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

TOZ METALURJİSİ SÜRECİNDE EKSTRÜZYONLA TAKVİYESİZ Al VE Al/SiCp KOMPOZİT ÜRETİMİ VE ÜRETİM PARAMETRELERİNİN ÜRÜN ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Hazırlayan
Şükrü TOYGAR

Danışman
Doç. Dr. Fehmi NAİR

Yüksek Lisans Tezi

Ocak 2020
KAYSERİ

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

TOZ METALURJİSİ SÜRECİNDE EKSTRÜZYONLA TAKVİYESİZ Al VE Al/SiCp KOMPOZİT ÜRETİMİ VE ÜRETİM PARAMETRELERİNİN ÜRÜN ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Şükrü TOYGAR

Danışman
Doç. Dr. Fehmi NAİR

Ocak 2020
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.



Şükrü TOYGAR

İmza

"Toz Metalurjisi Sürecinde Ekstrüzyonla Takviyesiz Al ve Al/SiCp Kompozit Üretimi ve Üretim Parametrelerinin Ürün Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi" adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi' ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan
Şükrü TOYGAR

Danışman
Doç. Dr. Fehmi NAİR

Makine Mühendisliği ABD Başkanı
Prof. Dr. Necdet ALTUNTOP

Doç. Dr. Fehmi NAİR danışmanlığında **Şükrü TOYGAR** tarafından hazırlanan **"Toz Metalurjisi Sürecinde Ekstrüzyonla Takviyesiz Al ve Al/SiCp Kompozit Üretimi ve Üretim Parametrelerinin Ürün Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi"** adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

09 / 12 / 2019

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Fehmi NAİR .....

Üye : Doç. Dr. Kemal YILDIZLI .....

Üye : Doç. Dr. A. Alper CERİT .....

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 21/01/2020. tarih ve 2020/06-05 ...sayılı kararı ile onaylanmıştır.

...21./01./2020

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımı sürekli olarak değerli görüş ve katkılarıyla yönlendiren ve beni teşvik eden sayın hocam Doç. Dr. Fehmi NAİR'e teşekkürü bir borç bilirim

Deney tesisatının imalatının yapılmasında ve kurulmasında yardımlarını esirgemeyen 2. Ana Bakım Fabrika Müdürlüğü'ne ve personellerinden eski mesai arkadaşlarım Erdener ÇELİK ve Nihat KOÇYİĞİT'E teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmam esnasında sabır ve yardımlarını esirgemeyen eşime ve yetişmemde büyük emekleri olan anne ve babama teşekkür ederim.

Bu çalışmanın daha iyi ve ileri, yapıcı ve sağlam çalışmalara küçük bir katkı, büyük bir dürtü olmasını içtenlikle dilerim.

.

Şükrü TOYGAR

Ocak 2020, KAYSERİ

TOZ METALURJİSİ SÜRECİNDE EKSTRÜZYONLA TAKVİYESİZ Al VE Al/SiCp KOMPOZİT ÜRETİMİ VE ÜRETİM PARAMETRELERİNİN ÜRÜN ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Şükrü TOYGAR

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ocak, 2020
Danışman: Doç. Dr. Fehmi Nair

ÖZET

Alüminyum esaslı seramik takviyeli kompozitler alüminyumun yüksek şekillendirilebilirlik ve tokluk özelliği ile seramiklerin yüksek termal ve mekanik özelliklerini birleştirirler. Al ve Al/SiC kompozitlerin üretiminde, toz metalürjisi (TM) süreçlerinin kullanılması önemli avantajlar sağlamaktadır. Homojen ve kontrol edilebilir matriks mikro yapısının elde edilmesi, metal matriks içerisine takviye elemanının homojen dağılımının sağlanması veya kontrol edilebilir fonksiyonel dağılımımın elde edilebilir olması bu avantajlardan bazılarıdır. Bunun yanında kompozit bileşenlerinin tür ve hacım oranlarının kontrol edilmesiyle ürün özelliklerinin kontrol edilebilir olması da bu yöntemin önemli bir avantajıdır.

Bu çalışmada toz metalurjisi sürecinde ekstrüzyon tekniği kullanılarak takviye edilmemiş Al ve SiC seramik parçacık takviyeli AL/SiC kompozitler üretilmiştir. Takviye edilmemiş Al ürünlerin üretiminde 44µm < Alp <420µm tane boyutunda 1080 alüminyum tozları kullanılmıştır. Al/SiC kompozitlerin üretiminde ise aynı özellikdeki Al tozları % 10 hacim oranında 52 mikron SiC parçacıkları ile takviyelendirilmiştir.Üretilen numuneler farklı ekstrüzyon oranlarında (RE: 50, 75,125) ekstrüze edilmiştir. Ekstrüzyon sonrası artık takoz ve ürünler üzerinde mikroyapısal ve mikrosertlik incelemeleri yapılmıştır. Bu incelemelerle takozların deformasyon davranışları, takoz ve ürün iç yapısı arasındaki ilişkiler ve ürün mikrosertlik özelliklerinin işlem şartlarına bağlı değişimi değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toz Metalurjisi, Metal Matrisli Kompozitler, Toz Ekstrüzyon

THE STUDY OF UNREINFORCED Al AND Al/SiCp METAL MATRIX COMPOSITE PRODUCTION USING EXTRUSION TECHNIQUES DURING POWDER METALLURGY PROCESS AND OF THE EFFECTS OF PRODUCTION PARAMETERS ON PRODUCT PROPERTIES

Şükrü TOYGAR

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, January 2020
Supervisor: Assoc.Prof. Dr. Fehmi NAİR

ABSTRACT

Metal matrix composites (MMCs) have been widely used in advanced technology and general engineering applications because of their superior physical and mechanical properties. Aluminum (Al) based composites reinforced with ceramic particulates combine the great shapeability and toughness of Al, and high thermal and mechanical properties of ceramics. The use of powder metallurgy process (PM) in MMC production affords important advantages. Obtainment of homogenous and controllable matrix micro-structure and the provision of homogenous distribution of reinforced elements in the MMC, or achievability of controllable functional distribution are only some of these advantages. In addition, the controllability of product properties through the manipulation of the type and volume fractions of components is one important advantages of this method.

In this study, Al and SiC ceramic particle reinforced Al / SiC composites were produced using the extrusion technique in the powder metallurgy process. Aluminum powders (1080) of 44μm <Alp <420μm grain size were used in the production of non-reinforced Al products. In the production of Al / SiC composites, Al powders with the same properties are reinforced with 10% volume ratio of 52 micron SiC particles. The produced samples were extruded at different extrusion ratios (RE: 50, 75,125). After the extrusion, microstructural and microhardness examinations were performed on retained billet and products. With these examinations, the deformation behavior of the billet, the relationships between the billet and the product internal structure and the change of the product microhardness properties depending on the process conditions were evaluated

.**Keywords:** Powder Metallurgy, Metal Matrix Composites, Powder Extrusion

İÇİNDEKİLER

TOZ METALURJİSİ SÜRECİNDE EKSTRÜZYONLA TAKVİYESİZ Al VE Al/SiCp KOMPOZİT ÜRETİMİ VE ÜRETİM PARAMETRELERİNİN ÜRÜN ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK ii

YÖNERGEYE UYGUNLUK iii

KABUL VE ONAY iv

TEŞEKKÜR v

ÖZET vi

ABSTRACT vii

İÇİNDEKİLER viii

TABLOLAR LİSTESİ x

ŞEKİLLER LİSTESİ xi

GİRİŞ 1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1.Giriş 3

1.2. Metal Matriksli Kompozitler 5

1.3. MM Kompozitlerin Toz Metalürjisiyle Üretimi 7

1.3.1. Toz Metalürjisi 7

1.3.2. Metal matriksli Kompozitlerin Toz Metalürjisi Sürecinde Ekstrüzyonla Üretimi 10

1.3.3. Deformasyon Davranışı 14

2. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1.Giriş…….....…….19

2.2.Malzeme ve Yöntem.....20

2.3 M/S Toz Karışımlarının ve MMK Takozların Hazırlanması 22

2.4 Al ve Al/SiC takozların Ekstrüzyonu... 24

2.5 Mekanik ve Metallografik İncelemeler.....26

3. BÖLÜM

DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

3.1. Takoz Hazırlama Parametrelerinin Takoz ve Ürün Özelliklerine Etkileri..... 28

3.2. Ekstrüzyon öncesi ve sonrası Takozun Mikrayapısal Özellikleri.....29

3.3 Ekstrüzyon Oranının Ürün Mukavemetine Etkisi.....30

3.4 Toz Metalurjisi ile Üretilen Takozun Deformasyon Davranışı.....32

3.5 Ürün Mikroyapılarının İncelenmesi.....34.

3.6. Ekstrüzyona Bağlı olarak Takoz ve Ürün Sertlik Özellikleri.....35

3.7. Al- SiC toz karışımının Ekstrüzyonunda Akış Davranışı.....37

3.8. Al- SiC toz karışımının Ekstrüzyonunda Takoz ve ürün mikrosertlik özellikleri.....40

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1.Genel Sonuçlar 42

4.2. Öneriler …….....…43

KAYNAKÇA 44

ÖZGEÇMİŞ.....48

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Alüminyum tozlarının bazı fiziksel Özellikleri.....21
Tablo 2.2 Alümimyum tozlarının Mekanik Özellikleri.....21
Tablo 3.1 Takoz sıkıştırma basıncana bağlı olarak takoz yoğunluğu, ürün yoğunluğu, takoz sertliği ve ürün sertliğinin değişimi 28

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Metal matrisli Kompozitten İmal Edilmiş Bazı Endüstriyel Ürünler.....4

Şekil 1.2 Farklı hacim oranlarında üretilmiş Al easaslı SiC parçacık takviyeli Kompozitin mikroyapı görüntüsü.....5

Şekil 1.3 Karıştırmalı döküm tekniği ile üretilmiş Al/SiC metal matrisli kompozitte görülen bazı üretim kusurları, a) Gaz /çekme boşluğu, b) Çekme boşluğu c) Parçacık yığılması, d) Takviye elemanı öbeklenmesi.....6

Şekil 1.4 Al esaslı SiC parçacık takviyeli MMK in Tozmetalurjisiyle üretim süreci.....7

Şekil 1.5 Toz metalurjisi ile üretilmiş Al / SiC kompozitin iç yapı görüntüsü.....8

Şekil 1.6 Alüminyum tozlarının basınç altında yoğunlaştırılması.....9

Şekil 1.7 Ekstrüzyon teknikleri ve zımba yolu ekstrüzyon basıncı ilişkisi.a)Doğrudan ekstrüzyon, b) Dolaylı Ekstrüzyon, c) Hidrostatik ekstrüzyon.....11

Şekil 1.8 Ekstrüzyonla gevşek tozdan doğrudan ürün elde edilmesi.....12

Şekil 1.9 Ekstrüzyon sırasında Al tzlarının zımba yoluna bağlı olarak akış davranışı ve gözeneklilik ilişkisi.....14

Şekil 1.10. Kalıp girişi deformasyon analizi (FEM) a)Etkin şekil değiştirme dağılımı, (V=0.5 mm/s, V=11.5 mm/s), b) Etkin gerilme (MPa) dağılımı, (V=0.5 mm/s, V=11.5 mm/s), c) Etkin şekil değiştirme hızı (s-1)dağılımı, (V=0.5 mm/s, V=11.5 mm/s).....16

Şekil 1.11. Alüminyum (Al99.5)extrüzyonunda kalıp üzerinde gerilme dağılımı.....17

Sekil 1.12 Ekstrüzyonda takoz içerisinde B tipi akışın gerçek ürün içerisinde ızgara modelinde ve tabakalı simülasyon çalışmasında görüntüsü 18

Şekil 2.1 Toz Metalurjisi ile Al ve Al/SiC kompozitlerin üretim süreci.....20

Şekil 2.2 a) Alüminyum ve b) SiC parçacıklarının SEM görüntüsü.....21

Şekil 2.3 Takviye malzemesi SiC parçacıklarının boyut analizi.....22

Şekil 2.4 Turbula toz karıştırma ünitesi.....23

Şekil 2.5 Al, AL/SiC takozların sıcak preste üretilmesi, a) Sıcak pres ünitesi, b) Presleme Kalıbı , c) Üretilen takozlar.....23

Şekil 2.6 Ekstrüzyon ünitesinin şematik görünümü, 1.Zımba, 2.Kılavuz, 3. Çekirdek , 4. Kovan, 5. ısıtıcı, 6. İzolasyon, 7. Pul, 8. Takoz, 9.kalıp, 10. Kalıp desteği....24

Şekil 2.7 a) Ekstrüzyon ünitesi, b) Farklı ekstrüzyon oranlarında (R:25, 50, 75, 100, 125, 250, 500) imal edilmiş ekstrüzyon kalıpları ve imalat resmi.....25

Şekil 2.8 Kısmen ektrüze edilmiş takoz ve ekstrüzyon ürünü görüntüleri.....27

Şekil 2.9 Metallografik inceleme ve mikrosertlik testi için hazırlanılan numuneler ve mikrosertlik test cihazı 27

Şekil 3.1 Takoz yoğunlaştırma basıncına bağlı olarak takoz yoğunluğunun ve bu takozlarla yapılan ekstrüzyon sonrası ürün yoğunluklarının değişimi 29

Şekil 3.2 Ekstrüzyon oranındaki artışa bağlı olarak ürün sertlik değişimi. 30

Şekil 3.3 Takoz içerisinde sıkıştırlmış ancak deforme olmamış toz taneciklerinin a) SEM (back scatter) , b) SEM normal görünüm, c) optik mikroskop görüntüsü ve d) de ise SEM resminin detay görüntüsü.....31

Şekil 3.4 Deforme olan Al toz parçacıklarının SEM görüntüsü.....31

Şekil 3.5 Takoz içerisinde akış profiline bağlı olarak deformasyon öncesi ve deformasyon bölgelerinde toz taneciklerinin akış hattı içerisinde şekil değiştirme davranışları.....33

Şekil 3.6 RE:50 Ekstrüzyon oranında ekstrüze edilen numunede takoz ve ürün kesit mikroyapısı 34

Şekil 3.7 RE:125 Ekstrüzyon oranında ekstrüze edilen takozdan arta kalan parça üzerinde mikrosertlik taraması.....35

Şekil.3.8 Al tozlarından RE:125 Ekstrüzyon oranında ekstrüze edilen numunede takoz ve ürün iç yapı görüntüleri ve sertlik değerleri 36

Şekil 3.9 %10 SiC takviyeli kompozit takozda a deforme olmamış bölge, b) deformasyon bölgesi.....38

Şekil 3.10 a) Deformasyon bölgesinde b) ürün içerisinde Al/SiC kompozit yapısı.....39

Şekil 3.11 a) Deforme olmamış takoz içinden, b) Deformasyon bölgesi kalıp giriş köşesinden, c) Ürün içerisinde farklı bölgelerden alınmış mikrosertlik iz görüntüleri ve yapıları 41

GİRİŞ

Günümüzde geleneksel malzemelerin yerini daha çok amaca uygun olarak üretilen fonksiyonel malzemeler almaktadır. Bu malzemelerde malzemeyi oluşturan bileşenlerin özellikleri tüm üretim sürecinde kontrol edilerek amaca en uygun nihai malzeme özellikleri elde edilebilmektedir. Bu malzeme bileşenlerinin makro, mikro ve nano seviyede kontrol edilmesiyle sağlanabilmektedir. Bu çalışmanın ana konusu olan toz metalürjisi ile üretim, malzeme bileşenlerinin makro ve mikro seviyede kontrol edilebildiği bir üretim sürecidir.
Toz metalürjisi farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip malzemelerin kontrollü bir şekilde birleştirilmesine ve bu sayede optimum ürün özelliklerinin elde edilebilmesine imkan sağlar. Bu özelliği bakımından tek bileşenli malzemelerin üretiminde olduğu kadar çok bileşenli kompozit malzemelerin üretiminde de avantajlıdır.

Toz metalürjisi süreci ana hatlarıyla, toz üretimi, tozların sıkıştırılıp yoğunlaştırılması (kompaktllama) ve sinterleme aşamalarından oluşur. Toz metalürjisi ile bir plastik şekillendirme yöntemi olan ekstrüzyon işlemleri aynı süreçte birleştirilerek her iki metodunda avantajları üründe toplanabilir. Ayrıca ekstrüzyon işleminin yüksek deformasyon hız ve oranlarında yapılması matriks malzemesinde tane inceltici etkiye sahip olacaktır. Matriks yapısında tane incelmesi son ürünün mukavemet özelliklerini arttırması yanında seramik takviye elemanının yapıyı gevrekleştirici etkisini azaltarak tok bir malzeme yapısının elde edilmesini sağlar.

Bu çalışmanın konusu alüminyum esaslı SiC ve takviyeli çubuk, tel ve boru formunda, yüksek fiziksel ve mekanik özelliklere sahip metal matriksli kompozit ürünlerin toz metalürjisi sürecinde ekstrüzyon tekniklerini kullanarak yüksek şekil değiştirme oranlarında ve hızlarında üretilmesidir. Yine üretim parametrelerinin ürün özellikleriyle

ve birbirleriyle olan ilişkilerini ortaya koyarak optimum ürün özelliklerini sağlayan üretim parametrelerinin belirlenmesi bu projenin konusudur.

Bu çalışma kapsamında, farklı toz tane boyutlarında ve farklı alaşımlarda alüminyum matriks malzemesi, farklı tane boyutlarında SiC ve B4C seramik tozlarıyla belirli oranlarda karıştırılarak ön preslenmiş olarak yada gevşek toz karışımları olarak ekstrüzyona hazır yarı mamuller üretilecektir. Bu kapsamda yarı mamul hazırlama parametrelerinin nihai ürün özelliklerine ve ekstrüzyon parametrelerine etkisinin araştırılması amaçlanmaktadır. Üretilen bu yarı mamuller direk, ekstrüzyon teknikleriyle ürüne dönüştürülecektir. Bu esnada farklı ekstrüzyon parametrelerinin diğer üretim parametreleriyle ve nihai ürün özellikleriyle etkileşimi ve de yüksek ekstrüzyon oran ve hızlarının matriks tane yapısındaki incelmeye etkisi incelenecektir.

1. BÖLÜM

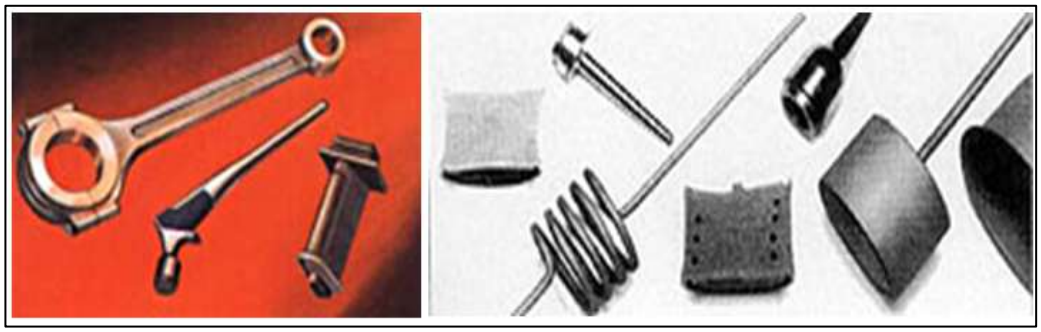
GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Giriş

Dünyada ve ülkemizde teknolojik gelişmeler malzeme teknolojisindeki gelişmeye bağımlıdır. Dünyada teknoloji üreten ülkelere bakıldığında bunların öncelikle malzeme teknolojisinde ileri oldukları görülür. Ülkemizin teknoloji transfer eden ülke konumundan, teknolojiyi üreten ülke konumuna geçmesi öncelikle teknolojisinin ihtiyaç duyduğu malzemeleri üretebilir konuma gelmesine bağlıdır.

