırın sıcaklığı belirlenen sıcaklığa ulaştıktan sonra biletler fırına yerleştirilip 15 dk bekletildi. Isıtılan biletler, 150 tonluk laboratuar tipi hidrolik preste ekstrüze edildi(Şekil2.10.a,b). Biletlerin ekstrüzyonunda kalıp açısı 90^{o} olan kalıplar (Şekil2.10c), yağlayıcı olarak da grafit kullanıldı.



Şekil2.10. Hidrolik ekstrüzyon presi ve aparatları

a) Hidrolik pres b)kovan c) kalıp

2.3.4. Ürünlerin isimlendirilmesi

Ekstrüze edilen Al/Mg kompozit ve Al biletlerin, sıcaklık ve ekstrüzyon oranlarına göre isimlendirme yapıldı.

Örnek;

- Al/Mg kompozit ürünün 300 ^{o}C de R14 de yapılan ekstrüzyonu için isimlendirme; K-14-300,
- Al ürünün 300 ^{o}C de R9 da yapılan ekstrüzyonu için isimlendirme A-9-300 şeklindedir.

Çentik numuneleri için yapılan isimlendirme şekli ise;

- Çentik kompozit ürünün 300 ^{o}C de yapılan ekstrüzyonu için isimlendirme; Ç-K-300

2.3.5. Ekstrüze Edilen Ürünlerin Mekanik Testleri

Farklı sıcaklıklarda ve farklı ekstrüzyon oranlarında çekme ve basma deneyleri için üretilen ürünler ile çentik darbe deneyi için üretilen ürünler mekanik testler için hazırlandı.

2.3.5.1. Çekme Deneyi

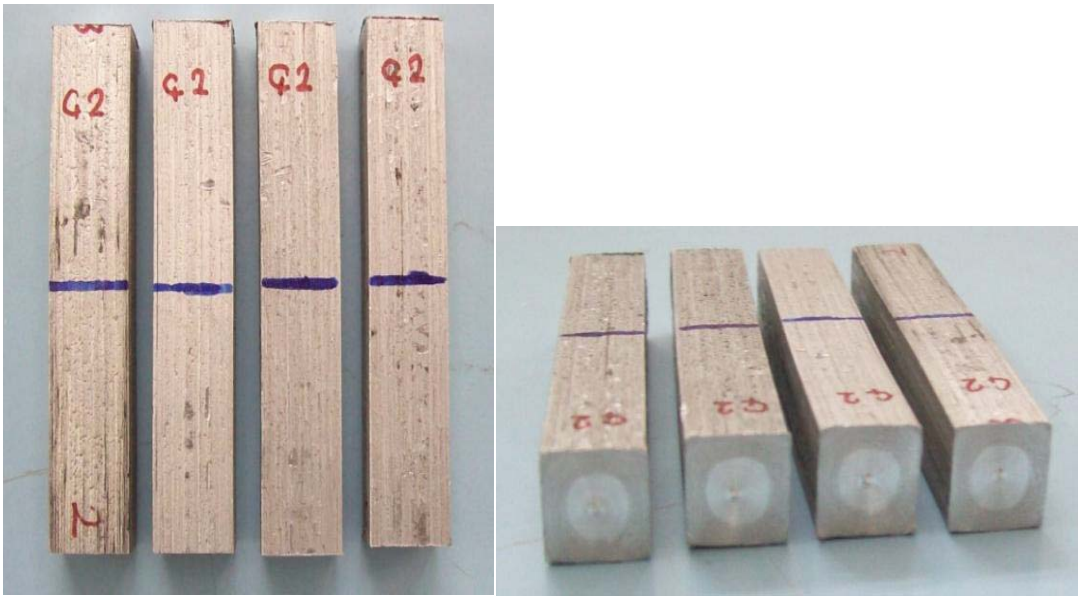
Al/Mg kompozit ve Al çubukların çekme testi SHIMADZU marka çekme test cihazında yapıldı. Çekme test çubukları Ø10x140mm ve Ø8x140mm boyutlarında kesildi Kompozit çubuklarda, Al kılıf etkisini kaybetmemesi için tüm çubuklar işlenmeden test edildi. Çapı Ø8 mm veØ10 mm olan çubuklardan ikişer adet test numunesi hazırlandı ve çekme testine tabi tutuldu(Şekil2.11.) Ortam sıcaklığında yapılan testlerde çenelerin çekme hızı 2mm/dk olarak ayarlandı.



Şekil2.11. Çekme deneyi test numuneler

2.3.5.2. Çentik Darbe deneyi

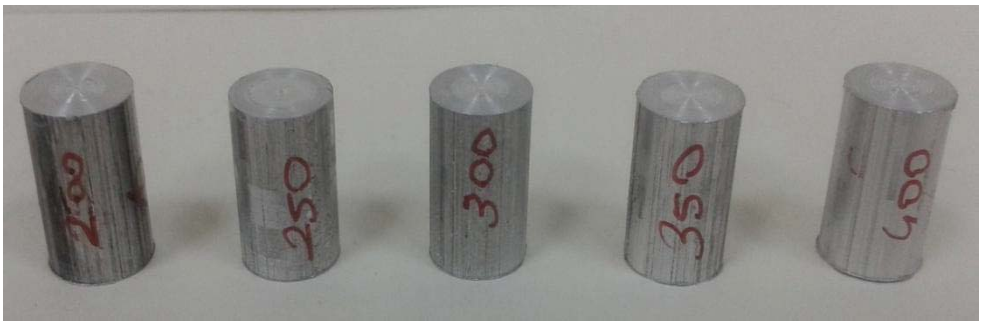
Al/Mg kompozit ve Al test numuneler 300 J kapasiteli çentik darbe test cihazında test edildi. Ekstrüzyon sıcaklığının darbe direncine etkisini görebilmek için 200, 300 ve 400 ^{o}C de ekstrüze edilmiş ürünler çentik darbe testine tabii tutuldu. Testler ortam sıcaklığında yapıldı. Her gruptan üçer numune test edildi ve ortalamaları alındı. Test numuneleri izod standardına göre boyutlandırıldı(şekil 2.12.). Test numunelerine Al kılıfın etkisinin görebilmek için hiçbir numuneye çentik açılmadı. Numunelere 150 J darbe uygulandı.



Şekil2. 12.Çentik darbe test numuneleri

2.3.5.3. Basma deneyi

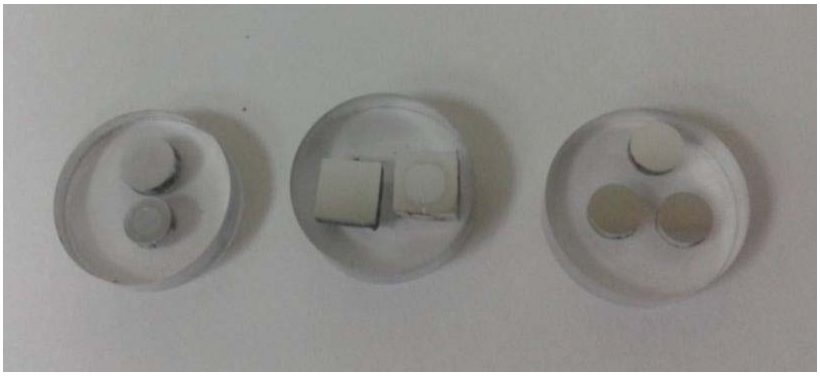
Al/Mg kompozit ve Al çubukların basma testi SHIMADZU marka test cihazında yapıldı. Basma test numuneleri Ø10x15ve Ø8x15mm boyutlarında kesildi. Çapı Ø8 mm Ø10 mm olan çubuklardan ikişer adet test numunesi hazırlandı ve basma testine tabi tutuldu. (Şekil2.13.) Ortam sıcaklığında yapılan testlerde basma plakalarının hızı 2mm/dk olarak ayarlandı.



Şekil 2.13. Basma deney numuneleri

2.3.5.4. Sertlik deneyi

Sertlik deney numuneleri çekme ve çentik darbe deney çubuklarından 5mm boyunda kesilerek hazırlandı. Kesilen numunelerin yüzeyleri zımparalanarak parlatıldı (Şekil4.6.). Sertlik deneylerinde Durascan model EmcoTest marka Vickers mikro sertlik test cihazı kullanıldı. Deney numunelerine 100 gr yük uygulanarak Vickers cinsinden sertlik değerleri ölçüldü. Numunelere serlik deneyi uygulanırken, numunelerin kenarından merkezine kadar eşit aralıklarla üç nokta belirlendi ve bu üç noktadan alınan değerlerin ortalaması alındı.



Şekil 2.14. Mikro sertlik deneyi için hazırlanan numuneler

3. BÖLÜM

BULGULAR ve DEĞERLENDİRMELER

3.1. Ekstrüzyon Sonrası Genel Analiz

Farklı ekstrüzyon oranlarında ve farklı sıcaklıklarda ekstrüze edilen biletlerin ekstrüzyonu sırasında gerekli olan maksimum kuvvet (ton) değerleri kaydedildi. Ekstrüzyon sonrasında biletlerin genel çıkış formları ve yüzey kaliteleri analiz edildi. Tablo 3.1. de biletlerin ekstrüzyonu sırasında maksimum kuvvet değerleri verildi.

Tablo3.1.Ekstrüzyon sıcaklığının kuvvete etkisi

Sıcaklık	Al/mg kompozit –Kuvvet (ton)			Al bilet- Kuvvet (ton)		
T (^{o}C)	R:9	R:14	Çentik	R:9	R:14	Çentik
200	101	114	82	116	110	98
250	80	80				
300	55	62	62	66	82	54
350	45	45				
400	31	33	44	46	35	34

Tablo3.1. de maksimum basınç değerlerine bakıldığında; ekstrüzyonu etkileyen birincil parametrenin sıcaklık olduğu görülmektedir. Sıcaklık arttıkça ekstrüzyon için gerekli olan kuvvet azalmıştır. Yapılan deneylerde Al biletin kompozit biletlerden daha zor ekstrüze olduğu görülmüştür. Ayrıca 200 C de R14 de Al tek bileti ekstrüze etmek için basınç sabitlenmiştir ancak 125 ton altında ürün çıkmamıştır. Kovan sıcaklığı 210 C ye çıkarılıp bekletilmiş ve kuvvet sabitlenerek 110 ton altında ekstrüzyon başlamıştır.

Aynı sıcaklıkta alüminyum çentik deney numunesi ekstrüze edilirken yine kuvvet sabitlenmiş ve 98 ton altında ürün çıkmaya başlamıştır. Sonuçlar incelendiğinde bu deney şartlarında 200 ^{o}C'nin altındaki sıcaklıklarda ekstrüzyonun oldukça zor olduğu görülmüştür. Çalışmanın amaçlarından birisi de alüminyuma göre daha hafif bir malzeme üretmekti bu amaç doğrultusunda hazırlanan biletlerin $D_{kk}/D_{kö}$ oranına göre teorik yoğunluğu hesaplandı. Bu hesaplama da ürünlerin yoğunluğunu hesaplamak için genel yoğunluk denklemi formülüze edildi.

$$\rho_k=\frac{m}{V} \quad (1)$$

$$\rho_k = \frac{m_k+m_{ö}}{V_k+V_{ö}} \quad (2)$$

$$V_k = \frac{\pi}{4}(D_{ük}^2 - D_{üö}^2)xl \quad (3)$$

$$V_k = \frac{\pi}{4}(D_{üö}^2)xl \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{D_{üö}}{D_{ük}} \quad (5)$$

D_{kk}= biletteki kabuk çapı

$D_{kö}$= biletteki öz çapı

Birim hacim de l=1mm

(3) ve (4) denklemleri (2) denklemde yerine yazılıp gerekli sadeleşmeler yapıldığında;

$$\rho_{kom} = \frac{D_{ö}^2}{D_k^2}(\rho_{ö} - \rho_k) + \rho_k \quad (6)$$

Denklemi elde edilir. Denklem (5)'te

ρ_k=2.77g/mm^3

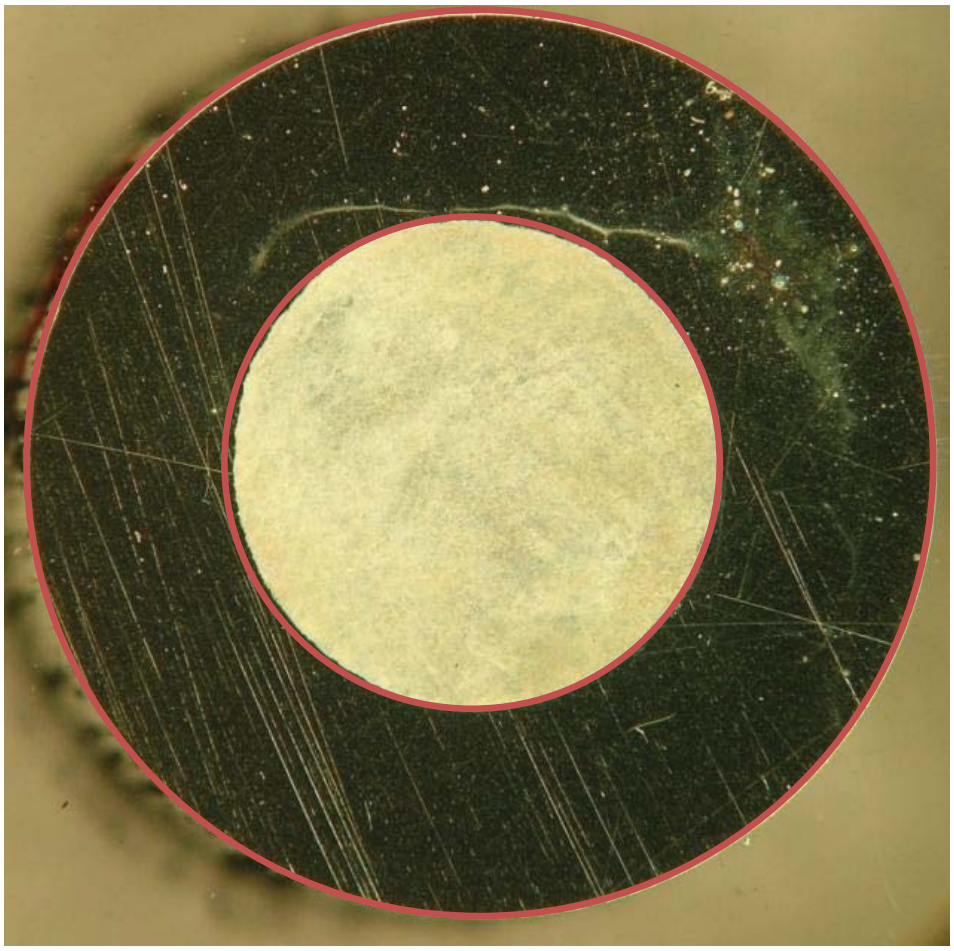
$\rho_{ö}$ =1. 77g/mm^3 yazıldığında;

$$\rho_{kom} = 2.77 - (\alpha)^2 \quad (7)$$

İfadesi elde edilir Denklem (7) de α ifadesi yerine yazıldığında;

$\rho_{kom} = 2.44 g/mm^3$ elde edilir.

