

**TOZ ENJEKSİYON KALIPLAMADA BESLEME STOĞUNUN
AKICILIĞINA İŞLEM PARAMETRELERİNİN ETKİSİ**

Faysal OĞULCU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2006
ANKARA**

Faysal OĞULCU tarafından hazırlanan " TOZ ENJEKSİYON KALIPLAMADA BESLEME STOĞUNUN AKICILIĞINA İŞLEM PARAMETRELERİNİN ETKİSİ" adlı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet ERDOĞAN

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir

Başkan :Prof.Dr. Mehmet TÜRKER

Üye :Prof.Dr. Ercan CANDAN

Üye :Prof.Dr. Mehmet ERDOĞAN

Üye : _____

Üye : _____

Tarih : .11.09.2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Faysal OĞULCU

**TOZ ENJEKSİYON KALIPLAMADA BESLEME STOĞUNUN
AKICILIĞINA İŞLEM PARAMETRELERİNİN ETKİSİ
(Yüksek Lisans tezi)**

Faysal OĞULCU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Eylül 2006

ÖZET

Bu çalışmada toz enjeksiyon kalıplama işleminde hazırlanan besleme stoklarının kalıp içerisinde ilerleme özellikleri üzerine basınç, metal toz/bağlayıcı hacim oranı, hazne ve kalıp sıcaklıkları gibi işlem parametreleri arasındaki bağıntılar araştırılmıştır. Besleme stoğunun akıcılık karakterlerinin tespiti için spiral kalıp kullanılmıştır. Metal tozu olarak 45 µm ortalama çapa sahip 316L paslanmaz çelik ve bağlayıcı olarak suda çözünen polietilen glikol (PEG) ile polimetilmetakriat (PMMA) karışımı kullanılmıştır. Toz hacim miktarı %50, 52 ve 55 olarak kullanılırken uygulanan basınç 10, 20, 30 bar'dır. Uygulanan kalıp sıcaklıkları 40, 60, 80 °C ve hazne sıcaklığı 150, 160 ve 170°C'dir.

DeneySEL sonuçlar, toz hacim miktarının akıcılık üzerinde en fazla etkisi olurken yüksek basıncın kayda değer etkisinin olmadığını göstermiştir. Hazne sıcaklığı ve kalıp sıcaklığı artışı ile akıcılık artmış fakat 170°C hazne sıcaklığında bağlayıcı yanması ve 80°C kalıp sıcaklığında kalıba yapışma problemleri gözlenmiştir. Optimum şartların enjekte basıncında 20 bar, metal toz oranında %52, kalıp sıcaklığında 60°C

ve hazne sıcaklığının ise 160°C olduğunu göstermiştir.

Bilim Kodu : 710.1.092
Anahtar Kelimeler : Toz enjeksiyon kalıplama, besleme stoğu, PEG, PMMA, 316L
Sayfa adedi : 63
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Mehmet ERDOĞAN

**EFFECT OF PROCESS PARAMETERS ON THE FLUIDITY OF FEED
STOCK IN POWDER INJECTION MOULDING**

(M.Sc. Thesis)

Faysal OĞULCU

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

September 2006

ABSTRACT

In this study, relationship between applied pressure, ratio of powder/binder, barrel and mould temperatures (i.e process parameters) on the advance of the feedstock in the mould (fluidity) in injection moulding process has been investigated. Spiral mould has been used to identify fluidity characteristics of the feed stock. As metal powders 316 L stainless steel, having 45 µm mean diameter, whereas as binders mixture of water soluble polyetilen glicol (PEG) and polymetilmetacrylat (PMMA) were used. The ratios of powder in feedstock were 50, 52 and 55% while the applied pressures were 10, 20 and 30 bar. Applied mould temperatures were 40, 60 and 80°C and barrel temperatures were 150, 160 ve 170°C

Experimental results showed that the powder ratio in the feed stock had the most significant effect while the effect of higher applied pressures was less pronounced. The fluidity has been increased with increasing both barrel and mould temperature, however, burning of the binder as the barrel temperature increased to 170°C and sticking of the green part in the mould occurred as the mould temperature increased to 80°C. The optimum conditions for injection moulding were observed as 20 bar

applied pressure, 52% metal powder ratio, 60°C mould and 160°C barrel temperature for this study.

Science Code : 710.1.092
Key Words : Powder injection molding, feedstock rheology, process parameters, PEG, PMMA, 316 powder
Page number : 63
Adviser : Prof. Dr. Mehmet ERDOĞAN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni destekleyen danışmanım Prof. Dr. Mehmet ERDOĞAN'na, kıymetli tecrübeleri ve engin bilgisiyle tezimin oluşturulmasında hiç bir yardımı esirgemeyen Prof. Dr. Ercan CANDAN'a, bilgi ve deneyimiyle her zaman yanımda olan yardımlarını esirgemeyen kıymetli arkadaşım Yrd. Doç. Dr. Yunus TÜREN'ne ve sevgili kardeşim yüksek lisans öğrencisi Mehmet ARSLAN'na sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Yetişmemde büyük katkıları olan başta Değerli Hocam Prof. Dr. Mehmet TÜRKER ve Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi bölüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım. Deney çalışmalarımda laboratuvarları kullanmama izin veren Karabük Teknik Eğitim Fakültesi yetkilerine, başta Doç. Dr. Şennur CANDAN olmak üzere Malzeme Bölümündeki öğretim elamanı arkadaşlarıma maddi ve manevi destekleri nedeniyle teşekkürlerimi sunarım. Değerli eşim ve çocuklarıma da manevi destekleri, anlayış ve sabırları için çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER**Sayfa**

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISATMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. TOZ ENJEKSİYON KALIPLAMA.....	3
2.1.TEK ve Diğer Teknolojiler.....	6
2.2.TEK Teknolojisinin Uygulama Alanları.....	9
2.2.1.Ateşli silahlar.....	9
2.2.2.Otomotiv	9
2.2.3.Tıp ve medikal endüstri.....	10
2.2.4.El aletleri endüstrisi.....	10
2.2.5.Elektronik Endüstrisi.....	10
2.3.Toz Enjeksiyon Kalıplamanın Avantajları ve Dezavantajları.....	11
2.4.Toz Enjeksiyon Kalıplamanın Parametreleri.....	11
2.4.1. Toz.....	12
2.4.2 Kalıplama yoğunluğu.....	12
2.4.3 Paketlenmeyi etkileyen faktörler.....	12

Sayfa

2.4.4 Paketlenmede tanecik boyunun etkisi.....	13
2.4.5. Eş boyutlu küresel taneciklerin paketlenmesi.....	16
2.4.6. Küresel olmayan taneciklerin paketlenmesi.....	17
2.4.7. İki boyutlu küresel tanelerin karışımı.....	18
2.5. Bağlayıcı.....	19
2.5.1. Bağlayıcı gereksinimleri.....	19
2.5.2. Temel karakteristikler.....	22
2.5.3. Bağlayıcı kuvvetler.....	27
2.5.4. Bağlayıcı karışımının reolojisini etkileyen faktörler.....	29
2.6. Bağlayıcının Çıkarılması.....	32
2.7. Sinterleme.....	33
3. TEK KALIPLAMA ALANINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	35
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	41
4. 1 Malzeme.....	41
4.1.1 Metal tozu.....	41
4.1.2. Bağlayıcı.....	41
4.2. Cihaz ve Ekipmanlar.....	42
4.2.1. Karıştırıcı.....	42
4.2.2. Akıcılık Spirali.....	42
4.2.3. Toz Enjeksiyon Kalıplama Makinesi.....	43
4.3. Deneyin Yapılışı.....	45
4.3.1. Karışımın hazırlanması.....	45

	Sayfa
4.3.2. Karışımın granül yapılması.....	45
4.3.3. Malzemelerin akış uzunluğunun ölçülmesi.....	45
4.3.4. Deney parametreleri.....	45
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	49
5.1. Presleme Basıncının Spiral Uzunluğuna Etkisi.....	49
5.2. Katı Hacim Oranının Spiral Uzunluğuna Etkisi.....	51
5.3. Kalıp Sıcaklığının Spiral Uzunluğuna Etkisi.....	53
5.4. Hazne Sıcaklığının Spiral Uzunluğuna Etkisi.....	55
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	57
6.1. Sonuçlar.....	57
6.2. Öneriler.....	57
KAYNAKLAR.....	58
ÖZGEÇMİŞ.....	63

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. İmalat teknolojilerinin çeşitli Parametreler açısından kıyaslanması.....	8
Çizelge 2.2. Tanecik şeklinin rastgele yoğun paketlenme üzerine etkisi.....	18
Çizelge 2.3. Bazı bağlayıcıların özellikleri.....	24
Çizelge 2.4. Çeşitli molekül ağırlıklarındaki polietilen glikol türlerinin tipik fiziksel özellikleri.....	27
Çizelge 2.5. Bağlayıcılarda kullanılan bazı maddelerin reolojik özellikleri.....	30
Çizelge 2.6 316L Toz katı hacim oranına bağlı deney parametreleri.....	46
Çizelge 2.7 Kalıp sıcaklığına bağlı deney parametreleri.....	47

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Toz enjeksiyon kalıplama ile üretilen parçalarının imalat safhaları.....	3
Şekil 2.2. İmalat teknolojilerinin parça karmaşıklığı ve üretim miktarı parametreler açısından uygulama alanları.....	7
Şekil 2.3. Üretim maliyetlerinin parça karmaşıklığına göre karşılaştırılması.....	8
Şekil 2.4. Başlangıç toz paketlenme yoğunluğuna karşı boyut çekmesi diyagramı.....	13
Şekil 2.5. Gevşek paketlenmiş cam kürelerde, parçacık çapı ile kısmi paketleme yoğunluğu arasındaki ilişki	14
Şekil 2.6. Parlatılmış kesitte tane içi boşlukların optik mikroskopta görünümü.....	17
Şekil 2.7. Çeşitli molekül ağırlıklarındaki PEG'lerin genel fiziksel davranışları.....	25
Şekil 2.8. Küresel toz taneciklerinin paketlenmesinde sıvı doyumluk durumları: a-Sarkaçası durum, b-Lifsi durum, c-Kılcal durum, d-Damlacıklı durum	28
Şekil 2.9. Birbirinden a mesafesi ile ayrılmış iki levhadan üsttekinin V hızı ile hareket etmesiyle akışkan moleküllerinin alt levhaya göre diferansiyel hareketi.....	31
Şekil 4.1. Akıcılık spirali kesit görünüşü.....	42
Şekil 5.1. Presleme basıncına bağlı spiral uzunluğu değişimi (katı hacim: % (50).....	49
Şekil 5.2. Presleme basıncına bağlı spiral uzunluğu değişimi (katı hacim: % 52).....	50
Şekil 5.3. Presleme basıncına bağlı spiral uzunluğu değişimi (katı hacim: % 55).....	50
Şekil 5.4. Katı hacim oranına bağlı spiral uzunluğu değişimi (basınç: 10 bar).....	52

Şekil	Sayfa
Şekil 5.5. Katı hacim oranına bağlı spiral uzunluğu değişimi (basınç: 20 bar).....	52
Şekil 5.6. Katı hacim oranına bağlı spiral uzunluğu değişimi (basınç: 30 bar).....	53
Şekil 5.7. Kalıp sıcaklığına bağlı spiral uzunluğu değişimi (katı hacim: % 50).....	54
Şekil 5.8. Kalıp sıcaklığına bağlı spiral uzunluğu değişimi (katı hacim: % 52).....	54
Şekil 5.9. Kalıp sıcaklığına bağlı spiral uzunluğu değişimi (katı hacim: % 55).....	55
Şekil 5.10. Kalıp sıcaklığına bağlı spiral uzunluğu değişimi (kalıp sıcaklığı 60 °C, presleme basıncı 20 bar).....	56

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1 1998 yılında MPIF tasarım ödülü alan tek ile üretilmiş parçalar.....	5
Resim 2.2. TEK ile üretilmiş 316L paslanmaz çelikten kilit silindir yuvası.....	6
Resim 2.3. Ateşli Silah Endüstrisi TEK için ideal bir uygulama alanıdır.....	9
Resim 2.4. Otomotiv endüstrisinde kullanılan TEK parçaları.....	10
Resim 2.5. Medikal uygulamalar için TEK parçalara örnekler.....	10
Resim 2.6. El Aletleri Endüstrisinde kullanılan TEK parçalara örnekler.....	10
Resim 2.7. Elektronik Endüstrisinde kullanılan TEK parçalara örnekler.....	11
Resim 4.1. 316L Paslanmaz çelik tozu SEM görüntüsü.....	41
Resim 4.2. Akıcılık spirali	43
Resim 4.3. Toz enjeksiyon kalıplama makinesi	44
Resim 4.4. Toz Enjeksiyon Kalıplama Makinesi (Kalıp).....	44

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklama
TEK	Toz Enjeksiyon Kalıplama
TM	Toz Metalurjisi
MPIF	Metal Powder Industries Federation, A.B.D
PEG	Polietilen Glikol
PMMA	Polimetilmetakrilat

1. GİRİŞ

Yeni yüzyılın başlangıç eşiğinde teknoloji hızla ilerlerken metal bazlı malzemelerin üretimi kapsamındaki döküm yada sıcak/soğuk şekillendirme teknolojilerde yerini daha modern ileri üretim teknolojilerine bırakma çalışmaları hızlanmıştır. Bu ileri teknolojilerden bir çeşidinde toz metalurjisi ve bunun alt birimi olan toz enjeksiyon kalıplamadır.

Toz Enjeksiyon kalıplama (TEK) bir metal ve seramik işleme teknolojisi olup, günümüzde oldukça büyük bir önem kazanmıştır. 1970'li yıllarda dikkati çekmeye başlayan tek alternatif yöntemlerle üretimin masraflı olacağı küçük hassas parçalar için ucuz bir imalat işlemi olarak son on yılda kendini kanıtlamıştır. TEK aslında klasik toz metalurjisi ve plastik enjeksiyon kalıplamanın karışımından oluşan bir işlemdir. Tozların bağlayıcı maddelerle karıştırılması bu karışımın plastik enjeksiyon makinesinde kalıplanması kalıplanan parçadan geriye bağlayıcının alınması ve parçanın pişirilmesi TEK'in ana üretim basamaklarını oluşturur [1].

Başarılı parça üretimi için uygun toz ve bağlayıcıyı (plastik ve katkı maddeleri) seçmek daha sonra karışımı oluşturacak toz ve bağlayıcı oranı ile kalıplama sıcaklık ve basıncını belirlemek en kritik parametrelerdir.