Kompozit malzemeler sergiledikleri üstün fiziksel ve mekanik özellikleri nedeniyle günümüz teknolojik ihtiyaçlarına cevap verebilen malzemelerdir. Otomotiv endüstrisinden savunma sanayisine, biyomedikal uygulamalardan uzay ve havacılık sanayine kadar pek çok sahada uygulama alanına sahiptir Metal matriksli kompozitler (MMK) metallerin ve seramiklerin ortak özelliklerini barındırmaları nedeniyle kompozit malzemeler içerisinde önemli bir yere sahiptir. Bu kompozitler üzerinde yapılan araştırmalar ve endüstriyel uygulama alanları her geçen gün artmaktadır (Şekil 1.1).

Bu çalışmanın amacı alüminyum esaslı seramik parçacık takviyeli çubuk ve tel formunda üstün nitelikli metal matriksli kompozit ürünleri toz metalürjisi (TM) ve ekstrüzyon tekniklerinin avantajlarını birleştirerek üretmek ve üretim parametrelerinin ürün özelliklerine etkilerini incelemektir. TM yöntemiyle metal matriksli kompozitlerin (MMK) üretimindeki en önemli avantaj, matriks ve takviye elemanını oluşturan metal ve seramik tozlarının türünü, tane boyutunu, karışım oranlarını ve ürün içerisindeki dağılımının istenilen şekilde ayarlanarak amaca uygun ürün özelliklerinin elde edilebilir olmasıdır



Şekil 1.1 Metal matrisli Kompozitten İmal Edilmiş Bazı Endüstriyel Ürünler

Ekstrüzyon tekniği ise, çubuk, tel ve boru formundaki ürünlerin üretilmesinde vazgeçilmez bir teknik olması yanında, şekil değiştirmenin basma kuvvetleri altında gerçekleşmesi nedeniyle toz metalürjisi sürecine uygun bir işlem olması bakımından avantajlıdır. Toz metalürjisiyle ince tel ve çubukların tam yoğunlaştırılmış olarak üretilebilmesi yalnızca ekstrüzyonla mümkün olabilmektedir.

Ekstrüzyonla yüksek şekil değiştirme oranlarında üretimler yapılarak, gözeneksiz, yüksek metal/seramik ara yüzey bağına ve yönlenmiş özelliklere sahip ürünlerin üretilmesi amaçlanmaktadır. Bunla birlikte yüksek şekil değiştirme hızlarının ve oranlarının malzemede tane inceltici etkisinden yararlanarak matriks malzemesinin tane yapısı inceltilerek ilave mukavemet artışının sağlanması amaçlanmaktadır. Yani, metal matrikse seramik takviye elemanı ilavesiyle sağlanacak mukavemet artışı ile matriks tane yapısının inceltilmesiyle sağlanacak mukavemet artışı birleştirilmiş olacaktır. Bunun sonucunda ilave sinterlemeye gerek kalmadan yüksek sertlik ve çekme direnci yanında yüksek tokluğa sahip, iyi aşınma ve korozyon özellikleri sergileyen ürünler üretilebilecektir.

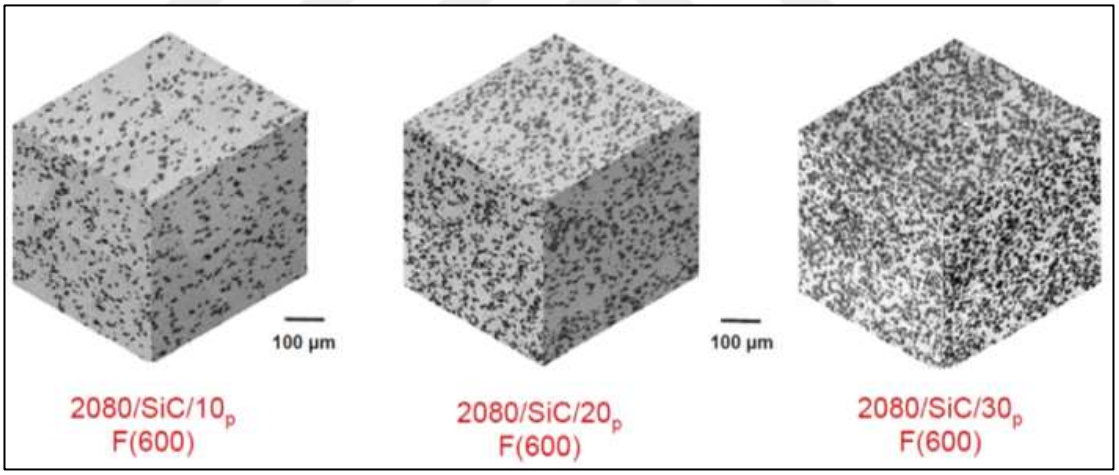
Sonuç olarak bu çalışmada, Al esaslı SiC seramik takviyeli MMK tel ve çubukların toz metalürjisi sürecinde üretilmesi, ekstrüzyon sürecinde yüksek ekstrüzyon oranlarında matrikste tane incelmesinin elde edilmesi ve bu sayede ürün mekanik ve fiziksel özelliklerinin geliştirilmesi, işlem parametrelerinin son ürün özelliklerine etkilerinin incelenerek optimum işlem parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Yine bu çalışmada , gevşek tozdan oluşan biletlerin ekstrüzyon sırasında deformasyon davranışı ve özel olarak deformasyon bölgesindeki akış davranışı incelenmiştir. Takozu

oluşturan Al toz parçaçıklarının sergilediği akış davranışının ve bu davranışın döküm takozlardaki tane akış davranışı ile mukayaseli analizi yapılmıştır.

1.2. Metal Matriksli Kompozitler

Metal matriksli kompozitler (MMK) metal esaslı (Al, Mg, Ti, vb.) bir matriks malzemesinden ve onu destekleyen seramik esaslı (SiC, B4C, Al2O3,v.b) bir takviye elemanından oluşur (Şekil 1.2). MM kompozitlerin kullanımındaki temel amaç matriks malzemesinin arzu edilen fiziksel ve mekanik özellikleriyle (şekil değiştirme kabiliyeti, tokluk, termal iletkenlik) seramik takviye elemanının arzu edilen fiziksel ve mekanik özelliklerini (yüksek dayanım, yüksek özgül değerler, termal kararlılık, vb.) bir araya getirmektir. MMK ürün özellikleri, matriks ve takviye elemanının özellikleri, karışım oranı ve kompozit üretim tekniği gibi temel faktörlere bağlıdır.

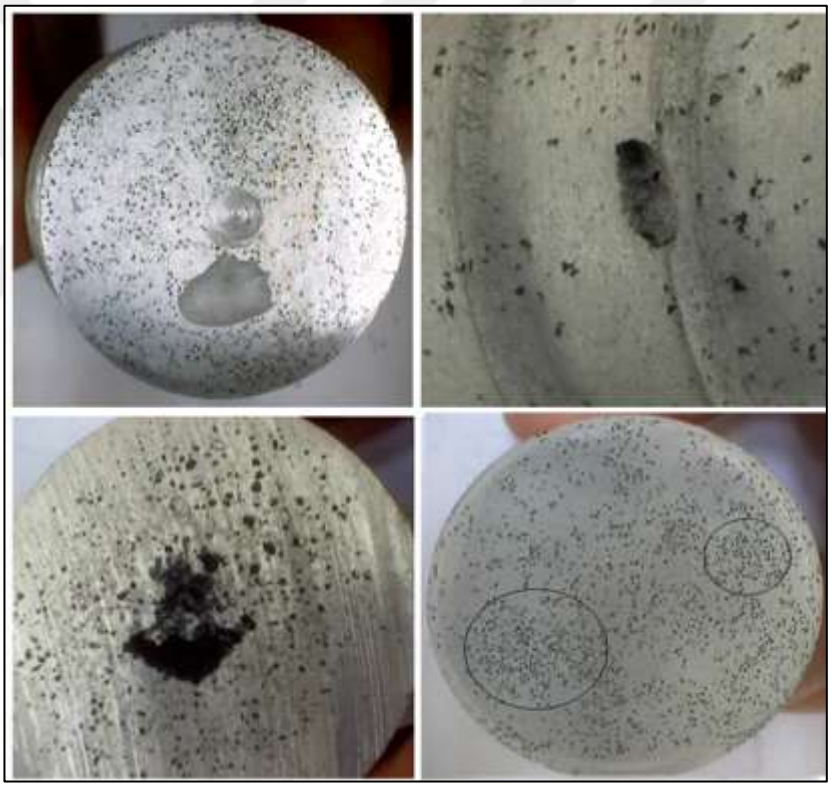


Şekil1.2 Farklı hacim oranlarında üretilmiş Al easaslı SiC parçacık takviyeli Kompozitin mikroyapı görüntüsü

Metal matriksli kompozitler; parçacıklarla, nano boyutlu dağılımlarla, fiberlerle yada karbon nono tüplerle takviye edilebilirler. Ancak en büyük ilgi seramik parçacıklarla takviye edilmiş kompozitlere olmuştur. Çünkü ürünün, tribolojik, ısıl ve mekanik özellikleri , parçacıkla ilgili, hacım oranı, boyutu, dağılımı gibi parametreler değiştirilerek kolayca kontrol edilebilir [1-14].

Alüminyum matriksli (2xxx, 5xxx,7xxx, vb.) ve seramik parçacık (SiCp, Al2O3, B4C, vb.) takviyeli MMK' lere karşı ilgi dünyada ve ülkemizde giderek artmaktadır. Artan bu

ilginin en önemli sebepleri arasında matriks ve takviye elemanı maliyetinin düşük olması ve şekillendirilebilme özelliklerinin iyi olması ve üretimde kullanılan imal usullerinin alışılagelmiş veya onlara çok yakın olmasıdır [5-12]. Ayrıca matriks malzemesi olarak Al alaşımları düşük yoğunluk, yüksek korozyon direnci, yüksek elektrik ve ısıl iletkenlikleri gibi arzu edilen fiziksel ve mekanik özelliklerin iyi bir birleşimine sahiptirler. Öte yandan Al alaşımlarının kolay şekillendirilebilmelerine karşın şekillendirmeden sonra yaşlandırmayla sertleşebilir olmaları önemli bir avantaj sağlar [15-18].



Şekil1.3 Karıştırmalı döküm tekniği ile üretilmiş Al/SiC metal matrisli kompozitte görülen bazı üretim kusurları, a) Gaz /çekme boşluğu, b) Çekme boşluğu c) Parçacık yığılması, d) Takviye elemanı öbeklenmesi [18]

MM kompozitler aralarında karıştırmalı döküm, basınçlı döküm, toz metalürjisi (TM), basınçlı sıvı metal süzdürme tekniği, derin çekme, haddeleme, sıcak extrüzyon gibi sıcak ve soğuk şekillendirme tekniklerinin bulunduğu geleneksel ve ileri şekillendirme

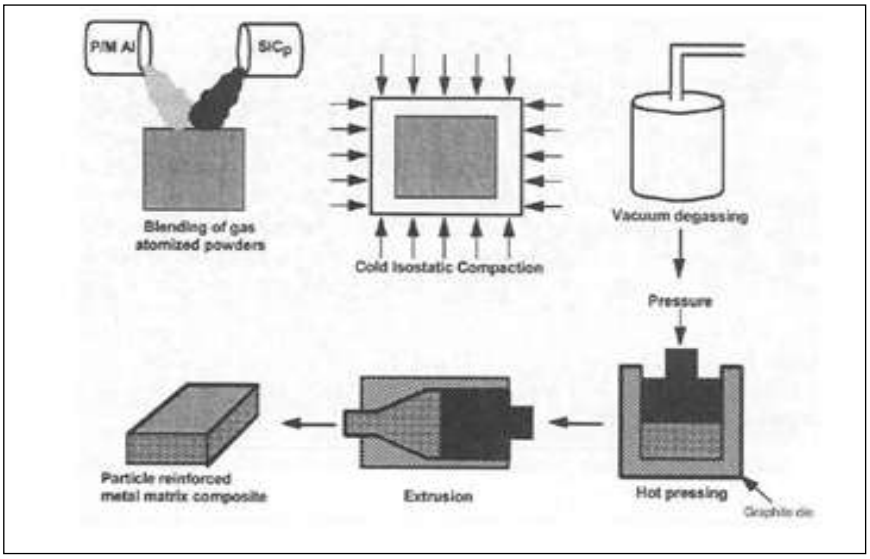
teknikleri ile şekillendirilebilmektedirler. Bu şekillendirme teknikleri katı fazda şekillendirme, sıvı fazda şekillendirme, katı-sıvı fazda şekillendirme olarak sınıflandırılabilirler. [15-18]. Al easlı seramik takviyeli kompozitlerin sıvı üretim tekniklerinden biri olan döküm tekniği ile üretiminde, geleneksel döküm tekniğinin doğasında var olan üretim problemleri karşımıza çıkmaktadır.

Bunlar gaz boşlukları çekme boşlukları gibi hatalardır. Ayrıca MMK lerin üretiminde kullanılan karışma döküm işleminde takviye lemanlarının topaklanması ve öbeklenmesi de yine bu sürece özgü problemlerdir (Şekil 1.3). Toz metalurjisi özellikle takviye elemanının dağılımının kontrol edilmesi ve sıvı fazda üretimin zorluklarını ortadan kaldırması bakımından MMK lerin üretimi için önemli bir alternatif oluşturmaktadır.

1.3. MM Kompozitlerin Toz Metalürjisiyle Üretimi

1.3.1. Toz Metalürjisi

Toz metalürjisi ile üretilen takozlar, üniform ve homojen bir parçacık dağılımına sahiptir. Bu durum ürün özelliklerini önemli ölçüde iyileştirir. Ancak bu teknik karıştırmalı döküm ile karşılaştırıldığında daha pahalıdır. Bu nedenle takoz üretim tekniğinin seçimi nihai üründen beklenilen performansa ve birim maliyete bağlıdır [19, 20]

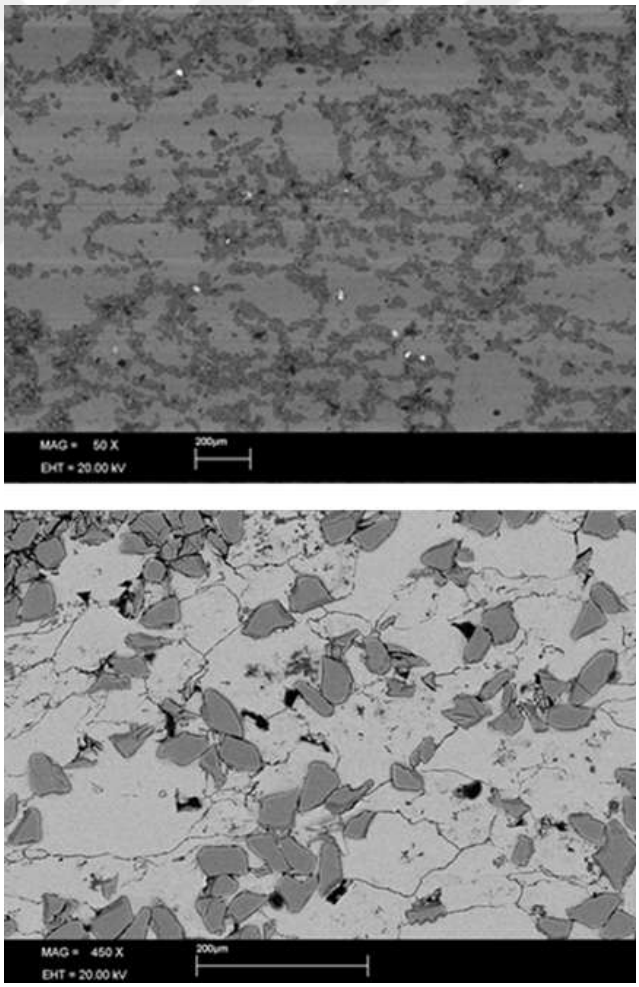


Şekil 1.4 Al esaslı SiC parçacık takviyeli MMK in Tozmetalurjisiyle üretim süreci

Toz metalürjisi ile MMK takozların üretilmesinde seçilen matriks alaşımının belirli tane boyutundaki (≈ 4-80μ) tozları, belirli tane boyutundaki (≈3-40μm) takviye elemanı (SiC_p,SiC_w, Al_2O_3) tozları ile karıştırılarak elenir, sıcak vakumda gazı alınır ve soğuk izostatik presleme yapılarak MMK takoz elde edilir (Şekil 1.4) [21, 22].

Ayrıca toz metalurjisi ile hap şeklinde üretilmiş farklı karışım oranlarındaki tabakalar vakum altında gazı alındıktan sonra üst üste konularak extrüze edilebilmektedir [43].

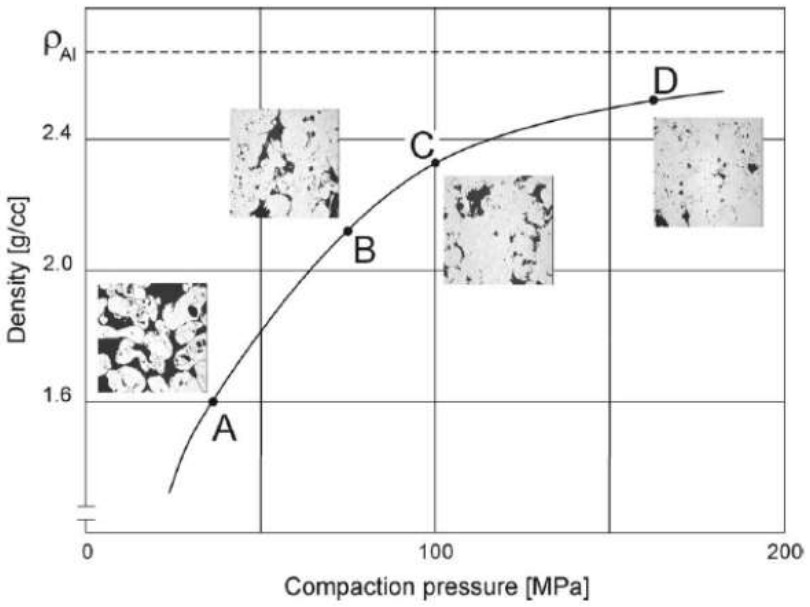
Toz metalurjisi ile üretimde gaz giderme süreci işlem özellikleri bakımından önemlidir Toz metalürjisi ile üretilen takozlarda takviye elemanın yapı içerisine dağılımı kolaylıkla sağlanabilir ve ara yüzey reaksiyonları kolaylıkla kontrol edilebilir (Şekil 1.5) [23]



Şekil 1.5 Toz metalurjisi ile üretilmiş Al / SiC kompozitin iç yapı görüntüsü

Toz metalürjisi süreciyle üretilmiş ürünlere olan talep her geçen gün artmaktadır. Çünkü bu yöntemle yüksek malzeme ve enerji tasarrufu, iyi boyut tamlığı ve yüzey düzgünlüğü, kontrol edilebilir içyapı özellikleri sağlanabilir. Bu gün ileri teknolojinin ihtiyaç duyduğu pek çok malzeme TM süreciyle üretilebilmektedir. Bunun en önemli nedeni mikro boyuttaki toz taneciğinin mikroyapı özelliklerinin kontrol edilerek ürün özelliklerinin kontrol edilebilmesidir [22].