Bulunan denklem (7) ile ürünlerin $D_{ük}/D_{üö}$ oranlarına göre yoğunluk hesabı yapıldı. Ürünlerin $D_{ük}/D_{üö}$ oranları bulunurken, akışın rejime ulaştığı bölgeden kesitler alındı ve makroskopta fotoğrafları çekildi (Şekil3.1) Çekilen fotoğraflar ölçeklendirildi ve kabuk çapının öz çapına oranı bulundu.



Şekil 3. 1.Ekstrüzyon sonrasında ürünlerin $D_k/D_ö$ oranlarının bulunması

Başlangıç biletlerinde $D_{ük}/D_{üö}$ oranı 1.8 di. Bu oranın ekstrüzyon sonrasında da sağlanıp sağlanmadığı bakmak için her bir ürünün $D_{ük}/D_{üö}$ oranları bulundu. Tüm kompozit çubukların $D_{ük}/D_{üö}$ oranları ile bu orana bağlı olarak yoğunluk oranları Tablo3.2 de verildi.

Tablo3. 2. Ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak ürünlerin $D_{ük}/D_{üö}$ oranları

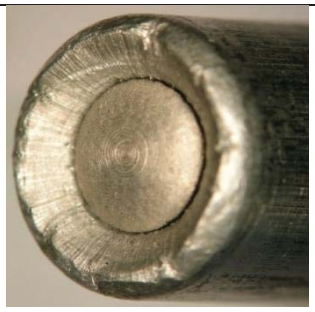
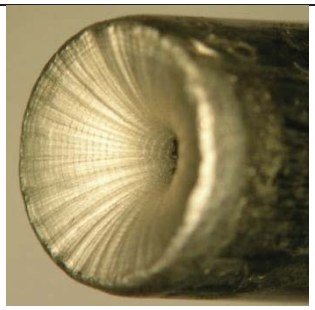
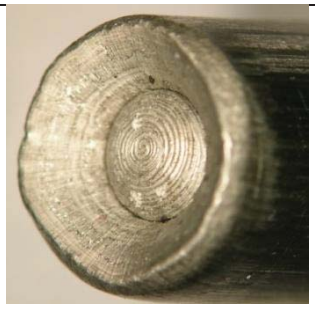
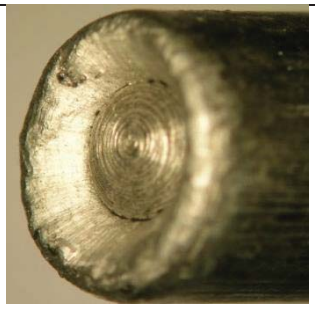
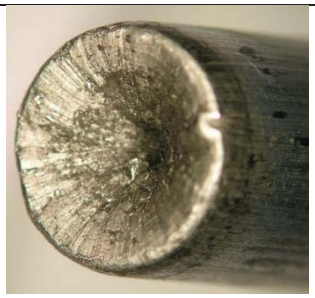
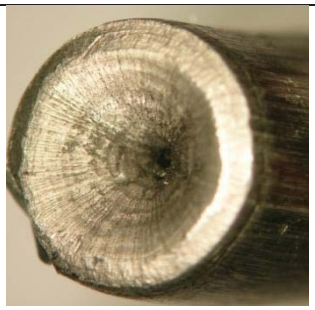
Ekstrüzyon Sıcaklığı (^oC)	$D_{ük}/D_{üö}$		Yoğunluk (g/mm^3)	
	R:9	R:14	R:9	R:14
200	1,85	1,8	2,47	2,45
250	1,67	1,78	2,41	2,45
300	1,76	1,86	2,44	2,49
350	1,66	1,7	2,4	2,42
400	1,87	1,9	2,48	2,49

Ekstrüzyon sonrasında ürünlerin $D_{ük}/D_{üö}$ oranları incelendiğinde başlangıç bilet oranına yakın değerlerin elde edildiği görülmüştür. Sadece yüksek sıcaklıkta ekstrüze edilen ürünlerin oranlarında sapmaların olduğu görülmektedir. Bu değerlere göre yoğunluk hesabı yapıldığında yoğunlukların, 2,44 g/mm^3 olan teorik yoğunluğa çok yakın değerler çıktığı görülmüştür.

Tablo 3.3'te ise ekstrüze edilmiş çubukların çıkış formları verildi. Ürünlerin çıkış formlarına bakıldığında, sıcaklığın çıkış formunu direk olarak etkilediği ancak ekstrüzyon oranının çok fazla etkilemediği görülmüştür. 200, 250 ve 300 ^oC de magnezyumun akış hızı alüminyumdan daha yüksektir çünkü biletteki Mg, Al boyları aynı olmamasına rağmen Mg ve Al kalıptan aynı anda çıkmaya başlamıştır. Ancak 350 ve 400 ^oC alüminyumun daha hızlı akarak 10 mm'lik boşluğu doldurmuş ve magnezyumu geride kalmıştır.

Ekstrüzyon sonrasında ürünlerde gözlemlenen diğer bir durum ise sıcaklık azaldıkça bilet ile kovan arasındaki sürtünmenin azalmasına bağlı olarak yüzey kalitesinin artmasıdır. 200 ^oC de ekstrüze edilmiş ürünlerin yüzeyleri düzgün ve parlakken 400 ^oC de ekstrüze edilmiş ürünlerin yüzeyleri mat ve pürüzlüdür.

Tablo3.3.Farklı sıcaklıkta ve ekstrüzyon oranlarında ekstrüze edilen kompozit biletlerin çıkış formları

Ekstrüzyon sıcaklığı	Kalıptan çıkış formu	
	R:9	R:14
200		
250		
300		
350		
400		

3.2. Çekme Deneyi Analizi

Çekme deneyinden sonra numuneler sıcaklık, ekstrüzyon oranı, Al ve Al/Mg kompozit olarak gruplara ayrıldı. Test sonucunda, ekstrüzyon sıcaklığının artması ile çubuklardaki kırılma mekanizmaları gevrek kırılmadan sünek kırılmaya doğru gittiği gözlemlendi (Şekil3.2 ve şekil3.3).



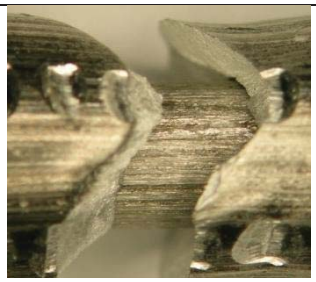
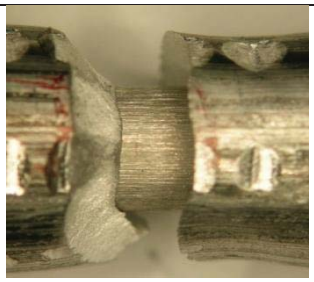
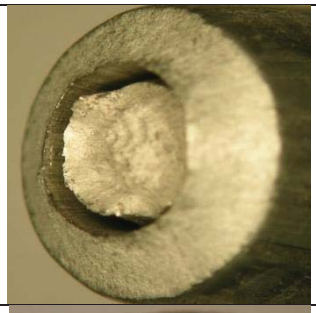
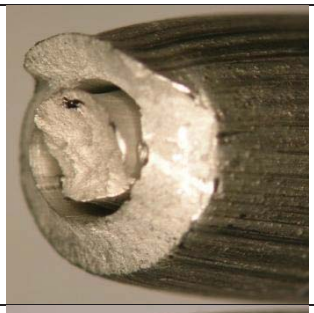
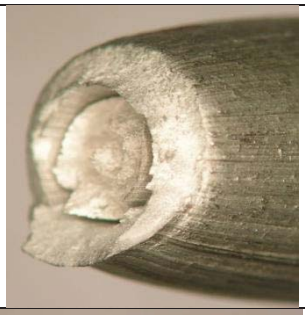
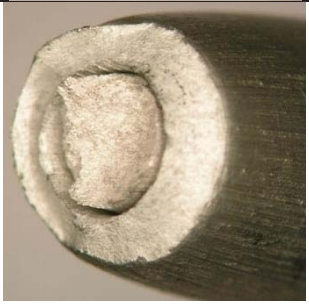
Şekil 3. 2. Ekstrüzyon oranı 14 olan Al/Mg kompozitlerin çekme testi sonrası görüntüleri



Şekil 3.3. Ekstrüzyon oranı 9 olan Al/Mg kompozitlerin çekme testi sonrası görüntüler

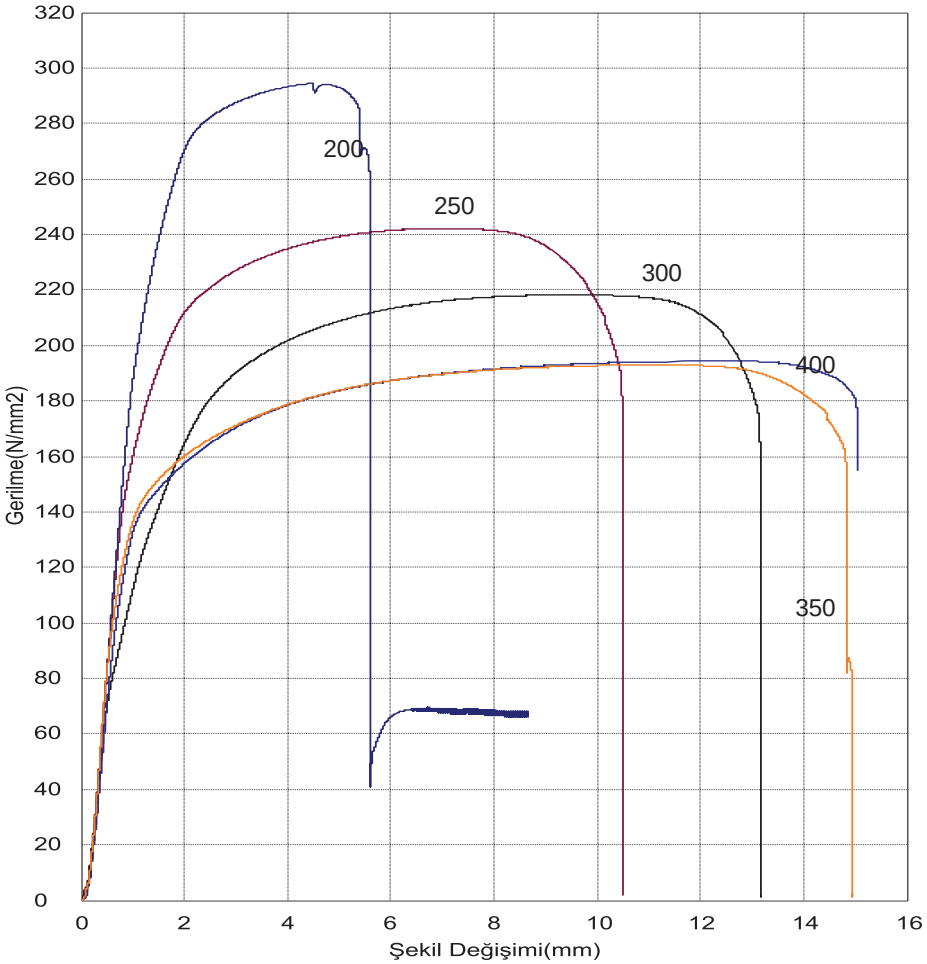
Çekme deneyi sonrasında çubukların makro fotoğrafları çekildi ve kırılma formları Tablo3.4'te verildi.

Tablo3.4. Farklı sıcaklıkta ekstrüze edilen ürünlerin çekme deneyi sonucunda kırılma formları

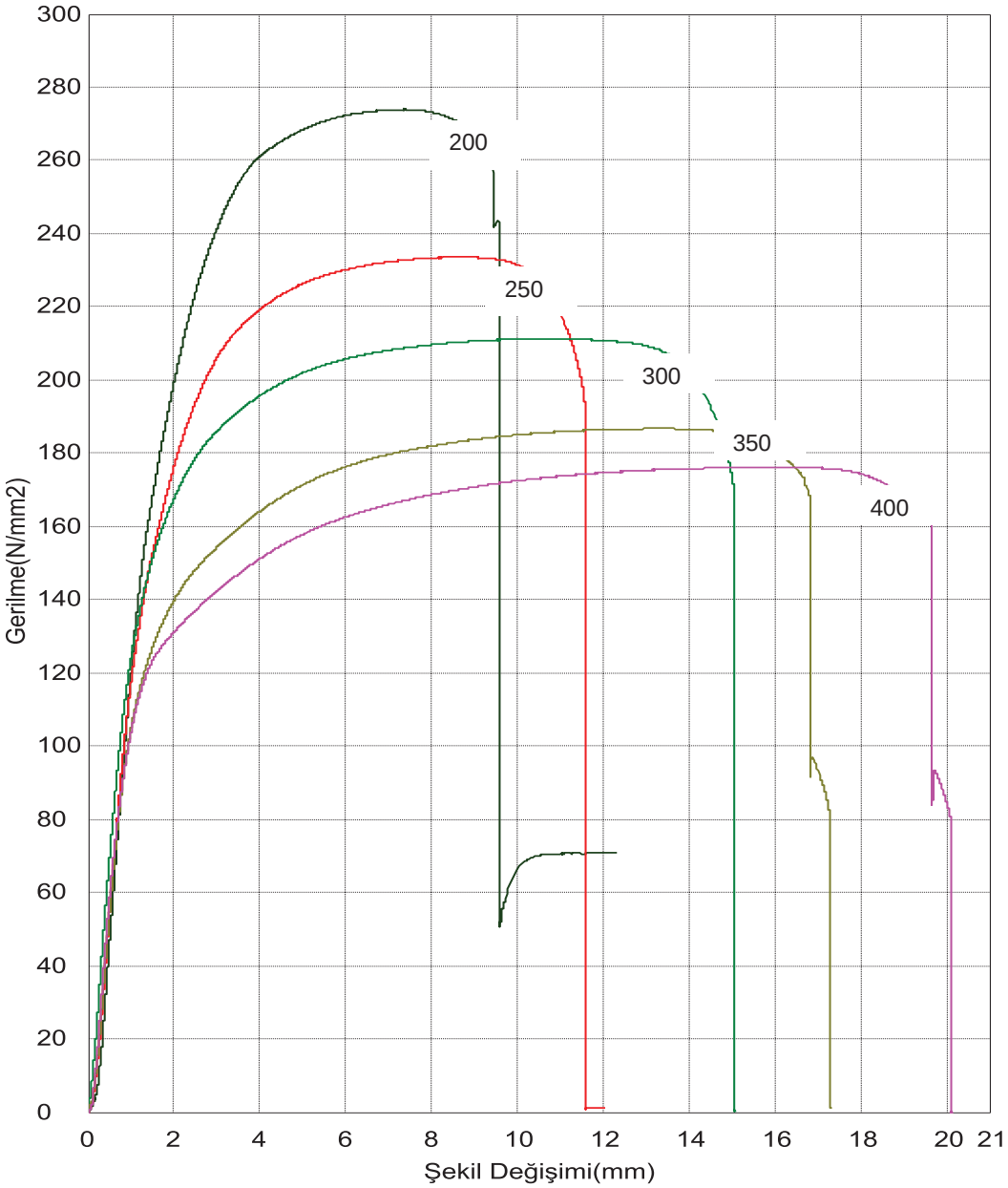
Ekstrüzyon sıcaklığı	Çekme deneyi sonucunda kırılma formu	
	R:9	R14
200		
250		
300		
350		
400		

Kırılma formları incelendiğinde 200 ^{o}C de ekstrüze edilen çubuklarda alüminyumun şekil değiştirmeden 45^{o}lik açıyla gevrek kırıldığı, magnezyumun ise kırılmadığı yük taşımaya devam ettiği görüldü. Ayrıca 200 ^{o}C de Al ve Mg arasında ekstrüzyon sırasında bağ oluşmadığı ve ayrıma eğiliminde olduğu da görüldü. 250 ^{o}C de de hem Al hem de Mg gevrek kırılmıştır. 300 ve 350 ^{o}C de ise yarı sünek kırılmaların oldu görülmektedir. Bu sıcaklıklarda Al kaplamalar boyun vermeye başlamıştır. 400 ^{o}C de ise sünek kırılmaya yakın bir davranış sergilediği görülmektedir. Al kaplama da kesit daralması görülürken Mg öz de belirgin bir kesit daralması görülmemektedir.