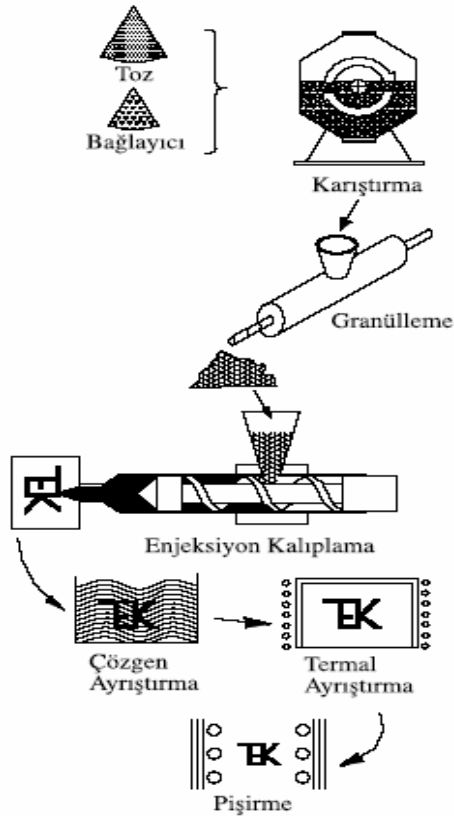
TEK'de istenilen metal veya seramik tozundan bir ön-ürün elde etmenin başarısı metal tozunun şekli ve büyüklüğü yanında kullanılacak bağlayıcının cinsi, miktarı ve bununla hazırlanacak besleme stoğunun uygun reolojik özelliklerine bağlıdır [1-4]. Bağlayıcının belirleyici özelliği toz parçacığını sarabilmesi için uzun bir molekül yapısına sahip olması gereğidir. Bu yüzden bağlayıcı olarak polimerik kimyasal maddeler uygun olmaktadır. Literatürde çeşitli polimerlerin bağlayıcı olarak kullanılmasıyla ilgili araştırmalar bulunmaktadır. Bağlayıcılar içinde suda çözünebilirler bağlayıcının çıkarılması sinterleme sırasında meydana gelen çarpılmaların önlenmesi açısından önemli bir yaklaşımdır [5, 6-8].

Ancak literatürde toz ve bağlayıcı hacim oranı hazne ve kalıp sıcaklığı ile uygulanan basınç arasındaki ilişkilerin akıcılık üzerine etkisi yeterince anlaşılmış değildir. Dolayısıyla bu çalışma 316L paslanmaz çelik tozu, bağlayıcı, % katı hacim oranı, hazne sıcaklığı, kalıplama sıcaklığı ve kalıplama basıncının akıcılığa olan etkisinin araştırılmasını amaçlamaktadır.

2. TOZ ENJEKSİYON KALIPLAMA

Toz enjeksiyon kalıplama (TEK); karmaşık şekilli küçük boyutlu makine parçalarının, protezlerin ve tıbbi cihaz parçalarının üretimlerinde, metal veya seramik tozlarının bir bağlayıcı/taşıyıcı yardımıyla bir kalıp içerisine doldurulması yöntemidir.

Toz metalurjisi (T/M), metalurjinin metalik toz veya bu tozların şekillendirilip sinterlenmesiyle yapılan ürünlerin imalatı ile ilgili bölümüdür [T.S., 3087]. Bir başka deyişle metal tozu ve ondan kütsel malzemeler ve şekillendirilmiş parçalar üretme teknoloji ve sanatıdır [A.S.M.,1984]. En yaygın kullanılan imalatın safhaları Şekil 2.1 'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Toz enjeksiyon kalıplama ile üretilen parçalarının imalat safhaları [2]

T/M üretim yöntemleri diğer metal şekillendirme yöntemlerinden tamamen farklıdır ve seramik parça üretim teknolojisine benzemektedir [3]. T/M yönteminde modern gelişmeler 1. Dünya savaşı yıllarında başlamıştır. Gözenekli gereçler, mıknatıslar ve emdirilmiş demir tozu parçalar bu yıllarda üretilmiştir. Otomobil sanayisindeki büyük gelişmeler T/M yöntemlerini birlikte oluşturmuştur. 1940'lı yıllarda T/M ürünü olarak en çok Cu esaslı kendi kendini yağlayan yataklar üretilmiştir. 1950'li yıllardan itibaren demir ve çelik tozlarından üretilen dişliler, kamlar ve çeşitli şekillerde parçalar piyasaya egemen olmaya başlamıştır. 1960'larda tam yoğun dövme çelik parçalar, takım çelikleri, ve izostatik preslenmiş süper alaşımlar gibi T/M malzemeleri üretilmiştir [4]. 1995'te toz enjeksiyon kalıplama ile MX güdümlü roketlerinin Nb'lu radyasyon soğutmalı roket motorları üretilmiştir. Toz enjeksiyon kalıplama konusunda üretim ve araştırma yapan kuruluşlar son yıllarda oldukça artmıştır.

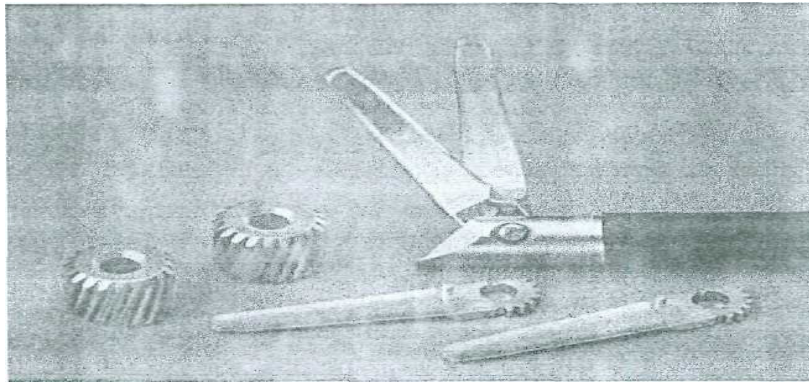
TEK işlemi 1920'li yılların sonlarından beri geliştirilmektedir. İkinci Dünya Savaşı öncesinde bu yöntemle çeşitli seramik parçaların elde edildiği bilinmektedir. İkinci Dünya Savaşı sırasında uranyumun zenginleştirilmesinde kullanılan tüplerin nikel tozu ve organik bir bağlayıcı karışımıyla elde edildiği bildirilmektedir [2]. 1950'li yıllarda ise Sovyetler Birliği'nde seramikler balmumu bağlayıcıyla enjeksiyon yoluyla elde edilmektedir.

Son zamanlarda ise karmaşık şekilli ve yüksek performanslı parçaların yapımı endüstriyel olarak gerçekleştirilebilmektedir [2]. Geçen 20 yılda TEK yönteminde en büyük gelişmeler sırası ile aşağıda verilmiştir [9].

- Yöntemin; artan seminerler, kitaplar, makaleler ve konferanslar yolu ile tanıtımı
- Besleme stoklarında standartlaşma
- Devamlı sinterleme fırınları
- Geri besleme kontrollü standart kalıplama makineleri
- Şekil korunması için bağlayıcı giderme kuralları

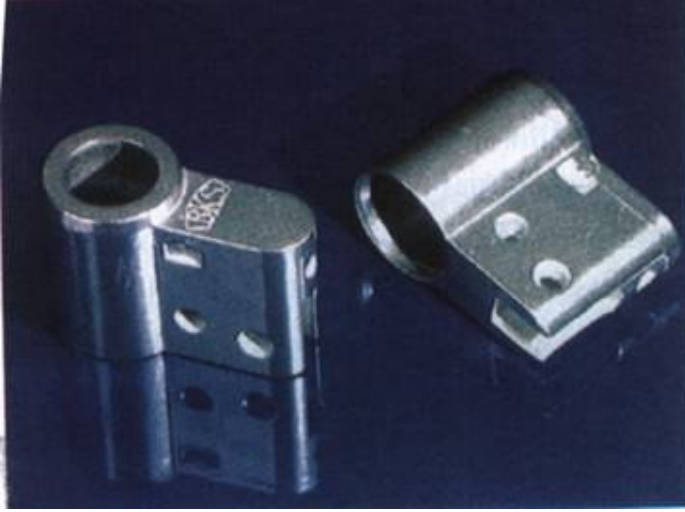
- Optimum toz karakteristiklerinin belirlenmesi, su atomize tozlar ile uygulama
- Birleşik bağlayıcı çıkarma ve sinterleme cihazları
- Devamlı karıştırma makineleri
- C-O-N-H atmosferi etkileşimi ile bileşim kontrolü
- Çevre dostu polimerler ve bağlayıcı giderme döngüleridir.

1998 yılında MPIF (A.B.D) tarafından ödüllendirilen iki parça helisel dişli ve cerrahide kullanılan kavisli bir makastır. (Resim 2.1). Makas parçasının kavislendirilmesi ikincil bir işlem ile gerçekleştirilmiştir.



Resim 2.1 1998 yılında MPIF tasarım ödülü alan TEK ile üretilmiş parçalar [10]

Bu şekilde TEK ile oluşturulan yüksek performanslı malzemeler üretim teknolojisinde ön plana çıkmıştır (Resim 2.2). TEK teknolojisindeki gelişmeler arasında küçük tane boyulu tozların elde edilme yöntemleri önemli yer tutmaktadır. Bir başka gelişme alanı ise tozların kalıp içine taşınmasını sağlayan bağlayıcılardır. Son yıllarda özellikle çevre ile dost su bazlı yada suda çözünebilen bağlayıcılar ön plana çıkmıştır [11].



Resim 2.2. TEK ile üretilmiş 316L Paslanmaz Çelikten kilit silindir yuvası [12]

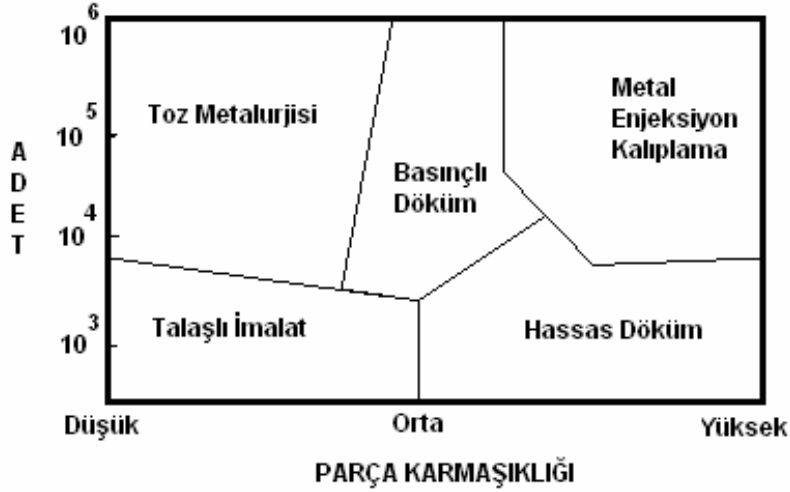
TEK 'in önceki yıllardaki uygulamaları hassas boyut toleranslı malzemelerin büyük miktarlarda üretilebileceğini göstermiştir. Bu yüzden TEK uygulamaları büyük çapta büyüme potansiyeline sahiptir. Buna karşılık teknolojinin endüstriyel kullanımı oransal olarak küçük miktarlardadır. Buna karşılık beklenen büyüme etkileyicidir. Toz enjeksiyon kalıplama teknolojisinin en güçlü olduğu ülke Amerika olup bunu sırası ile Almanya ve Japonya izlemektedir [13, 14].

Ülkemizde TEK uygulamaları henüz emekleme aşamasındadır. Bu konuda en önemli üretim döküm filtreleri üretimi konusunda "Kale Porselen Fabrikalarında yapılmaktadır. Bu konuda ülkemizde henüz istatistikler bulunmamaktadır. Yan sanayii kollarının TEK ile metal makine parçası üretimine önümüzdeki yıllarda geçeceği ümit edilmektedir.

2.1. TEK ve Diğer Teknolojiler

TEK teknolojisi karmaşık ve zor parçaların kaliteli bir biçimde ve yüksek miktarlarda üretilmesini gerektiren durumlarda diğer imalat teknolojilerine göre avantajlar taşımaktadır. Yüksek yüzey kalitesi, dar ölçü toleranslarını karşılayabilme kabiliyeti, yüksek yoğunluk nedeniyle üstün malzeme mekanik özellikleri, seri imalata yatkın işlemleri, malzeme tasarrufu sağlayan tasarım ve imalat seçenekleri, çevresel faktörler ve geri dönüşüm açısından gelişmiş uygulamaları ve hepsinden

önemlisi maliyet avantajı TEK teknolojisinin diğer üretim metotlarına göre başlıca üstünlükleridir. Şekil 2.2’de parça karmaşıklığı ve üretim miktarları açısından imalat teknolojilerinin optimum çalışma alanlarını göstermektedir.



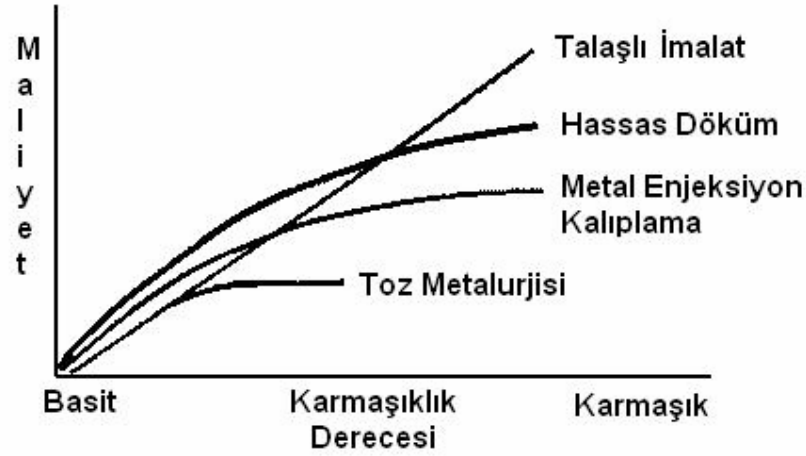
Şekil 2.2 İmalat teknolojilerinin parça karmaşıklığı ve üretim miktarı parametreleri açısından uygulama alanları [12]

Düşük ve orta karmaşıklık derecesine sahip parçaların 10.000 adet civarına kadar üretimlerinde talaşlı imalat metodu avantajlı görünürken, bu tip parçalarda adedin yükselmesi durumunda ve malzeme mekanik özelliklerinin yeterli olması halinde toz metalurjisi üstünlük taşımaktadır.

Orta karmaşıklık derecelerinde ve yüksek miktarlarda basınçlı döküm yöntemi bir seçenek oluşturmaktadır. Parça karmaşıklığının artması ve karmaşık şekillerin söz konusu olmasıyla birlikte pratikte hassas döküm teknolojisi kendini göstermeye başlamaktadır. Ancak burada da üretim miktarı açısından hassas döküm metodu 10.000 adet civarına kadar üstünlüğünü koruyabilmekte, yüksek üretim hacimlerinde maliyet avantajını koruyamamaktadır. Bu bölge için sadece TEK teknolojisi ihtiyaçlara cevap verebilen tek seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır.