MM kompozitlerin TM süreciyle üretimi oldukça yaygındır. Özellikle, ince taneli (<20μm) takviye elemanlarının yüksek hacım oranlarında (>%30) kullanılmasının gerektiği durumlarda TM yöntemi kaçınılmazdır [23]. Öte yandan MMK toz metalürjisi ile üretimi, parçacık dağılımının kontrol edilebilmesi ve üretim süreci için döküm tekniğine göre daha az enerji gerektirmesi bakımından da çok tercih edilir. MMK' ler ya doğrudan TM tekniği ile nihai ürün şeklinde üretilir ya da birincil üretim süreci olan TM ile üretilmiş yarı mamul takozlara ikincil üretim prosesi olan bir plastik şekillendirme yöntemiyle nihai şekli verilir. İkincil üretim prosesleri malzemeyi şekillendirmek yanında mekanik metalografik ve fiziksel özelliklerini de etkiler. Bu ikincil üretim prosesleri arasında en yaygın olanı ekstrüzyondur [22-24]



Şekil 1.6 Alüminyum tozlarının basınç altında yoğunlaştırılması

TM sürecinde, toz hazırlamadan sonra en önemli süreç bu gevşek tozların yoğunlaştırılarak şekillendirilmesidir. Gevşek tozların yoğunlaştırılarak şekillendirilmesi için değişik teknikler kullanılır. Tozların yogunlaştırılması aşamasında uygulanılan şekillendirme basıncına baplı olarak toz yoğunluğu artar ve bu yoğunluk artışı metal tozun teorik yoğunluğuna yaklaştıkça azalır. Toz karışımlarında yoğunluk artısına bağlı olarak gözeneklilik azalır (Şekil 1.6).

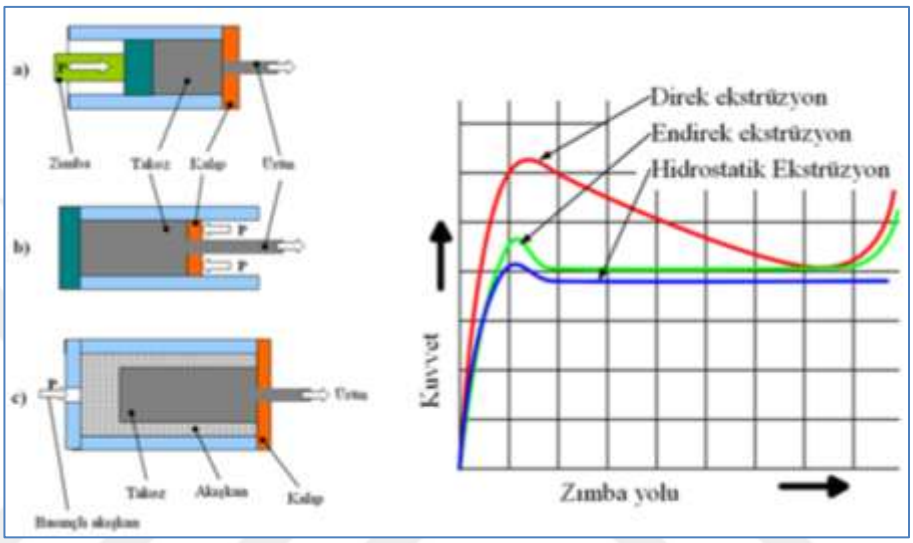
Kapalı kalıp içerisinde sıcak veya soğuk presleme, haddeleme, ekstrüzyon bunlardan bazılarıdır. Diğer taraftan bu işlemler birleştirilip birincil ve ikincil üretim prosesleri olarak ürünün şekillendirilmesinde kullanılabilir. Örneğin sıcak veya soğuk preslenerek belirli bir yoğunluk ve şekil kazandırılmış ara ürün haddelenerek veya ekstrüze edilerek nihai şekli verilebilir. Bu yöntem özellikle ürünün derinliği boyunca kesitinin sabit kaldığı veya kapalı kalıpta üretilmesi mümkün olmayan ince tel çubuk boru gibi ürünlerin üretilmesi söz konusu olduğunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, ön şekillendirilmiş TM yarı mamul ürünlere plastik şekillendirme tekniklerinin uygulanması bu ürün mikro yapısını tekrar düzenleyerek mekanik ve fiziksel özellikleri iyileştirir [19]

1.3.2. Metal matriksli Kompozitlerin Toz Metalürjisi Sürecinde Ekstrüzyonla Üretimi

Toz metalürjisi sürecinde ekstrüzyonun kullanılması giderek yaygınlık kazanmaktadır. Bunun en önemli nedenleri arasında ekstrüzyon sırasında TM ile hazırlanmış yarı mamul takozların basma kuvvetleri altında şekil değiştirmeye zorlanmasıdır. Şekil 1.7'de farklı ekstrüzyon tekniklerinde deforme olan malzemeye kuvvetin iletilme prensipleri ve bu tekniklerde zımba yoluna bağlı olarak ekstrüzyon basıncının değişimi görülmektedir.

Ekstrüzyon bu özelliği bakımından, TM sürecinin önemli bir basamağı olan gevşek tozların basınç ve/veya sıcaklık tesiri altında sıkıştırılarak yoğunlaştırılması aşamasıyla benzerlik gösterir. Yani toz metalürjisinde tozların basma kuvveti altında yoğunlaşmaya zorlanmasıyla ekstrüze edilen malzemenin basma kuvvetleri altında şekil değiştirmeye zorlanması benzer süreçlerdir [25,26] .

Malzemelerin TM sürecinde ekstrüzyon tekniğini kullanarak şekillendirilmesi düşünüldüğünde genelde iki temel yaklaşım karşımıza çıkar Bunlardan birincisi; sıcak veya soğuk olarak basınç altında ön şekillendirilmiş yarı mamul takozların ekstrüzyonudur.

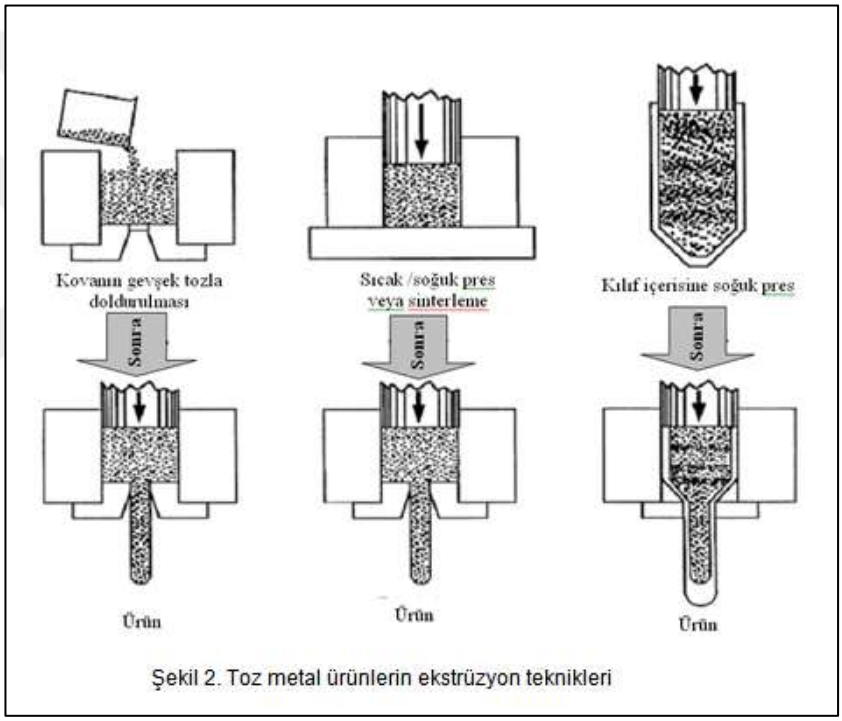


Şekil 1.7 Ekstrüzyon teknikleri ve zımba yolu ekstrüzyon basıncı ilişkisi.a)Doğrudan ekstrüzyon, b) Dolaylı Ekstrüzyon, c) Hidrostatik ekstrüzyon

Bu işlem yukarıda belirtilen nedenlerle ürünün mukavemet özelliklerini iyileştirmekle birlikte asıl amaç ürüne nihai şeklini vermektir. İkincisi ise gevşek toz karışımının doğrudan ekstrüze edilmesidir [24,26,27]. Bu yöntemle toz metalürjisinin yoğunlaştırma ve şekillendirme aşamaları ekstrüzyonla tek bir adımda toplanmıştır (Şekil 1.8).

Ekstrüzyon işlemi bazı toz metal ürünler için kapalı kalıpta şekillendirme, haddeleme, gibi plastik şekillendirme işlemlerine alternatif oluştururken çubuk, tel boru gibi ürünlerin toz metalürjisiyle üretimi düşünüldüğünde alternatifsiz üretim yöntemi olarak karşımıza çıkar. Özellikle gevrek düşük tokluğa sahip malzemelerin şekillendirilmesi için kaçınılmaz bir yöntemdir [21,28] Toz ekstrüzyonunun soğuk veya sıcak preslemeye göre en temel avantajı ekstrüzyon sırasında takoz içerisinde yüksek kayma gerilmelerinin oluşmasıdır.

Al alaşımının ekstrüzyonu göz önüne alındığında, bu kayma gerilmeleri toz yüzeyini nano boyutta kaplayan oksit tabakalarının parçalanmasını sağlar. Bunu sonucu olarak yoğunlaşma ve parçacıklar arası kaynaklaşma mekanizması aktive olur, buda ürün mekanik özelliklerinin iyileşmesini sağlar. Dökümle üretilmiş bir takozun ekstrüzyonu sırasında ekstrüzyon basıncı; akma gerilmesinin, sıcaklığın, sürtünmenin ve şekil değiştirme hızının bir fonksiyonudur. TM ile hazırlanmış takozların ekstrüzyonu sırasında toz tane boyutu ilave bir parametredir [26, 27].



Şekil 1.8 Ekstrüzyonla gevşek tozdan doğrudan ürün elde edilmesi

TM sürecinde metal /metal veya metal/ seramik gibi iki veya üç bileşenli kompozit toz karışımlarının üretimi düşünüldüğünde ekstrüzyon yine önemli avantajlar sağlar. Gerek TM süreciyle gerekse diğer üretim yöntemleriyle kompozit malzemelerin üretilmesinde homojen dağılımlı bir ürün içyapısının oluşturulması daima güçtür. Toz metalürjisiyle kompozit üretimi homojen takviye elmanı dağılımını nispeten kalaylaştırır. Ancak yinede karışım tozlarının preslenmesi sonucu ürün içerisinde istenmeyen topaklanmalara, takviye elemanı birikmelerine ve gözeneklere rastlanabilir.

Ekstrüzyon sırasında malzeme bir yandan şekillenirken öte yandan iç yapısı da yeniden düzenlenir. Takoz veya gevşek toz içerisindeki muhtemel topaklanmalar ve birikintiler şekil değiştirme sırasında parçalanır ve ürün içerisine homojen yayılır. Ayrıca takoz içerisindeki muhtemel gözenekler şekil değiştirme kuvvetlerinin etkisiyle tıkanır [17,19].

Ekstrüze edilecek MMK takozların hazırlanmasında geleneksel toz metalürjisi süreci izlenir. Belirli oranlarda karıştırılan matriks ve takviye elemanı tozları sıcak veya soğuk preslenerek yoğunlaştırılır ve ardından sinterlenir. Bazı durumlarda bu yoğunlaştırma ve ekstrüzyon süreci birleştirilir. Yani toz karışımı bir kovan içerisinde doğrudan ekstrüzyon basıncına maruz bırakılır yada bir ön preslemeden sonra ekstrüzyona devam edilir [24, 26, 27] .

Farklı kullanım amaçlarına yönelik yapısal malzemelerin metal veya seramik tozlarından TM ile üretilmesinde ekstrüzyon üretime imkan veren ve ürün özelliklerini belirleyen önemli bir süreç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalar genellikle tek bileşenli malzemelerin tozdan ekstrüzyon tekniğinin kullanılarak üretilmesiyle ilgilidir.

Bu çalışmalarda ağırlıklı olarak metal veya seramik tozlarının ekstrüzyonu konu edilmektedir. Bu çalışmalarda; ekstrüzyon öncesi toz hazırlama parametrelerinin, üretim sırasında malzemenin davranışına ve nihai ürün özelliklerin etkileri; başlangıç toz özelliklerinin ve belirlenen ekstrüzyon parametrelerinin bağımlı ekstrüzyon parametrelerine ve ürün özelliklerine etkileri yoğun bir şekilde incelenmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalarda genellikle direk ekstrüzyon tekniği esas alınmaktadır.

Metal tozlarından ekstrüzyon prosesiyle yapısal malzemelerin üretimi söz konusu olduğunda Al ve alaşımları ön plana çıkmaktadır. Bunun en büyük nedeni olarak bu malzemenin nispeten kolay şekillendirilebilmesi, kolay bulunabilmesi, ucuz olması ve avantajlı mekanik ve fiziksel özellikler sergilemesidir. Metal ve seramik tozlarının ayrı ayrı ekstrüzyonuyla ilgili çok sayıda çalışma bulunmakla birlikte metal esaslı seramik takviyeli kompozit toz karışımının ekstrüzyonu ile ilgili çalışmalar sınırlıdır.

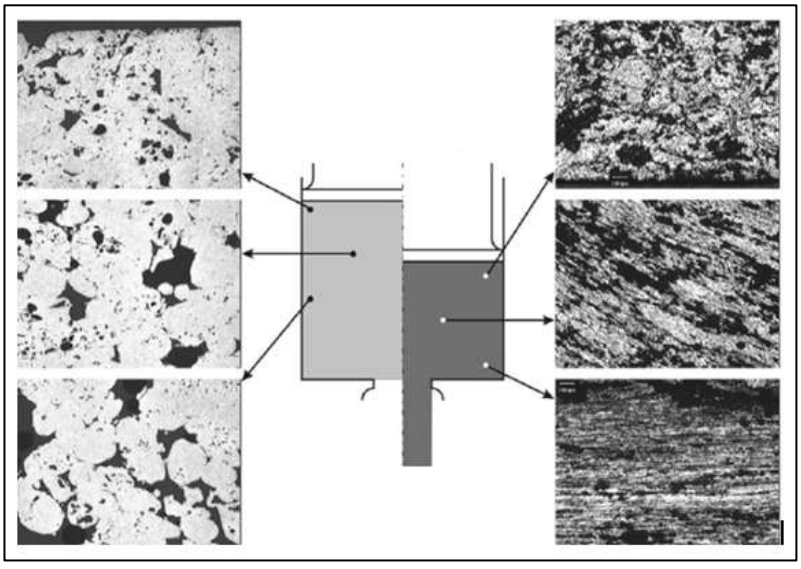
Bu çalışmalarda kullanılan parametrelerin sınırlı olması ve farklı çalışmalarda kullanılan farlı parametreler arasında koordinasyonun bulunmaması elde edilen farklı

sonuçların birlikte değerlendirilmesini güçleştirmektedir [24-28]. Öte yandan şiddetli deformasyonların sebep olduğu tane incelmesi ve bunun son ürün mukavemet özelliklerine katkısı ağırlıklı olarak tek fazlı malzemeler için incelenmiş olup metal matriksli kompozitler için benzeri çalışmalar yapılmamıştır.

MM kompozitlerin ekstrüzyonuyla ilgili çalışmalarda genellikle düşük ekstrüzyon oranlarında deneyler yapılmış olup ekstrüzyon oranının tane inceltici etkisi tam anlamıyla vurgulanmamıştır. Bu çalışmada özellikle yüksek ekstrüzyon oran ve hızlarında yapılacak deneylerle üretim parametrelerinin matriks tane incelme mekanizmasına etkisini ve bu yolla ürün özelliklerinde sağlanacak gelişmeleri ortaya konması ve optimum üretim parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmektedir.

1.3.3. Deformasyon Davranışı

Takviye edilmemiş tozların veya seramik takviyeli kompozitlerin ön sıkıştırılmış takozlardan veya gevşek tozdan ekstrüzyonu sırasında takoz deformasyon davranışı ve buna bağlı olarak akış davranışı nihai ürün özelliklerini etkileyen önemli bir parametredir.



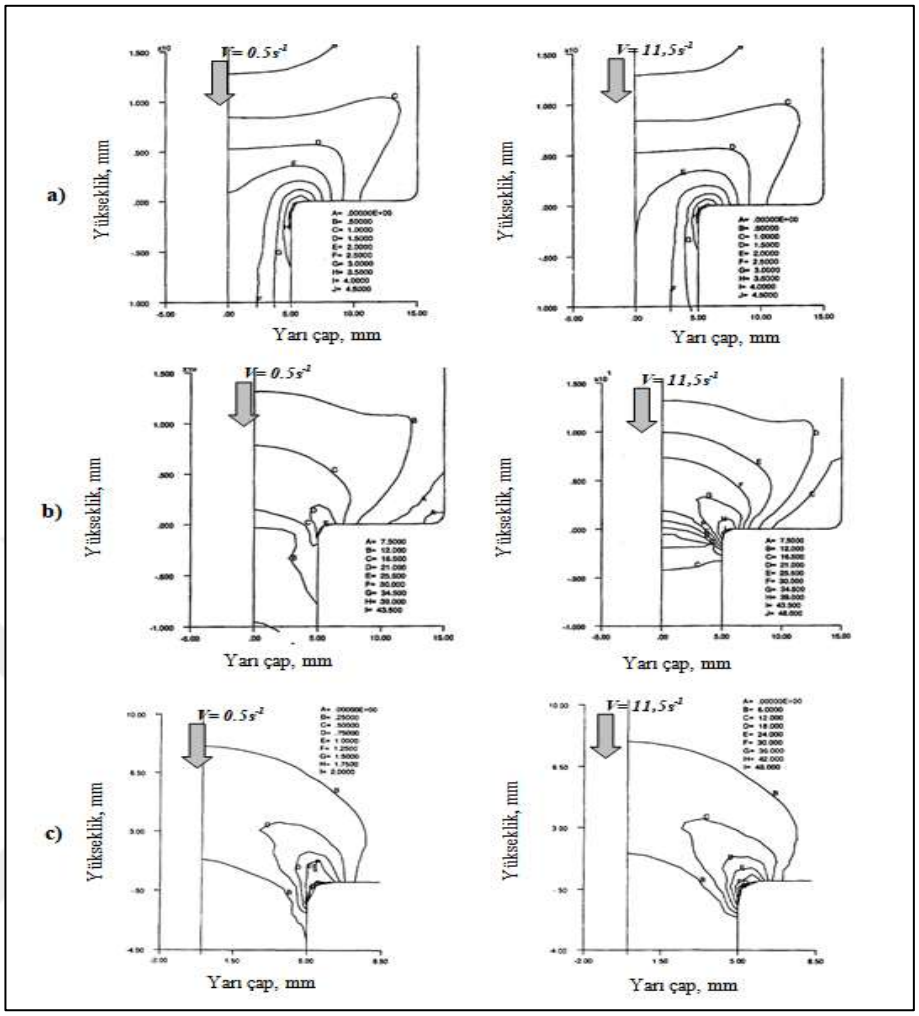
Şekil1.9 Ekstrüzyon sırasında Al tzlarının zımba yoluna bağlı olarak akış davranışı ve gözeneklilik ilişkisi

Ekstrüzyon kovanı içerisine yerleştirilen ön sıkıştırılmış toz veya gevşek toz zımbanın ilerlemesine bağlı olarak deformasyonun farklı aşamalarında farklı akış davranışı sergilemektedir. Takoz içerisinde toz parçacıklarının akış davranışı ekstrüzyon basıncına ve parçacıkların konumuna bağlı olarak değişiklik gösterir.Takoz içerisinde merkeze yakın parçacıkların akış hızı kenarda bulunan parçacıklara nazaran daha fazladır. (Şekil 1.9)

MMK' biletlerin extrüzyonunda bilgisayar simülasyonlarıyla yapılan deformasyon analizlerinde deformasyon davranışları net olarak görülebilir. Şekil 1.10 a zımba hızına bağlı olarak kalıp kenarındaki şekil değiştirme oranının dağılımı verilmektedir. Şekil 1.10b' de [29] ise yine zımba hızına bağlı olarak kalıp kenarındaki etkin gerilme dağılımı verilmektedir. Buradan da görüldüğü gibi kovan köşesinde düşük bir gerilme ve şekil değiştirme oranı vardır. Şekil 1.10 c' de ise kalıp girişinde şekil değiştirme hızının dağılımı görülmektedir. Yine burada ölü bölgede düşük bir şekil değiştirme hızı ve kalıp girişi köşelerinde ise en yüksek şekil değiştirme hızı görülür [29, 30].