3.2.1. Ekstrüzyon Sıcaklığının Farklı Ekstrüzyon Oranları İçin Gerilme-Şekil Değiştirme Davranışına Etkisi



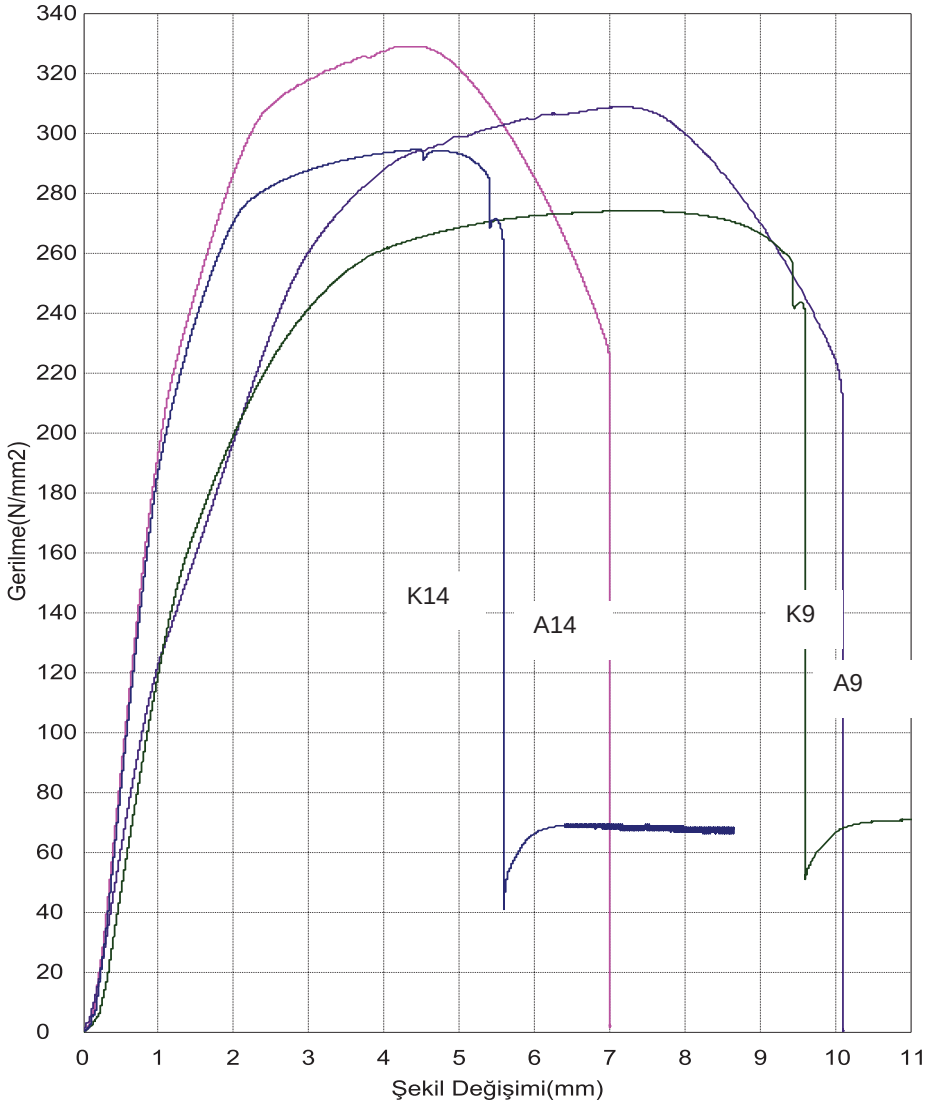
Şekil 3.4. R:14'te Al/Mg kompozit çubuklarda ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak σ-ε davranışları



Şekil 3.5. R:9 da Al/Mg kompozit çubuklarda ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak σ-ε davranışları

Ekstrüzyon oranları R:14 ve R:9 olan çubukların, işlem sıcaklığı arttıkça dayanımın düştüğü ancak sünekliğinin arttığı her iki ekstrüzyon oranında da görülmektedir. 200 ^{o}C de ekstrüze edilen çubukların dayanımı ile diğer sıcaklıklarda ekstrüze edilen çubukların dayanımı arasındaki fark daha fazlayken 250 ^{o}C den itibaren çubukların dayanımı arasındaki fark azalmaktadır. 350 ve 400 ^{o}C de ekstrüze edilen çubukların dayanım ve şekil değiştirme özellikleri ise çok yakındır.

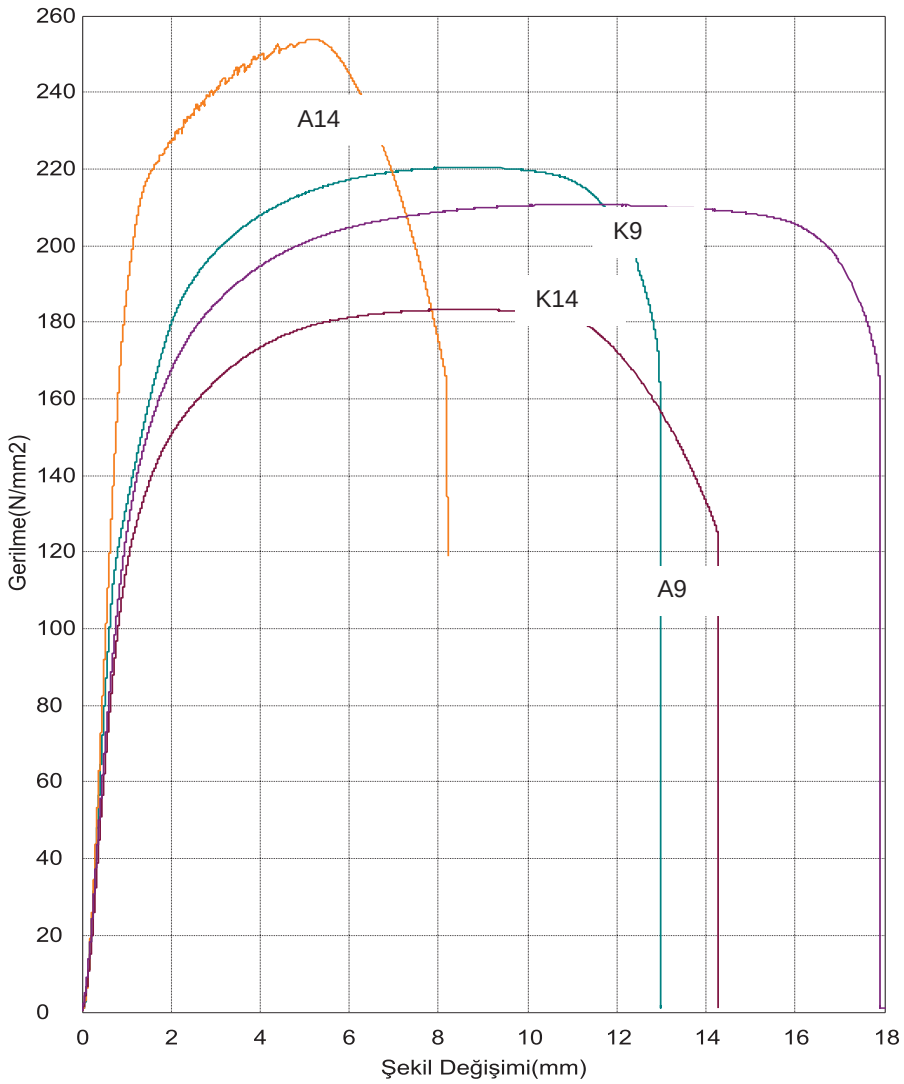
3.2.2. 200 °C de Ekstrüze Edilmiş Al ve Al/Mg Kompozit Ürünlerin Çekme Etkisi Altında Gerilme Şekil Değiştirme Davranışları



Şekil 3.6. 200 °C de ekstrüze edilmiş Al ve Al/Mg çubuklarda ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak σ-ε davranışları

200 °C de yapılan Al ve Al/Mg çubukların ekstrüzyon sonrasındaki davranışları incelendiğinde her iki ekstrüzyon oranında da Al çubukların Al/Mg çubuklara göre hem dayanımlarının hem de şekil değiştirme özelliklerinin daha iyi olduğu görülmüştür. Al/Mg çubukların çekme deneyi sırasında birlikte hareket etmediği önce Al kaplamanın koptuğu ve Mg'nin Al den sıyrılmaya başladığı da görülmüştür.

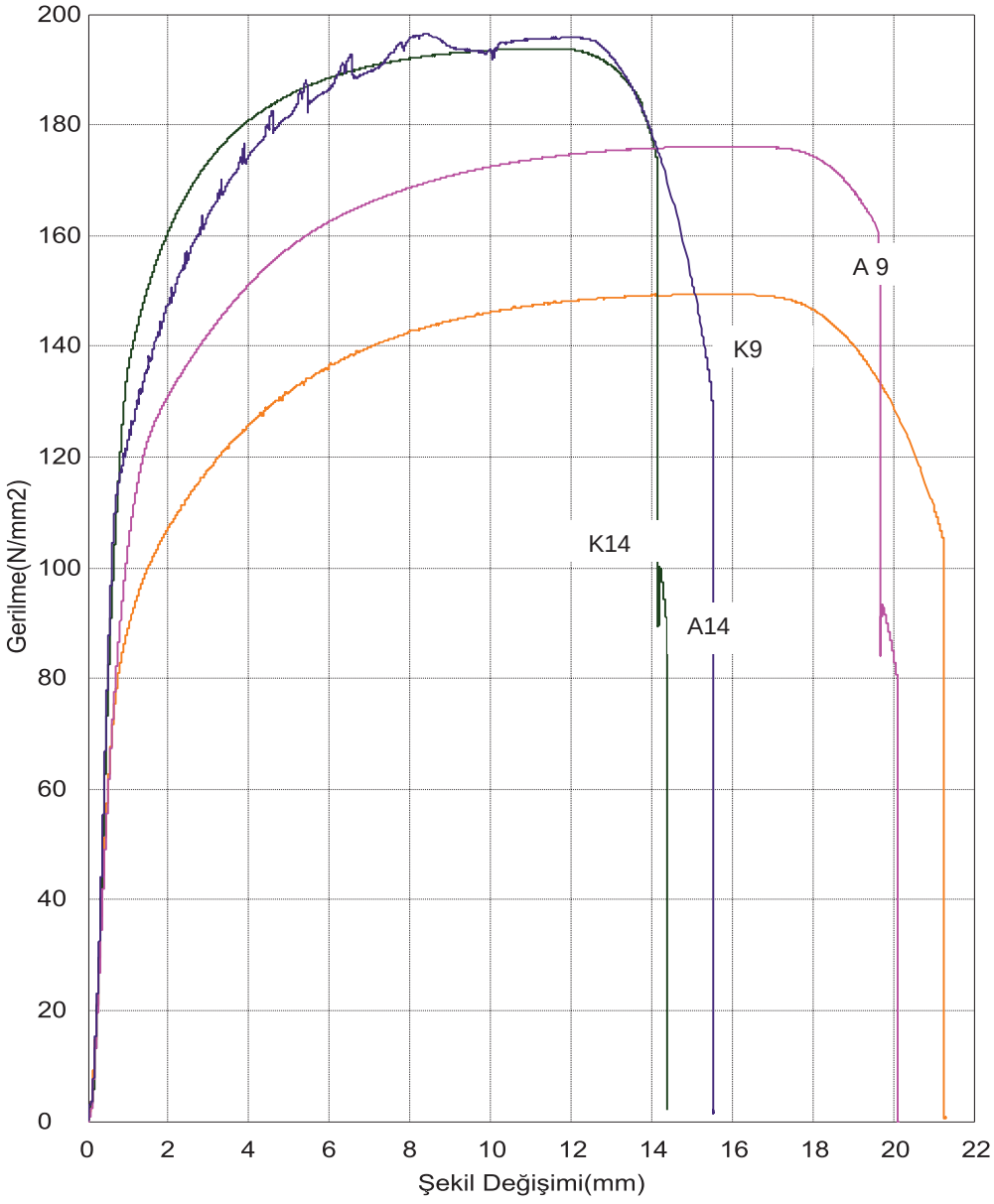
3.2.3. 300 °C de Ekstrüze Edilmiş Al ve Al/Mg Kompozit Ürünlerin Çekme Etkisi Altında Gerilme Şekil Değiştirme Davranışları



Şekil 3.7.300 °Cde ekstrüze edilmiş Al ve Al/Mg çubuklarda ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak σ-ε davranışları

300 °C de yapılan Al ve Al/Mg çubukların ekstrüzyon sonrasındaki davranışları incelendiğinde alüminyumun bu sıcaklıkta ekstrüzyon oranından etkilendiği ve dayanımının düştüğü görülmüştür. Al/Mg çubukların ekstrüzyon oranına bağlı olarak dayanımları arasında ciddi bir fark olmadı sadece sünekliklerinin arttığı belirlenmiştir. Buradan 300 °C de magnezyumun varlığı yapının alüminyuma göre daha dayanıklı ve daha sünek olmasını ayrıca ekstrüzyon oranına bağlı olarak mekanik özelliklerinin daha az değişmesine sebep olduğu görülmüştür.

3.2.4. 400 °C de Ekstrüze Edilmiş Al ve Al/Mg Kompozit Ürünlerin Çekme Etkisi Altında Gerilme Şekil Değiştirme Davranışları



Şekil 3. 8. 400 °Cde ekstrüze edilmiş Al ve Al/Mg çubuklarda ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak σ-ε davranışları

Plastik şekillendirme sırasında dislakasyon yoğunluğunun artan sıcaklık ile azalmasından dolayı ekstrüzyon sıcaklığı arttıkça hem kompozit hem de alüminyum ürünlerin dayanımlarının düştüğü sünekliklerinin arttığı görülmektedir.

200 ^{o}C de iki ekstrüzyon oranında da Al ürünlerin dayanımı Al/Mg ürünlerin dayanımında daha yüksektir. Al ve Mg'nin yeniden kristallenme sıcaklıkları 200 ^{o}Cden yüksek olduğundan dolayı bu sıcaklıkta ürünler soğuk deformasyona maruz kalmışlardır. Ekstrüzyon oranının düşmesi ile deformasyon miktarının azalması pekleşmeyi azaltmıştır. Dolayısıyla R9 da ürünlerin dayanımı R14 e göre daha düşük, süneklikleri daha yüksektir.