Maliyet açısından bir değerlendirme yapıldığında da orta karmaşıklık derecelerine kadar sadece toz metalurjisi parçaların TEK’den ucuz kalabildiği diğer teknolojilerin

TEK'den pahalı olduğu görülmektedir. Ancak toz metalurjisi de kompleks parçalara doğru geçtikçe parça formunu oluşturmada yetersiz kalması nedeniyle devre dışı kalmaktadır (Şekil 2.3). İmalat teknolojilerinin çeşitli parametreler açısından karşılaştırılması Çizelge 2.1'de verilmiştir.



Şekil.2.3 Üretim maliyetlerinin parça karmaşıklığına göre karşılaştırılması [12]

Çizelge 2.1 İmalat teknolojilerinin çeşitli parametreler açısından kıyaslanması [12]

Karakteristik	TEK	Hassas Döküm	Geleneksel Toz Metalurji
Yoğunluk	97%	100%	85%
Uzama	Yüksek	Orta	Düşük
Çekme mukavemeti	Yüksek	Yüksek	Düşük
Sertlik	Yüksek	Yüksek	Düşük
Karmaşık parça üretim kabiliyeti	Yüksek	Orta	Düşük
Yüzey kalitesi	Yüksek	Orta	Orta
Maliyet	Düşük	Orta	Düşük
Üretim miktarı	Yüksek	Orta	Orta

2.2. TEK Teknolojisinin uygulama alanları

TEK teknolojisinin henüz gelişme safhasında bir imalat tekniği olduğu belirtilmektedir. Ancak her geçen gün yeni bir TEK parçanın devreye girmesi ile ateşli silahlar, otomotiv, tıp, el aletleri, elektronik, optik, havacılık, beyaz eşya, tüketim malları gibi bir çok endüstri kolunda uygulama alanı bulunduğu görülmektedir. Kuşkusuz TEK teknolojisinin sınırları genişledikçe, kısa bir süreç içerisinde ve tıpkı plastik malzemelerin hayatımıza girdiği gibi yaygınlaşarak geniş bir pazar yaratacağı öngörülmektedir. Aşağıda çeşitli endüstri kollarına göre bu zamana kadar yapılmış TEK uygulamalarından örnekler verilmektedir:

2.2.1. Ateşli silahlar

Günümüzde tabanca, tüfek, av tüfeği mekanizmalarına ait bir çok parçanın TEK teknolojisi ile üretilmesi oldukça yaygındır. Bu parçalar göreceli olarak küçük, karmaşık ve hassas özelliklere sahiptir. Bir ateşli silahta 10-20 adet farklı tipte küçük parça bulunmaktadır (Resim 2.3).

Bu parçalar gez ve arpacık, sürgü, tetik, tırnak, horoz, emniyet pimi, ejektör, mekanizma, çıkarıcı, şarjör kilidi ve diğerleri.



Resim 2.3. Ateşli silah endüstrisinde TEK kullanılarak imal edilen bazı parçalar [12]

2.2.2. Otomotiv

Otomotiv sektöründe, emniyet mekanizmaları özellikle air bag sistemi parçaları, sinyal üniteleri, yakıt enjeksiyon sistemleri, fren (abs) sistemleri, turbo doldurucular, kapı ve kilit mekanizmaları, direksiyon ve aksesuarlar için kol, pim, levye vs. gibi yapı elemanları, selenoidler ve elektrik sistemi için muhtelif parçalar üretilmektedir. (Resim 2.4)



Resim 2.4 Otomotiv endüstrisinde kullanılan TEK parçaları [12]

2.2.3. Tıp ve medikal endüstri

Medikal amaçla kullanılan parçalar genellikle 316L, 420, 440C paslanmaz çelik veya titanyum alaşımlarından yapılır. Bu parçalar endoskop parçaları, makas ve forsepsler, protezler ve ortopedik bağlantı parçaları, Tıbbi matkap uçları, türbin vs. (Resim 2.5)



Resim 2.5. Medikal uygulamalar için TEK parçalara örnekler [12]

2.2.4. El aletleri endüstrisi

El aletleri endüstrisinde ise Elektrikli matkaplar, tornavidalar, testereler, vidalama ekipmanları gibi el aletleri için çeşitli metal parçalar, matkap ayakları, transmisyon parçaları mekanik parçalar TEK yöntemi ile üretilmektedir. (Resim 2.6)



Resim 2.6. El Aletleri endüstrisinde kullanılan TEK parçalara ait örnekler [12]

2.2.5. Elektronik endüstrisi

Çeşitli elektronik gereçler için metal parçalar (hard disk göbekleri, dizüstü bilgisayarlar için menteşe ve kilitler), telekomünikasyon cihazları (cep telefonları, telsiz vs.), ofis ekipmanları, yazıcılar, fotokopi makineleri, fotoğraf makinesi ve kamera parçalar TEK yöntemi ile üretilir. (Resim 2.7)



Resim 2.7. Elektronik endüstrisinde kullanılan TEK parçalara örnekler [12]

2.3. Toz Enjeksiyon Kalıplamanın Avantajları ve Dezavantajları

Toz enjeksiyon kalıplamanın avantajları şunlardır:

1. Geleneksel T/M ile üretilmeyecek karmaşık şekilli parçaların üretilmesi,
2. Parçanın tümünde sinterleme sonrası homojen yoğunluğa ulaşılabilmesi
3. Geleneksel T/M ile üretimi çok zor olan parçaların mikro enjeksiyon ile imalatı
4. Geleneksel T/M işleminden daha dar toleranslar ile çalışabilme

Buna karşılık yöntem bazı güçlükleri de içermektedir. Örneğin:

1. Düzgün parça üretimi için kullanılacak toz boyutunun küçük ve şeklinin uygun olması gerekliliği,
2. Geleneksel T/M işleminde yer almayan bağlayıcı giderme işleminin zorluğu,
3. Bağlayıcı giderme ve sinterleme aşamalarında ön görülemeyen hataların çok sayıda üretilmiş ürünün firesine sebep olması,
4. Geleneksel T/M 'e göre pahalı kalıp, tezgâh ve aparat maliyetleri.

2.4. Toz Enjeksiyon Kalıplamanın Parametreleri

TEK işleminde, istenen büyüklük ve şekillerde hazırlanmış tozların kalıp içerisine taşınmasına yardımcı olan ve kalıplamadan sonra şeklinin bozulmadan bir arada kalmasını sağlayan malzemeler bağlayıcılardır. TEK yönteminde gerek toz gerekse bağlayıcı malzemeler karışımı oluşturmaktadır. Enjeksiyon kalıplaması sırasında tozun ergimesi söz konusu değildir. Buna karşılık bağlayıcı, çoğunlukla ergiyerek toz tanelerinin etraflarını sarmak suretiyle onları kalıba taşımak için akıcılığı sağlayan karışım (besleme stoğu) bileşenidir [10]. Bu şekilde ileride daha ayrıntılı değinileceği üzere karışımın viskozitesi ile diğer reolojik parametreleri sıcaklığın

ve enjeksiyon basıncının fonksiyonları olarak gelişmektedir.

2.4.1. Toz

Toz enjeksiyon kalıplamada yüksek performanslı son ürünü meydana getirecek ana malzeme metal veya seramik tozudur. Dolayısıyla, tozun elde edilme teknikleri preslenebilmesi ve yoğun bir ham parça meydana getirme aşamasına kadar tozun bir çok özelliği önemlidir [15].

2.4.2 Kalıplama yoğunluğu

Geleneksel bir T/M işleminde bir parçanın sinterlemeden önceki boyutlarıyla sinterlemeden sonraki boyutları hemen hemen aynı iken TEK’de durum farklıdır. Yoğunluğun azaltılması bağlayıcı miktarının artışı anlamına gelir ki bu da sinterlemede büyük miktarlarda boyutsal çekmelere yol açar. Genellikle TEK işlemi için bir tozun seçiminde istenen, yüksek oranda paketlenme yoğunluğunu elde etmektir. TEK işlemi tozun yüksek yoğunlukta kalıplanmasına kolayca kontrol edilebilmesine imkan verir [16].

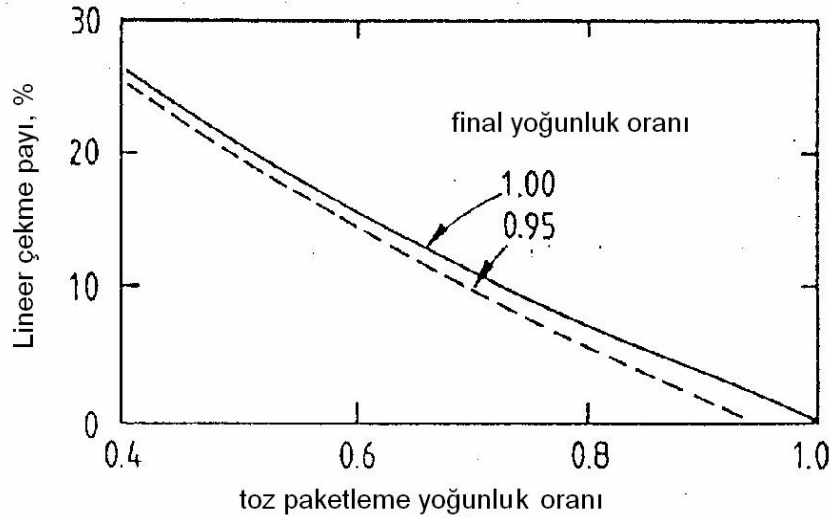
TEK’e göre rasgele paketlenmede bu yapı aynı boylu yuvarlak toz tanecikleri için 0,60-0,64 arasında bir kısmi yoğunluk sunar. Rastgele paketlenmede ise en yüksek yoğunluk, tanecikler uzun boylu sıralanma ve deformasyon meydana getirmeksizin titreşimle meydana getirilir. Rasgele gevşek paketlenme, tanecikler titreşimsiz doldurulduklarında oluşur. Paketlenme yoğunluğunu etkileyen faktörler tanecik boyut dağılımı, tanecik şekli, tanecikler arası sürtünme, tanecik yüzey bileşimi ve kümelenmelerdir. Bu faktörler istenilen yüksek paketlenme yoğunluğu veya spesifik ön-ürün özellikleri için ayarlanabilir [17].

2.4.3 Paketlenmeyi etkileyen faktörler

TEK işleminde tanecik karakteristikleri, paketlenme yoğunluğu, dayanım, yüzey alanı, geçirgenlik ve boşluk büyüklüğü gibi özelliklerdir. En kritik karakteristik paketlenme yoğunluğu ve gözeneklerdir (boşluk hacmi/toplam hacim). Toza eklenen bağlayıcının miktarı tanecikler arasında eşit boşluk alanlarının kalmasını

sağlamalıdır. Bağlayıcının az veya çok olması istenmez, çünkü ön-ürünün çarpılmasına ve hatalı oluşmasına yol açabilir. Sinterlemede çekme, bağlayıcının geri alınma hızı ve ön-ürünün dayanımı paketlenme yoğunluğuna bağlıdır. Diğer bir karakteristik, bağlayıcının çıkarılması sırasında oturmaya karşı direncidir. Bu durum taneler arası sürtünme ile ilgilidir ve tanecik şekli, tanecik boyutu, ve yüzey bileşimi ile kontrol edilir. Taneler arası sürtünme, karışımın viskozitesini ve paketlenme yoğunluğunu etkiler [18].

Düşük paketlenme yoğunluğu sinterlemede büyük çekmenin meydana gelmesine neden olur. Yoğunluk üretilen malzemenin performansını artırmak için gereklidir. Şekil 2.4 son ürün yoğunluğunun %95 ve 100 olması durumunda başlangıç toz paketlenme yoğunluğuna karşı hesaplanmış boyutsal çekmenin diyagramını göstermektedir [16].

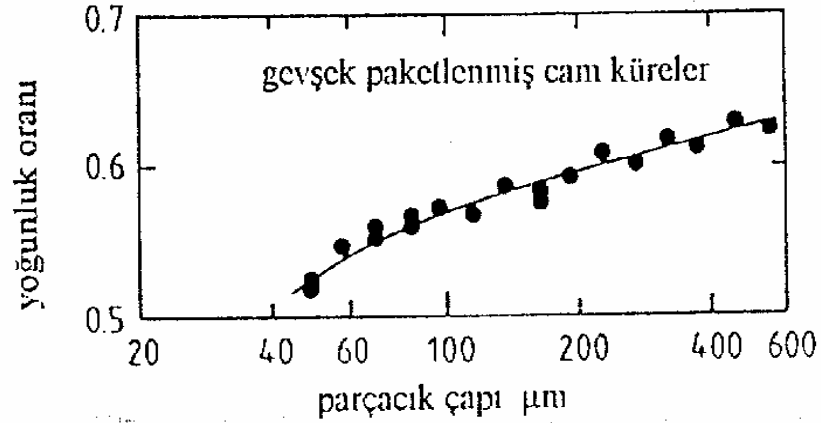


Şekil 2.4. Başlangıç toz paketlenme yoğunluğuna karşı boyut çekmesi diyagramı [16]

2.4.4 Paketlenmede tanecik boyutunun etkisi

Farklı malzemelerin eşit boy ve şekillerdeki tozların farklılaşan teorik yoğunluklarına rağmen aynı kısmi yoğunluğu verecek şekilde paketlenirler. Bir çok faktör kısmi yoğunluğun farklı olmasına neden olur. Örneğin ortalama tanecik boyutu 100 mikron altına indiğinde paketlenmeyi etkileyecek (pozitif

olarak) yeterli taneler arası sürtünme meydana gelir. Şekil 2.5 ortalama tane boyutunun fonksiyonu olarak cam küreler için gevşek rasgele paketlenme yoğunluğunu göstermektedir. Daha küçük taneler 0,01 mikronun altında olmak üzere % 0,5 e kadar düşük yoğunluk gösterebilirler [2].