Extrüzyon başlangıcındaki ani basınç artışı yüksek dislokasyon yoğunluğundan kaynaklanırken extrüzyonun sonundaki basınç artışının temel sebebi ise pul ve takoz arasında ürün akışının zorlaşması ve kalıp yüzeyi ile takoz arasında radyal akışın ortaya çıkmasıdır [31].

Metalürjik şartları optimize ederek ürün verimliliğini arttırmak için extrüzyondan önce takozlara homojenleştirme ısıl işlemi uygulanır. Homojenleştirme işlemi sonucunda düşük ergime sıcaklığına sahip fazlar çözünür. Böylece takoz yüksek sıcaklıklarda ve zımba hızlarında extrüze edilebilir [32, 33]

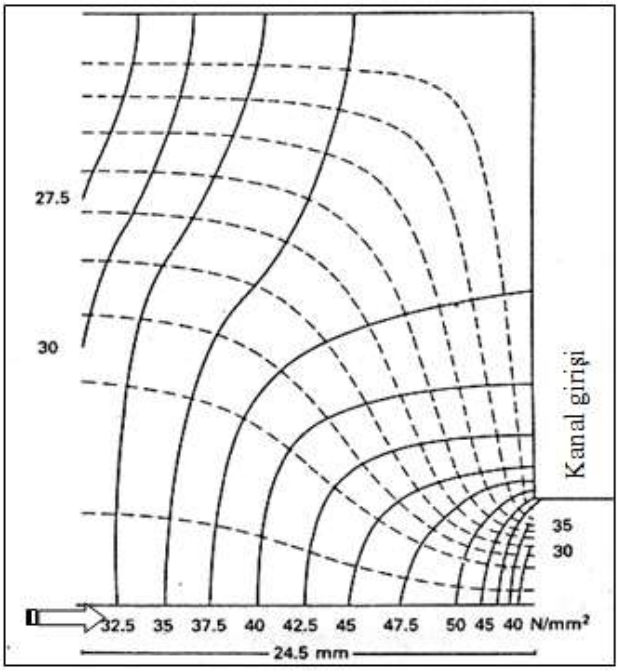


Şekil 1.10. Kalıp girişi deformasyon analizi (FEM) a)Etkin şekil değiştirme dağılımı, (V=0.5 mm/s, V=11.5 mm/s), b) Etkin gerilme (MPa) dağılımı, (V=0.5 mm/s, V=11.5 mm/s), c) Etkin şekil değiştirme hızı (s^{-1})dağılımı, (V=0.5 mm/s, V=11.5 mm/s) [36]

Genel olarak metal ekstrüzyonun da; kalıp kanalı (kanal, kalıp boşluğu) girişinde en yüksek seviyeye ulaşan şekil değiştirme kanal boyunca giderek azalır ve kanal çıkışında son bulur. Kanal girişi şekil değiştirmenin en yüksek olduğu bölgedir. Kanal girişinden kanal çıkışına doğru şekil değiştirme kuvvetleri de giderek azalır. Şekil 1.11 şekil değiştirme kuvvetlerinin değişimi görülmektedir.

Basit bir homojen (tek eksenli) basma veya çekme durumunda metal üzerindeki gerilme akma gerilmesine ulaştığında metalde kalıcı şekil değişimi oluşacaktır. Ekstrüzyon esnasında alüminyumda oluşan akma, metalin kendi içerisinde kaymasıyla

oluşan bir akmadır. Ekstrüze edilen alüminyum bit takozda, ekstrüzyon ilk olarak takozun merkezinde oluşmakta çeperdeki malzeme ise daha sonra çok daha yoğun bir kayma ile akmaktadır. Takozu kovan yüzeyine bastıran kuvvet takoz malzemesinin kesme dayancını aşar aşmaz yapışma sürtünmesi baskın hale gelmekte ve şekil değiştirme işlemi takozun kendi içerisindeki kaymalarla devam etmektedir.



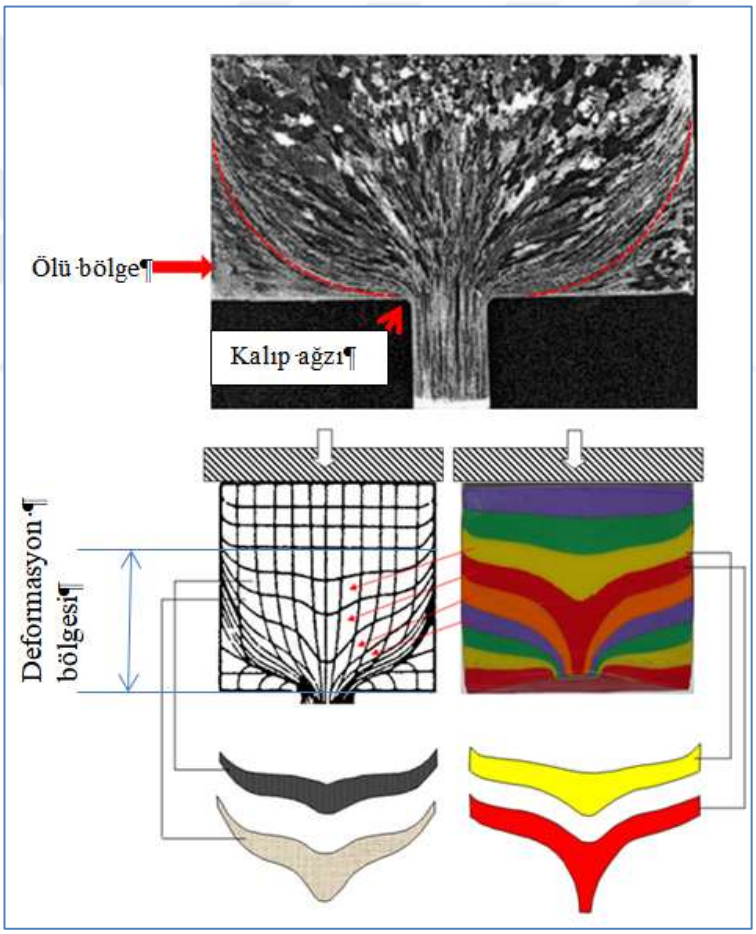
Şekil 1.11. Alüminyum (Al99.5)extrüzyonunda kalıp üzerinde gerilme dağılımı

Ekstrüzyon sırasında metal akışını belirleyen parametrelere (işlem sıcaklığında takoz malzemesinin özellikleri, takoz kovan-takoz kalıp arayüzey sürtünmesi, ekstrüzyon oranı)bağlı olarak temelde dört tip akış şekli ortaya konulmuştur. Bunlardan B tipi olarak belirlenen akış tipi, homojen malzemelerin ekstrüzyonunda hem kovan hemde kalıp arayüzeyinde sürtünmenin söz konusu olduğu durumlarda meydana gelmektedir (Şekil 1.12) .Bu akış şekli direk ekstrüzyon da oluşan bir akış tipidir. Geniş bir ölü metal bölgesine sahiptir. Bu akış tipinde diğer akış tiplerine nazaran daha yogun bir kayma deformasyonu oluşmaktadır. Bu kayma deformasyonu toz metalurjisi ile hazırlanılan biletlerin ekstrüzyonunda kaymaya bağlı olarak taneciklerin yüksek oranda

deformasyona zorlanmaları ve bu sayede arayüzey bağ özelliklerinin iyileşmesi bakımından avantajlar sergilemektedir.

Kalıp özellikleri de takoz deformasyonunu etkileyen önemli bir parametredir. Kalıbın tipi, parça formunun kalıp üzerinde yerleşimi ve kalıbın tasarımı takoz malzemesinin ekstrüzyon sırasındaki mekanik yoğrulma şeklini değiştirmektedir.

Ölü metal bölgesi kalıbın köşelerinde oluşmakta ve akan malzeme bu ulü metal bölge üzerinden kaymaktadır. Bu yüzden kalıp yüzeyi konuk kalıp yüzeyi gibi davranmaktadır. [34-38].



Sekil 1.12. Ekstrüzyonda takoz içerisinde B tipi akışın gerçek ürün içerisinde ızgara modelinde ve tabakalı simülasyon çalışmasında görüntüsü.

2. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

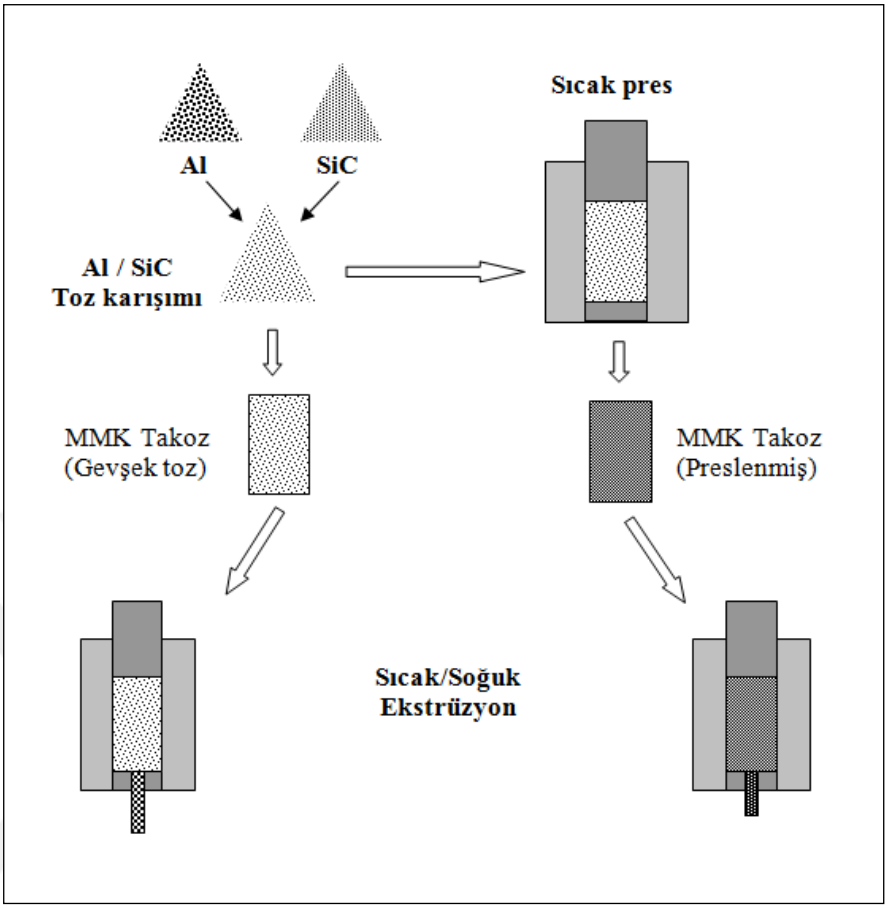
2.1. Giriş

Bu çalışmada toz metalurjisi üretim tekniği kullanılarak takviyesiz alüminyum (Al) ve SiC ile takviyeli alüminyum matrisli (Al/SiC) kompozitlerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Burada toz metalürjisi sürecinde ekstrüzyon tekniği kullanılarak çubuk formunda ürümler üretilmiştir.

Bu süreçte Al tozları ve Al/SiC toz karışımları sıcak ve soğuk preslenerek ekstrüzyonea hazır takozlar üretilmiştir. Takozların üretiminde farklı üretim parametreleri kullanılarak takoz üretim ekstrüzyon ekstrüzyon takozun ekstrüzyon davranışına ve ürün özelliklerine etkileri incelenmiştir. Üretilen bu takozlar farklı ekstrüzyon parametreleri altında ekstrüze edilerek ekstrüzyon parametrelerinin ürün akış davranışına ve ürün özelliklerine etkileri incelenmiştir.

Toz metalurjisi sürecinde ekstrüzyon işlemi bir yandan tozları kompaktlarken öte yandan ürünü şekillendirmesi bakımından avantajlı bir işlemdir. Bu çalisaya gerçekleştirilen üretim süreci şekil 2.1de şematik olarak özetlenmiştir.

Bu süreç diğer toz metalurjisi işlemlerine göre bazı avantajlar sağlar. Bunlardan biri, ön sıkıştırılmış tozlar ekstrüzyon sırasında yüksek basma gerilmelerine maruz kalarak tozun sıkışma oranı dahada artar ve gözeneklilik azalır. Diğer taraftanyüksek deformasyon oranlarında toz taneciklerinin şekil değiştirmesine bağlı olarak tozların temas yüzeyi be bağ mukavemeti artar. Bunun yanında yüksek basma gerilmeleri altında deforme olan takoz içerisindeki başlangıç toz taneleri lifli bir yapı kazanır, yönlenmiş özellikler artar ve tane boyutu küçülür.



Şekil 2.1. Toz Metalurjisi ile Al ve Al/SiC kompozitlerin üretim süreci

2.2 Malzeme ve Yöntem

Taviyesiz ve SiC takviyeli olarak üretilen numunelerde matriks malzemesi olarak %99.8 ticari saflıkta, toz formunda (toz: -40 +325 mesh, 44µm < Al_p <420µm) 1080 alüminyum kullanılmştır. Şekil 2.2 de Al tozunun SEM görüntüsü verilmiştir. Bu alüminyum tozları ticari üreticiden (Alfa Aesar, Stock N:00010) temin edilmiştir. Bu tozlara ait fiziksel ve mekanik özellikler sırasıyla tablo 1 ve tablo 2 de verilmiştir.

Al esaslı seramik parçacık takviyesi ile üretilen numunelerde takviye elemanı olarak % 10 hacım oranında 52 mikron boyutunda SiC seramik parçacıkları kullanılmıştır. Bu parçacıklara ait boyut analizi şekil… de görülmektedir.

Kullanılan SiC parçacıklarının tane boyut dağılımı şekil 2.3 taneciklerin şekilsel özellikleri görülmektedir. Bu çalışmada takviye elemanı olarak SiCp' nın tercih

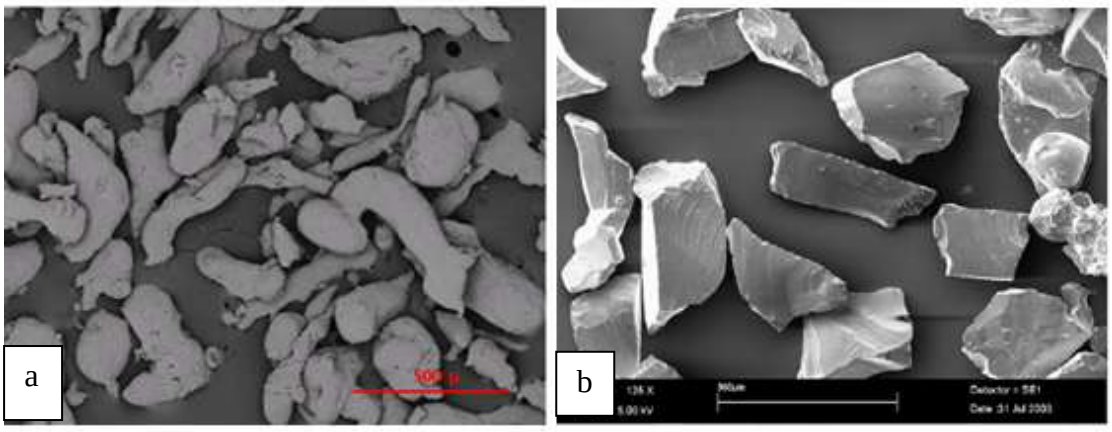
edilmesinin sebepleri arasında ;yoğunluğunun düşük olması, ucuz olması, kolay bulunabilmesi, kimyasal ve mekanik özelliklerinin iyi olması ilk planda sayılabilir. Bunların yanında alüminyumla ıslanabilirliğinin düşük olması bir dezavantaj olup ıslanabilirliğinin arttırılması için özel tedbirlerin alınması zorunluluğu vardır. SiC parçacıklarının ıslanabilirliğini arttırmak için parçacıklar 1200 ^{o}C' de 3 saat oksitlenmiştir.

Tablo 2.1. Alüminyum tozlarının bazı fiziksel Özellikleri

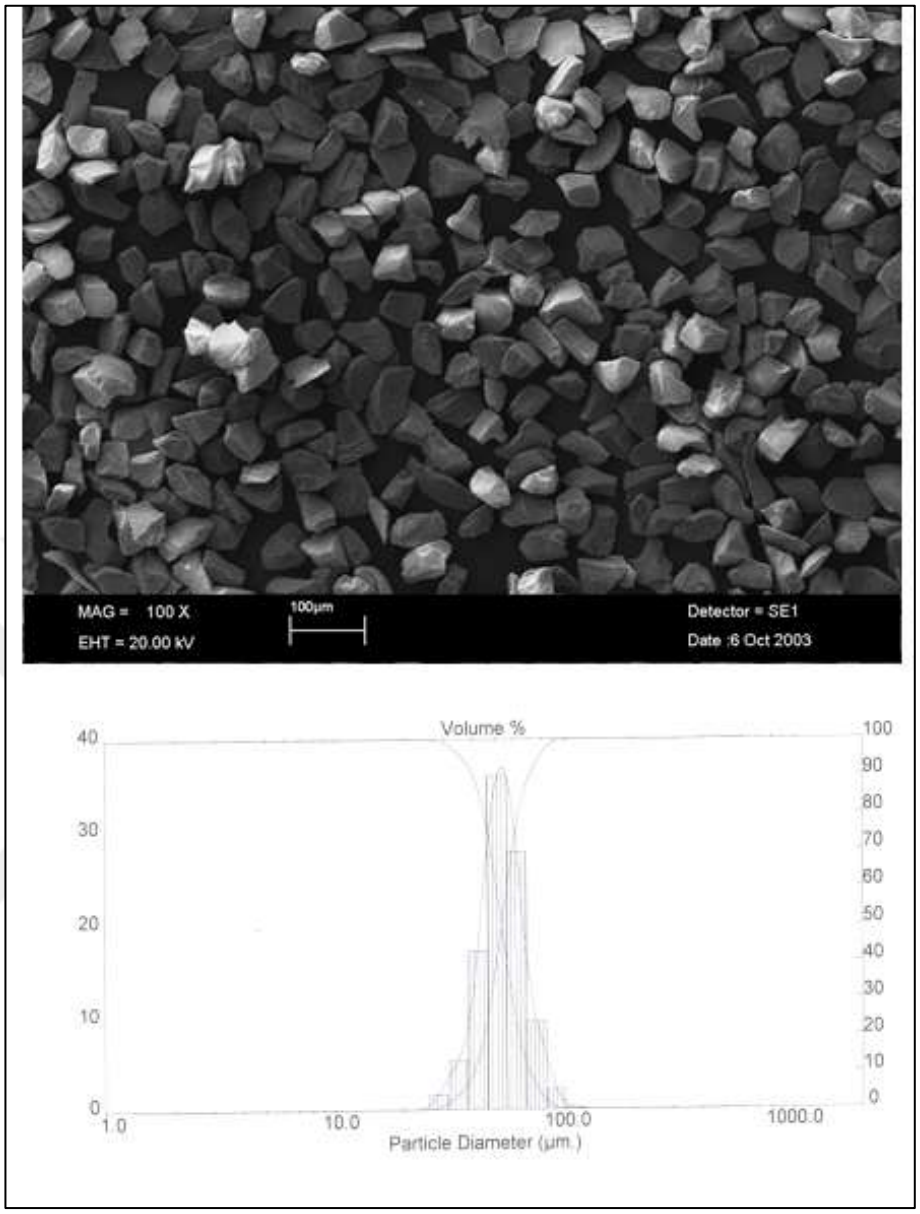
Melting Point:	660.4 ^{o}C
Density:	2.70 g/cm^{3}
Hardness (Mohrs)	2-2.9 (20^{o}C)
Electrical resistivity	2.67 μΩ-cm (20^{o}C) [1]