300 ^{o}C de kompozit ürünlerin dayanımları neredeyse aynıyken Alüminyum ürünlerin ekstrüzyon oranından daha fazla etkilendiği görülmektedir. 300 ^{o}C nin üzerinde Magnezyum alaşımlarında dinamik toparlanma meydana gelmektedir. Bu durum magnezyum alaşımlarında pekleşmeyi azaltarak malzemenin dayanımının düşmesine ve plastik deformasyon oranından daha az etkilenmesine sebep olmaktadır magnezyumun bu etkisi kompozit malzemenin de mekanik özelliklerini etkilemektedir..

400 ^{o}C de ekstrüzyon oranı 14 de Al ve Al/Mg kompozitin dayanım ve süneklik değerlerinin aynı olduğu görülmektedir. Ayrıca bu sıcaklıkta dayanımın da düştüğü sünekliğin arttığı görülmektedir.

Çubukların çekme deneyinden elde edilen akma ve çekme dayanımlarından özgül akma ve özgül çekme mukavemet hesapları yapılmıştır. Özgül akma ve çekme mukavemetlerinin hesabı yapılırken biletin teorik yoğunluğu kullanılmıştır.

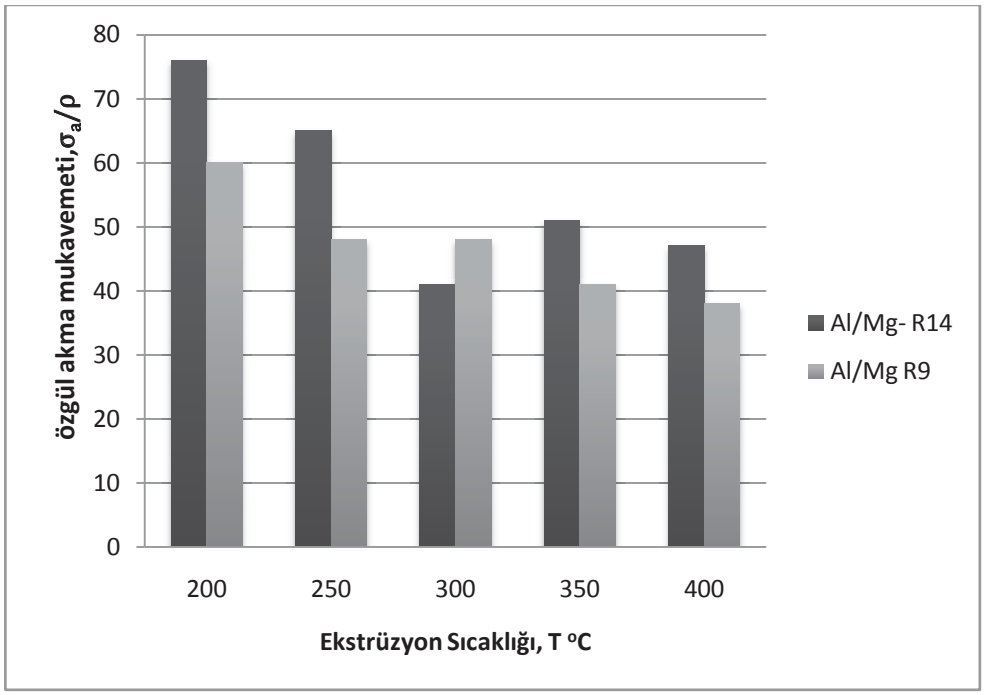
Özgül akma mukavemet hesabı;

$$\sigma_{öa} = \frac{\sigma_a}{\rho}\left(\frac{\mathrm{MPa}}{\mathrm{g/mm^3}}\right) \quad (8)$$

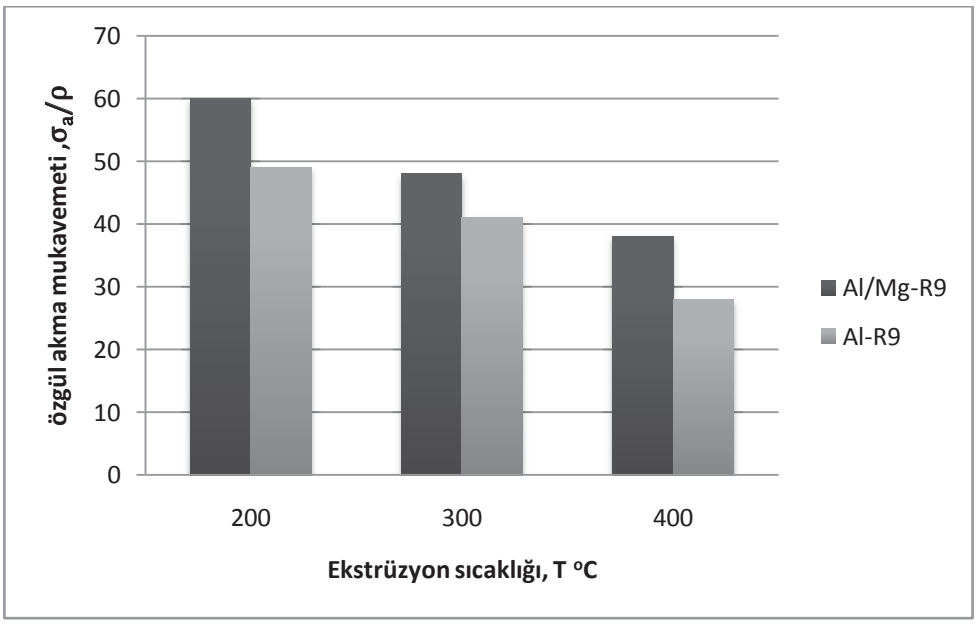
Özgül çekme mukavemet hesabı;

$$\sigma_{öç} = \frac{\sigma_ç}{\rho}\left(\frac{\mathrm{MPa}}{\mathrm{g/mm^3}}\right) \quad (9)$$

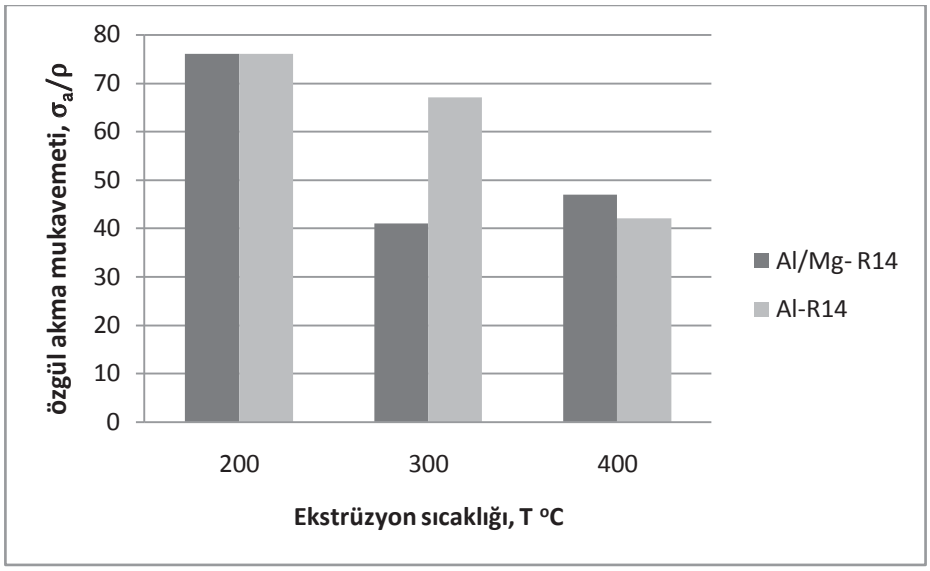
Teorik yoğunluk ile ürünlerin özgül akma ve çekme mukavemet hesapları denklem (8) ve (9)kullanılarak hesaplanmıştır. Alüminyum ve kompozit çubukların ekstrüzyon sıcaklığına ve ekstrüzyon oranına göre elde edilen akma ve çekme dayanımları ile bunlara karşılık özgül akma ve çekme dayanım değerleri ek 1 ve 2 de verilmiştir. Ayrıca bu değerler baz alınarak kompozit ve alüminyum çubukların sıcaklık ve ekstrüzyon oranına göre karşılaştırmalı grafikleri çizilmiştir.



Şekil 3.9. Ekstrüzyon oranına bağlı olarak özgül mukavemet değerleri

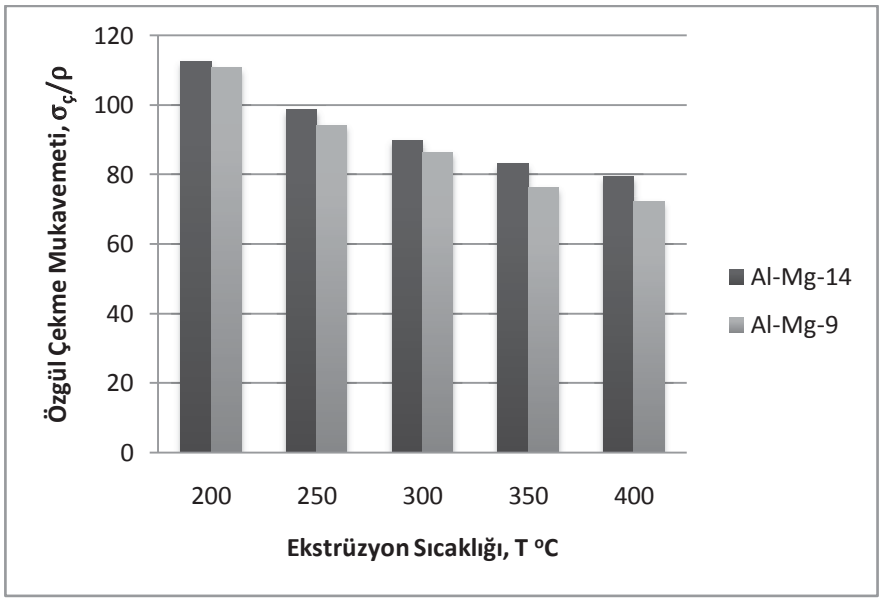


Şekil 3.10. Al ve Al/Mg ürünlerin R 9'da ki özgül akma mukavemet değerleri

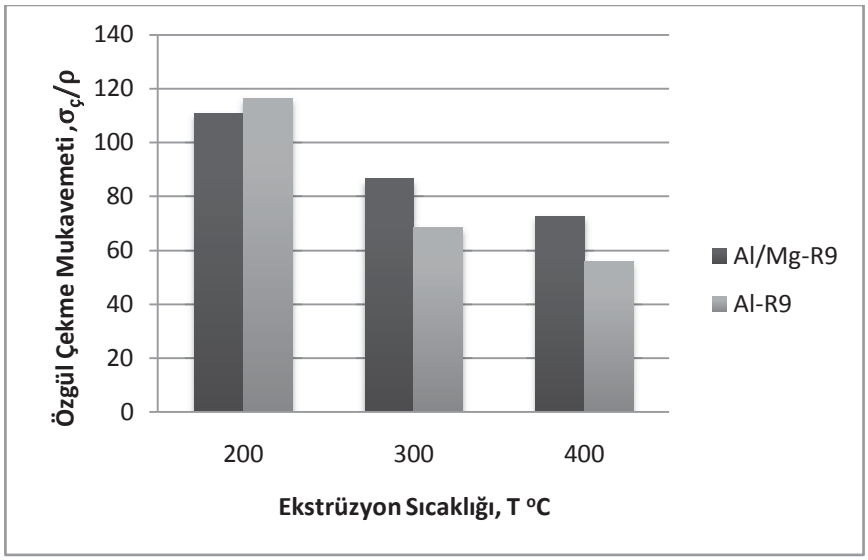


Şekil 3.11.Al ve Al/Mg ürünlerin R 14'te ki özgül akma mukavemet değerleri

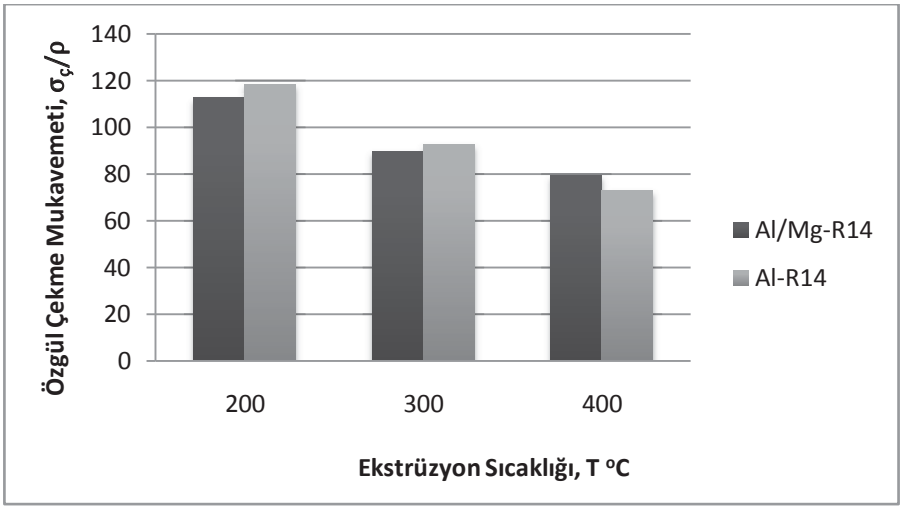
Kompozit ürünlerin özgül mukavemetleri karşılaştırıldığında; ekstrüzyon oranın özgül mukavemet değerlerini doğrudan etkilediği görülmektedir. Ancak sıcaklığın artışı ile R:14 ve R:9 arasındaki özgül mukavemet değerleri arasındaki fark azalmaktadır.



Şekil 3.12. Ekstrüzyon oranına bağlı olarak özgül çekme mukavemet değerleri



Şekil 3.13Al ve Al/Mg ürünlerin R 9'da ki özgül çekme mukavemet değerleri



Şekil 3.14. Al ve Al/Mg ürünlerin R 14'de ki özgül çekme mukavemet değerleri

Deformasyon miktarı ile doğru orantılı olarak ekstrüzyon oranı 14 olan kompozit çubukların özgül çekme dayanımları ekstrüzyon oranı 9 olan çubuklara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Ancak kompozit çubuklar ile alüminyum çubuklar kıyaslandığında ekstrüzyon oranı 14 de alüminyum çubukların özgül dayanımlarının daha yüksek olduğu görülürken ekstrüzyon oranı 9 da aynı durum görülmemektedir. Ekstrüzyon oranı 9 da 200 ^{o}C de alüminyum çubukların özgül dayanımı daha yüksekken 300 ve 400 ^{o}C de kompozit çubukların özgül çekme dayanımlarının yüksek olduğu görülmektedir.

Kullanılan malzemelerin başlangıç değerleri göz önünde bulundurulduğunda AZ31 alaşımının çekmedeki özgül akma dayanımı 66,6σ/ρ, özgül çekme dayanımı ise 138 σ/ρdir. AA-6063 alaşımının çekmedeki özgül akma dayanımı 38 σ/ρ, özgül çekme dayanımı ise 70 σ/ρdir. Malzemelerin başlangıçtaki akma dayanımları ile ekstrüzyon sonrasındaki dayanımları kıyaslandığında alüminyumun özgül dayanımı düşük sıcaklıklarda oldukça yükselmiştir. Sıcaklık yükseldikçe alüminyumun özgül dayanımları ciddi derecede düşerken kompozit malzemeler deki düşüş daha az olmuştur. Magnezyumun varlığı yapının özgül dayanım değerlerini yüksek sıcaklıkta ekstrüze edildiğinde dahi yukarıda tutmuştur.