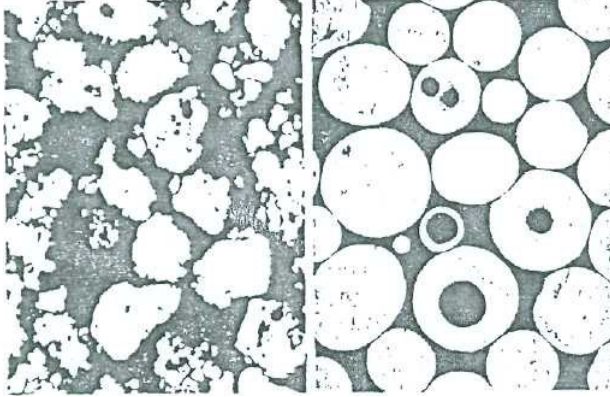


Şekil 2.5 Gevşek paketlenmiş cam kürelerde, parçacık çapı ile kısmi paketleme yoğunluğu arasındaki ilişki [2]

Küçük taneler kümelenme nedeniyle paketlenmede güçlük çıkarırlar. Taneler arası çekim, yüzey alanı büyüdükçe tanecik kütlesi ise azalır. Topaklanmanın diğer bir negatif etkisi de karışmada meydana getirdiği güçlülüdür. Bu güçlüğü yenmenin çaresi tozların kaplanarak ile itici kuvvetlerin gelişmesini sağlamaktır. Bu itici kuvvetler taneler arasındaki sürtünmeyi azaltarak yüksek paketlenme yoğunluğunun meydana gelmesine yardım ederler. Bu şekilde yüzey katkılarının seçimi TEK malzeme stoklarının hazırlanmasında önemli olmaktadır. Ortalama tane büyüklüğü TEK de önemli bir faktördür [17]. Suzuki ve diğ. [19] tane boyutu dağılımının paketlenme yoğunluğu üzerine etkisini 50 mikron altındaki taneler için inceleyerek sistematik bir değişim bulmaya çalışmışlardır. Taneler arası sürtünmenin artmasına neden olan diğer bir faktör de taneciklerin yüzey düzensizlikleridir. Yüzey pürüzlülüğü veya çok düzgün olmayan tanecik şekli paketlenme yoğunluğunun düşmesine neden olur. Küresel şekilli taneler düzensiz şekilli tanelere oranla daha yüksek paketleme yoğunluğu gösterirler [15].

Bazı toz tanecikleri iç boşluklar da içerebilirler. Bu durumda buralar bağlayıcı ile

doldurulamaz ve karmaşık bir durum ortaya çıkar. Şekil 2.6 de bir tozun parlatılmış enine kesitinde tane içi boşluklar görülmektedir. Paketlenme kanununda bu tür tane içi boşlukların oluşturacağı durum ihmal edilir ve bu iç boşluklara rağmen yoğun bir paketlenme olduğu kabul edilir.



Şekil 2.6. Parlatılmış kesitte tane içi boşlukların optik mikroskofta görünümü [10, 16]

Toz karışımlarla ilgili diğer bir durum da toz boyut farklılığından dolayı ayrışmalardır. Bu durum düzgün olmayan paketlenmeye yol açar ve sinterlenme sırasında şekil bozulmasına neden olurlar. Bu gibi ayrışmalar ortalama tane boyunun büyük olduğu ve tanecik boyutlarında büyük farklılıklar olduğu zaman ortaya çıkar. Boyut ayrışmasının sonucu yoğunluk düşer. İyi karıştırılmış besleme stoklarında ayrışma önemli bir sorun oluşturmaz [20].

Paketlenme yoğunluğu belirlenmesinde paketlenme hatalarını ortadan kaldırmak için uygun yol, tozu titreşimle sıkıştırmaktır. Bu yüzden vurgu yoğunluğu enjeksiyon kalıplama besleme stoğunun optimal kompozisyonu hakkında ilk bilgiyi verir. Vurgu yoğunluğu malzeme, titreşim genliği, titreşim yönü uygulanan basınç, titreşim frekansı, tanecik yoğunluğu ve test cihazına bağlıdır [16].

Tozlar bütün boşlukları dolduramayacak kadar akamadıklarından yüksek yoğunluklarda tozların parçacıkları arasında boşluk kalacak ve bağlayıcı bu boşlukları dolduramayacaktır. Kritik yükleme noktası üzerindeki toz

yoğunluklarda, boşluklardan dolayı karışımın yoğunluğu, teorik yoğunluğunun altına düşecektir.

Tozun vurgu yoğunluğu doğal paketleme yoğunluğunu gösterir. Yüksek vurgu yoğunluğu olan tozlar daha az bağlayıcı gerektirir. Bağlayıcı karışımın sadece tozdan daha iyi paketlenmesi için üç sebep vardır. Birincisi, bağlayıcı parçacıkları nemlendirdiğinden tazyik edici kılcal güçleri oluşturur. Sonuçta parçacıkları ıslanınca hafifçe sıkışmış olur. İkincisi, vurgu yoğunluğunun tayini kısa sınırlı parçacık düzenlemesi ile olduğundan parçacıklar ile bağlayıcının karışımı sonuçta en iyi homojenliğini verir. Parçacık hareketinin mesafesi daha geniş olduğundan karıştırma sırasında parçacıklar çok iyi bir birikim düzeni kazanabilir. Üçüncüsü, bağlayıcı parçacığın yeniden düzenlenmesi için, yağlayıcı gibi görev yapar. Bu da daha küçük parçacıkların belirli yerlere hareket etmelerini sağladığı için yoğunluğu artırır [21].

Yukarıda anlatılan nedenlerden dolayı kritik yükleme genelde tozun vurgu yoğunluğundan % 10 - % 20 daha fazladır. Parçacık boyutu küçüldükçe kritik yüklemenin değerlendirilmesinde bir başka faktörle karşılaşır. Her bir parçacık ince bağlayıcı film tabakası ile çevrelenir. Bu şekilde parçacıklar arası boşluklar dolar. Her bir parçacığı çevreleyen bağlayıcı miktarı, parçacığın yüzey alanı ile orantılı olarak artar. Kaplama kalınlığı 0.07 mikron civarında olduğundan, büyüklüğü 1 mikrondan fazla olan parçacıkların kritik yüklenmesinde çok az etkisi olacaktır. Mikron altındaki tozlarda bu kaplama kritik yüklemeyi önemli ölçüde etkiler. Dolayısıyla TEK’de kullanılacak maddelerin içerik sınırlarını tayinde yükleme eğrisinin önemi büyüktür. Vurgu yoğunluğu kritik yüklemeye ilk tahminin yapılmasını sağlar. Diğer faktörlerde gerçek maksimum yükleme tayininde rol oynar [2].

2.4.5. Eş boyutlu küresel taneciklerin paketlenmesi

Eş boyutlu kürelerin analizi için önce bilinen paketlenme türlerinden biri ele alınır. Sıralı paketlenmeler için birer koordinasyon sayısı ve ilgili paketlenme

yoğunluklarının söz konusu olduğu çeşitli modeller mümkündür. 100 mikrondan daha büyük küresel tanecikler titreşim veya karıştırma sırasında çok küçük miktarlarda yoğunluk artışı meydana gelir. Tersine, küçük küresel taneler ve küresel olmayan tanecikler görünür ve vurgu yoğunluklarında büyük farklılıklar gösterirler. Bu tanecikler titreşim ile büyük yoğunluk artışına uğrarlar. Besleme stoklarının hazırlanmasında belirli oranlarda farklı boyutlu toz kullanılmasının tercih edilen bir durum olduğu 1995 TEK kongresinde de belirtilmiştir [22]. Bu tür bir uygulamada küçük tanelerin büyüklerin arasını doldurmasıyla maksimum yoğunluk elde edilebilmektedir [2].

2.4.6. Küresel olmayan taneciklerin paketlenmesi

Pürüzlü ve düzensiz şekilli tozlar tanecikler taneler arası sürtünmenin artması yüzünden topaklanmaya karşı hassastırlar. Buna göre tanecik şekli küresellikten uzaklaştıkça paketlenme yoğunluğu düşer. Çok düzensiz şekilli taneciklerden oluşan tozlarda küresel tanecikler için öngörülen paketlenme yoğunlukları görülmez ancak küresellik arttıkça yoğunluk da artar. Tanecik şekli küresellikten uzaklaştıkça rastgele ve sıralı düzenlenmedeki farklılık da artar.

Küresel taneler uygulamalarda yüksek paketlenme yoğunluğu sağladıkları için tercih edilirler. Fakat tanecikler düzgün geometrik şekillere sahipse küresel olmasalar da paketleme yoğunluğunda her zaman azalma meydana gelmez. Örneğin kübik tanecikler sıralı yerleştirildiklerinde kısmi yoğunlukları 1.00 olabilir. En yüksek paketlenme yoğunlukları ve en çok izotropik durum tanecikler küresel veya kübik gibi eşeksenli olduklarında meydana gelir [18].

Çizelge 2.2'de rastgele paketlenen küresel taneciklerin diğer geometrilere göre durumu görülmektedir. Geometrik şekiller küresel taneciklerin rakibi durumundadırlar. Aslında düzensiz şekilli taneciklerde yoğunluk düşer.

Çizelge 2.2. Tanecik şeklinin rastgele yoğun paketlenme üzerine etkisi [2]

Tanecik Şekli	Kısmi Yoğunluk
Küreseller	0,64
Kübikler	0,72 - 0,79
Prizmatikler (2x5x10)	0,51
Levha biçimliler (4x4x1)	0,67
Levha biçimliler (8x8x1)	0,59
Dörtüzlüler	0,41-0,64
Silindirler (L/D- i 67)	0,03
Silindirler (L/D = 60)	0,09
Silindirler (L/D = 25)	0,21
Silindirler (L/D-15)	0,28
Silindirler (L/D-10)	0,48
Silindirler (L/D-5)	0,52
Silindirler (L/D- 1)	0,60 - 0,67
Diskler (L/D-0,5)	0,62 - 0,64
Kama şekilli elyaflar	0,33
Düzensiz şekilli lifler	0,66-0,35
Düzensiz şekilli izotropikler	0,55 - 0,63
Düzensiz şekilli nonizotropikler	0,30-0,50

2.4.7. İki boyutlu küresel tanelerin karışımı

İki ayrı boyuttaki tanelerin karışımı eş boyutlu karışımdan daha iyi paketlenme durumu sunar. Gelişen paketlenmede anahtar özellik tane boyutlarının oranıdır. Küçük taneler büyük tanelerin oluşturduğu boşluklara yerleşirler. Hatta daha küçük taneler en son kalan boşluklara otururlar. Paketlenmede küçük taneler aralara girmekte ve bu şekilde bir biçim bozulması olmamaktadır. Bu şekilde paketlenme yoğunluğu artmaktadır. Paketlenmeyi arttırmak için eklenecek toz tüm hacmi oluşturacak ve boşlukları dolduracak kadar olmalıdır [22].

2.5. Bağlayıcı

Bağlayıcı kalıplama sırasında metal veya seramik tozundan elde edilecek karışımın kalıp içerisine akarak istenilen şekli alması ve sinterleme başlangıcına kadar koruması için geçici bir taşıyıcı malzemedir. Tozun kalıp içerisinde homojen ve yeterli taneler arası çekim gücünü sağlayacak yakınlıkta dağılmasını sağlar. Bağlayıcı bileşimleri ve bağlayıcı çıkarılmasında kullanılan teknikler TEK uygulamalarında en çok farklı yönlerdir. Endüstriyel uygulamalarda bağlayıcının nitelikleri henüz tam olarak bilinmemektedir.

2.5.1. Bağlayıcı gereksinimleri

İdeal bağlayıcı özelliklerini Çizelge 2.3. göstermektedir [18]. Bağlayıcının birincil özellik gereksinimi kalıp boşluğuna akma ve taneciklerin paketlenmesine imkan vermesidir. Toz yüzeylerini ıslatarak karışmaya ve kalıplanmaya yardım eder. Kullanılan bağlayıcı içindeki çeşitli kimyasallar sürtünme, yapışma gibi yüzey kuvvetlerine etkilidir. En etkili yüzey aktif türler, toz ve bağlayıcı arasında arayüzey köprüleri kurarak karışım viskozitesini düşürür ve katı içeriği arttırlar. Bütün bunlar kalıplama sırasında bağlayıcı-toz karışımının çeşitli reolojik kriterlerini karşılayarak kalıplamanın hatasız meydana gelmesini sağlar. Verilen bir katı içerik için düşük viskozite, bağlayıcının düşük viskoziteli olmasıyla mümkündür. Bu durum düşük molekül ağırlıklı bağlayıcılarla mümkün olur ve bunun tipik örneği balmumudur. Bağlayıcı yüksek katı içeriğinde bölünmemeli ve aynı zamanda tozun topaklanmasına da engel olmalıdır. Bunun için saf parafin yetersizdir. Genellikle parafin bir polimerik bileşenle desteklenmelidir. Bu şekilde çoğu sistemler en az farklı kimyasal yapılarıdaki iki bileşenden meydana gelirler.

Reddy ve Vijayakumar [23] TEK karışımlarda viskozite ile karışımın diğer reolojik karakteristikleri arasında kombine matematiksel ilişkileri incelemiştir. Belirlenen verilerden bir karışımın istenen viskoziteye göre içerisinde bulunması gereken kritik bağlayıcı miktarı bulunabilmektedir. Akma

karakteristiklerine göre soğuma sırasında ön-ürünün şeklinin korunması için viskozite büyük oranda artmalıdır.

Fakat kalıplama sıcaklığında sıcaklıkla birlikte viskozitede büyük oranda bir değişim işlemin kontrolü için zararlı olabilir ve hataların kaynağı durumundadır. Viskozite çok düşükse bu durumda da kalıplama sırasında toz ve bağlayıcı ayrılır ve ön-üründe yoğunluk değişimine neden olur. Kısa molekül zincirli termoplastik polimerler genellikle iyi şekillenme için gerekli ihtiyaçları karşılarlar. Bu kısa moleküller aynı zamanda karışım içinde yönlenebilirler. Bu durum izotrop bir ön-ürünün meydana gelmesi için önemlidir. Toz-bağlayıcı ilişkisinde bağlayıcı tozu ıslatarak karışım içerisinde ayrılmasını engellemelidir. Düşük değme açılı bir bağlayıcı, katı içeriğin homojenliğinde önemlidir. Toz ve bağlayıcı birbirlerine karşı kimyasal olarak pasiftirler. Toz polimerize olmamalı ve bağlayıcı da toz da korozyona neden olmamalıdır. Bağlayıcı mümkün olduğunca en az oranda kullanılmalıdır. Bunun miktarı ve hacimsel oranı metal tozunun özelliklerine bağlıdır. Endüstriyel uygulamalar bunun 0.50-0.70 arasında değiştiğini göstermektedir [16].