Tablo 2.2. Alümimyum tozlarının Mekanik Özellikleri

Alloy	**Temper**	**Tensile Strenght Mpa**	**Tensile Yield strength (0.2% offset)**	**Elongation in 50 mm, %**	**Hardness BHN**
1080	0	70	30	43	19
	H18	130	125	6	35



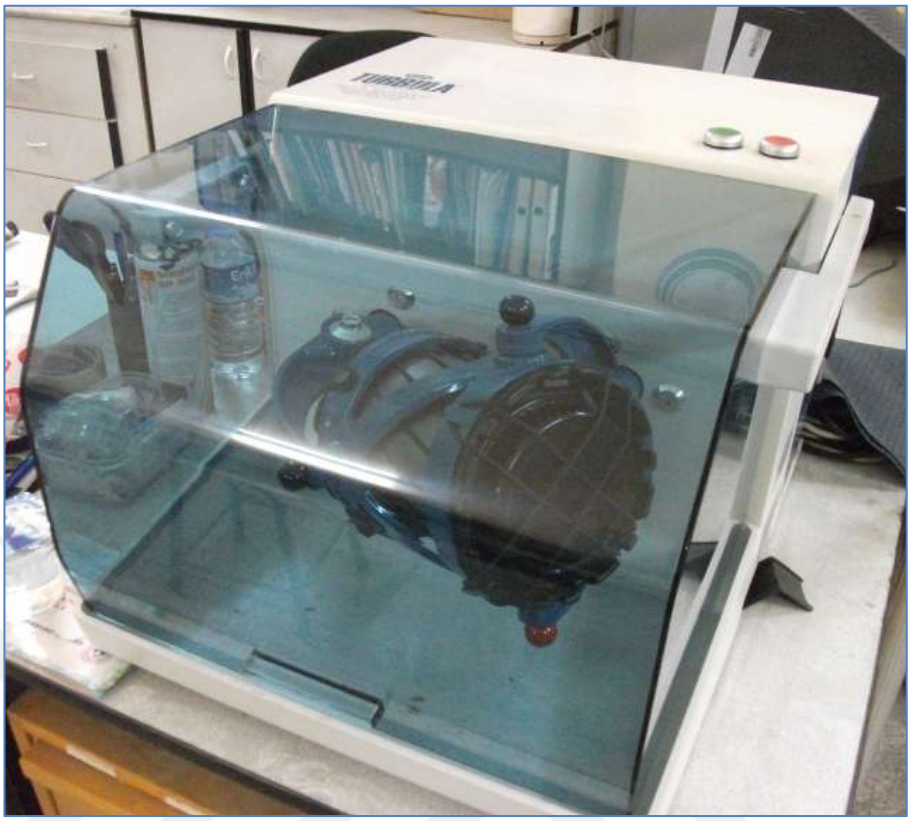
Şekil 2.2. a) Alüminyum ve b) SiC parçacıklarının SEM görüntüsü



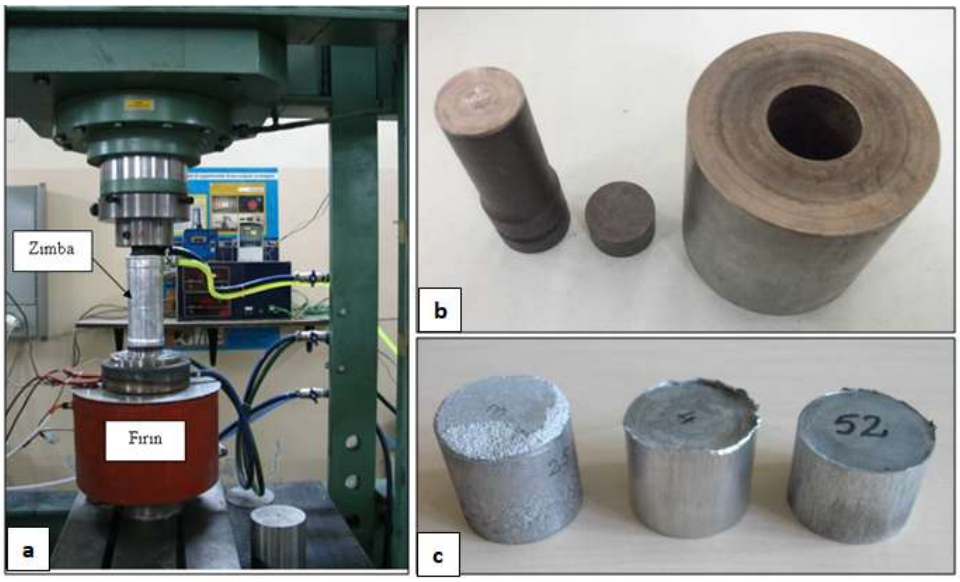
Şekil 2.3. Takviye malzemesi SiC parçacıklarının boyut analizi

2.3 M/S Toz Karışımlarının ve MMK Takozların Hazırlanması

Belirlenen matriks seramik hacım oranına karşılık gelen ağırlıklarda hassas terazide (0.1 mg) tartılan tozlar, turbula toz karıştırıcı ünitesinde karıştırılmıştır (Şekil 2.4.). Bu karışım takoz boyutlarında (çap: 30 mm, uzunluk: 50 mm) hazırlanmış olan çelik kalıba (Şekil 5b) konularak atmosfer kontrollü sıcak pres ünitesinde (Şekil 2.5a) argon gazı atmosferinde farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde sıkıştırılıp yoğunlaşmaları sağlanarak MMK takozlar ve takviye edilmemiş Al takozlar üretilmiştir (Şekil 2.5. c.).



Şekil2.4. Turbula toz karıştırma ünitesi

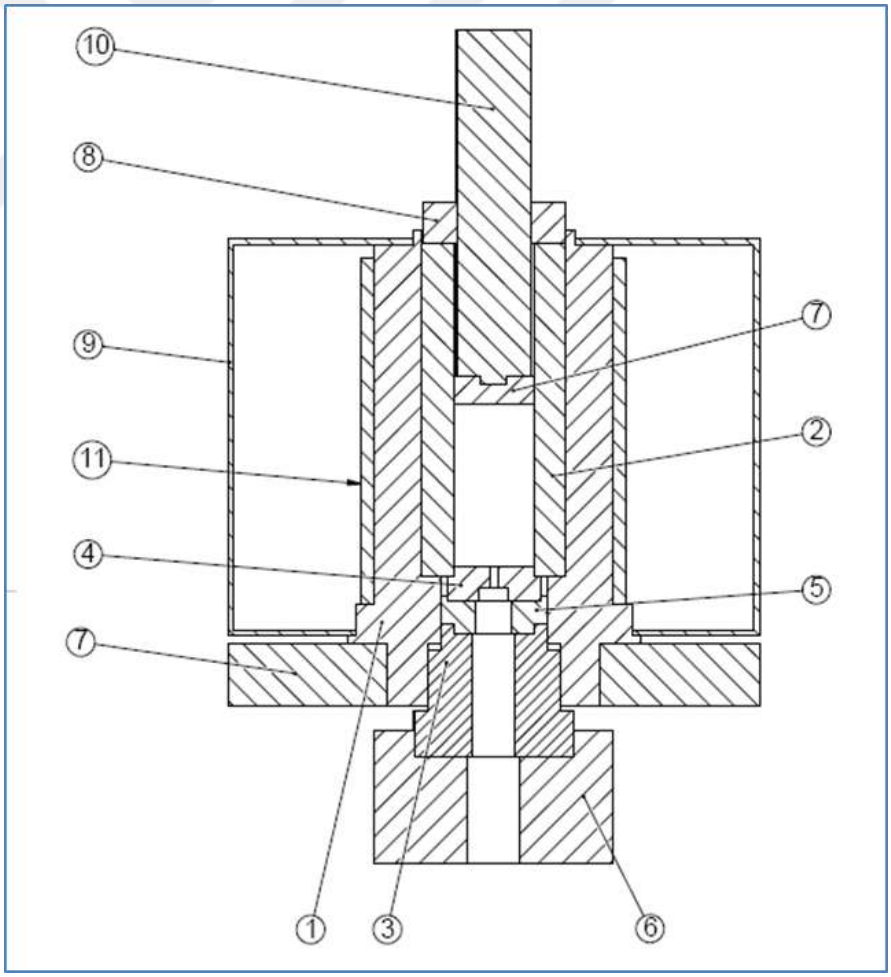


Şekil 2.5. Al, AL/SiC takozların sıcak preste üretilmesi, a) Sıcak pres ünitesi, b) Presleme Kalıbı , c) Üretilen takozlar.

2.4 Al ve Al/SiC takozların Ekstrüzyonu

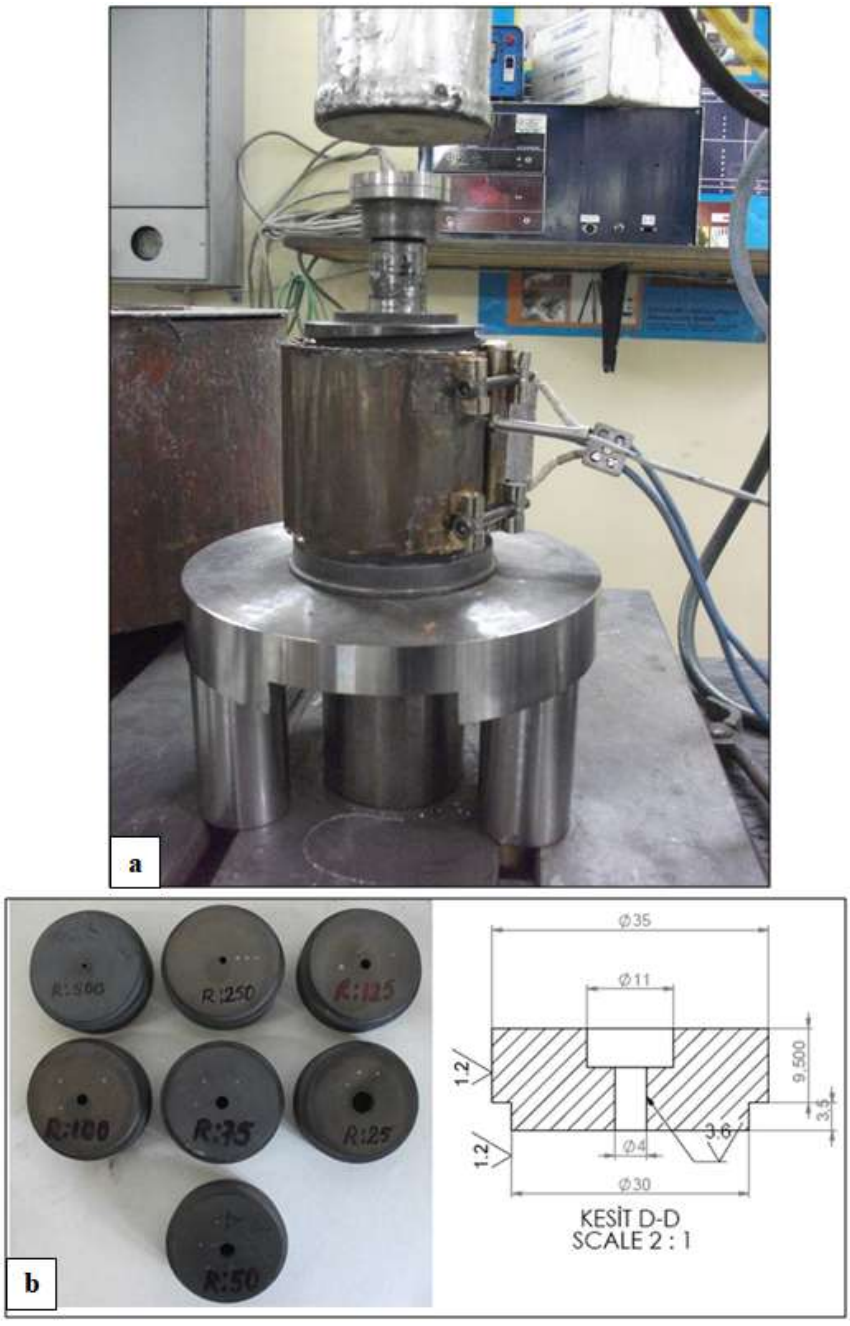
Ekstrüzyon ünitesi yardımcı takımlar ve şekil değiştirme takımlarından oluşmaktadır. Pres, kovan, zımba yardımcı takımları oluştururken kalıp ve kalıp destek üniteleri şekil değiştirme takımlarını oluşturmaktadır (Şekil 2.6).

Zımba yükünü sağlamak amacıyla 250 t (2.5 MN) gücünde, 475 mm kurs boyuna, max.5,40 mm/sn zımba hızına, 7,5 kW gücünde motora ve19 cm^3/dev pompa debisine sahip, düşey tipte bir hidrolik pres kullanılmıştır. Bu pres üzerinde gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra kovan (alıcı), kalıp taşıyıcı ve zımba yerleştirilerek extrüzyon ünitesi haline getirilmiştir (Şekil 2.7a).



Şekil 2.6 Ekstrüzyon ünitesinin şematik görünümü, 1.Zımba, 2.Kılavuz, 3. Çekirdek , 4. Kovan, 5. ısıtıcı, 6. İzolasyon, 7. Pul, 8. Takoz, 9.kalıp, 10. Kalıp desteği,

Al ve Al-SiC toz karışımının preslenmesiyle üretilen takozlar (Şekil 2.5c) farklı ekstrüzyon oranlarında soğuk ve sıcak olarak ekstrüze edilmişlerdir. Ekstrüzyon işlemi atölye tipi hidrolik bir prese monte edilen laboratuvar tipi bir ekstrüzyon ünitesinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.7.a) Ekstrüzyon ünitesi, b) Farklı ekstrüzyon oranlarında (R:25, 50, 75, 100, 125, 250, 500) imal edilmiş ekstrüzyon kalıpları ve imalat resmi.

Extrüzyon kovanının tasarımı bilgisayar ortamında UG® programıyla gerçekleştirilmiştir. AISI H13 (1.2344) sıcak iş çeliğinden imal edilerek, iç yüzeyi taşlanmıştır Kovan etrafına açılan kanallara 2700 W gücünde direnç telleri yerleştirilerek kovanın ısıtılması sağlanmıştır. Kovan sıcaklığı; kovan gövdesi üzerine açılan bir kör delik içerisine yerleştirilen termal çiftlerle ölçülmüş ve bir PID sıcaklık kontrol ünitesi vasıtasıyla ±5 hassasiyetinde kontrol edilmiştir. Kovan dış yüzeyi taş yünü izolasyon malzemesiyle kaplanarak ısı izolasyonu sağlanmıştır

Deney numunesi olan extrüzyon kalıpları (şekil 2. 7b) endüstriyel şartlarda kullanılan extrüzyon kalıpları ile aynı geometrik ve mekanik özelliklere sahip olacak şekilde ve de aynı zamanda deney sonrası ve deney esnasında gerekli muyenelerin yapılmasına imkan verecek şekilde boyutlandırılmış ve imal edilmiştir. Kalıp malzemesi olarak Assap-Udeholm (İsvicre) firması tarafından, ORVAR Supreme patenti ile üretilen ve AISI H13 standartlarına karşılık gelen sıcak iş takım çeliği kullanılmıştır.

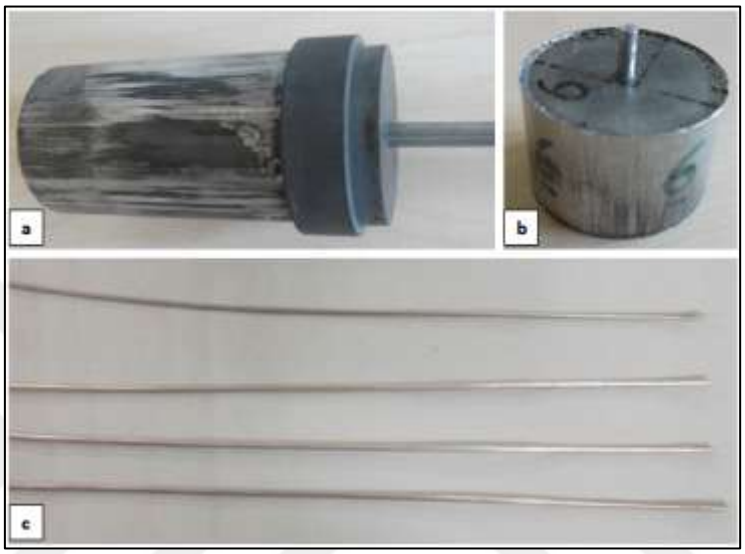
2.5 Mekanik ve Metallografik İncelemeler.

Ekstrüzyon öncesi ve sonrası takozdan alınan ve ekstrüze edilmiş ürünlerden alınarak metallografik muayene ve sertlik testleri için hazırlanılan numuneler ve sertlik teslerinde kullanılan mikrosertlik ünitesi şekilde görülmektedir.

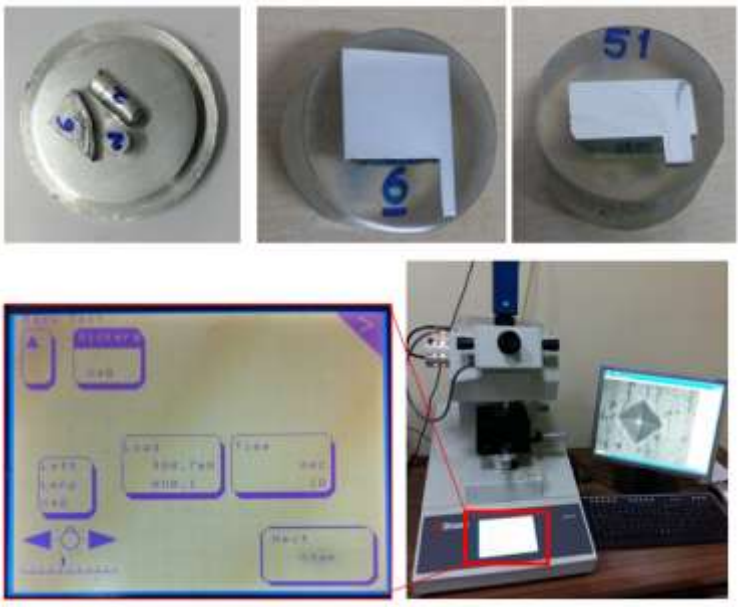
İşlem parametrelerinin (takoz hazırlama ve ekstrüzyon) ürün mekanik özelliklerine ve takoz deformasyon davranışlarına etkileri ekstrüzyon sonrası ara iş (artan takoz) ve ürün üzerinden alınan numuneler üzerinden incelenmiştir. (Şekil 2.8)

Takoz deformasyon davranışının incelenmesi için takoz boyu 2/3 oranında ekstrüze edilen takoz (Şekil 2.8) akış doğrultusuna paralel bir düzlemden merkezden geçecek şekilde kesilmiştir.Kesit geleneksel metallografik yöntemlerle incelemeye hazırlanarak kesit üzerinde akış hatları göünür duruma getirilmiştir. Bu kesit üzerinde optik ve SEM mikroskobu incelemeleri ve mikrosertlik taramaları yapılarak Al toz parçacıklarının ekstrüzyon sırasındaki deformasyon davranışı, deforme olan takozda akış hatları, ve bu akış hatlarına rastlayan Al toz parçacıklarının deformasyon davranışı incelenmiştir. Yine mikrosertlik taramalarıyla takoz içerisindeki deformasyona bağlı olarak sertlik

değişimleri incelenmiştir. Ekstrüzyon parametrelerinin ve ürün mikroyapısına ve mekanik özelliklerine etkilerinin incelmesi için ekstrüze edilen ürünlerden kesit alınarak benzer metallografik ve mekanik incelemeler yapılmıştır. Mikro sertlik ölçümleri Struers marka mikro sertlik cihazında 100 g yük altında vivkers metoduyla yapılmıştır. (Şekil 2.9)



Şekil 2.8. Kısmen ektrüze edilmiş takoz ve ekstrüzyon ürünü görüntüleri



Şekil 2.9. Metallografik inceleme ve mikrosertlik testi için hazırlanılan numuneler ve mikrosertlik test cihazı

3. BÖLÜM

DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

3.1. Takoz Hazırlama Parametrelerinin Takoz ve Ürün Özelliklerine Etkileri

Toz metalurjisi ile üretimde gevşek tozu sıkıştırılarak ürün haline getirilnesi sürecin önemli bir aşamasıdır. Toz metalurjisi sürecinde ekstrüzyonun kullanılmasıyla sıkıştırma ve şekil verme işlemleri tek aşamada gerçekleştirilebilir. Bu kısımda ön sıkıştırılmış takozların sıkıştırma basıncına bağlı olarak takoz ve ürün yoğunluğundaki değişim ele alınmıştır. Bunun yanında ön sıkıştırılmış takoz yoğunluğu arasındaki ilişki incelenmiştir.