3.3. Çentik darbe deney analizi

Çentik darbe deneyi sonucunda ürünlerin çentik darbe katsayıları ile özgül çentik darbe değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler Al ve Al/Mg için karşılaştırılmıştır.

Kompozit ürünün teorik yoğunluğu denklem (5)'de hesaplandı.

$\rho_{kom} = 2.44\ g/mm^3$

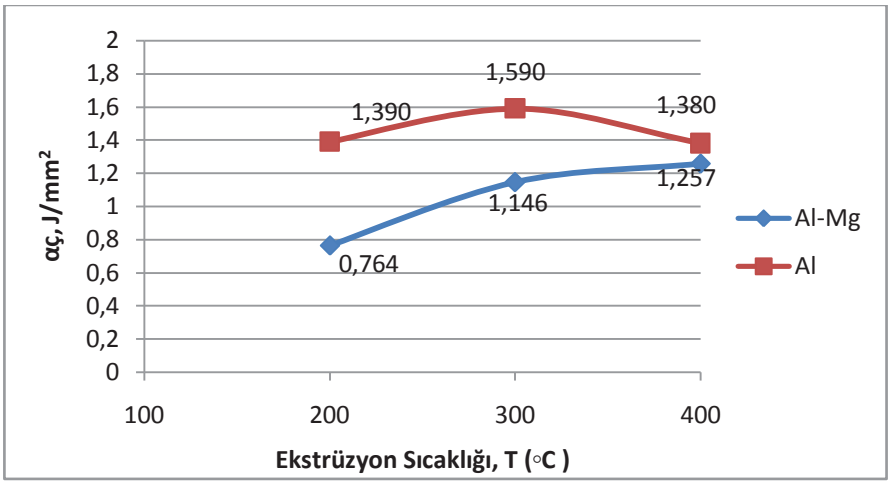
Çentik darbe katsayısı;

$$\alpha ç = \frac{E_k}{A_o}\ \left(\frac{J}{mm^2}\right) \quad (10)$$

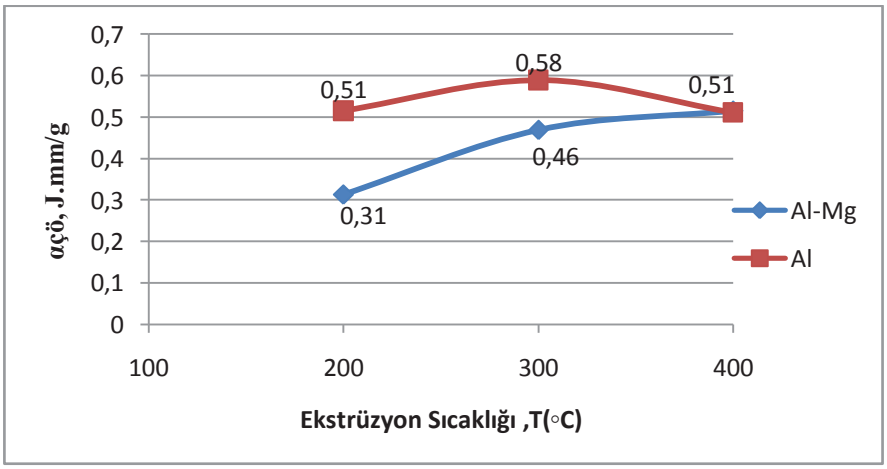
Özgül çentik darbe mukavemeti;

$$\alpha_{çö} = \frac{\alpha_ç}{\rho}\left(\frac{J.mm}{g}\right) \quad (11)$$

Denklem (10) kullanılarak ürünlerin çenktik darbe katsayıları, denklem (11) kullanılarak özgül çentik darbe mukavemetleri hesaplandı. Al ve Al/Mg ürünlerin çentik darbe katsayıları ve özgül darbe mukavemet değerlerinin karşılaştırmalı grafikleri şekil 3.15.ve şekil3.16 da görülmektedir.



Şekil 3.15. Çentik darbe katsayısı – sıcaklık grafiği

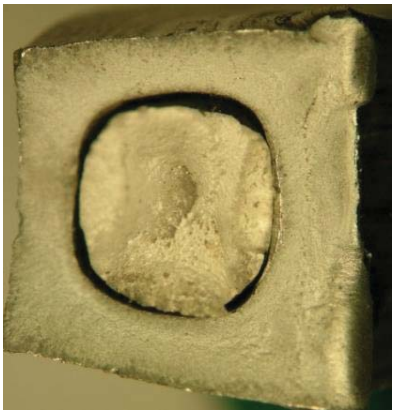
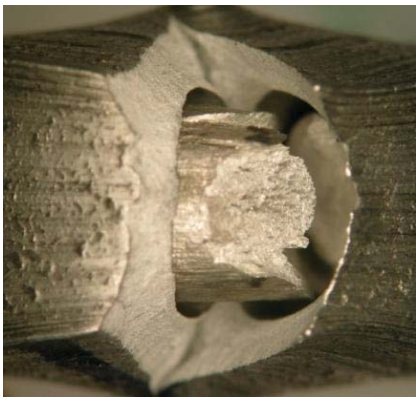
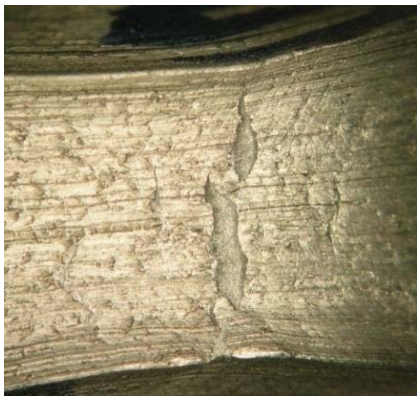
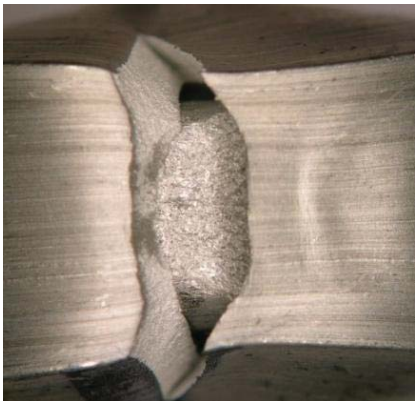
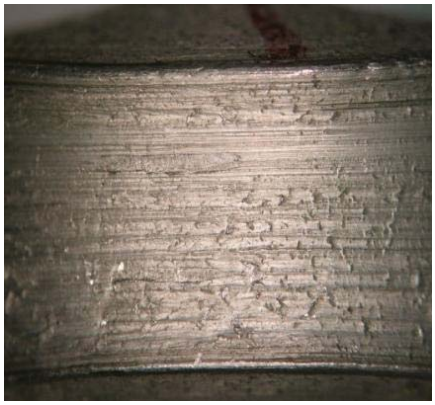


Şekil 3.16. Özgül çentik darbe dayanımı- sıcaklık grafiği

Tablo3.5. deki çentik darbe deney sonuçlarına bakıldığında; 200 ve 300^{o}C de Alüminyumun daha fazla enerji absorbe ettiği görülmektedir. 400 ^{0}C de ise Al ve Al/Mg kompozitlerin tokluk değerleri çok yakındır. Bu durum magnezyumun 300 ^{o}Cye kadar gevrekliğini koruduğunu bu sıcaklığın üzerinde yapılan işlemlerde sünekleştiğini göstermektedir

İşlem sıcaklığının artması malzemelerin sünekliğini artırdığı bilinmektedir. Çentik darbe numunelerinin sayısal sonuçlarına ve kırılma formuna bakıldığında sıcaklık artışının sünekliği artırdığı net bir şekilde görülmektedir. Ancak kompozit ve alüminyum numuneler karşılaştırıldığında magnezyumun varlığı kompozit yapının daha kolay kırılmasına neden olduğunu göstermiştir.

Tablo3.5. Farklı sıcaklıklarda ekstrüze edilen çentik darbe deney numunelerinin kırılma formları

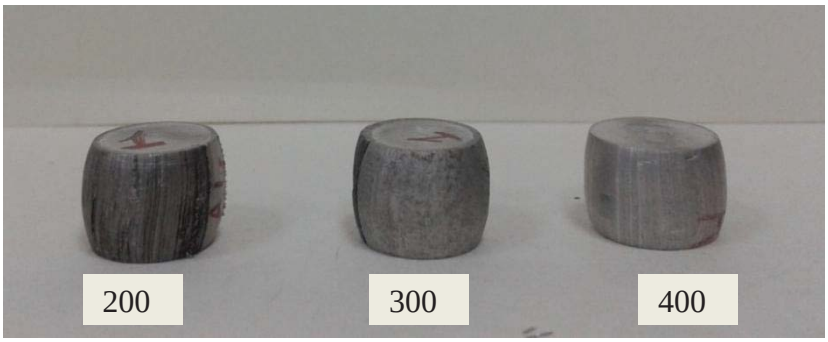
Ekstrüzyon sıcaklığı	Çentik darbe deneyi kırılma formları	
	Kompozit ürün	Alüminyum ürün
200		
300		
400		

3.4. Basma Deney Analizi

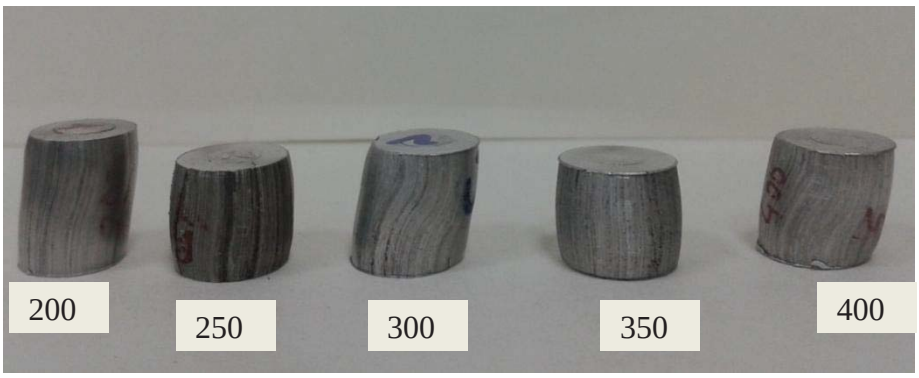
Basma deneyinden sonra numuneler sıcaklık, Al ve Al/Mg kompozit olarak gruplara ayrıldı. Numunelerin basma deneyi sonrası görüntüleri Şekil 3.17, Şekil3.18 ve Şekil3.19 da verilmiştir.



Şekil 3.17. Magnezyumun basma deneyi sonrası görüntüsü



Şekil 3.18.Farklı sıcaklıklarda ekstrüze edilen alüminyum numunelerin basma deneyi sonrası görüntüleri



Şekil 3.19. Farklı sıcaklıklarda ekstrüze edilen kompozit ürünlerin basma deneyi sonrası görüntüleri

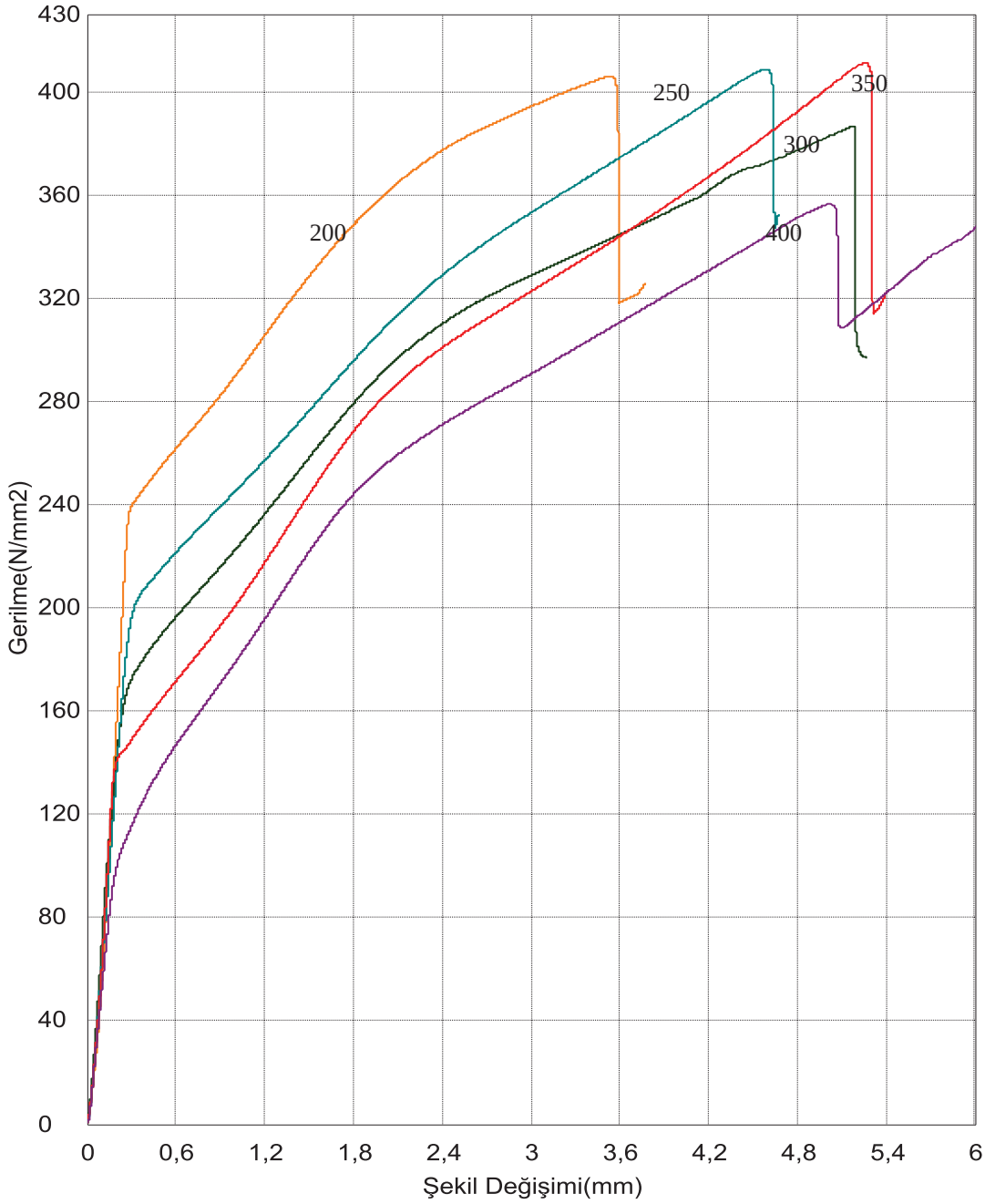
Magnezyumun, hegzagonal sıkı paket yapısından dolayı gevrek bir malzeme olduğu ve şekil değişime uğramadan 45^{o}lik açıyla kırıldığı bilinmektedir. Şekil 3.17.' de magnezyum biletin basma etkisi altındaki kırılma görüntüsünde de gevrek ve 45^{o}lik açıyla kırıldığı görülmektedir. Alüminyumun ise yüzey merkezli kübik kafes yapısına sahip olmasından dolayı kolay şekil değiştirdiği, basma sırasında fıçılaştığı bilinmektedir. Şekil 3.18. de farklı sıcaklıklarda ekstrüze edilen alüminyum numunelerin basma testi sonrası görüntüleri verilmiştir. 200 ^{o}C de ekstrüze edilen alüminyum ürünlerin dahi fıçılaştığı görülmektedir.