Bağlayıcı, hataları en aza indirecek ve çıkarılma zamanını azaltacak şekilde tasarlanmalıdır. Genellikle bir bağlayıcı sistem birbiri içinde çözünen çeşitli bileşenlerden meydana gelir. Çoklu bileşenler çıkarılma sırasında aşamalı bozunmaya imkan verirler. Bileşenlerden biri kısmen açık gözeneklerden çıkarılır, kalan bağlayıcı, taneleri işlemin bu ön evresinde bir arada tutmağa yardım ve devam eder. Ön-ürün şeklinin muhafazası için iskelet bağlayıcı, tanecikleri ıslatarak onlar üzerinde bir kılcal çekim etkisi uygulamalıdır. Sonunda iskelet bağlayıcı da ön-ürünün yenilmesine yol açabilecek iç buhar basıncı oluşmadan gözeneklerden buharlaşarak çıkar. Bu yöntem tek bileşenli sistemlerden daha çabuk bir şekilde bağlayıcının ayrılmasını sağlar [24].

Çoğunlukla bağlayıcının yavaş çıkarılması ön-ürünü gerilme kırıklarından korur. Bağlayıcının bozunması ile oluşan kimyasallar sinterleme fırınında ön-ürünün

korozyonuna yol açmamalıdır. Çünkü bağlayıcının ön-üründen tam olarak ve son ayrılması sinterleme sırasında meydana gelir [10, 16].

Bağlayıcı nitelikleri [13].

Akış özellikleri

- Kalıplama sıcaklığında saf bağlayıcı viskozitesi $< 10 \text{ Pa.s}$
- Kalıplama sırasında sıcaklıktaki değişime bağlı viskozite değişikliğinin azlığı
- Soğuduktan sonra yüksek ham dayanım
- Tozdan akış sırasında ayrılmama

Tozla etkileşim

- Düşük temas açısı ve toz ile iyi yapışma
- Toza göre kimyasal olarak pasif olma

Ayrışma

- Farklı özelliklerde birden fazla bileşen
- Aşındırıcı değil
- Bozulma sıcaklığı kalıplama ve karıştırma sıcaklığının üzerinde
- Düşük artık ve metalik içerik
- Yaygın olarak bilinen zehirleyici olmayan çözücülerde çözülebilirlik
- Isıl genişleme veya kristallenmeden gelen düşük kalıcı gerilme

Üretim

- Uzun raf ömrü
- Tekrar kullanılabilirlik
- Yüksek yağlayıcılık
- Yüksek bağlayıcılık ve katılık
- Düşük ısıl genişleme katsayısı
- Kolay temizlenme ve bilinen çözücülerde çözünürlük

Bağlayıcı ve tozun uygun şekilde karıştırılması önemlidir. Her taneciğin üzerinin bağlayıcı ile kaplanmış olması için karıştırma işlemi bazı mekanik karıştırıcılar kullanılarak yapılır [25]. Goldszal ve Bouquet [26] bağlayıcının toza karıştırılmasındaki evreleri tanelerin topaklanma gelişimlerini gözleyerek incelemişler ve her evrenin tork direncini ölçerek optimum ıslanma ve viskozite arasında ilişki kurmuşlardır.

2.5.2. Temel karakteristikler

Genel sınıflamada TEK uygulamalarında kullanılan beş tür bağlayıcı bulunmaktadır.

Bunların çoğu polimer esastır:

- Termoplastik bileşikler
- Termosetler
- Su bazlı sistemler
- Jelleşen sistemler
- İnorganikler

Bunların çok çeşitli kombinasyonları mümkündür. Polimerler çok bilinen termoplastik ve termoset bileşikler kadar jelleşen sistemleri de içerirler. İnorganik bileşikler bir kaç sistem içerisinde kullanılırlar. Bunlar kristallenen tuzlar ve sodyum silikat reaksiyonlarıdır [10].

Bağlayıcı olarak su kullanıldığında ise (veya anilin) toz ve su bulamacı kalıp içerisinde dondurulur. Ek olarak mikron altı büyüklüklerdeki tanecikler üzerinde polarize yüzey giysisi oluşturan bağlayıcı sistemler de geliştirilme aşamasında bulunmaktadır [10].

Uzaklaştırıcı polarize bir yüzey, tanelerin birbirleri üzerinde kayarak parçayı şekillendirmesini sağlar ve bu yüzey yükü daha sonra bir dış sinyalle giderilir. Her ne kadar çok sayıda ve tipte bağlayıcı varsa da, termoplastikler en çok kullanılan ve davranışları anlaşılmış olanlardır. Bunlar arasında polietilen, polistiren, polipropilen ve parafin en çok kullanılanlardır [10].

Ana termoplastik bileşenlerden başka bağlayıcı, yağlama, viskozite kontrolü, ıslanma ve çıkarılma işlemleri için ayrıca bazı ek maddeleri de içerecektir. Polimerler karbon omurgalı uzun molekül zincirleridir ve çeşitli yan grup ve dalları içerirler. Termoplastik ve termoset bileşikler iki genel polimer formundadırlar. Termoset polimerler sıcaklık dışında çapraz zincirler oluştururlar ve daimi olarak katı olurlar. Bunlar yeniden ısıtıldıklarında yeniden yumuşamazlar fakat yüksek sıcaklıklarda bozunurlar [10].

Termoplastiğin viskozitesi sıcaklığa bağlıdır. Bunlar küçük monomer gruplardan meydana gelirler ve uzunlukları boyunca çapraz zincir yapmazlar. Şekil 2.12 bağlayıcı olarak kullanılan çeşitli polimerleri göstermektedir. Yan grupların büyüklüğü polimerin katılma özelliğini artırır. Kısa zincirler kristalize olurken uzun zincirler amorf kalırlar. Orta büyüklüklerdeki zincirler kısmen kristalindirler. Buna göre polimerin mekanik ve termal özellikleri kristalinite derecesi ile etkilenir. Genellikle amorf polimerler daha zayıf fakat daha sünümlüdürler. Amorf durumda bulunma cam geçiş sıcaklığında bulunma ile özdeştir ki bu durumda polimer yumuşar ve akmaya doğru gider [16].

Polimerin erime sıcaklığı molekül ağırlığına bağlıdır. Zincir uzunluğu da molekül ağırlığı ile ilgili olduğundan çekme dayanımı ergime sıcaklığıyla artar. Çoğu polimerler molekül ağırlıklarının düşük olması yüzünden ergime sıcaklığı bakımından da bir aralık gösterirler. Bu şekilde termal genleşme katsayısı da değişir. Bu durum TEK ön-ürününde hacimsel genleşme ve kırılma eğilimi yol açabilir [16].

Çizelge 2.3'de Çok kullanılan bağlayıcı bileşiklerin oda sıcaklığındaki özellikleri verilmektedir.

Çizelge 2.3. Bazı bağlayıcıların özellikleri [2]

PP = Poipropilen PE = Polietilen PS - Polistiren PVC = Polivinil klorür PW = Parafin balmumu					
<i>Özellikler</i>	<i>PP</i>	<i>PE</i>	<i>PS</i>	<i>PVC</i>	<i>PW</i>
Yoğunluk (g/cm ³)	0.90	0.91	1.04	1.35	0.91
Termal iletkenlik W/m/K	0.2	0.3	0.1	0.2	-
Termal genişleme, ppm/K	100	200	70	140	400
Çekme dayanımı, Mpa	35	10	50	20	4
Uzaması, %	200	400	2	300	-
Elastisite modülü, Gpa	1.3	0.2	3.3	0.1	-

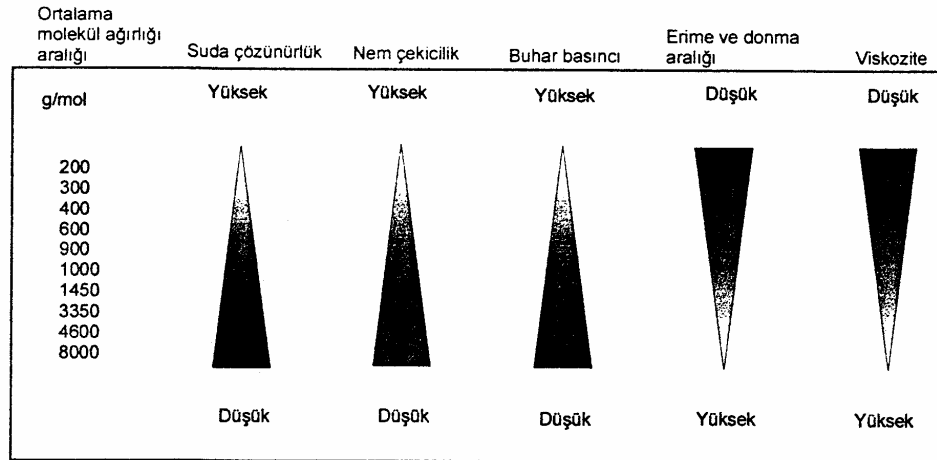
Yukarıda değinildiği gibi bağlayıcının birincil özellikleri tozla birlikte kalıp boşluğuna akma ve toz tanelerinin paketlenmesine imkan vermektir. Toz yüzeyini ıslatarak karışma ve kalıplanmaya yardım ederler. Çeşitli yüzeyler arası bağlar, bağlayıcının kimyasal yapısıyla ilgilidir. Bağlayıcının Çizelge 2.4 de belirtildiği gibi taneler arasında kapiler durumda bulunduğu yeterli yapışkanlıkla bir arada tutma ve akarak boşalmama özelliğinde bulunması gerekir. Bunun için taneleri bir arada tutan kuvvetleri gözden geçirmek gerekir [16].

Polietilen glikol (PEG)

Polietilen glikol'ler (PEG) çizgisel yapıdaki polimerlerin suda çözünen bir ailesini meydana getirirler. Genel formülleri: $H-(OCH_2CH_2)_n-OH$ olup, n tekrarlanan oksietilen gruplarının ortalama sayısıdır. PEG'ler ortalama molekül ağırlıklarının numaralarıyla nitelendirilirler, örneğin PEG 600 ortalama molekül ağırlığı 600 olan polimer anlamına gelir ve bu da tekrarlanan oksietilen grup sayısı olarak (n) 13'e karşılık gelir. PEG'ler molekül ağırlıkları oda sıcaklığında göre sıvı ve katı olabilirler [10].

Molekül ağırlığı ilişkisi:

PEG'lerin fiziksel özellikleri molekül ağırlıklarına bağlıdır. Molekül ağırlığının artması suda ve diğer çözücülerde çözünürlüğü, nem çekiciliği ve buhar basıncını azaltır. Buna karşılık erime/donma aralığı ile viskozite artar. (Şekil 2.7)



Şekil 2.7. Çeşitli molekül ağırlıklarındaki PEG'lerin genel fiziksel davranışları (10).

Çözünürlük:

Tekrarlanan eter bağları ve uç bileşen olarak hidroksil grupları PEG'lerin suda çözünürlüklerini artırır. Sıvı PEG'leri bütün oranlarda renksiz çözelti halindedirler. Katı olanların suda çözünürlükleri molekül ağırlığına bağlı olarak azalır. Örneğin PEG 8000 20 °C suda %63 ağırlık oranında çözünür. PEG'ler sudan başka aseton, alkol ve klorlanmış çözücüler gibi polar organik çözücülerde de çözünürler. Hidrokarbonlar

gibi polar olamayan çözücülerde ise çözünmezler [10].

Nem çekicilik:

PEG'ler havadan nem çekerler. Bu özellikleri gliserin ve propilen glikol gibi nem çekici maddeler yerine kullanılabilmelerini sağlar. Nem çekicilik molekül ağırlığı arttıkça azalır [10].

Viskozite:

Ergime/donma noktalarının üzerinde PEG'ler sıvı olarak nitelendirilirler ve viskoziteleri kaymalarından bağımsızdır. Bu nedenle polietilen glikol viskozitesini belirtmenin en pratik yolu kinematik viskozitesinin ölçülmesidir. Sıcaklığın artmasıyla viskozite azalır [10].

Kararlılık:

PEG'ler düşük uçuculuğa sahiptir ve oksijen yokluğunda 300 °C'nin altındaki sıcaklıklarda sınırlı süre kararlıdır. Her ne kadar hava ile temaslarında oksitlenmeyle bozunmaya uğrarlarsa da bu durum oda sıcaklığından düşük derecelerde veya nitrojen banyolarında saklanarak yada ticari oksitlenme önleyici kimyasal kullanılarak önlenbilir [10].

Kimyasal Reaktivite:

PEG'lerin birincil hidroksil işlevleri bunların tipik alkol reaksiyonlarına girmelerini sağlar. Esterler, eterler, aminler ve asetallere dönüşmeleri olağandır. Ticari olarak en önemli türevleri, dağıtıcılar, deterjanlar, plastikleştirici ve yağlayıcı olarak kullanılan yağ asit esterleridir.

Kalıplama için gerekli sıvı akışı sağlamada her ne kadar karışımın toplam viskozitesi önemliyse de bu parametreyi etkileyen bir faktör olması nedeniyle kullanılan polietilen glikol türlerinin tipik fiziksel özellikleri çizelge 2.4'de verilmektedir

Çizelge 2.4 Çeşitli molekül ağırlıklarındaki polietilen glikol türlerinin tipik fiziksel özellikleri [10]

Ürün	Ortalama molekül ağırlığı aralığı g/mol	Sıvı yoğunluğu g/cm ³			Ergime ve donma aralığı (°C)	20 °C' de % (ağırlık), suda çözünürlük	100 °C' de viskozite (cSt)	Tekrarlanan ortalama oksitlenen birimi sayısı	20 °C' de yüzey gerilimi (mN/m)	25 °C' de sıvı özgül ısı (cal/g°C)	Ergime ısı (cal/g)
		20 °C	60 °C	80 °C							
PEG 3350	3015 - 3685	(e)	1,0926	1,0769	54 - 58	67	90,8	75,7	(e)	0,51 (h)	39
PEG 4000	3600 - 4400	(e)	1,0926	1,0769	57 - 59	66	140,4	90,5	(e)	0,51 (h)	45
PEG 4600	4400 - 4800	(e)	1,0926	1,0764	57 - 61	65	183,9	104,1	(e)	0,51 (h)	45
PEG 8000	7000 - 9000	(e)	1,0852 (b)	1,0680 (c)	60 - 63	63	821,7	181,4	51,3 (f)	0,51 (h)	41

(b) 70⁰ C, (c) 90⁰ C, (e) bu sıcaklıkta katı, (f) %50 sulu solüsyon, (h) katı ısı kapasitesi

2.5.3. Bağlayıcı kuvvetler

Toz tanelerini bir arada tutan fiziksel kuvvetler çeşitlidir. Her ne kadar başlangıçta yoğrulmak, çalkalanmak, sıkışarak püskürmek, yuvarlanmak ve sıkışmak bireysel toz tanelerinin biraraya getirilmesi için gerekli ise de bu kuvvetler her tür topaklanma için söz konusudur.