Tablo 3.1. Takoz sıkıştırma basıncana bağlı olarak takoz yoğunluğu, ürün yoğunluğu, takoz sertliği ve ürün sertliğinin değişimi

Takoz Sıkıştırma Sıcaklığı T_E (^oC)	Takoz Sıkıştırma Basıncı (Bar)	Takoz Yoğunluğu, ρ (g/cm^3)	Takoz Sertliği ($HV_{0.01}$)	Ekstrüzyon Oranı, R_E	Ürün Yoğunluğu, ρ (g/cm^3)	Ürün Sertliği, ($HV_{0.01}$)
25	5	1,74		50	2,628	59
	15	2,19			2,627	62
	25	2,34	44		2.627	
	35	2,50	54	75	2.682	68
	45	2,67			2.687	
	50	2,67	55	125	2.678	75
420	15	2,66			2.667	66

Yapılan çalışmalarda aynı ağırlıkta ve hacimde Al takozların sıkıştırılmasıyla elde edilen takozlarda takoz sıkıştırma basıncındaki artışa bağlı olarak takoz yoğunluğunun arttığı görülmüştür (Tablo 3.1, Şekil 3.1).Takoz sıkıştırma basıncı 50 bar civarına ulaştığında takoz yoğunluğunun alüminyumun teorik yoğunluğu olan 2.78 g/cm^3 e oldukça yakın bir değere (2.7 g/cm^3 ulaştığı görülmüştür. Diğer taraftan takozlar 420

0C de sıcak preslendiğinde 15 bar basınçta 2.67 g/cm^3 yoğunluğa ulaştığı görülür. Farklı sıkıştırma oranlarında sıkıştırılan bu takozlar R: 50 ekstrüzyon oranında soğuk ekstrüze edildiğinde ürün yoğunluğunun 2.70 g/cm^3 e yakın olduğu görülür. Bu durum ektrüze edilen Al toz metalurjisi ürünlerinde ön sıkıştırma basıncının ürün yoğunluğunu etkilemediğini gösterir. Ekstrüzyon sürecinde ulaşılan ekstrüzyon basıncı toz metalden üretilen takozların teorik yoğunluğa yakın değerlerde kompaktlanmasını sağlamaktadır (Şekil 3.1)

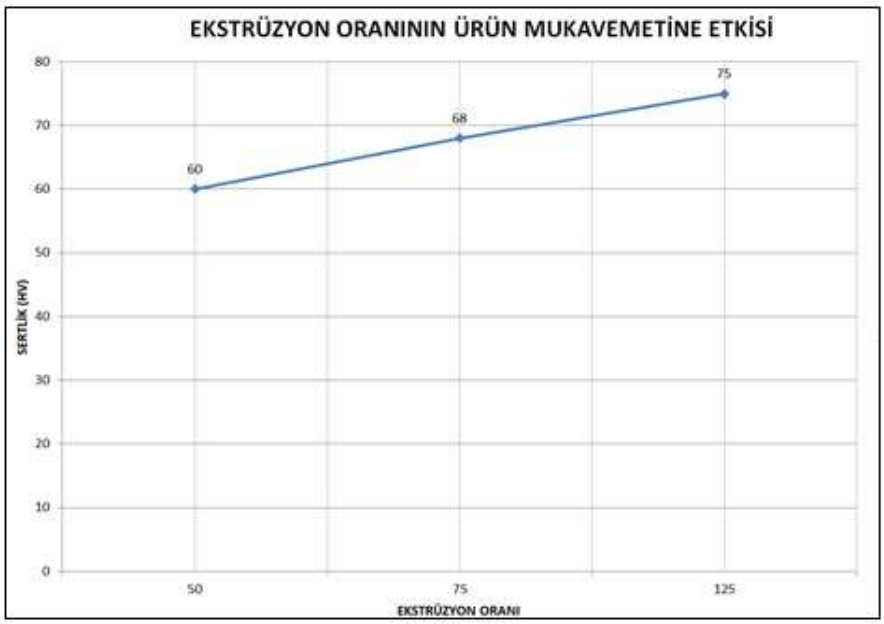


Şekil 3.1. Takoz yoğunlaştırma basıncına bağlı olarak takoz yoğunluğunun ve bu takozlarla yapılan ekstrüzyon sonrası ürün yoğunluklarının değişimi.

3.2. Ekstrüzyon Oranının Ürün Mukavemetine Etkisi

Ekstrüzyon oranındaki artışa bağlı olarak ürün sertliğinin arttığı görülmektedir. Bu durum geleneksel ekstrüzyondada bilinen doğal bir sonuçtur. Ekstrüzyon oranındaki artışa bağlı olarak artan deformasyon kuvvetleri ve yüksek şekil değişirme oranları ve yönlenmiş özellik etkisi bu artışı sağlayan temel etkenlerdir. Ekstrüzyonun soğuk yapılması pekleşmenin bu artışa katkısını arttırmıştır. Ayrıca ekstrüzyon oranındaki

artışla basma şeklinde ekstrüzyon gerilmelerini arttırması toz taneleri arasındaki kaynaklaşmayı arttırırken gözeneklerin kapanmasınada etki sağlamaktadır.

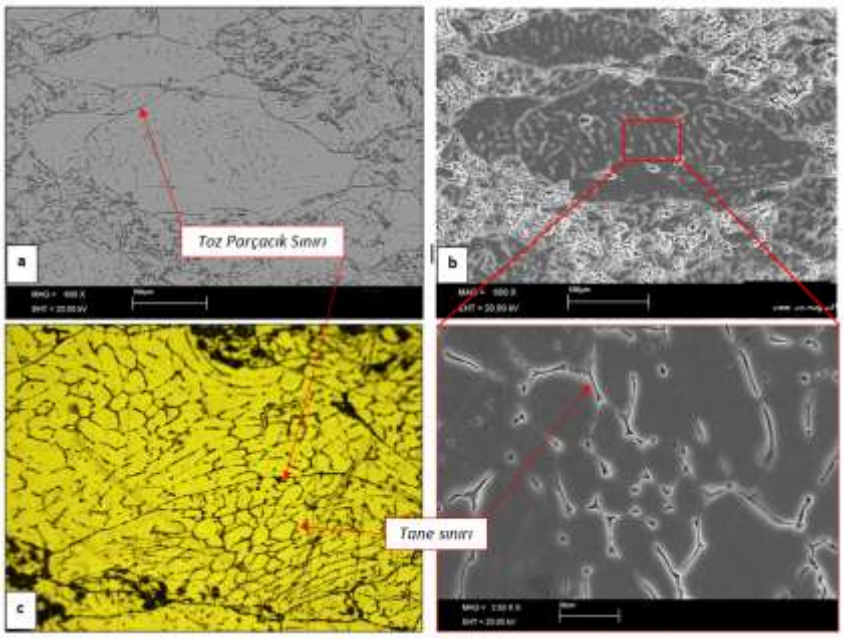


Şekil 3.2 Ekstrüzyon oranındaki artışa bağlı olarak ürün sertlik değişimi.

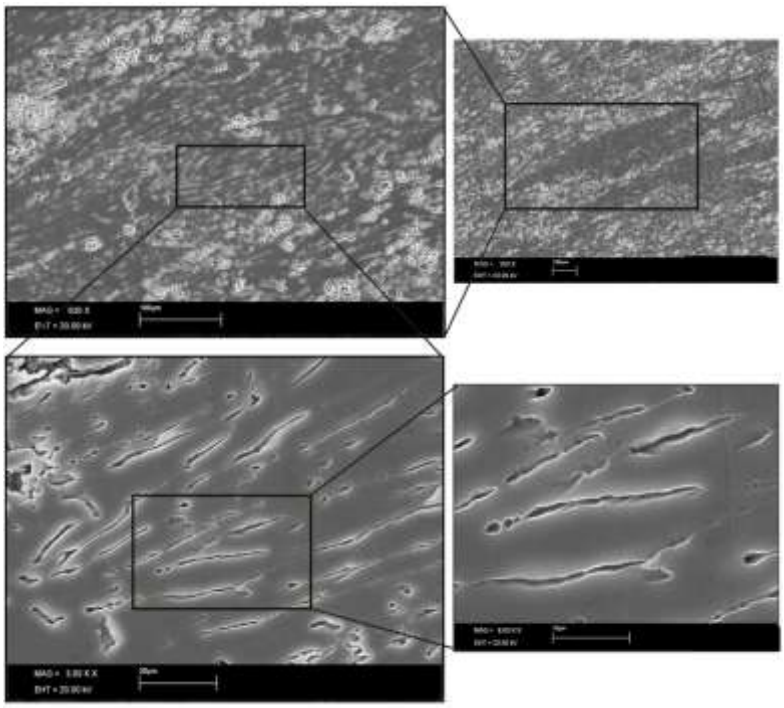
3.3 Ekstrüzyon öncesi ve sonrası Takozun Mikrayapısal Özellikleri

Toz metalurjisiyle üretilen ürünler için iki tür sınır kavramı ortaya çıkar. Bunlardan biri makro boyutta metal tozzunun parçacık sınırıdır. (Şekil 3.3 a,c) Diğeri ise metal toz parçacığının içerisinde –farklı yönlerde yönlenmiş kristal gruplarını birbirinden ayıran- tane sınırıdır (Şekil 3.3 de c,b, ve b detayında görülür)

Şekil 3.4 de akış bölgesi içerisinde deforme olmuş bir parçakta tane yapısının değişimi görülmektedir.Toz parçacığının deformasyonuna bağlı olarak parçacık içerisindeki tane sınırlarıda paralel bir deformasyon davranışı sergilemektedir.Tanelerin akış yönünde uzayarak lifli form aldıkları görülmektedir. Toz parçacık sınırlarındaki empuritelerde akış esnasında yayılarak liflenme göstermektedirler. Tane sınırlarında birincil üretimden kaynaklanan empuritelerin ve mikro boşlukların olduğu gözlenmektedir.



Şekil 3.3 Takoz içerisinde sıkıştırlmış ancak deforme olmamış toz taneciklerinin a) SEM (back scatter) , b) SEM normal görünüm, c) optik mikroskop görüntüsü ve d) de ise SEM resminin detay görüntüsü.



Şekil 3.4 Deforme olan Al toz parçacıklarının SEM görüntüsü

3.4 Toz Metalurjisi ile Üretilen Takozun Deformasyon Davranışı

Takoz içerisinde akış profiline bağlı olarak deformasyon öncesi ve deformasyon bölgelerinde toz taneciklerinin akış hattı içerisinde deformasyon davranışları şekil 3.5 de görülmektedir. Burada zımba yoluna bağlı olarak zımba yüzeyi ile kalıp yüzeyi arasında kalan deformasyon bölgesi Al toz taneciklerinin zımba yoluna bağlı olarak değişen konumlarıyla değişen şekil değiştirme davranışları bakımından incelenmiştir. Gerçekte her bir Al toz taneciği kalıp yüzeyine doğru ilerlerken takoz içerisindeki ilk konumuna bağlı olarak farklı deformasyon kuvvetlerine ve hızlarına maruz kalmaktadır.

A bölgesi ekstrüzyon sırasında kovan içerisinde sıkıştırılmış ancak akışa katılmamış bölgedir. Bu bölgede toz tanecikleri sıkıştırılır ancak akış hattına ulaşmadıkları için tozlar hemen hemen orjinal (gevşek toz) sınırlarını ve geometrilerini korurlar.

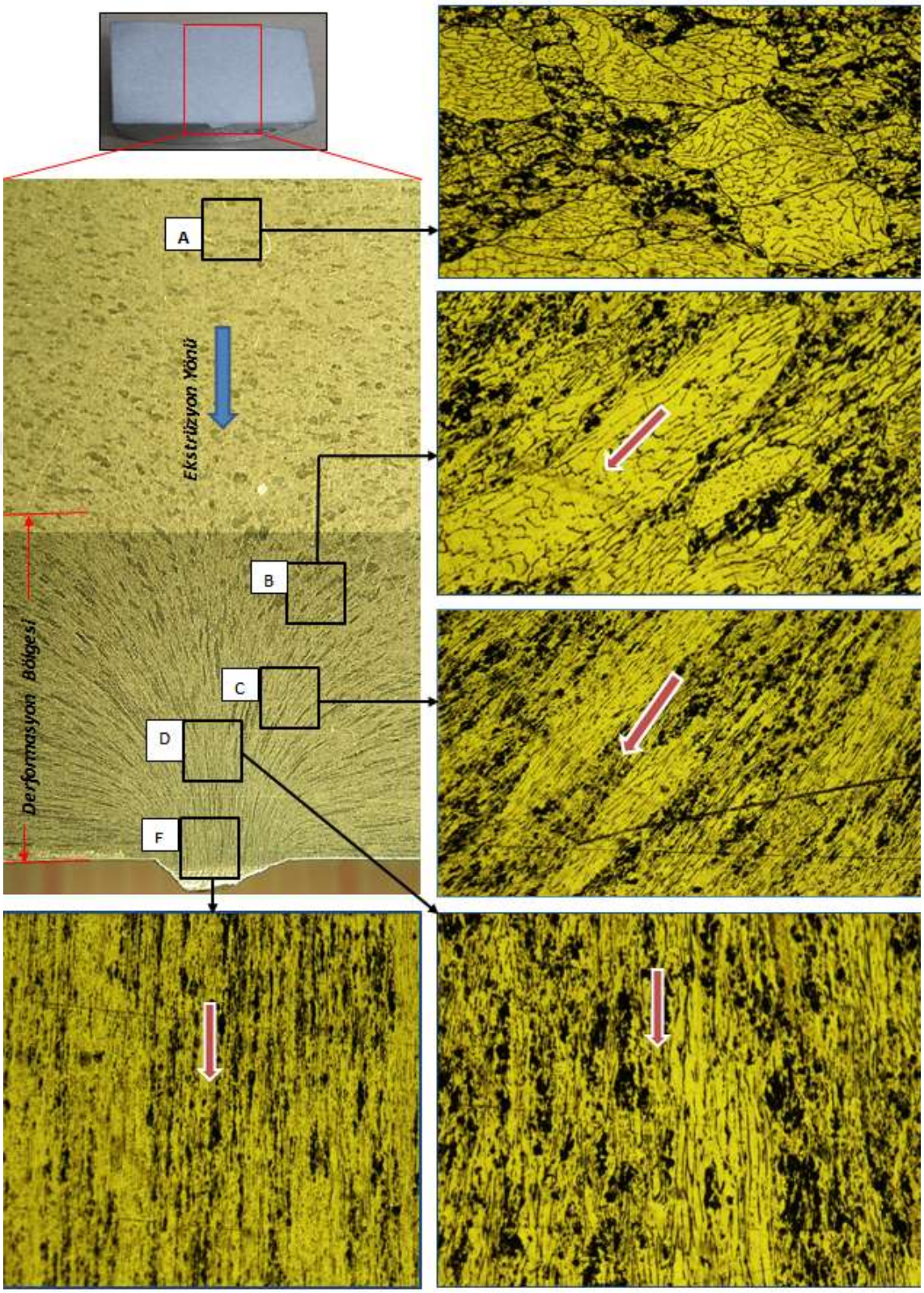
B bölgesi deformasyonun başladığı ve toz parçaçıklarının oluşan akış hatlarına girmeye başladığı bölgedir. Bu bölgede toz parçacıkları eksenel ve radyal gerilmeler etkisi altındadır. Deforme olan takozun merkezi ve kenarı arasındaki hız granyantı sonucu ortaya çıkan deformasyon hızındaki farklılık bu gerilmelere yol açar.

C bölgesinde , akış hattı içerisinde kalıp yüzeyine ve akış merkezine yaklaştıkca eksenel gerilmeler ve eksenel şekil değiştirme hızı daha etkin hale gelir ve bu durum tanaciklerin akış hattı boyunca uzayarak lifli hale gelmesine neden olur.

D ve F de kenardan merkeze yaklaştıkça deformasyon hızı artar ve daha çok eksenek gerilmeler etkin olmaya başlar . Bu bölgede tanecikler daha çok ekstrüzyon yönünde uzamaya zorlanır. Başlangıçta eş eksenli taneler bu bölge ve devamında tamamen uzamış -lifli-bir yapı kazanır. Bu bölgede taneler eksenel doğrultuda-ekstrüzyon yönü-çekme radyal doğrultuda basma gerilmeleri etkisi altındadırlar.

F bölgesi –kalıp çıkış ağzı- bu bölgede deformasyon hemen memen sonbulur . Ancak kalıp geçişi içerisinde kalıp ürün yüzey sürtünmeleri nedeniyle yinede bir akış gradyantı oluşur. Bu, ürün merkezine yaklaştıkça lifleşmenin artacağını gösterir.

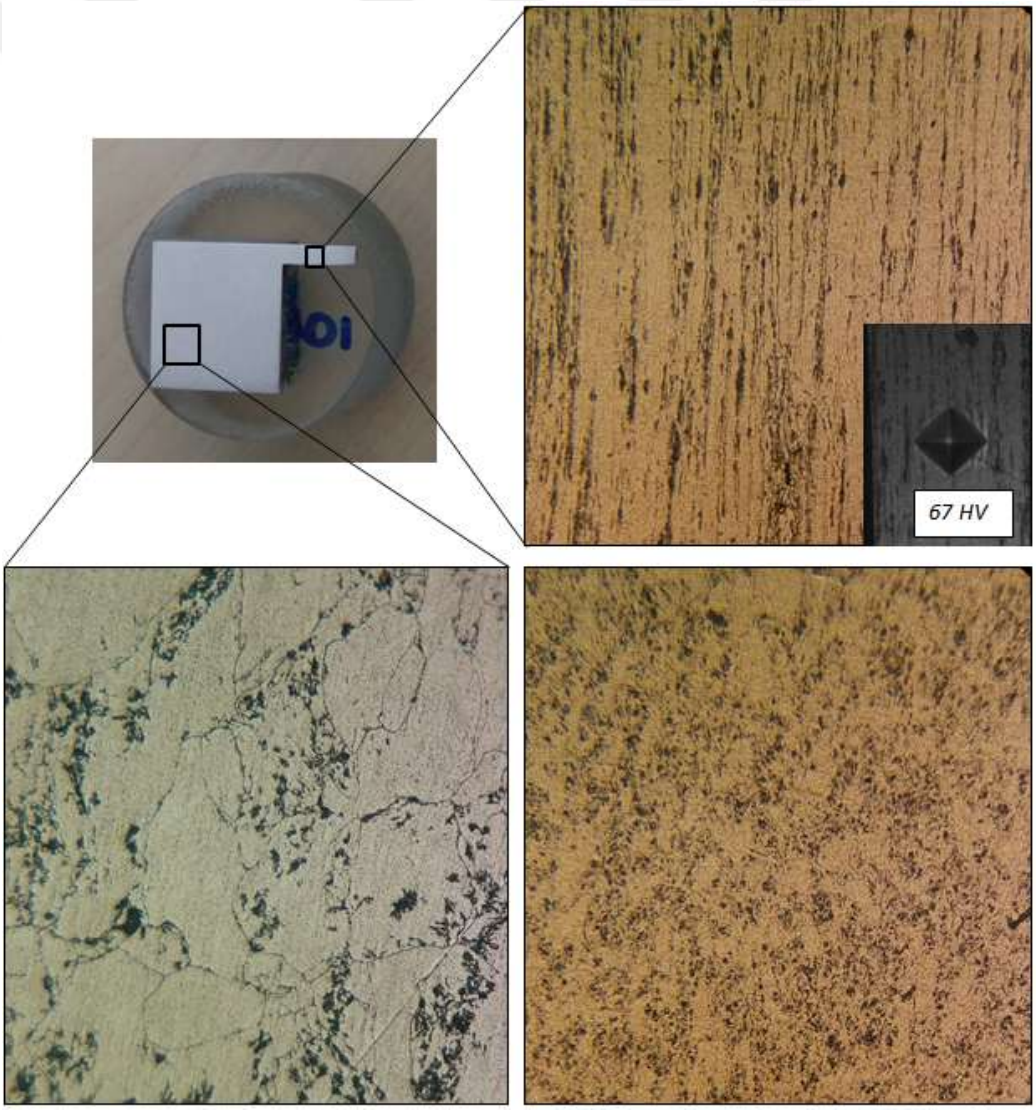
F bölgesinde toz tane sınırlarının –parçacık sınırı-tamamen kaybolduğu parçacıklar arasında tam bir kaynaşmanın gerçekleştiği görülür.