Farklı sıcaklıklarda ekstrüze edilen kompozit ürünlerin basma testi sonrası görüntüleri şekil 3.19. da verilmiştir. Basma sırasında magnezyum öz ürünün içinde kırılmış ancak alüminyum, magnezyum gibi gevrek kırılmadığı için alüminyumu şekil değişimine zorladığı görülmüştür. 200 ve 300 ^{o}C de ekstrüze edilmiş ürünlerin görüntülerinden de magnezyumun kırıldığı ve alüminyumu şekil değişimine zorladığı görülmektedir.

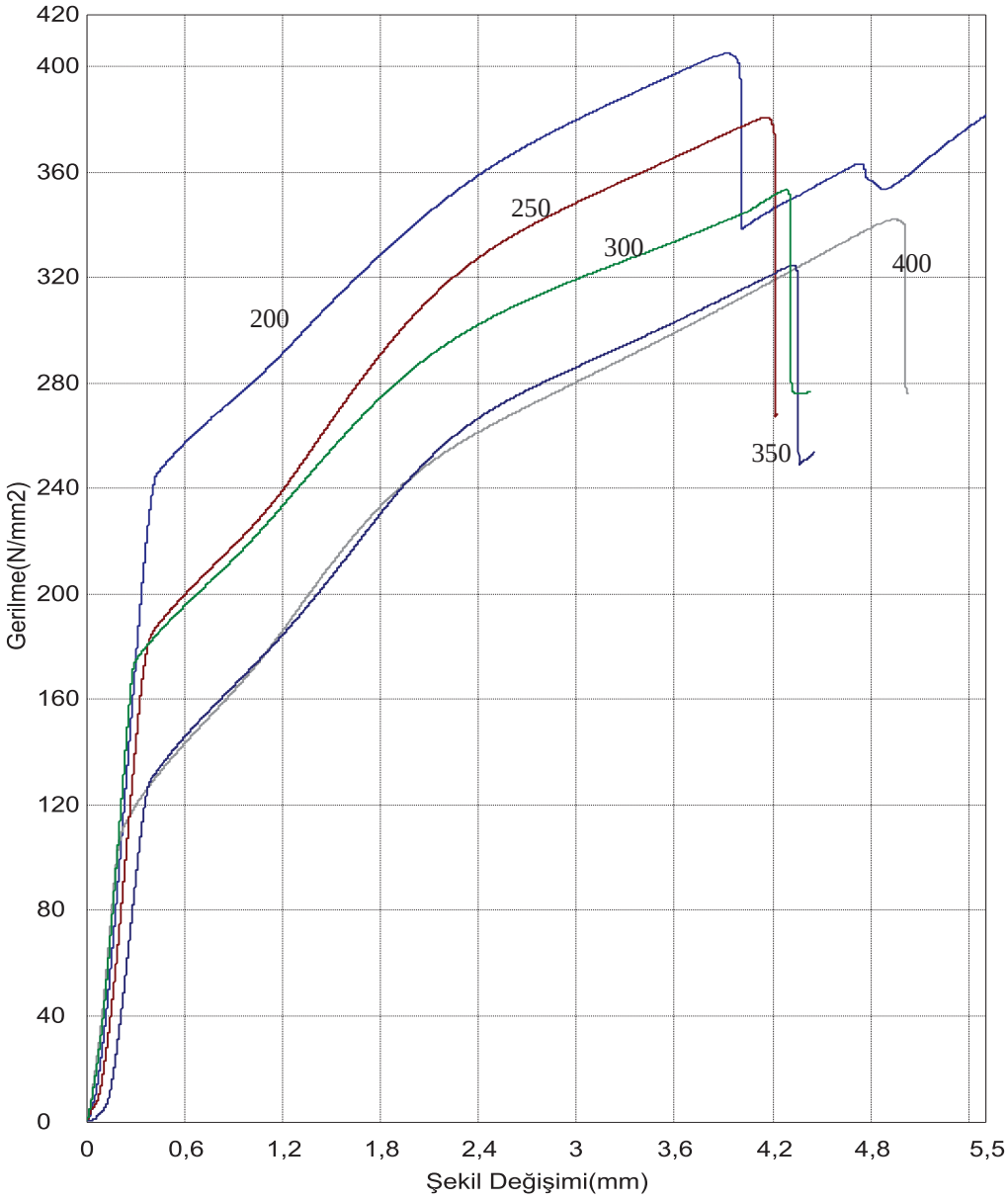
Magnezyumun basma etkisine karşı direncinin düşük olması bir dezavantajdır ancak alüminyum ile kaplanan magnezyum kompozitlerin basma dirençlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Gevrek olan magnezyum basma etkisi altında ani kırılsa daha alüminyumun varlığı tüm yapının kırılmasını engellediği görülmüştür.

Basma testi sonrasında numunelerin sıcaklık ve ekstrüzyon oranlarının, dayanım ve şekil değişimine etkisini gösteren gerilme- şekil değiştirme grafikleri karşılaştırmalı verildi. Bu grafiklerden numunelerin akma dayanımları alınarak basmaya göre özgül akma dayanımları hesaplandı ve grafikleri çizildi.

3.4.1. Al/Mg Kompozitlerin Ekstrüzyon Oranı ve Sıcaklığa Bağlı Olarak Basmanda Gerilme Şekil Değiştirme Davranışları



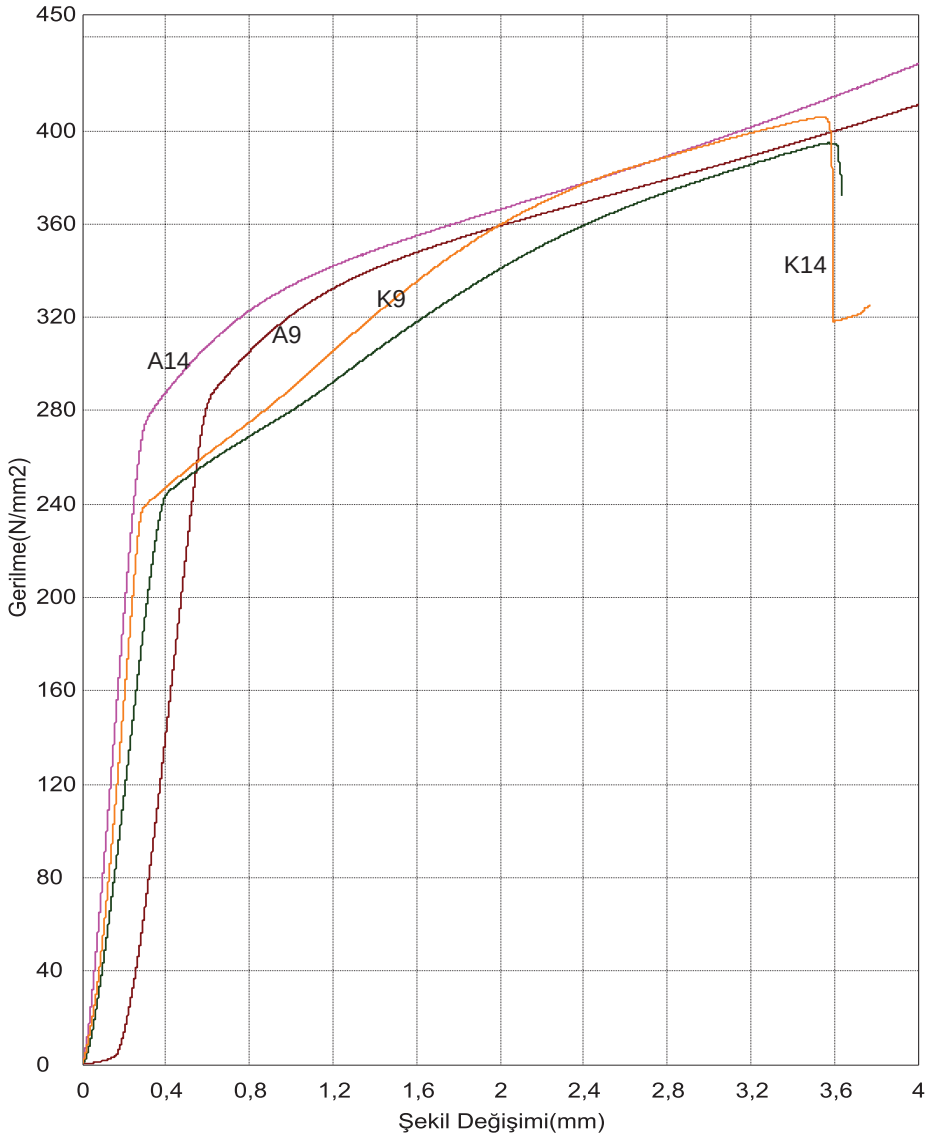
Şekil 3.20. R:14'te Al/Mg kompozit çubuklarda ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak σ-ε davranışları



Şekil 3.21. R:9 da Al/Mg kompozit çubuklarda ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak σ-ε davranışları

Farklı sıcaklıkta ekstrüze edilen ürünlerin basma deney sonuçlarına bakıldığında; sıcaklık arttıkça ürünlerin rijitliğinin azaldığı, sünekliklerinin arttığı görülmektedir. Magnezyumun basma sırasında yapı içinde kırıldıktan sonra dayanımın düşmesine karşılık yapının hala yük taşımaya devam ettiği görülmüştür. Ayrıca ekstrüzyon oranının değişmesi ürünlerin mekanik özellikleri arasında ciddi fark yaratmamıştır. Ürünlerin mekanik özelliklerini belirleyen birincil faktörün sıcaklık olduğu deney sonuçlarından görülmüştü

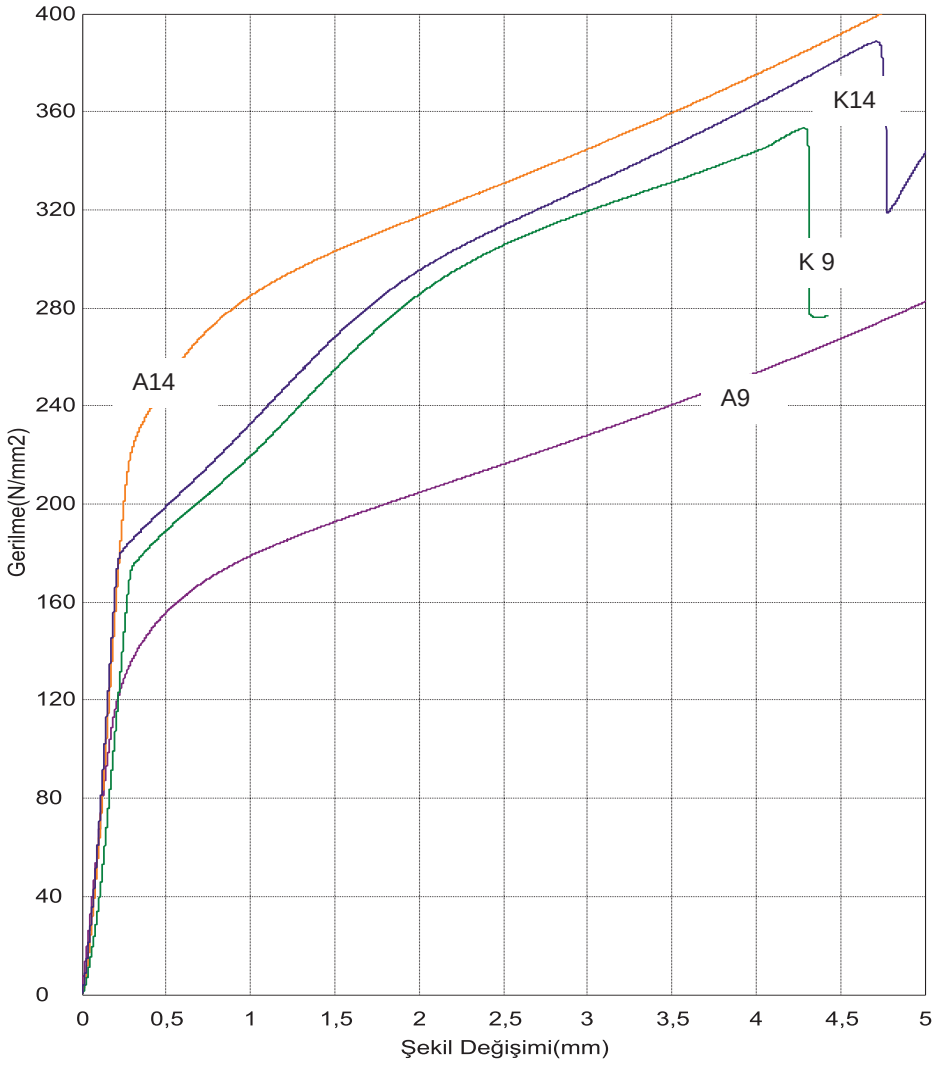
3.4.2. 200 °C de Ekstrüze Edilmiş Al Ve Al/Mg Kompozit Ürünlerin Basma Etkisi Altındaki Gerilme Şekil Değiştirme Davranışları



Şekil 3.22. 200 °Cde ekstrüze edilmiş Al ve Al/Mg çubuklarda ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak σ-ε davranışları

200°C de ekstrüze edilmiş kompozit ve alüminyum ürünlerin basma etkisi altındaki davranışları incelendiğinde alüminyum ve kompozit ürünlerin basmaya karşı gösterdikleri dayanımların birbirine çok yakın değerler olduğu görülmüştür. Bunun nedeni 200 °C sıcaklıkta ekstrüze edilen ürünlerde magnezyumun basma sırasında içte kırıldığı ve tüm yükü alüminyumun taşımasıdır.