Bu yüzden burada kalıp içerisine taşınma ve dolmada bir bağlayıcının gerekli olması konuyu bağlayıcı ekseninde irdelemeyi gerekli kılmaktadır. Buna karşın tanelerin birarada tutulmasına yardımcı olacak çekim kuvvetleri bağlayıcının miktarı ile de değişkenlik gösterecektir. Bağlayıcı kuvvetler genel olarak beş grupta ele alınabilirler [27]

Katı toz taneleri arasındaki çekim

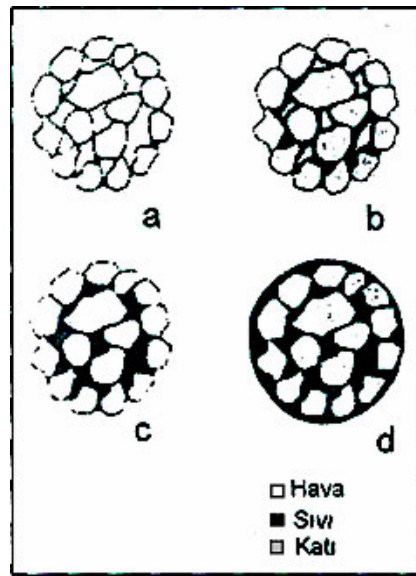
Katı toz taneleri ancak birbirlerine yeterli uzaklıkta bulduklarında birarada tutulmak için yeterli çekim kuvvetini sağlayabilirler. Bu çekim kuvveti tane küçüldükçe ve aralarındaki mesafe büyüdükçe hızla küçülür. Bu nedenle tanelerin

birbirlerini çekme kuvvetleri toplanmada çok önemli değildir. Buna karşılık bu kuvvetler elektrostatik, moleküler (Van der Waals), ve manyetik karakterde olabilirler. Elektrostatik kuvvetler ince tozlar için söz konusudur ve taneler arası sürtünme ile ortaya çıkarlar. Bazen tanelerin yalnızca birbirlerine değmeleri bu kuvveti ortaya çıkarır. Bu durum taneler kuru iken söz konusudur. Değme ile ortaya çıkan elektrik yükü çok küçük olup zamanla da nötralize edilir [28].

Toz enjeksiyon kalıplamada bağlayıcının taneleri birbirlerinden ayrı tutma ve ıslatma özelliği bu kuvvetin işlemden söz konusu olamamasını sonuçlar. Manyetik kuvvetler metal tozları enjeksiyonunda önemlidirler. Etkili bir çekim toz tanelerinin belirli bir mesafede düzenlenmeleri ile elde edilir.

Arayüzey kuvvetleri ve hareketli sıvı yüzeylerde kılcal basınç

Herhangi bir ıslak toplanma işleminde taneler arası tutucu (kohesif) kuvvetleri ortaya çıkaran sistemdeki sıvı fazdır. Bu nedenle sıvı fazın verilen bir zamanda türü ve miktarı sonuç ön-ürünün dayanımını belirleyici kritik bir faktördür (Şekil 2.8) [27].



Şekil 2.8. Küresel toz taneciklerinin paketlenmesinde sıvı doygunluk durumları: a- Sarkaçsı durum, b-Lifsi durum, c-Kılcal durum, d-Damlacıklı durum [27]

Toz enjeksiyon kalıplamada sıvı faz toz ve bağlayıcı karışımının enjeksiyon için ısıtılma evresinde gündeme gelmektedir. Bu sırada iyi karıştırılmış homojen bir karışımda toz tanelerinin topaklanmasında bağlayıcının miktarına göre dört durum sözkonusu olmaktadır. Bu fazda taneler arasında bağlayıcıdan çok hava olması durumu sarkaçsı durum olarak adlandırılır [27] (Şekil 2.8 a).

Tanelerin bir arada tutulması sıvının yüzey gerilimi ve sıvı köprüleri vasıtasıyla oluşturulan emme basıncı ile olur. Bu şekilde taneleri bağlayıcı kuvvetler sıvı-gaz arayüzündeki arayüz geriliminden doğar. Kılcal durum taneler arasına bağlayıcının tümüyle dolmasıyla meydana gelir (Şekil 2.8 c). Her ne kadar sıvının miktarı tanelerin tamamını sarmaya yeterli değilse de sıvı yüzeyde boşluğun kenarlarına doğru yayılmasıyla negatif bir kılcal basınç meydana gelir ve tutucu kuvvetlerin artmasına neden olur. Kılcal basınç ve arayüz kuvvetleri taneler arasında kuvvetli bağların oluşmasına yol açar. Sarkaç ve kılcal durum arasında bir de lifsi durum söz konusudur (Şekil 2.8 b). Burada sıvı faz devamlı köprüler oluşturarak havayı hapsederler. Bağlayıcı kuvvetler hem sıvı köprüler hem de kılcal basınç nedeniyle meydana gelir [27].

Toz taneleri tümüyle sıvı faz ile sarıldığında ise damlacık durumu meydana gelir (Şekil 2.8 d). Burada tutucu kuvvetleri damlacıkların yüzey gerilmesi meydana getirir. Bu durumda taneler arası kılcal bağ yoktur. Bu şekilde damlacığın dayanımı yalnızca kullanılan bağlayıcı karışımının yüzey gerilimine bağlıdır. Bu nedenle toz enjeksiyon kalıplamada kullanılacak bağlayıcının toz türüne göre (tanecik ağırlığı önemlidir) cinsi ve miktarı kritik bir konudur [27].

2.5.4. Bağlayıcı karışımının reolojisini etkileyen faktörler

Bağlayıcı karışımının reolojisini başlıca sıcaklık ve basınç faktörleri etkiler. Bu etkiler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Sıcaklığın etkisi

Toz enjeksiyon kalıplamada bağlayıcı karışımın reolojisini etkileyen en önemli faktör sıcaklıktır. Bunun yanında karışımdaki maddelerin ayrı ayrı fizikokimyasal özellikleri miktarlarıyla orantılı şekilde karışıma yansımakta ve her sıcaklık derecesi için ölçülerek belirlenebilecek bir viskozite değeri söz konusu olmaktadır. Enjeksiyonla kalıplanacak toz ile bağlayıcı karışımından oluşan besleme stoklarında ise viskoziteyi etkileyen faktör toz ve bağlayıcının genleşme katsayılarının farklılığıdır [5]. Bu farklılık herhangi bir sıcaklık derecesinde bağlayıcının tozdan daha fazla genleşmesine ve toz hacminin bağıl olarak azalmasına neden olur ve bu şekilde besleme stoğunun viskozitesi artar. Polimer esaslı bağlayıcı karışımında yağlayıcı görev yapmaları bu yüzdendir. Çizelge 2.5’de bazı bağlayıcıların fiziksel özellikleri verilmektedir.

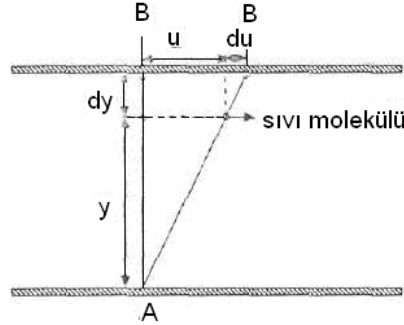
Çizelge 2.5. Bağlayıcılarda kullanılan bazı maddelerin reolojik özellikleri [10].

Malzeme	Viskozite n (Pa.s)	Aktivasyon enerjisi E (KJ/Mol)	Ergime sıcaklığı (°C)
Polipropilen	420,000	33,00	168
Poletilen	0,810	19,00	130
Karnauba mumu	0,210	12,30	84
Parafin	0,009	4,40	59
Stearik asit	0,007	-	67-69

Viskozite maddenin sahip olduğu ara yüzey sürtünme açısı nedeniyle akmaya karşı gösterdiği dirençtir. Viskozite kesmeye uğratılan bir cisimde kayma gerilmesi (Shear stress) ve kayma hızının (Shear rate) fonksiyonu olarak değişir. Sıcaklık genleşmeye neden olduğu için önce cismin taneciklerinin arasını açarak sürtünme açısını değiştirmekte ve bu da sürtünme dayanımını düşürdüğü için viskozitenin artmasına yol açmaktadır. Birbirleri üzerinde hareket eden sıvı moleküllerini birbirine teğet hareket eden iki levha olarak düşünersek (Şekil 2.9), sürtünme kuvveti aşağıdaki (Eş.2.1) şeklinde yazabiliriz [10].

$$F=S \eta(du/dy) \quad (2.1)$$

Burada S hareket eden yüzey alanı, η viskozite, du/dy 'de açılal kayma deformasyonudur. Bu eşitliğe Newton formülü adı verilmektedir.



Şekil 2.9. Birbirinden a mesafesi ile ayrılmış iki levhadan üsttekinin V hızı ile hareket etmesiyle akışkan moleküllerinin alt levhaya göre diferansiyel hareketi [10].

Burada sürtünme kuvvetinin birim alana düşen değeri (τ) formüldeki F/S yerine konulduğunda (Eş. 2.2) elde edilir.

$$\tau= \eta (du/dy) \quad (2.2)$$

Formüldeki sıcaklığa karşı duyarlı olan η değerine mutlak viskozite adı verilir.

Basıncın etkisi

Toz enjeksiyon kalıplamasında basıncın viskozitenin değişimine etkisi çok küçüktür. Sıkıştırılmaz bir sıvı için viskozitenin basınçla değişmesi sözkonusu değildir. Buna karşılık toz ve bağlayıcı karışımından meydana gelen besleme stoğunda özellikle toz taneciklerinin basınçla bir miktar sıkışabilecekleri viskozitenin değişik basınç seviyelerinde küçük farklılaşmalara yol açabilir. Bunun yanında viskoz akış için aktivasyon enerjisi (E_a) büyüdükçe basınca bağlı viskozite duyarlılığı da değişir [2, 5]. Buna göre bir P basıncına bağlı viskozite değişimi şeklinde (Eş. 2.2) ifade edilir.

$$\eta = \eta_0 \exp [c (P-P_0)] \quad (2.3)$$

Burada P uygulanan basıncı, P_0 bir atmosfer basıncı, η_0 bir atmosfer basınç altındaki viskoziteyi ve c de basınç katsayısını ifade eder. Toz enjeksiyon kalıplamasında kalıplama için uygulanacak basınç karışımın hacim akış hızını etkileyecek bir faktördür. Hacim akış hızındaki farklılıklar karışımın ayrılmadan hareketini veya bağlayıcının tozdan ayrılmasını sağlayacaktır. Sabit basınç uygulanmasına akış hızına bağlı olarak basıncın bağlı olarak artışı bağlayıcının tozdan ayrılmakta olduğunu gösterir [16].

Newtoniyen olmayan davranış gösteren bir besleme stoğunun uygun kalıplama sıcaklık ve basınç değerleri kapiler reometrede yapılan denemelerle belirlenebilir ve kayma hızı ve kayma gerilmesi parametreleri olarak matematiksel şekilde ifade edilir [16].

2.6. Bağlayıcının Çıkarılması

Ön-üründen bağlayıcının çıkarılması, TEK işleminin anahtar evresidir Bağlayıcının ön-üründen çıkarılması için ısıtma, kimyasal çözücülerde çözme, besleme stoğunda kullanılan tozdan daha küçük tane boyulu tozlar içine gömerek ısıtma (kılcal çekim ile bağlayıcıyı ayırıştırma: fitilleme) ve suda çözme gibi işlemler tek başına veya ardışık olarak uygulanabilmektedir. Tüm işlemler kendi içinde bazı zorluklar içermekte ve üretilen ön-ürünün firesine yol açabilmektedir.

Ön-ürünün ısıtılması, bağlayıcının ergitilip, bozundurulup veya buharlaştırılması ile uzaklaştırılmasını sonuçlar [24]. Bu işlem sırasında kalıplanmış parçanın çarpılmamasına özen gösterilmelidir. Çarpılmanın engellenmesi için yapılacaklar parça tasarımına kadar uzanır. Bu bağlamda bağlayıcıyı çeşitli katkılarla kullanma bunların farklı ergime veya buharlaşma sıcaklıklarına sahip olmaları bir avantaj olarak ortaya çıkar. Son zamanlarda tanıtılan "poliasetal TEK besleme stoğu" nun nitrik asit veya oksalik asit gazı kullanılarak yapılan katalitik bağlayıcı çıkarma işlemi, bağlayıcı çıkarma zamanını önemli oranda düşürmüştür [24]. Bu tür bağlayıcı çıkarmada

işlemini gerçekleştirecek cihazın da sisteme eklenmesi ile bağlayıcı çıkarma ve sinterleme devamlı bir işlem zinciri halinde gerçekleştirilmektedir.

İkinci bağlayıcı çıkarma yöntemi ancak belirli bazı bağlayıcı sistemlere uygulanabilmektedir. Bu bağlayıcının trikloretan gibi uygun bir çözücü ile çözülerek uzaklaştırılmasıdır. Isıtma, son aşama olarak bağlayıcının ayrışma işleminin buharlaştırılarak tamamlanması için gereklidir.

Su bazlı bağlayıcıların ön-üründen yalnızca su ile uzaklaştırılabilmeleri önemli bir avantaj oluşturmaktadır. Bu işlemin gerek düşük maliyetli olması, gerekse ön-ürünün bağlayıcı çıkarma işleminden daha az etkilenerek şeklinin bozulmaması TEK işlemlerinde dikkatleri su bazlı bağlayıcılara çekmektedir. Burada uygulama ön-ürünü belirli sıcaklık derecesindeki suda tutmaktan ibarettir. Reometre deneylerinde iyi kılcal akış gösteren örneklerin 30 °C suda sekiz saat bekletmekle bağlayıcının ön-ürünün şekli bozulmadan ayrıldığı gözlenmiştir [24].

Bağlayıcının çıkarılması sırasında kompaktın dayanımı önemli oranda azalır, bu yüzden bağlayıcı çıkarma işlemine tabi tutulmuş parça sinterleme aşamasına dikkatli bir şekilde taşınmalıdır [16].

2.7. Sinterleme

Toz enjeksiyon kalıplamasının temel amacının düzgün bir son ürüne ulaşmak olması bakımından burada bu konuyla ilgili kısa bilgi verilmektedir. Bu işlem parçanın ısıtılması ile toz parçacıklarının birbirlerine kaynamasının sağlanmasıyla son ürünün dayanımının artırılması işlemidir. Bu işlem atmosfer kontrollü fırınlarda veya bazen vakum altında ergime sıcaklığının altındaki ısılarda gerçekleştirilir. TEK deki sinterleme işlemi toz metalurjisindeki aynıdır. Dikkat edilmesi gereken nokta metal tozlarının kullanılması halinde bunların oksitlenmeden korunmasıdır. Onun için işlem indirgeyici koşullarda yapılır. Metali korumanın ötesinde indirgeyici koşullar aynı zamanda metal toz parçacıklarının üzerlerinde önceden bulunan oksitlerin

temizlenmesi için de bir avantaj durumundadır. Tanelerin küçük olması yüzünden toz üzerinde biriken oksit TEK işlemlerinde toz metalurjisinden daha büyük bir öneme sahiptir [10].