Şekil 3.5. Takoz içerisinde akış profiline bağlı olarak deformasyon öncesi ve deformasyon bölgelerinde toz taneciklerinin akış hattı içerisinde şekil değiştirme davranışları.

3.5 Ürün Mikroyapılarının İncelenmesi

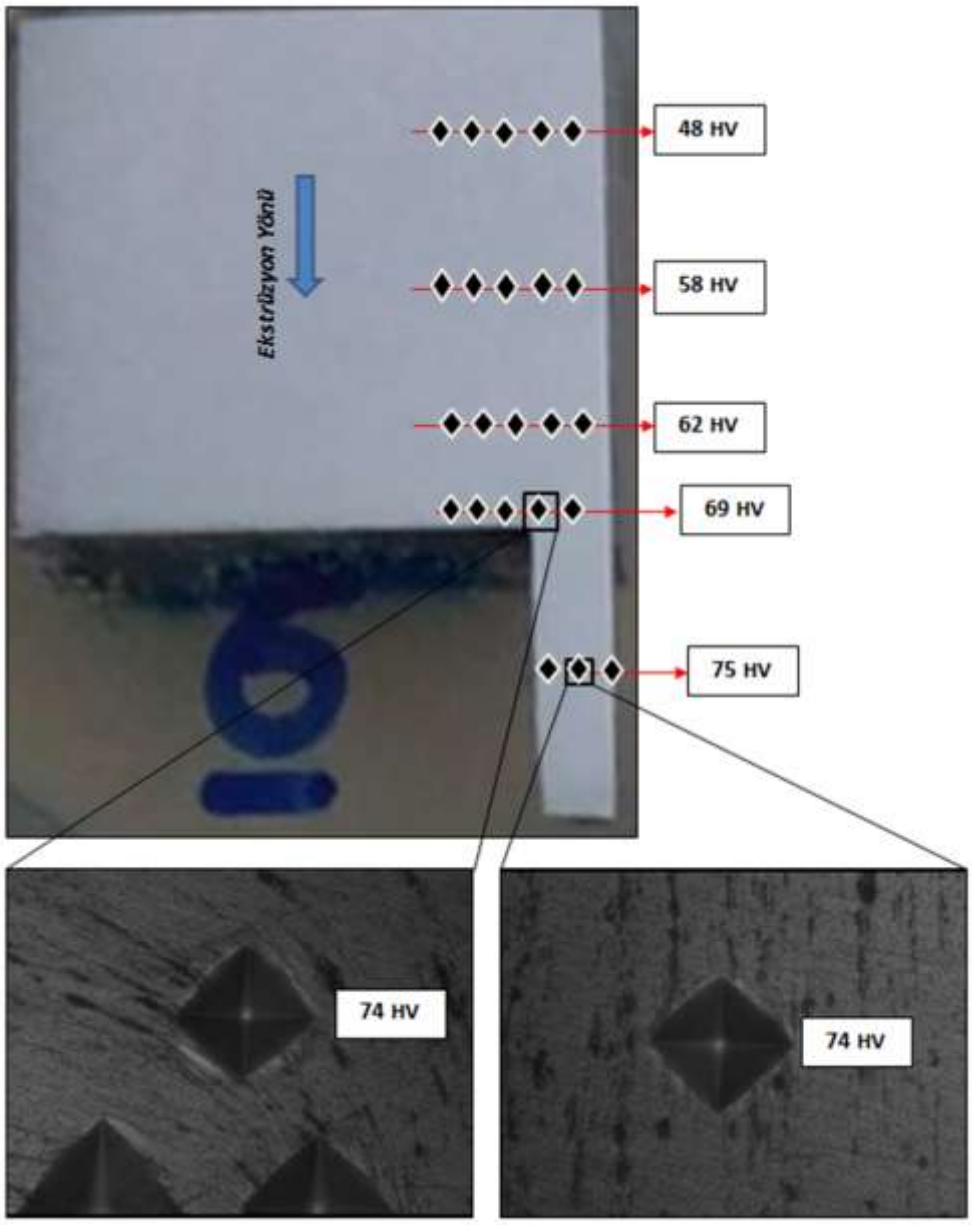
Şekil 3.6 da RE:50 Ekstrüzyon oranında ekstrüze edilen numunede takoz ve ürün kesit mikroyapısı ve ürün en kesit mikroyapısı görülmektedir. Takozun deforme olmamış bölgesinden alınan görüntüde defeorme olmamış eş eksenli iri toz taneleri görülmektedir. Ekstrüzyon sonrası bu tanelerin ekstrüzyon yönünde uzayarak fiber formında oluşum gözlenmektedir. Taneler incelerek uzamış ve tane sınırları kaybolmuştur. Bunun yanında ekstrüzyon öncesi toz tansi aralarındaki empuriteler de tanelerle beraber uzamış ve yayılmıştır. Ekstrüzyon sonrası toz taneleri arasındaki gözeneklerinde kapandığı görüntüden ve yoğunluk ölçümlerinden anlaşılmaktadır.



Şekil 3.6. RE:50 Ekstrüzyon oranında ekstrüze edilen numunede takoz ve ürün kesit mikroyapısı .

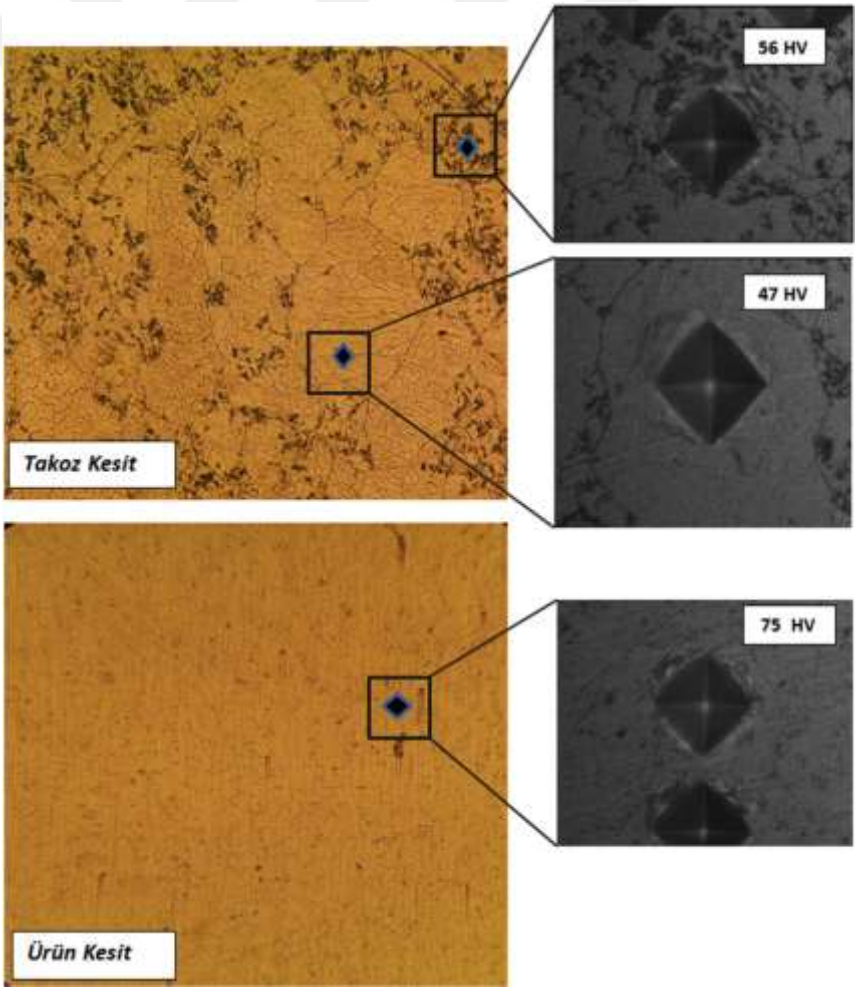
3.6. Ekstrüzyona Bağlı olarak Takoz ve Ürün Sertlik Özellikleri

RE:125 Ekstrüzyon oranında ekstrüze edilen takozdan arta kalan parça üzerinde mikrosertlik taraması şekil 3.7. de görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi, takoz üst yüzeyinden kalıp yüzeyine ve kalıp boşluğuna inildikçe takoz içerisindeki sertlik artmaktadır. Bu kalıp girişine yaklaştıkça artan deformasyon oranının ve buna bağlı olarak artan pekleşme etkisinin bir sonucudur.



Şekil 3.7. RE:125 Ekstrüzyon oranında ekstrüze edilen takozdan arta kalan parça üzerinde mikrosertlik taraması

Şekil 3.8 de Al tozlarından RE:125 Ekstrüzyon oranında ekstrüze edilen numunede takoz ve ürün iç yapı görüntüleri ve sertlik değerleri verilmiştir. Şekil den görüleceği gibi takoz kesiti içerisinde farklı sertlik değerime sahip bölgeler görülmektedir. Burada Al toz tanesi içerisinde 47 HV sertlik elde edilirken çoğunlukla tane sınırlarında koyu lekeciklerin görüldüğü bölgede 56 HV serlik elde edilmiştir. Bu bölgelerin nisbeten daha küçük toz parçacıklarının oluştuğu ve bu küçük taneciklerin oksitlenmesiyle daha yüksek sertlik değerlerinin elde dildiği düşünülmektedir. Burada eksstrüzyonun geleneksel toz metalurjisi sürecine bir katkısı olarak takoz içerisindeki bu öbeklenmiş taneciklerin veya empuritelerin ürün içerisinde dağıldığı ve sonuçta homajen bir malzeme yapısının elde edildiği görülebilir. Ürün içerisinde tane incelmesi ve deformasyon sertleşmesine bağlı olarak sertliğin arttığı görülür.



Şekil.3.8 Al tozlarından RE:125 Ekstrüzyon oranında ekstrüze edilen numunede takoz ve ürün iç yapı görüntüleri ve sertlik değerleri

3.7. Al- SiC toz karışımının Ekstrüzyonunda Akış Davranışı

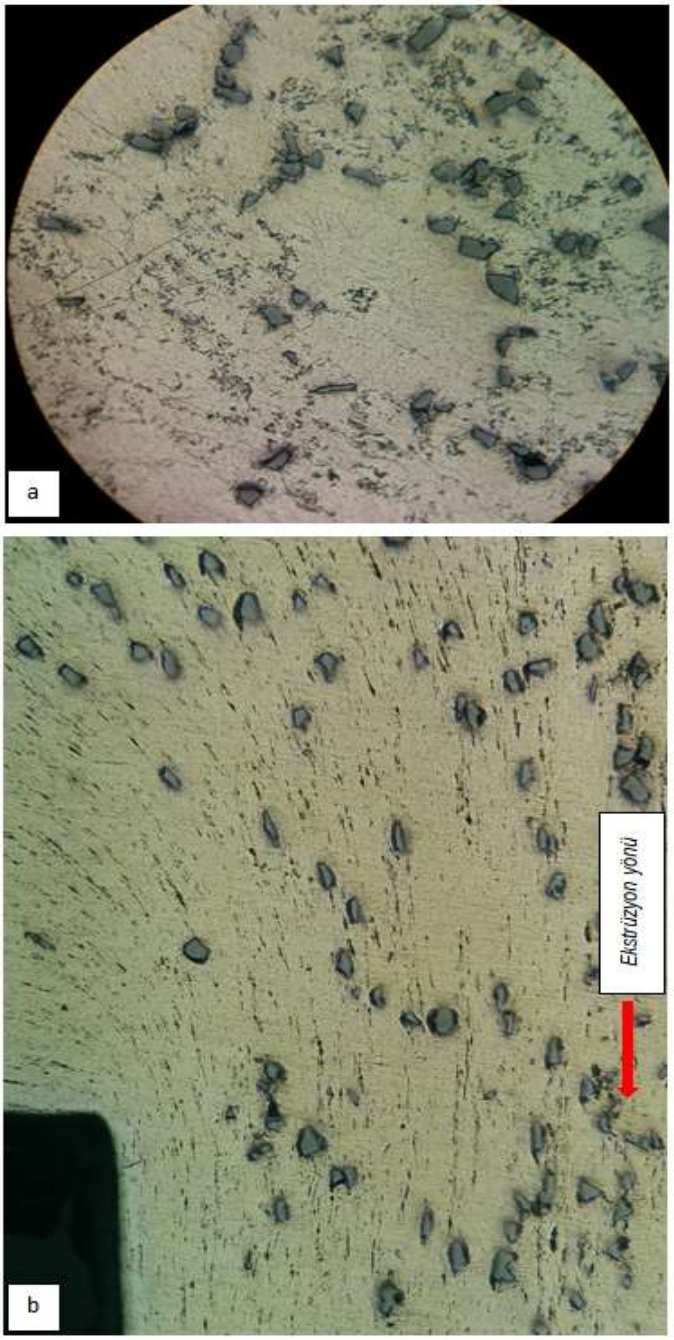
Al- % 10 SiC toz karışımından oluşan takozların ekstrüzyon sırasındaki akış davranışı ekstrüzyon sonrasında artık takoz üzerinden alınan numune üzerinden incelenmiştir. Şekil 3.9 da deforme olmamış bölge ve deformasyon bölgesi görülmektedir.

Şekil 3.9a' da görüldüğü gibi SiC seramik parçacıkları matris fazı olan Al toz parçacıklarının sınırlarında bulunmaktadır. Al toz parçacıklarının sırlarının bu şekilde Seramik parçacılarıyla çevrilmiş olması matrizs malzemesinin birbiriyle yüzey bağı oluşturmasını güçleştirir. Sadece sıcak preslemeyle üretilen Al/SiC ürünlerde özellikle tane boyutları arasındaki farkın büyük olduğu durumlarda, ürün düşük mekanik özellikler gösterecektir. Bu yapının eksrüze edilmesi bir yandan Al tozlarının yoğrularak daha küçük boyutlara ayrılmasını ve ekstrüzyon esnasında oluşan ısı ve basıncın etkisiyle daha iyi kaynaklaşmasını sağlarken öte yandan toz parçacık sınırlarına toplanmış SiC parçacıklarını yapı içerisinde homojen dağılımını sağlamaktadır (Şekil 3.9 b)

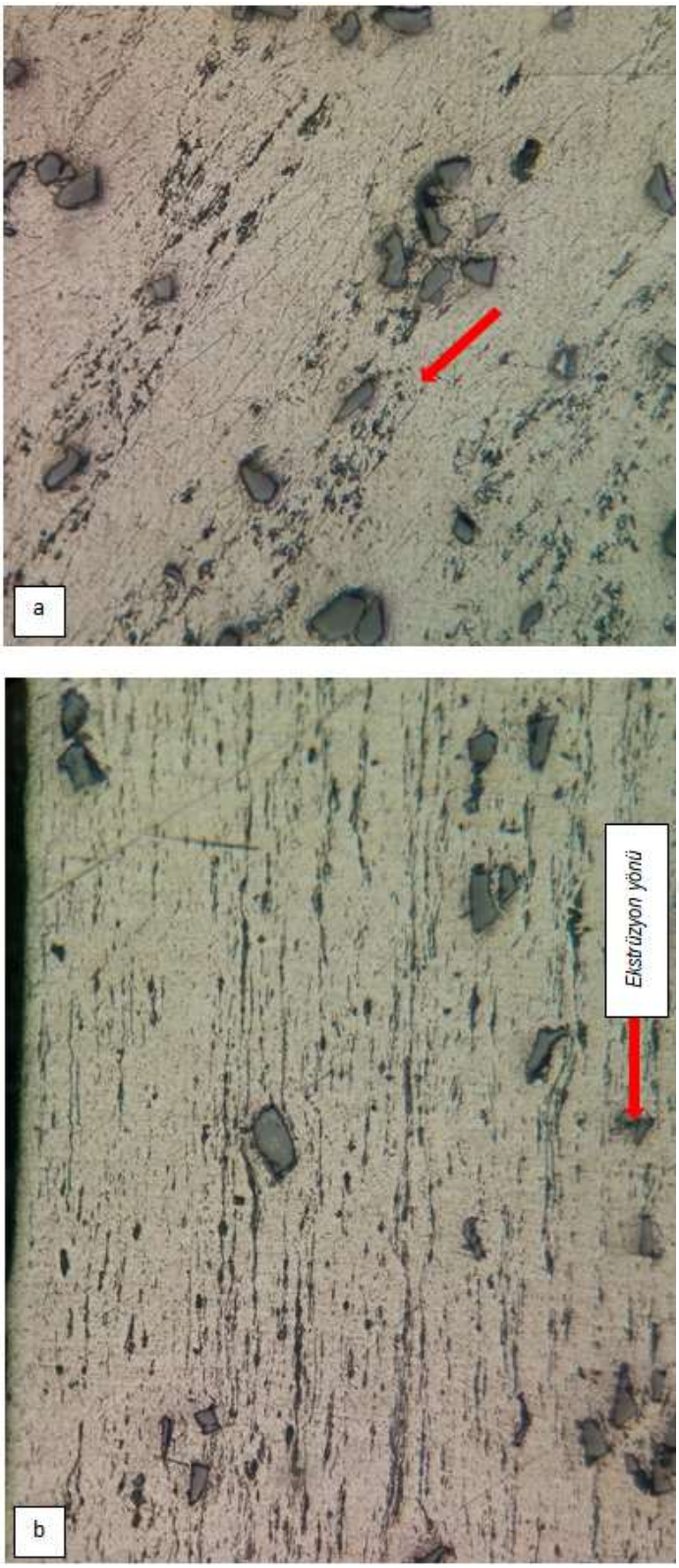
Şekil 3.9b ' de eksrüze olan Al/SiC kompozitin deformasyon bölgesi görülmektedir. Şekilden de açıkça anlaşılacağı gibi, Takoz icerisindeki kaba Al tanecikler deformasyon bölgesinde farklı eksendeki gerilmelerin etkisi altında uzayarak incelmiş ve koparak daha küçük parçalara ayrılmıştır. Takoz içerisindeki eş eksenli taneler ekstrüzyon sırasında akış bölgesinde lifli bir yapı kazanmıştır. Toz taneleri arasındaki ikincil fazlar, kirlilikler akış hatlarını daha belirgin hale getirmektedir. Diğer taraftan takoz içerisinde tane sınırlarında bulunan SiC parçacıkları deformasyon bölgesinde Al toz taneleri ile birlikte yönlenerek bu akışa katılmaktadır. Ayrıca SiC parçacıklarının yapı içerisinde daha homojen olarak dağıldığı görülebilir.