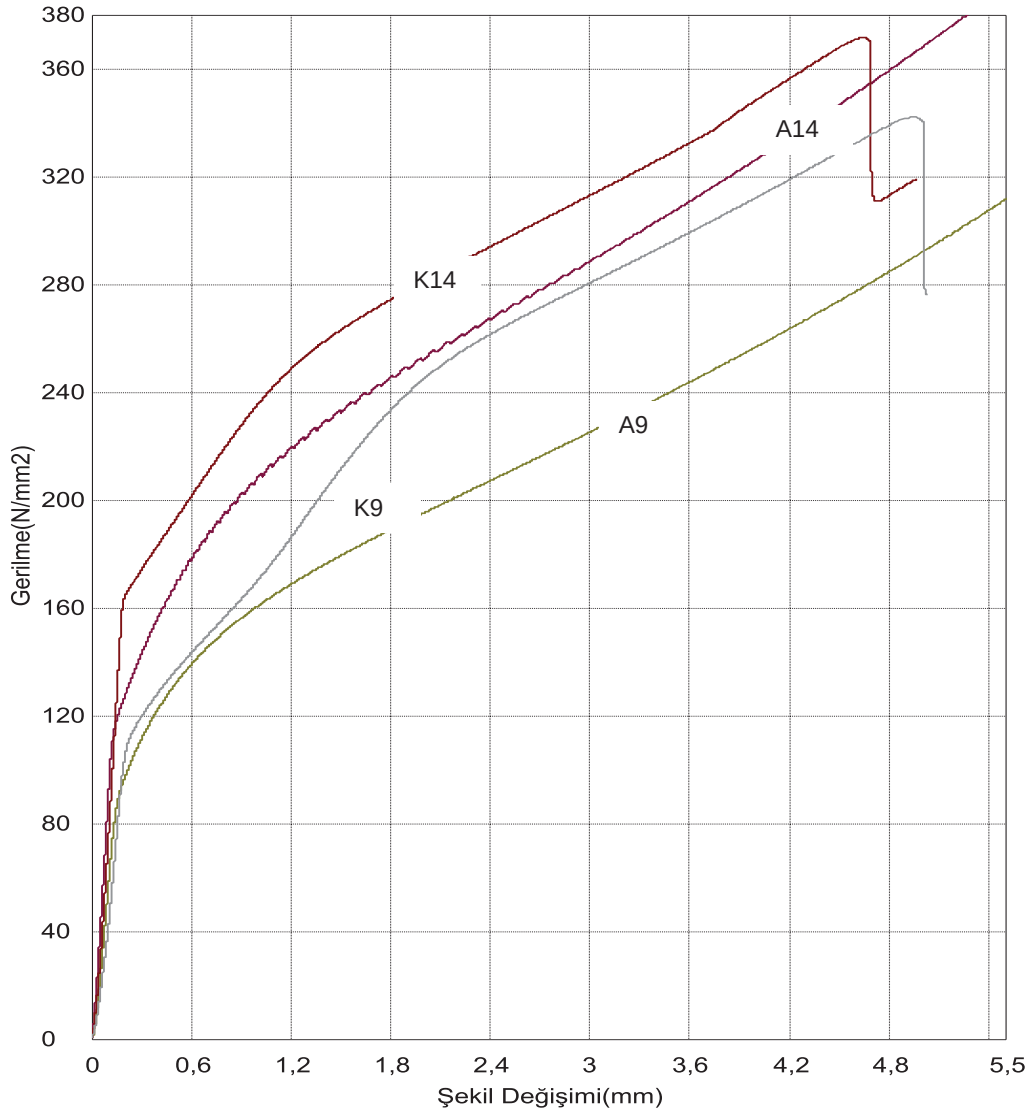
3.4.3. 300 °C de Ekstrüze Edilmiş Al ve Al/Mg Kompozit Ürünlerin Basma Etkisi Altındaki Gerilme Şekil Değiştirme Davranışları



Şekil 3.23. 300 °Cde ekstrüze edilmiş Al ve Al/Mg çubuklarda ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak σ-ε davranışları

300°C de ekstrüze edilen kompozit ve alüminyumların basma tesiri altındaki davranışları incelendiğinde kompozit malzemelerin ekstrüzyon oranından etkilenmeyerek aynı davranışı sergilediği görülmektedir. Alüminyumların ise 300 °C den itibaren ekstrüzyon oranından ciddi derecede etkilendiği, ektrüzyon oranı arttıkça basmaya karşı direncinin de arttığı gözlemlendi.

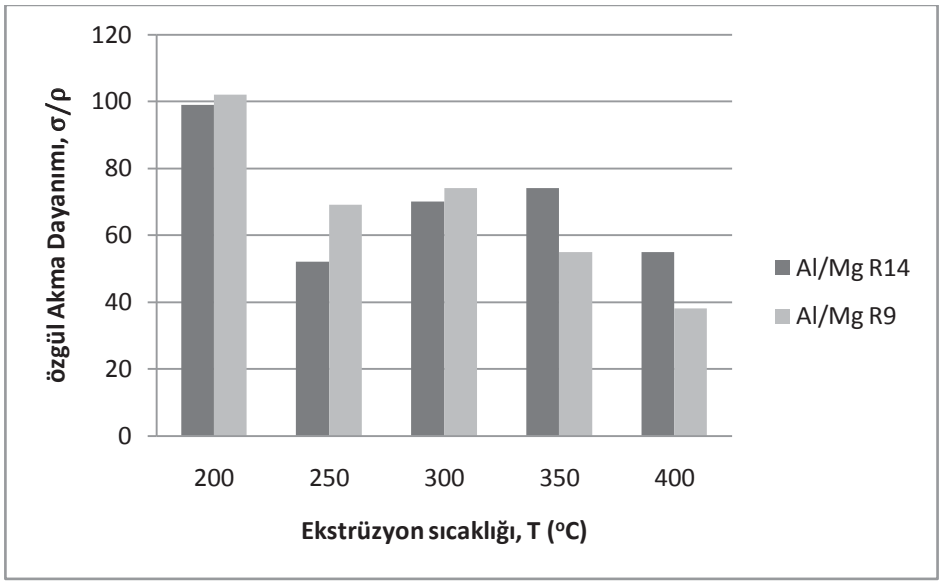
3.4.4. 400 °C de Ekstrüze Edilmiş Al ve Al/Mg Kompozit Ürünlerin Basma Etkisi Altındaki Gerilme Şekil Değiştirme Davranışları



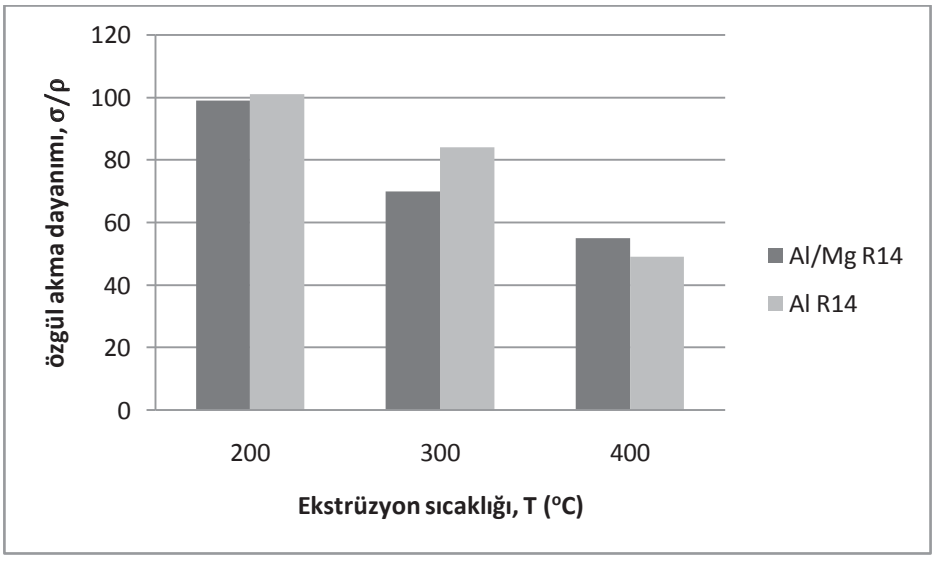
Şekil 3.24. 400 °Cde ekstrüze edilmiş Al ve Al/Mg çubuklarda ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak σ-ε davranışları

400°C de ekstrüze edilen kompozit ve alüminyumların basma tesiri altındaki davranışları incelendiğinde, ekstrüzyon oranına da bağlı olarak alüminyum ürünlerin basmaya karşı dayanımlarının kompozit ürünlere göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu sıcaklıkta üretilen kompozit ürünlerde magnezyumun varlığı basmaya karşı dayanımı arttırmıştır.

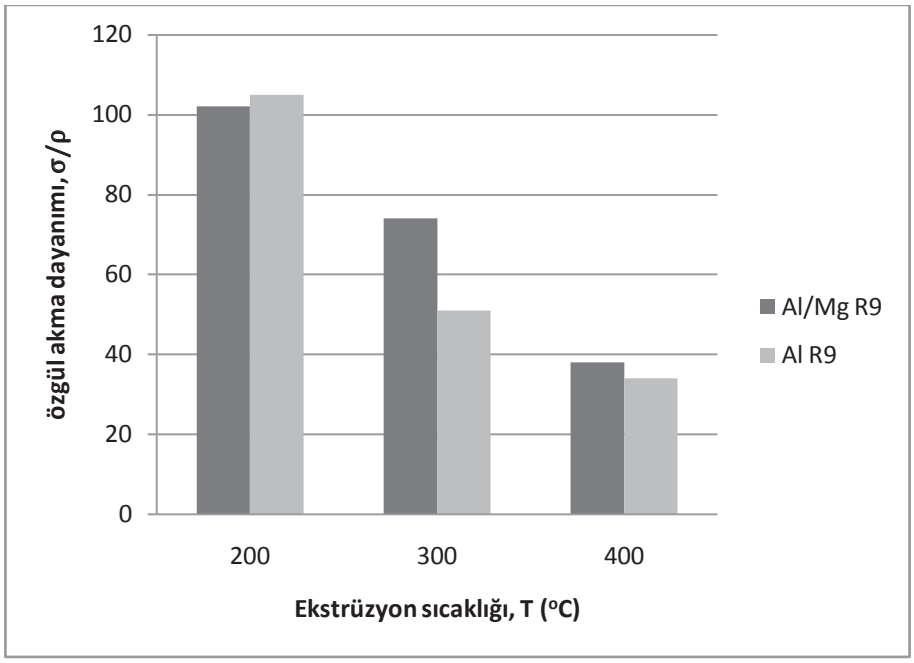
Basma deney grafiklerinden elde edilen veriler ile numunelerin basmaya karşı özgül akma dayanımları hesaplandı. Özgül akma dayanımları hesaplanırken denklem (8) kullanılarak hesaplanmıştır. Sıcaklığa bağlı özgül akma dayanım grafikleri şekil de verilmiştir



Şekil 3.25.Ekstrüzyon oranına bağlı olarak özgül mukavemet değerleri



Şekil 3.26. Al ve Al/Mg ürünlerin R14'te ki özgül akma mukavemet değerleri



Şekil 3.27. Al ve Al/Mg ürünlerin R 9'da ki özgül akma mukavemet değerleri

Basmaya karşı özgül akma dayanım grafiklerine bakıldığında 200, 250 ve 300 ^{o}C sıcaklıklarda ekstrüzyon oranı R:9 olan kompozit ürünlerin özgül basma dayanımlarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak sıcaklık yükseldikçe aradaki fark azalmaktadır. 350 ve 400 ^{o}C de ise R:14 de ekstrüze edilen kompozit ürünlerin özgül basma dayanımları daha yüksek olduğu görülmektedir. Alüminyumlar ile kompozit ürünler kıyaslandığında 200 ^{o}C de ekstrüze edilmiş alüminyumların özgül dayanımlarının yüksek olduğu 300 ve 400 ^{o}C de ekstrüze edilmiş alüminyumların ise kompozit ürünlerden daha düşük özgül dayanıma sahip olduğu görülmektedir.

3.5. Sertlik Deney Sonuçları

Sertlik deneyinde çekme çubuklarından alınan Al ve kompozit numunelerin sıcaklık ve ekstrüzyon oranına bağlı olarak elde edilen HV01 sertlik değerleri Tablo3.6. da, kompozit ürünlerin sertlik değerleri Tablo 3.7. de çentik darbe deney numunelerinin sertlik değerleri de Tablo 3.8 de verilmiştir.

Tablo3.6 Alüminyum ürünlerin sertlik değerleri

Ekstrüzyon sıcaklığı (^{o}C)	Ekstrüzyon oranı	
	R14	R9
200	92,7	100,8
300	82,9	68,1
400	55,7	53,8

Tablo3. 7Kompozit ürünlerin sertlik değerleri

Ekstrüzyon sıcaklığı (^{o}C)	Ekstrüzyon oranı			
	R:14		R:9	
	Al	Mg	Al	Mg
200	84,6	69,5	99,4	73,6
250	74,9	68,4	77,8	66,4
300	65,6	65,8	66	70,3
350	55,9	66,5	59,4	68,5
400	56,8	59	84,7	69,4

Tablo3. 8Çentik darbe ürünlerinin sertlik değerleri

Ekstrüzyon sıcaklığı (^{o}C)	Çentik numuneleri		
	Al	Al(kompozit)	Mg(kompozit)
200	120,3	95,3	72,7
300	89	70	69,6
400	61,7	56	67,5

Ekstrüze edilmeden önce alüminyum ve magnezyum biletlerin de mikro sertlik ölçümü yapıldı. Biletlerin farklı bölgelerinden alınan sertlik değerlerinin ortalaması alındı. Magnezyum biletin sertlik değeri 60 HV01, alüminyum biletin sertlik değeri ise 103 HV01dir.

Ekstrüzyon sonrasında numunelerin sertlik değerleri ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak azalırken ekstrüzyon oranının değişmesi sertlik değerlerini ciddi oranda etkilememiştir. Ekstrüzyon sonrasında alüminyumun sertliği başlangıç sertlik değerine göre düşüş

göstermiştir. Magnezyumun ise ekstrüzyon ile sertliğinin arttığı gözlemlenmiştir. 200 ve 250 ^{o}C de alüminyum başlangıç sertlik değerine yakın değerle göstermiştir, magnezyum ise daha yüksek sertlik değerlerine ulaşmıştır. 400 ^{o}C de yapılan ekstrüzyon sonucunda magnezyumun sertliğinin alüminyumdan daha fazla olduğu görülmektedir. Sıcaklık arttıkça alüminyumunda magnezyumunda sertlikleri düşmüştür. Ancak sıcaklık artışından alüminyum daha çok etkilenmiştir.

4. BÖLÜM

GENEL SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Sıcak ekstrüzyon yöntemi ile imal edilen dairesel ve kare kesitli Al/Mg kompozit ve Al çubukların ekstrüzyon şartlarına bağlı olarak mekanik özelliklerinin incelenmesi sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Fiziksel modelleme sonucunda özün kabuk boyundan kısa olduğu bilet tasarımının ideal bilet tasarımı olduğu görülmüş ve metallerde de aynı tasarım ile devam edilmiştir.
2. Öz boyu kısa olan biletlerin ekstrüzyonu ile ölü bölgenin azalması sağlanmıştır.
3. Yoğunluğun azalması için tasarlanan bi-metalik ürünler de yoğunluğun alüminyumdan daha düşük olduğu hem teorik hem de deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır.
4. Bilet tasarımındaki boyutsal değerlerle hesaplanan teorik yoğunluk ile ekstrüze edilmiş ürünlerin boyutsal değerlerine göre hesaplanan yoğunluk değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır.
5. Biletteki $D_k/D_ö$ oranı ile ürünlerdeki $D_{ük}/D_{üö}$ oranları genel olarak yakın değerlerde çıkmıştır.
6. Ekstrüzyon sonrasında yapılan tüm mekanik deneylerde ürün özelliklerini etkileyen birincil faktörün sıcaklık olduğu, ekstrüzyon oranının ise sıcaklık kadar etkili olmadığı görülmüştür.
7. Ekstrüzyon sıcaklığının artması ürünlerin çekme ve basma dayanımlarını düşürdüğü ancak sünekliklerini artırdığını göstermiştir.
8. Yüksek sıcaklıkta ekstrüze edilen kompozit ürünlerin özgül dayanımlarının alüminyum ürünlere göre daha yüksek olduğu görülmüştür

9. 200 ve 300 ^{o}C de ekstrüze edilmiş ürünlerin çentik darbe deneylerinde alüminyum ürünlerin absorbe ettiği enerji kompozit ürünlere göre daha yüksektir. 400 ^{o}C de ise alüminyum ve kompozit ürünlerin tokluklarının çok yakın olduğu gözlenmiştir.
10. Ekstrüze edilen ürünlerin sertliklerinin ekstrüzyon oranının artmasına bağlı olarak düştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca iki farklı ekstrüzyon oranında ekstrüze edilen ürünlerin sertlikleri arasında ciddi fark olmadığı görülmüştür.