TEK uygulamalarında çok ince tanelerde tanelerin yüksek yüzey enerjisine sahip olmaları yüzünden sinterleme aynı özellikteki tozdan yapılan toz metalurjisi uygulamasına göre daha düzgün şekilde meydana gelir. Bağlayıcının çıkarılmış olduğu üründe gözenek çok yüksektir bu yüzden çarpılma ve çökme olmaması için sinterleme sıcaklığı çok iyi kontrol edilmelidir Son üründe teorik yoğunluğa çok yaklaşılr ve genellikle % 97 den fazla olur. Her durumda yoğunluk aynı kompozisyondaki metalinden daha düşük olur [16].

3. TEK KALIPLAMA ALANINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

Polimer esaslı bağlayıcılar ile toz enjeksiyon kalıplaması hakkında literatürde çok sayıda araştırma bulunmaktadır [10]. Süspansiyonların viskoziteleri ve viskozitenin bağımsız değişkenleri hakkındaki araştırmalar 20. yüzyılın ilk yarısına uzanmaktadır. Bu konudaki araştırmalar, TEK'in karmaşık şekilli seramik veya metal parçaların net şekilli olarak elde edilmesine imkan sağlaması bakımından dünyada giderek uygulaması artan bir yöntem olmasına paralel olarak son yıllarda sayı ve konu çeşitliliği bakımından çok artmıştır [10]. Bu tez konusunu ilgilendirmeleri bakımından aşağıda bazı araştırmaların bulguları özet olarak verilmiştir.

Liu et al. [6] paslanmaz çelik tozlarının enjeksiyonunda uygun bağlayıcı üzerinde çalışmışlar ve ağırlık olarak %20 Parafin, %40 etilen vinil asetat ve %40 yüksek yoğunluklu polietilenden meydana gelen bağlayıcının enjeksiyon için gerekli olan 1000 Pa.s altında viskoziteyi sağladığını ileri sürmüşlerdir. Araştırmacılar besleme stoğunda uygun karışımın sağlanabilmesi için bağlayıcı bileşenlerinin ergime ısılarına göre değişik sıcaklık derecelerini denemişlerdir.

Levenfeld et al. [7] takım çeliği tozlarının enjeksiyon kalıplamasında bir termoset reçine esaslı bağlayıcı sistemini incelemişlerdir. Besleme stoğunu oda sıcaklığında kalıba enjekte ettikten sonra ön-ürünü reçinenin kuruma sıcaklığına kadar ısıtmışlardır. Daha sonra da termogravimetrik analiz yoluyla en iyi termal bağlayıcı çıkarma dönemini saptamışlardır. Bu dönem 400 dakikalık bir sürede sıcaklığı 2,5-1 °C/dk hızda 40-50 °C ye çıkararak gerçekleştirilmiştir. Değişik sıcaklık derecelerinde sinterlenen ön-ürünün iç yapısı SEM mikroskopta incelenmiştir.

Reddy et al. [29] çeşitli bağlayıcı karışım tiplerini kaba silika ve ince alüminadan oluşan toz karışımının enjeksiyonunda inceleyerek en iyi viskozite ve akışın belirlenmesinde kullanılabilecek kritik bağlayıcı hacim konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Ortaya koydukları modelin bilinen bağlayıcılar bakımından hem bağlayıcı viskozitesini hem de kritik bağlayıcı hacmi ile toz karışımının viskozitesini önceden belirlemede iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Araştırmada polimer mum karışımı sistemleri kullanmışlardır. Yazarlara göre karışımı oluşturan ana bileşen viskoziteyi, küçük bileşen ise akışımı değiştiren ve bağlayıcı çıkarma işlemi sırasında yardımcı olan bileşendir.

Sim et al. [30] dişçilik ve ortopedik uygulamalarda önemli bir madde olan hidroksiapatit tozunun yüksek yoğunluklu polietilen bağlayıcı ile enjeksiyon kalıplamasını kritik toz konsantrasyonu bakımından incelemişlerdir. %20 oranındaki toz hacminde dahi kalıplamanın mümkün olduğunu, daha yüksek yoğunluklar için viskozitenin artması yüzünden yağlayıcı olarak stearik asit kullanılmasının uygunluğunu belirlemişlerdir. Bu araştırmada aglomera olmuş hidroksiapatit tozunun kritik hacmi %41 olarak belirlenmiş olup bunun dışındaki oranlarda ön-üründe boşlukların kalabileceği saptanmıştır.

Novak et al. [31] alümina-parafin'den meydana gelen süspansiyonlarda seramik tozunun nem içeriğinin kalıplama ve sinterleme öncesinde ön-ürünün hataları bakımından incelemişlerdir. Yazarlar yüksek kaliteli seramik parça elde edilmesinde seramik tozunun nem içeriğinin önemine değinmişler ve bunun besleme stoğunun reolojik karakterlerini değiştirdiğini deneysel olarak göstermişlerdir. Tozda kalıplama öncesinde yüksek nem oranı flokülasyona neden olmakta ve sinterlenmiş seramikte hataların ortaya çıkmasını sonuçlamaktadır. Buna karşılık bağlayıcının çıkarılması aşamasında ise su içerisinde bırakmanın da bu hataları önlediği üzerinde durulmuştur.

Huzzard ve Blackburn [32] su bazlı bağlayıcıları seramiğin kalıplanmasında, kalıp ve kalıplama sıcaklığını benzer tutarak denemişlerdir. Bunun için selüloz türevli bağlayıcıları % 8'e kadar oranlarda jel sıcaklığı ile suyun kaynama sıcaklığı arasındaki sıcaklıklarda jel dayanımının değişimi bakımından incelemişlerdir. Burada amaç ham ön-ürünün kalıptan bozulmadan çıkarılabilmesi olup, yüksek jel dayanımı olan bağlayıcıların avantaj sağladıkları gösterilmiştir. Yüksek dayanımlı bir jel elde edilmesi durumunda ön-ürünün kalıpta bekleme süresi de azalmakta ve bu da işlemin uygulanabilirliğini arttırmaktadır.

Rak ve Czechovvski [33] Alümina tozları ile su bazlı bağlayıcılardan meydana gelen

süspansiyonların reolojik karakterlerini ve yoğunlaşma ile sinterlenmiş alümina seramiğin mekanik özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada bimodal tane boylu toz ile bağlayıcı olarak agaros ve yağlayıcı olarak da gliserol kullanmışlardır.

İncelemede % 50 hacim oranında toz kullanılması durumunda ön-üründe en iyi mekanik dayanımın elde edildiğini göstermişlerdir. Bu durumda ön-üründe düşük kuruma ve çekme oranı, yüksek yoğunluk ve 250 MPa bükme dayanımı elde edilmiştir.

Kuppeblatt ve Chung [34] toz enjeksiyon kalıplamada en kritik konunun bağlayıcının formülasyonu olduğu üzerinde durmuşlardır. Çeşitli maddelerden meydana gelen karışımlarda reolojik karakterler bu bağlayıcı bileşenlerinin oranlarına göre çok değişmektedir.

Yang et al. [35] polietilen glikol (PEG) içeren bağlayıcılardan oluşan alümina enjeksiyon kalıplama besleme stoklarında farklı molekül ağırlıklarının reolojik karakterlerini kapiler viskozimetrede incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda büyük molekül ağırlıklı PEG besleme stoklarında yüksek gerilme dayanımı ve kayma gerilmesi saptamışlardır. PEG'li besleme stoklarının oransal viskoziteleri düşüktür ve bu durum iyi akışkanlık sağlar. Sıcaklığın ve kayma hızının artmasıyla viskozite düşer. Buna karşılık yazarlar besleme stoğunda sıcaklığın 90 derecenin üzerine çıkması durumunda bazı PEG karışımlarının tozu tutamadıkları ve toz ile bağlayıcının ayrıldığını belirlemişlerdir.

Thomas ve Marple [36] düşük molekül ağırlıklı polietilen-glikol, okside yüksek yoğunluklu polietilen, polivinil-butiral ve stearik asitten oluşan % 60 hacim oranındaki su bazlı bağlayıcıyı seramik toz enjeksiyon kalıplamasında denemişlerdir. Kullanılan toz % 45 hacimde mikronaltı boyda hazırlanmış zirkon tozudur. Bu karışımın viskozitesinin 190 °C da ve 100 s⁻¹ kayma hızında 700-800 Pa.s olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmacılar bağlayıcının ön-üründen çıkarılmasını incelemişler ve polietilen-glikolün 50 °C de suda çözündüğünü saptamışlardır. Deneyde polietilen-glikolün % 90 'nı 2 mm kalınlığında bir parçadan 2 saatlik bir suda bırakma işleminde

çıkarılmıştır. Geri kalan miktar ise 500 °C ısıtılmak ve 100 °C/saat lik bir ısıtma hızında çıkarılmıştır. Bu araştırmada yapılan termogravimetrik analizler bağlayıcının bozunmasının en iyi argon atmosferinde ısıtmayla elde edilebileceğini göstermiştir. Bundan sonra 1500 °C de sinterleme işleminde % 99 yoğunluk sağlanmıştır.

Lee ve Jeung [37] stronsiyum ferrit tozunun enjeksiyon kalıplamasında değişik molekül ağırlıklı PEG tozu bazlı bir bağlayıcının reolojisini araştırmışlardır. Bu çalışmada kullanılan bağlayıcı sistem %30 hacim PP, %60 hacim PEG-20 000 ve %10 hacim PEG-4000 dir. Kalıplama sonrasında önce PEG bağlayıcıları daha sonra da PP sırasıyla havada yakılarak uzaklaştırılmışlardır. Araştırmada termal geri çıkarılma zamanı, atmosferi ve sinterleme sırasında magnetik özelliklerin değişimi incelenmiştir.

Yukarıda sonuçlarına kısaca değinilen araştırmalardan başka bağlayıcı çıkarma, sinterleme ve metal tozu enjeksiyonunu konu alan çok sayıda yayımlanmış çalışma bulunmaktadır. Bunların arasında Karataş ve Sarıtaş [21] gaz ve su atomize paslanmaz çelik tozlarının değişik oranlarda karışımlarından meydana gelen ve bağlayıcı olarak polipropilen esaslı besleme stoklarının reolojilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada gaz atomize 316 L paslanmaz çelik tozlarının su atomize olan 316L tozlarına oranla daha iyi reolojik karakterlere sahip olduklarını, buna karşılık bu tozların karıştırılması ile elde edilen besleme stoklarında reolojik özelliklerin su atomize olana göre iyileşme gösterdiğini saptamışlardır.

Karataş [16] ve Karataş ve Sarıtaş [18] metal ve seramik tozlarının polipropilen esaslı bağlayıcıdan oluşan besleme stoklarında reolojik karakterleri, Koçer [5] seramik tozlarının polietilen, polipropilen, polisitiren ve metilselüloz'dan yapılan besleme stoklarının reolojik davranışlarını incelemişlerdir. Maca et al. [38] ceria seramiklerin (CeO₂) lerin kalıplama ve sinterlenmeleri üzerinde durmuş ve besleme stoğunun reolojik karakterlerini incelemişlerdir.

Bakan et al. [39] suda çözünen bağlayıcı sistemi kullanarak 316 L tozunun enjeksiyon kalıplamasını incelemişler ve PEG ile az miktardaki polimetilmetakrilat (PMMA) ve stearik asitten oluşan bağlayıcı ile %68 oranında toz kullanılabilmesinin

mümkün olduğunu göstermişlerdir. Bu çalışmada bağlayıcının %88 ini oluşturan PEG bileşenin 60 °C suda 3 saat içerisinde çözündüğü belirlenmiştir.

Yiğit et al. [40] seramik tozlarının enjeksiyonları için bentonit+su karışımından oluşan bağlayıcı ile enjeksiyon hızının değişimini incelemişlerdir. Reometre deneylerinde hazırlanan karışımların newtoniyen davranış göstermediklerini belirlemişlerdir.

Wei et al. [41] alümina tozlarının enjeksiyon kalıplamasında basıncın etkisini incelemişlerdir. Tseng [42] seramik enjeksiyon kalıplamasında boyutsal kontrol parametreleri üzerinde istatistiksel analiz yapmıştır. Liu ve Tseng [43] ise enjeksiyon kalıplaması ile elde edilmiş zirkon seramiklerden bağlayıcının çıkarılması konusunu incelemişlerdir.

Kosmac [44] seramik tozu enjeksiyon kalıplamasında sulu solüsyonların endüstriyel avantajları üzerinde araştırmalar yapmıştır. Bu konuda German [2] termal yöntemle bağlayıcı çıkarmanın teorisi üzerinde araştırmada bulunmuştur. Aynı zamanda toz enjeksiyon kalıplama konusunda konunun bütün boyutlarının ele alındığı kapsamlı yayın German [2]' a ait bulunmaktadır. Toz metalurjisi konusyla ilgili temel bilgiler de Sarıtaş [4] tarafından verilmiştir. Türker[15] ise mekanik alaşımlama ile üretilen kompozit malzemelerin reolojik özelliklerinin araştırılması çalışmasında, toz tane boyunun küçülmesiyle reolojik özelliklerde artma görüldüğünü rapor etmişlerdir.

TEK teknolojisinde yaygın olarak inceleme konusu olan noktalardan birisi de alaşımlar için metal tozlarının enjeksiyon kalıplamasındaki homojenlikleriyle yoğunluk ve performansları için hangi oranların uygun olduğunu belirlemek olmaktadır.

Örneğin Zhang ve German [45] bu durumu demir ve nikel alaşımları için incelemişlerdir. Çeşitli metal tozlarının yüzey enerjilerinin farklılığı hacim içerisinde yoğunluk gradyanlarının meydana gelmesine yol açmaktadır. Optimum oranlar ancak çevre faktörlerinin ve bağlayıcının ayarlanmasıyla deneyerek bulunabilmektedir. Bu

araştırcılar demir ve %2 nikel karışımında yoğunluk ve performansın en yüksek olduğunu, buna karşılık demir ve %8 nikel karışımında ise en dūřük olduğunu saptamışlardır. Görüldüđü gibi nikel konsantrasyonu artınca pozitif özelliklerde azalma meydana gelmektedir.