Şekil 10a 'da deformasyon bölgesi başlangıcında,Ai/SiC kompozitin akışı görülmektedir. Burada Al toz tanelerin deformasyonu ve akış hattı içerisinde yönlenmesi ve buna eşlik eden SiC parçacıklarının akışı net bir şekilde görülebilir. Şekil 10b de ise deformasyon bölgesinin son bulduğu ürün içerisinde Al/SiC kompozitin görüntüsü verilmiştir. Burada da benzer şekilde Al toz tanelerinin Uzayarak lifli hale geldiği ve toz tane sınırlarının kaybolduğu tanelerin birbirine tam kaynaştığı görülmektedir. Öte yanden SiC parçacıklarının akış doğrultusunda (liflenme yönünde)

yönlendiği görülmektedir. Bu yönlenmeler parçacık üzerinde iyi bir gerilme dağılımına yol açacağından yapının yük taşıma kabiliyeti bakımından önemlidir.



Şekil 3.9 %10 SiC takviyeli kompozit takozda a deforme olmamış bölge, b) deformasyon bölgesi

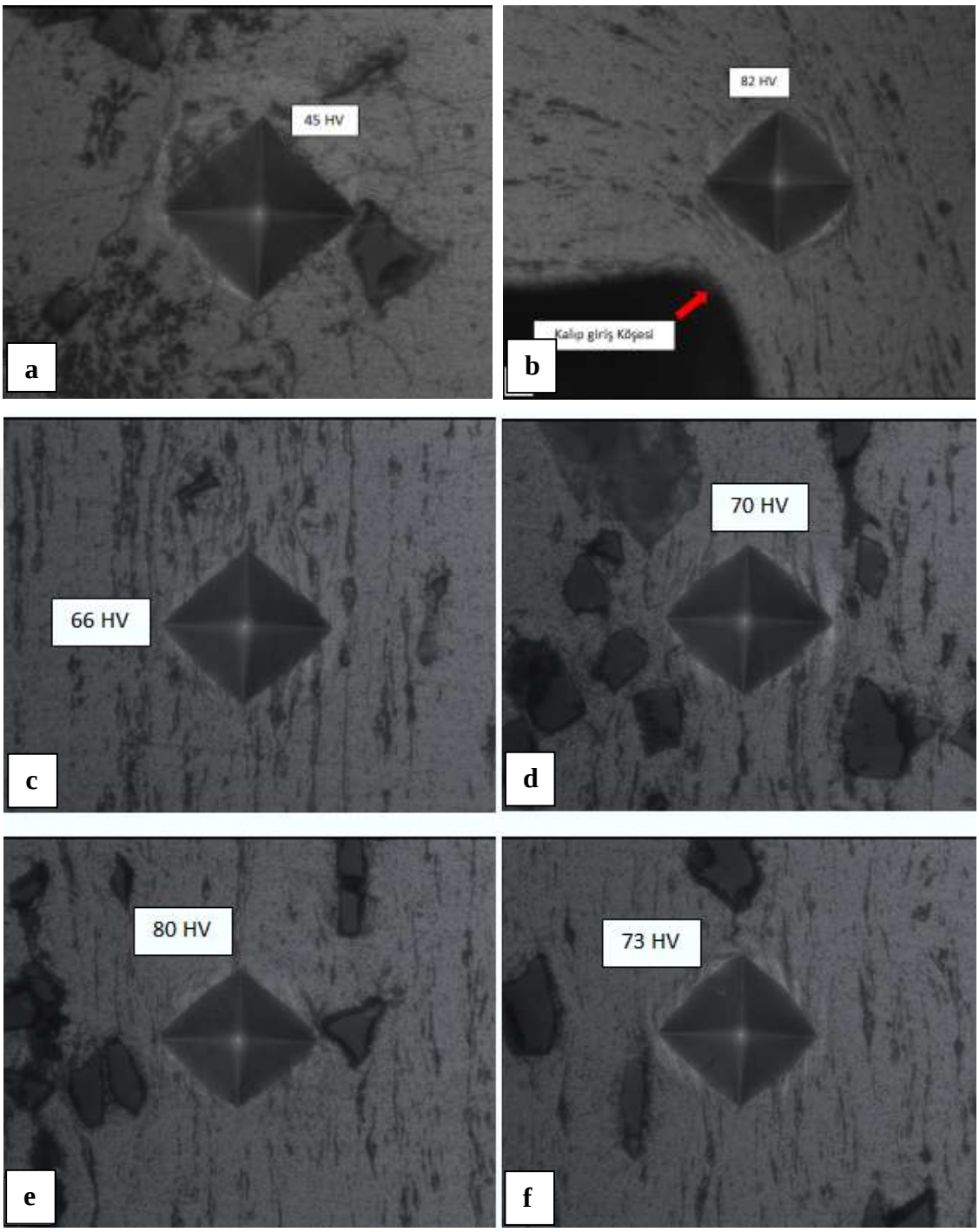


Şekil 3.10 a) Deformasyon bölgesinde b) ürün içerisinde Al/SiC kompozit yapısı

3.8. Al- SiC toz karışımının Ekstrüzyonunda Takoz ve ürün mikrosertlik özellikleri

Şekil 3.11.a da A/SiC kompozit takoz üzerinden alınan mikrosertlik izi görülmektedir. Deformasyon öncesi kompozit takozun ortalama 45 HV 0.01 sertliğinde olduğu görülür. Takozun deforme olasıyla deformasyon bölgesi içerisinde sertliğin artığı özellikle deformasyonun en fazla gerçekleştiği kalıp giriş köşelerinde 82 HV 0.001 değerine ulaştığı görülmektedir. Bu değer o bölge için özgün bir değerdir. Literatür kısmında da vurgulandığı gibi bu bölge deformasyon oranının ve hızının en yüksek değerine ulaştığı bölgedir. Dolayısıyla sertlik değerinin bu bölgede en yüksek değerde olması şaşırtıcı değildir. Bu bölgedeki dislokasyon yoğunluğu ve SiC parçacıklarının oluşturduğu sert parçacık etkisi bu sertlik artışının temel nedenidir.

Şekil 311c d e f ‘de ise ürün içerisinden alınan mikrosertliz iz görüntüleri verilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi farklı sertlik değerleri elde edilmiş ve sertlik 66 HV0.01 -80 HV0.001 arasında değişmektedir . Yapısal olarak ortalama ürün sertliği 72 HV0.01 dir. Farklı sertlik değerlerinin elde edilmesi serlik ölçümlerinin yapıldığı lokal bölgelerin takozun farklı bölgelerinden oluşmasıdır. Yani serlik ölçümü yapılan bölgenin deformasyon öncesi takoz içerisindeki konumu ürün içerisinde o bölgenin sertliğini etkileyen faktörlerden birisidir. Ürün içerisinde sertlik değerlerinde farklılaşmanın diğer bir nedeni ise sertlik ölçümü yapılan bölgede veya yakınında bulunan Sert SiC taneciklerinin etkisi olduğu düşünülmektedir. Makro sertlik ölçüm yöntemleriyle yapılana sertlik ölçümlerinde ölçümler arası farkların daha küçük olması beklenir.



Şekil 3.11 a) Deforme olmamış takoz içinden, b) Deformasyon bölgesi kalıp giriş köşesinden, c) Ürün içerisinde farklı bölgelerden alınmış mikrosertlik iz görüntüleri ve yapıları

4. BÖLÜM

GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1.Genel Sonuçlar

1. Ön sıkıştırılmış takozlarda 45 bar basınçta tokoz yoğunluğunun teorik yoğunluğun % 98 mertebesine ulaştığı görülmüştür.
2. Al tozları RE= 50 ekstrüzyon oranında soğuk ekstrüze edildiğinde takoz ön sıkıştırma değerinin ürün yoğunluğuna etkisi olmadığı, bu ekstrüzyon oranında üründe teorik yoğunluğa %98 ulaşıldığı görülmüştür.
3. Yüksek ekstrüzyon oranlarında (RE= 50 ve üzeri) doğrudan gevşek tozun ekstrüzyonu esnasında ortaya çıkacak ekstrüzyon basıncı (105 bar) takozun deformasyon öncesi teorik yoğunluğa ulaşmasını sağlamaktadır.
4. Ekstrüzyon oranındaki artışa bağlı olarak ürün serliğininde arttğı görülmüştür. Ekstrüzyon oranı 1.5 kat arttığında ürün sertliği 0.25 kat artmıştır. Yani ekstrüzyon oranına bağlı olarak ürün sertliği lineer artmamaktadır.
5. Takoz içerisinde iki farklı sınır oluşumu tanımlanabilir. Bunlardan birisi Al toz parçacıklarının geometrik sınırı , bu parçacık sınırı olarak tanımlanmıştır, ikincisi ise tox parçaçıklarının üretinden kaynaklanan metalurjik iç yapısındaki tane sınırı, bu da tane sınırı olarak tanımlanmıştır.
6. Ekstrüzyon sırasında deforme olan takoz içerisinde parçacık sınırları ve tane sınırları ekstrüzyon yönünde uzama eğilimindedir.
7. Takozun ekstrüzyonu sırasında deformasyon bölgesindeki taneler takoz içerisindeki konumlarına bağlı olarak (takoz kenarında, merkezde kalıp yüzeyine yakın , takoz üst yüzeyine yakın) farklı gerilmelerin ve şekil değiştirme hızlarının etkisi altındadır.

8. Ekstrüzyon sırasında başlangıçtaki eş eksenli toz taneleri kalıp çıkışında uzayarak lifli forma gelmektedir. Bu durum ürün içerisinde taneciklerin incelmesine ve toz tane yüzeylerinin daha iyi kaynaklaşmasını şağlamaktadır. Ürün içerisinde yapı ince tanelerden oluşan homojen bir hal almaktadır.
9. Deforme olan takoz içerisinde takoz üst yüzeyinden kalıp çıkışına doğru gidildikçe sertlik artmaltadır.
10. Takoz içerisinde parçacık tane büyüklügüne ve bu tane sınırlarındaki ikincil fazların dağılımına bağlı olarak farklı sertlikdeki bölgelere rastlanmıştır.

4.2 Öneriler

1. Ekstrüzyon oranının etkisi ekstrüzyon sıcaklığına bağlı olarak ayrıca değerlendirilebilir.
2. Al toz boyutunun ürün mukavemetine ve akış karakteristiklerine etkisi incelenebilir.
3. Takoz ve ürün sinterleme parametrelerinin ürün mekanik özelliklerine etkisi karşılaştırmalı olarak incelenebilir.

KAYNAKÇA

1. Ibrahım I.A., Mohamed F.A., Lavernia E.J., 1991. Particulate reinforced metal matrix composites-a review, **Journal of Materials Science, 26**: 1137-115
2. Rosso M.; 2006. Ceramic and metal matrix composites: Routes and properties; **Journal of Materials Processing Technology, 175** (1-3) :364-375
3. Mıracle D.B., 2005. Metal matrix composites – From science to technological significance, **Composites Science and Technology, 65** (15-16: 2526-2540
4. S. Suresh, A. Mortensen, A. Needleman, 1993. Fundamentals of Metal-Matris Composites, Butterworth-Heinnemann, USA, 435 pp.
5. Uyyuru R.K., Surappa M.K., Brusethaug S., 2007. Tribological behavior of Al–Si–SiC_p composites/automobile brake pad system under dry sliding conditions, **Tribology International, 40** (2) : 365-373
6. Candan E., Ahlatci H. and Çimenoğlu H., 2001. Abrasive wear behaviour of Al–SiC composites produced by pressure infiltration technique, **Wear, 247:** 133-138
7. Ahlatci H., Candan E. and Çimenoğlu H., 2004. Abrasive wear behaviour and mechanical properties of Al–Si/SiC composites, **Wear, 257**: 625-632
8. Karamış M. B, A. A. Cerit and Nair F., 2006. Surface characteristics of projectiles after frictional interaction with metal matrix composites under ballistic condition, **Wear, 261**: 738–745
9. Karamış M. B., Nair F. and Taşdemirci A., 2004. Analyses of metallurgical behavior of Al-SiC_p composites after ballistic impacts, **Composite Structure, 64**: 219-226
10. Karamış M. B., Taşdemirci A. and Nair F., 2003. Failure and tribological behavior of the AA5083 and AA6063 composites reinforced by SiC particles under ballistic impact, **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing ,34** (3): 217-226
11. Ozden S, Ekici R, Nair F., 2007. Investigation of impact Behaviour Of Aluminium Based Sic Particle Reinforced Metal-Matrix Composites ,**Composıtes Part A-Applıed Science and Manufacturing**, **38** (2): 484-494
12. Karamıs, M. B. Nair F., 2008. Effects of reinforcement particle size in MMCs on extrusion die wear, **Wear, 265** (11-12): 1741-1750

13. Leszek A. D., Anna W., Marcin A., 2006.The structure and properties of PM composite materials based on EN AW-2124 aluminum alloy reinforced with the BN or Al_2O_3 ceramic particles, **Journal of Materials Processing Technology**, **175 (**1-3) : 186-191
14. Abouelmagd G., 2004. Hot deformation and wear resistance of P/M aluminium metal matrix composites, **Journal of Materials Processing Technology**, **155-156**: 1395-1401
15. Hashim J., Loney L., Hashmi M.S.J., 1999. Metal Matrix composites: production by the stir casting method, **Journal of Materials Processing Technology**, **92-93**: 1-7
16. JIANG, J., Collado, C., Keeley, D. and Dodd B., 1995. Room temperature formability of particle-reinforced metal matrix composites: forging, extrusion and deep drawing, **Composites, 26** (11): 785-789
17. Carvalho, M.H., Marcelo, T., Carvalhinhos, H., Sellars, C., 1992. Extrusion and mechanical properties of mixed powder and spray co-deposited Al 2014/SiC metal matris composite, **Journal of Materials Science, 27**: 2101-2109
18. Nair F., 2005. Al/SiCp Kompozitlerin Ekstrüzyonunda Kalıp Sürtünme- Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi ve Değerlendirilmesi, Erciyes Universtesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri 260 s.
19. Senthılvelan T., Raghukandan K., Venkatraman A., 2004. Estimation of extrusion stress for sintered P/M preforms-nomogram approach, **Journal of Materials Processing Technology, 153-154**: 420-423
20. Das, S., Mondal, D.P., Yegneswaran, A.H., Effect of particle reinforcement on the upsetting and cold indirect extrusion behaviour of 2014 Al-alloy, Advances in production and processing of Aluminium (APPA 2001), (2001, 12-15 Bahrain) Proceedings of International Conference, P 08-4-1-13
21. Galanty M., Kazanowski P., Kansuwan P., Misiolek W. Z, 2002. Consolidation of metal powders during the extrusion process, **Journal of Materials Processing Technology, 125-126**: 491-496
22. Abouelmagd G., 2004. Hot deformation and wear resistance of P/M aluminium metal matrix composites, **Journal of Materials Processing Technology, 155-156** : 1395-1401

23. Zubızarreta C., Giménez S., Martín J.M., Iturriza I., 2009. Effect of the heat treatment prior to extrusion on the direct hot-extrusion of aluminium powder compacts, **Journal of Alloys and Compounds, 467** (1-2) : 191-201
24. Leszek A. Dobrzański, Anna Włodarczyk, Marcin Adamiak, 2006. The structure and properties of PM composite materials based on EN AW-2124 aluminum alloy reinforced with the BN or Al_2O_3 ceramic particles, **Journal of Materials Processing Technology, 175 (**1-3): 186-191
25. Sato T., Besshi T., Matsui M., 1998. A new near net-shape forming process for alumina **Journal of Materials Processing Technology, 79 (**1-3): 125-132,
26. Zhang H., Ramesh K. T., Chin E. S. C., 2004. High strain rate response of aluminum 6092/B_4C composites, **Materials Science and Engineering A, 384** (1-2): 26-34
27. Schoenung, Chin E.S.C., Zhang H., Chen M.W., K.T. Ramesh, J. Ye, J.M., 2006. Tensile behavior and dynamic failure of aluminum 6092/B_4C composites, **Materials Science and Engineering: A, 433** (1-2): 70-82
28. Carvalho, M.H., Marcelo, T., Carvalhinhos, H., Sellars, C., 1992. Extrusion and mechanical properties of mixed powder and spray co-deposited Al 2014/SiC metal matris composite, **Journal of Materials Science, 27:** 2101-2109
29. Wakıl E., 1992. Extrusion of P/M Composites in the semi-solid state, **The international Journal of Powder Metallurgy, 28**: 2
30. Goswami, R.K., Sikand, R., Dhar, A., Grover, O.P., Jindal, U.C., Gupta, A.K., 1999. Extrusion characteristics of aluminium alloy /SiCp metal matrix composites, **Materials Science Technology, 15**: 443-449
31. Tsipas, D.N., Kariofillis, G.K., 1996. Erosion and wear properties of Boride, Nitride and Electroless Nicel coatins on H13 AISI steel, Balkantrib '96 The 2th International Conference of Tribology, Thessaloniki-Greece, 5-7, June, p.385-392
32. Dutta, B., Samajdar, I., Surappa, M.K., 1998. Particle redistribition and matrix microstructure evoluation during hot extrusion of cast SiCp reinforced aluminium alloy matrix composites, **Materials Science and Technology, 14:** 36-46

33. Turenne, S., Legros, N., Laplante, S., Ajersch, F., 1999. Mechanical behaviour of aluminium matrix composite during extrusion in the semisolid state, **Metallurgical and materials Transactions A, 30A**: 1137-1442

34. Chen, W.C., Davies, C.H.J., Samarasekera, I.V., Brimacombe, J.K., Hawbolt, E.B., 1996. Mathematical modelling of the extrusion of 6061/Al2O3/20p composites, **Metallurgical and materials Transactions A, 27A** : 4095-4110

35. Zhou, J., Li, L. and Duszczyk J., 2004. Computer simulated and experimentally verified isothermal extrusion of 7075 aluminium through continuous ram speed variation **Journal of Materials Processing Technology, 146** (2, 28): 203-212

36. Carvalho, M.H., Marcelo, T., Carvalhinhos, H., Sellars, C., 1992. Extrusion and mechanical properties of mixed powder and spray co-deposited Al 2014/SiC metal matris composite, **Journal of Materials Science, 27:** 2101-2109

37. Jiang, J., Collado, C., Keeley, D. and Dodd B., 1995. Room temperature formability of particle-reinforced metal matrix composites: forging, extrusion and deep drawing **Composites, volume, 26** (11): 785-789

38. Li, L., Zhou J., and Duszczy, J., 2004. Prediction of temperature evolution during the extrusion of 7075 aluminium alloy at various ram speeds by means of 3D FEM simulation Journal of Materials Processing Technology, **145** (3, 1): 360-370

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Şükrü TOYGAR
Uyruğu: Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri: 1977-Kayseri (Develi)
Medeni Durum: Evli
e-mail: toygar@btechnic.com.tr
Yazışma Adresi: BTEKNİK SAVUNMA KOMPOZİT VE KAYNAK TEKNOLOJİLERİ SAN. TİC. LTD. ŞTİ.
Barbaros Mah. 3304. Sokak Garanti Plaza No:13/48
38060 Kocasinan/KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Mak Müh. Böl.	2020
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Mak Müh. Böl.	2001
Lise	Lise İsmi, Şehir	1995

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2003-2006	Bakım Mühendisi	Bakım Mühendisi
2006-2014	2. Ana Bakım Fabrika Müdürlüğü (Anatamir Fabrikası)	Proje Mühendisi
2014-Halen	BTEKNİK SAVUNMA	Sahibi

YABANCI DİL

İngilizce