4.2. Öneriler

1. Ekstrüzyon ile üretim ve üretim sonrasında yapılan deneyler sonucunda magnezyum ve alüminyumun ara yüzey bağının düşük sıcaklıkta oluşmadığı görülmüştür. Ara yüzey bağını arttırmak için magnezyum biletin etrafına alüminyum dökülerek daha iyi ara yüzey bağı elde edilebilir.
2. Ara yüzey bağının kalitesi için farklı bir alternatif olarak metaller arasına bağlayıcı bir malzeme ince film şeklinde yerleştirilebilir.
3. Ara yüzey bağlantısı düşük olduğu için ürünler burulma deneyine tabi tutulamamıştır. Ara yüzey bağı daha iyileştirildiğinde burulma deneyi uygulanabilir.
4. Yoğunluğun daha düşük değerlere inmesi için farklı çaplarda magnezyum kullanılarak deneyler tekrarlanabilir.
5. Bu çalışmada sadece dairesel ve kare kesitli ürünler üretildi, farklı çalışmalarda ve deneylerde farklı bilet tasarımları ile ürün profilleri üretilebilir.
6. Elektrik iletkenliği istenen tasarımlarda bakır ile tasarlanmış biletlerin ekstrüzyonu denenebilir. Ayrıca iki metalli ürünlerin tel formuna getirilip getirilemeyeceği araştırılabilir.

KAYNAKÇA

1. Magnezyum Alaşımlarının İşlenmesi. Mert, Faruk. Ankara : s.n., 2012. 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu.

2. Makina ve malzeme paneli teknoloji öngörüsü raporu. s.l. : Tübitak, 2003.

3. Czerwinski, Frank. 2008,Magnesium Injection Molding. New York : Springer Science+Business Media.

4. Campanelli, Leonardo C., et al. 2013, Metallurgy and mechanical performance of AZ31 magnesium alloy friction. **Journal of Materials Processing Technology, 213**, s. 515-521.

5. Negendank, M., Mueller, S., Reimers, W., 2012,Coextrusion of Mg–Al macro composites,**Journal of Materials Processing Technology, 212**, s. 1954-1962.

6. Seçgin, O.,G., 2012, İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Yöntemi İle Üretilmiş AZ31 Magnezyum Alaşımının Korozyon Davranışının İncelenmesi., İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul,170s.

7. Lehmann, T., Stockmann, M., Naumann, J., 2009, Experimental and numerical invesitigations of Al/Mg compound specimens under load in an extended temperature range,**FME Transactions** , 37, s. 1-8.

8. Rhee, K. Y.,2004, Farbrication of aluminum/copper clad composite using hot hydrostatic extrusion process and its material characteristic, **Material Science and Engineering, 384,** s. 70-76.

9. Atalay, Ozan. 2006, Magnezyum ve Alaşımlarının Konstrüksiyon Malzemesi Olarak Otomotivde Kullanımı,İstabul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,81s.

10. Friedrich, Horst E. L.Mordike, Barry. 2006, Magnesium Technology Metallurgy, Design Data, Applications. Germany : Springer.

11. Bulut, R., 2009, Magnezyum AZ31 Alaşımının Sürtünme Kaynağı ile Birleştiririebilirliğinin İncelenmesi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 70s.

12. Selection and Application of Magnesium and Magnesium Alloys. ASM Handbook Ninth Edition Volume 2, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials. 1990, s. 1424-1589.

13. Duygulu, Ö., Yücel, O., Kaya, Ali, A., 2010, Magnezyum levha alaşımlarının üretimi ve geliştirilmesi., **İtü Mühendislik Dergisi, 9**, s. 133-138.

14. Kandemir, K., Can, Çetin A., 2003, Otomotiv endüstrisi için magnezyum alaşımlarının kullanım potansiyeli, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9**, s. 37-45.

15. Baghni, M., Yin Shun., WU, Jiu qing, LI. 2003, Mechanical properties and potential aplications of magnesium alloys, **Transactions of Nonferrous Metals Society of China,13**,s.1253-1259, China.

16. Mert, F., Özdemir, A., Karataş, Ç., 2010, Magnezyum Alaşımlarının basınçlı döküm yöntemiyle kalıplanabilirliğinin değerlendirilmesi,**Politeknik Dergisi, 13,** s. 165-176.

17. Mordike, B.L., Ebert, T., 2001, Magnesium Properties -Applications- Potential, **Materials Science and Engineering, 302**, s. 37-45.

18. Sönmez, Hüseyin. Metal Ekstrüzyonu . İstanbul : Eğitim yayınları A.Ş., 1989.

19. Kuzulu,N.2012, İki Bileşenli Takoz Siztemlerinin Hidrostatik Ekstrüzyonunda Ürün-Takoz İlişkisinin Fiziksel Benzeşim Yöntemiyle İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi,Kayseri,

20. Epler, M.E., Misiolek, W. Z. 2006, Novel billet design for co-extrusion of ferrous material tubes**,Materials Science and Engineering, A 429**, s. 43-49.

21. Khosravifard, A., Ebrahimi, R. 2010, Investigation of parameters affecting ınterface strength in al/cu clad bimetal rod extrusion process., **Material and Desingn, 31,** s. 493-399.

22. Kazanoeski, Pawel, Misiolek, Wojciech Z., Sikka, Vinod K. , 2003, Analysis of the influence of the initial billet geometry and die design on the product geometry during bi-material tube extrusion. Trans Tech PublicationsMaterial Science Forum. Switzerland: s. 426-432.

23. Krishna, B. Vamsi, Venugopal, P., Rao, K. Prasad. 2005, Co-ekstrusion of dissimilar sintered P/M preform- An explored route to produce bimetallic tubes. **Materials Science and Engineering, 407**, s. 77-83.

24. Kazanowski, P., Epler, Mario E., Misiolek, Wojciech Z. 2004, Bi-metal rod extrusion—process and product optimization. **Materials Science and Engineering, 369,**s. 170-180.

25. Feng, Fei ve Huang, Shangyu. 2014, Experimental study on tensile property of AZ31B magnesium alloy at different high strain rates and temperatures, **Materials and Design, 57,** s. 10-20.

26. Ge, Q. ve Vedani, M. 2011, Formability of Wrought Magnesium Alloys by Hot Compression Testing and Laboratory-Scale Extrusion.. *The 14th International ESAFORM Conference on Material Forming*, 2011, s. 413-418.

27. Letzig, D., Swiostek, J., Bohlen, J. 2008, Wrought magnesium alloys for structural applications, **Materials Science and Technology, 24**, s. 991-996.

28. Uematsu, Y. 2006, Effect of extrusion conditions on grain refinement and fatigue behavour in magnesium alloys., **Metarials Science and Engineering, 434**, s. 131-140.

29. Zhang, H., Yan, Q., Li, L. 2008, Microstructures and tensile properties of az31 magnesium alloy by continuous extrusion forming process., **Materials Science And Engineering, 486**, s. 295-299.

30. Chandaresekaran, M., Jhon, M. Y. 2004, Effect of materials and temperature on the forward extrusion of magnesium alloys. **Materials Science And Engineering, A 381** , s. 308-319.

31. Luo, A.A., Mishra, R.K. ve Sachdev, A.K. 2011, High-ductility magnesium–zinc–cerium extrusion alloys. **Scripta Materialia, 64**, s. 410-413.

32. Hasiang, S. H. ve Kuo, J. L. 2003, Investigation on the hot extrusion process of magnesium alloy sheet **Journal of Materials Processing Technology, 140**, s. 6-13.

33. Wu, B. L., Zhao, Y.,H., Du, X., H.,et al.,2010, Ductility Enhancement Of Extruded Magnesium Via Yttrium Addition**Materials Science And Engineering, 527**, s. 4334-4340.

34. Sadeghi, A., Hoseini, M.,Pekguleryuz, M. 2012, Tube extrusion of AZ31alloy with Sr addition, **Materials Science And Engineering, 544**, s. 70-79.

35. Chang, L. L., Wang, Y., Zhao, X. 2008, Microstructure and mechanical properties in an az31 magnesium alloy sheet fabricated by asymmetric hot extrusion, **Materials Science and Engineering, 496**, s. 512-516.

36. Zhang, Z., Xu, H., Wang, Q. 2008, Corrosion and mechanical properties of hot extruded az31magnesium alloys, **Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 18,**s. 140-144.

37. Swiostek, J., Göken, J., Letzig, D., 2006, Hydrostatic extrusion of commercial magnesium alloys at 100^{o}C and its influence on grain refinement and mechanical properties, **Metarials Science and Engineering**, 424, s. 223-229.

38. Thirumurugan, M., Thirugnasambandam, G. M., Kumaran, S., 2011, Microstructural refinement and mechanical properties of direct extruded ZM21 magnesium alloys**. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 21**, s. 2154-2159.

39. Thirumurugan, M., Anko Rao, S. Kumaran, S., 2011, Improved ductility in ZM21 magnesium- aluminium macrocomposite produced by co- extrusion., **Journal of Materials Processing Technology, 211,** s. 1637-1642.

40. Sofuoglu, H., Gedikli, H., 2004, Physical and numerical analysis of three dimensional extrusion process,**Computational Materials Science, 31**, s. 113-124.

41. Misiolek, W.Z. 1996, Material physical response in the extrusion process, **Journal of Materials Processing Technology, 60**, s. 117-124.

42. Sofuoglu, H., 2006, A technical note on the role of process parameters in predicting flow behavior of plasticine using design of experiment. **Journal of Materials Processing Technology, 178**, s. 148-153.

43. eFunda: The Ultimate Online Reference for, [Erisim tarihi:Eylül 2014] Engineers: **http://www.efunda.com/home.cfm.**

EKLER

1. Alüminyum ve kompozit çubukların sıcaklık ve ekstrüzyon oranlarına göre çekme testinden elde edilen akma değerleri ve özgül akma dayanımları

Numune Adı	1.Test Çekme testi/ akma dayanımı	2.Test Çekme testi /akma dayanımı	Ortalama Çekme testi / akma dayanımı	Yoğunluk (g/mm^3)	Özgül Akma Dayanımı ($MPa/(g/mm^3)$)
K 14-200	173,016	189,729	185,65	2,44	76,08
K 14-250	149,849	170,768	160,3	2,44	65,70
K 14-300	85,029	118,848	101,9	2,44	41,77
K 14-350	125,713	123,321	124,5	2,44	51,03
K 14-400	113,797	116,247	115	2,44	47,14
K-9-200	151,753	143,579	147,6	2,44	60,51
K-9-250	121,477	113,372	117,42	2,44	48,12
K-9-300	119,011	115,372	117,2	2,44	48,02
K-9-350	100,316	100,207	100,26	2,44	41,09
K-9-400	93,043	95,786	94,41	2,44	38,69
A 14-200	207,918	207,076	207,5	2,7	76,85
A 14-300	186,378	177,948	182,16	2,7	67,46
A-14-400	115,197	118,311	115,7	2,7	42,85
A-9-200	125,528	142,492	134	2,7	49,63
A-9-300	115,326	110,179	112,75	2,7	41,76
A-9-400	77,76	75,971	76,86	2,7	28,46

2. Alüminyum ve kompozit çubukların sıcaklık ve ekstrüzyon oranlarına göre çekme testinden elde edilen maksimum çekme değerleri ve özgül çekme dayanımları

Numune Adı	1.Test maksimum çekme dayanımı	2.Test Maksimum çekme dayanımı	Maksimum çekme dayanım ortalası	Yoğunluk (g/mm^3)	Özgül Çekme Dayanımı ($MPa/(g/mm^3)$)
K 14-200	280,014	269,047	274,61	2,44	112,5
K 14-250	242,194	239,118	240,65	2,44	98,6
K 14-300	218,186	220,369	219,27	2,44	89,8
K 14-350	204,03	201,51	202,77	2,44	83,1
K 14-400	193,773	194,329	194	2,44	79,5
K-9-200	273,936	266,3	270,1	2,44	110,7
K-9-250	233,564	226,075	229,8	2,44	94,18
K-9-300	210,673	211,209	210,94	2,44	86,4
K-9-350	185,177	186,702	185,9	2,44	76,2
K-9-400	176,101	176,846	176,47	2,44	72,3
A 14-200	311,782	328,893	319,9	2,7	118,4
A 14-300	253,872	247,255	250,56	2,7	92,8
A-14-400	196,559	197,188	196,7	2,7	72,8
A-9-200	308,585	319,754	314,16	2,7	116,3
A-9-300	186,966	183,303	185,13	2,7	68,5
A-9-400	149,41	151,719	150,56	2,7	55,7

3. Alüminyum ve kompozit çubukların sıcaklık ve ekstrüzyon oranlarına göre basma testinden elde edilen basmadaki akma dayanımları ve özgül basma dayanımları

Numune Adı	1.Test Basma/ akma dayanımı	2. Test Basma/ akma dayanımı	Ortalama	Yoğunluk (g/mm^3)	Özgül Basma Dayanımı ($MPa/(g/mm^3)$)
K 14-200	246	239	242,5	2,44	99,3
K 14-250	198	205	201,5	2,44	82,5
K 14-300	184	159	171,5	2,44	70,2
K 14-350	144	220	182	2,44	74,5
K 14-400	168	103	135,5	2,44	55,5
K-9-200	248	250	249	2,44	102
K-9-250	148	189	168,5	2,44	69
K-9-300	180	185	182,5	2,44	74,7
K-9-350	131	139	135	2,44	55,3
K-9-400	76	114	95	2,44	38,9
A 14-200	280	281	280,5	2,77	101,2
A 14-300	232	237	234,5	2,77	84,6
A-14-400	151	121	136	2,77	49
A-9-200	286	301	293,5	2,77	105,9
A-9-300	121	167	144	2,77	51,9
A-9-400	96	94	95	2,77	34,2

*K:kompozit , A: alüminyum

*14-9 ekstrüzyon oranı

*200 sıcaklık

4. Alüminyum ve kompozit çubukların çentik darbe deneyinde ürünlerin absorbe ettiği enerji miktarları

Numune adı	Test1. Çentik darbe testi	Test2. Çentik darbe testi	Test3. Çentik darbe testi	Ortalama absorbe edilen enerji (J)
Ç-K-200	76,4	76,4	---	76,4
Ç-K-300	108,8	122,5	112,7	114,6
Ç-K-400	124,5	133,3	119,56	125,7
Ç-Al-200	145	136,2	136	139,1
Ç-Al-300	146	163,6	169,5	159,7
Ç-Al-400	139,2	137,2	139,2	138,5

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Güher Pelin TOKER
Uyruğu: Türkiye (TC)
Medeni Durumu: Bekâr
e-mail: guherpelin@hotmail.com
Adres: Yeni. Mah. 9. Cad. 11. Sok. Polat Apt. 13/1
KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	**Kurum**	**Mezuniyet Tarihi**
Yüksek Lisans	EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü	2014
Lisans	SDÜ Makine Mühendisliği	2012
Lise	75. Yıl Cumhuriyet Lisesi	2007

YABANCI DİL

İngilizce