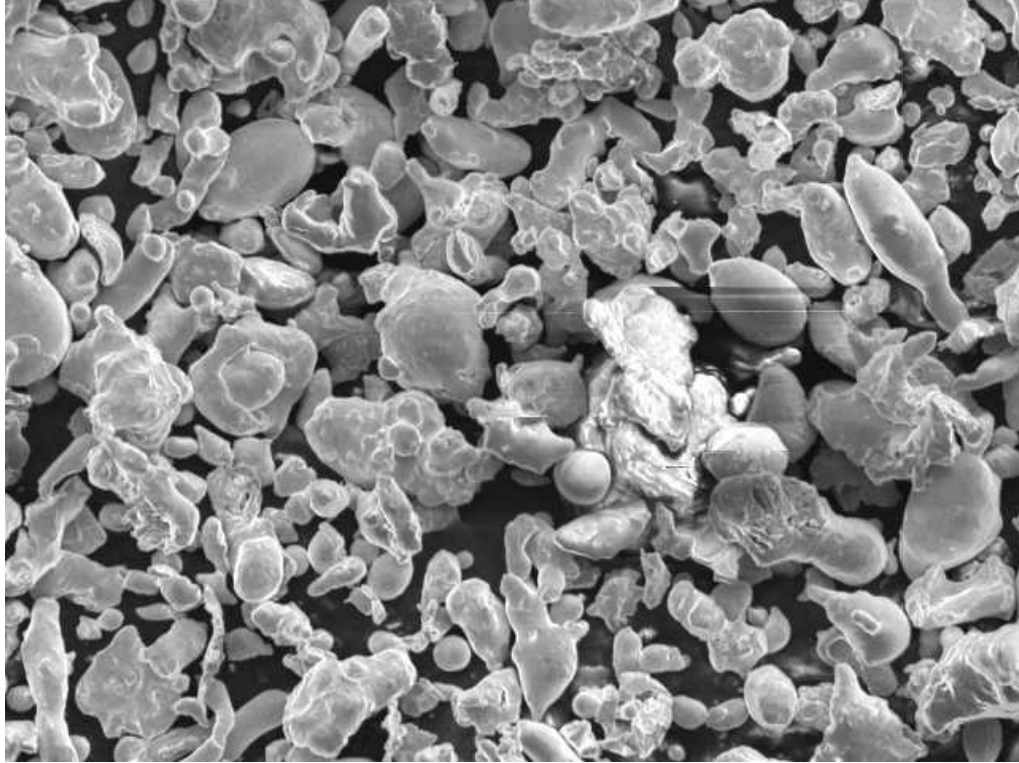
PEG tozlarının bağlayıcı olarak kullanıldığı çalışmalar son yıllarda ilgi çekmektedir. Ancak, PEG ve PMMA esaslı bağlayıcılar kullanıldığında optimum kalıplama için bulamaç akıcılığı üzerine basınç, katı hacim oranı, kalıp ve hazne sıcaklığı arasındaki ilişkiler konusunda eksiklikler bulunmaktadır [46-48].

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Malzeme

4.1.1 Metal Tozu

Çalışmada ortalama 45 µm toz boyutuna sahip 316L paslanmaz çelik tozu kullanılmıştır. Toz morfoloji analizleri JEOL 3600 SEM kullanılarak yapılmıştır. Resim 4.1 'de toz morfolojisi görülmektedir.



Resim 4.1. 316L Paslanmaz çelik tozu SEM görüntüsü

4.1.2. Bağlayıcı

Bağlayıcı olarak PEG ve PMMA karışımı olup PEG oranı %80 ve PMMA oranı %20 olarak kullanılmıştır. Bağlayıcılar ağırlık olarak tartılıp metal tozları ile elle harmanlanmış, daha sonra karıştırma kabında mikser ile 20 dakika karıştırılarak kuru bağlayıcı karışım elde edilmiştir.

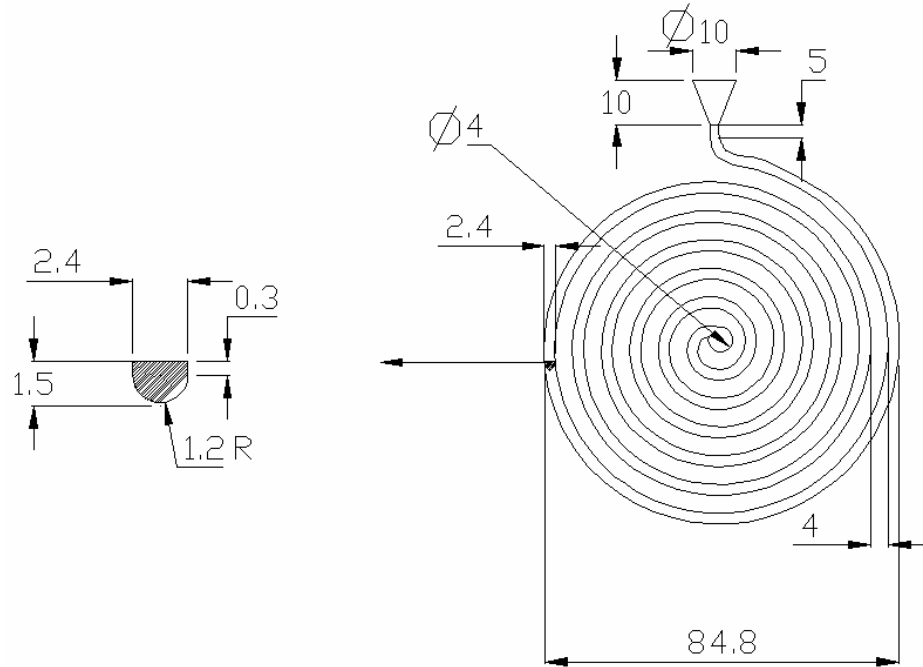
4.2. Cihaz ve ekipmanlar

4.2.1. Karıştırıcı

Karıştırma işleminde, devir sayısı ayarlanabilen karıştırıcı kullanılmıştır. Karıştırma işlemi 300 dev/dk.'da ve 30 dakika süre ile yapılmıştır. Hem bağlayıcı hem de toz bağlayıcı önce kuru olarak daha sonra sıcak tabla üzerinde karışım yarı sıvı durumda karıştırılması ile gerçekleştirilmiştir.

4.2.2. Akıcılık spirali

Kalıplanabilirlik için kullanılan akıcılık spirali bir akış kanalının dolma ölçüsüdür ve birçok sıvı akıcılığı ölçümü için standart olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma için German [2] tarafından yapılan “Toz enjeksiyon kalıplama” konulu kitapta belirtilen spiralin ½ oranında küçük boyutu tasarlanmış ve sanayide imal edilmiştir. Şekil 4.1 kesit görünüşü ve 4.2’de akıcılık spiralinin resmi verilmiştir.



Şekil 4.1 Akıcılık Spirali kesit görünüşü



Resim 4.2 Akıcılık spirali

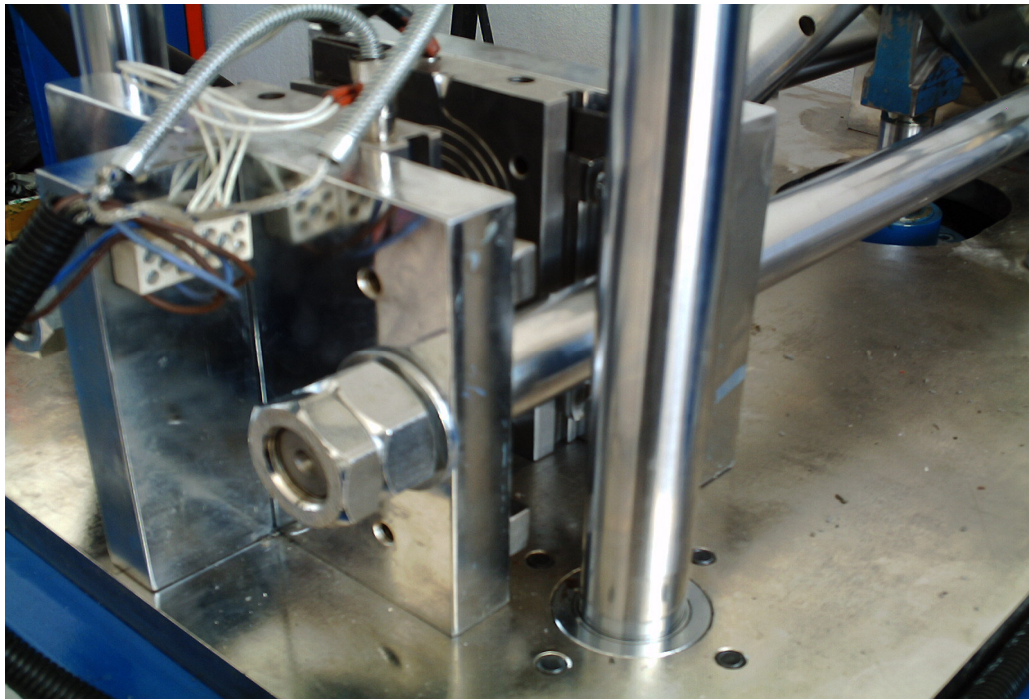
4.2.3. Toz enjeksiyon kalıplama makinesi

Bu çalışmada, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi'nde bulunan enjeksiyon makinesi kullanılmıştır. Deneylede kullanılan toz enjeksiyon kalıplama makinesi Resim 4.4 ve 4.5'de görülmektedir. Makede hazne, kalıp ve presleme mili hidrolik sistemle hareket etmektedir. Hazırlanmış bağlayıcı toz karışım TEK makinesi haznesine konularak kalıplara enjekte edilmektedir.

Hazne sıcaklığının kontrolü için kelepçe ısıtıcı yaptırılmıştır. Kalıp sıcaklığının kontrolü için ise fişek ısıtıcılar kullanılmıştır. Isıtıcılar 30-40 dakika içinde hazne ve spiral kalıbını istenilen sıcaklığa çıkararak deneye hazır hale getirmektedir. Sıcaklıkta sapmalar $\pm 2^{\circ}\text{C}$ toleransı içinde olmuştur.



Resim 4.4 Toz enjeksiyon kalıplama makinesi



Resim 4.5 Toz enjeksiyon kalıplama makinesi (kalıp)

4.3. Deneyin Yapılışı

4.3.1. Karışımın hazırlanması

Deneylerde kullanılan 316L metal tozu ve bağlayıcıyı oluşturan PEG ve PMMA 0.0001 g. hassasiyetinde dijital terazide tartılmıştır. Önce % 80 PEG ve %20 PMMA ağırlık olarak tartılmıştır. Tartılan malzemeler uygun yerde önce el ile, daha sonra karıştırıcıda 20 dakika karıştırılmıştır.

4.3.2. Karışımın granül yapılması

Karıştırılan bağlayıcılı toz, TEK makinesinin haznesine yerleştirilmiş ve hazne kelepçe ısıtıcısı ile istenilen sıcaklıklarda tutulmuştur. Malzeme haznede yaklaşık 30 dakika bekletilerek itme mili ile dışarıya akıtılmıştır. 2,5 mm çubuk halinde çıkan karışım kırılarak granül elde edilmiştir.

4.3.3. Malzemelerin akış uzunluğunun ölçülmesi

Granül olarak karıştırılmış olarak alınan malzemeler 10-20 g. arasında miktarlarda 0.0001 gr. hassasiyetinde dijital terazide tartılarak hazırlanmıştır. Granül haldeki malzeme, pistonun girdiği silindirde bulunan delikten, piston çıkarılarak bir huni yardımı ile malzeme hazneye boşaltılmıştır. Daha sonra piston tekrar yerine yerleştirilerek yüklenen malzemenin silindirin tabanına doğru gitmesi ve malzeme içindeki havanın atılması için piston biraz bastırılmıştır. Bu işlemden sonra 20 dakika malzeme beklenmiştir. Bu süre daha önceki deneylerden empirik olarak elde edilmiştir. Daha sonra belirlenen parametrelerde kalıplama işlemi uygulanmıştır. Tozların akış mesafesi spiral uzunluğu olarak tanımlanmış ve bir cetvel yardımı ile ölçülmüştür. Her deneyden sonra silindir, piston ve memede malzeme kalmayacak şekilde temizlenip diğer deneye geçilmiştir.

4.3.4. Deney parametreleri

Akıcılığı etkileyen değişken parametreler;

1. Kalıplama basıncı

2. Hazne sıcaklığı
3. Toz katı hacim oranı
4. Kalıp sıcaklığı

olmak üzere 4 ana guruba ayrılmıştır. Deneylerde uygulanan parametreler sırasıyla Çizelge (2.5 ile 2.6)'de verilmiştir.

Çizelge 2.5'de 316L katı toz hacim oranına bağlı parametreler

Katı Hacim Oranı (%)	Kalıp Sıcaklığı (°C)	Presleme Basıncı (Bar)
55	40	10
		20
		30
	60	10
		20
		30
	80	10
		20
		30
52	40	10
		20
		30
	60	10
		20
		30
	80	10
		20
		30
50	40	10
		20
		30
	60	10
		20
		30
	80	10
		20
		30

Çizelge 2.6'de Kalıp sıcaklığına bağlı parametreler

Hazne Sıcaklığı (°C)	Katı Hacim Oranı (%)	Kalıp sıcaklığı (°C)	Presleme Basıncı (Bar)
150	55	60	20
	52		
	50		
160	55		
	52		
	50		
170	55		
	52		
	50		

Deneylerde kullanılan toz bağlayıcı karışımı oranlar hacim bazında dikkate alınmış, karışımların hesaplanması aşağıda örneklerde olduğu gibi yapılmıştır.

Örnek 1.

%65 toz, içeren karışım

$$d=m/v$$

$$d_{toz}=m_{toz}/v_{toz}$$

Toz = 316L paslanmaz çelik, yoğunluğu = 7.9 g/cm³

Bağlayıcı = Ağırlık olarak %80 PEG, %20 PMMA yoğunluk =1.1 g/cm³

Karışım = %50 toz %50 bağlayıcı hacim olarak

Bağlayıcı karışımı PEG%80 = 100x 80 = 80 g PMMA %20 = 100x20=20 g

Toplam 100 g bağlayıcı karışımı

Toz-bağlayıcı karışımı

$$\%50 \times 7.9 = 5.07 \times 9.862 = 50 \text{ g toz}$$

$$\%35 \times 0.9 = 0.315 \times 9.862 = 3.106 \text{R bağlayıcı}$$

Toplam 53.106 gr toz-bağlayıcı

% 45 bağlayıcıda kullanılan numune miktarları

Toz: 32,587 g

PEG: 2,960 g

PMMA: 0,742

% 48 bağlayıcıda kullanılan numune miktarları

Toz: 30,810 g

PEG: 3,168 g

PMMA: 0,792 g

% 50 bağlayıcıda kullanılan numune miktarları

Toz: 29,625 g

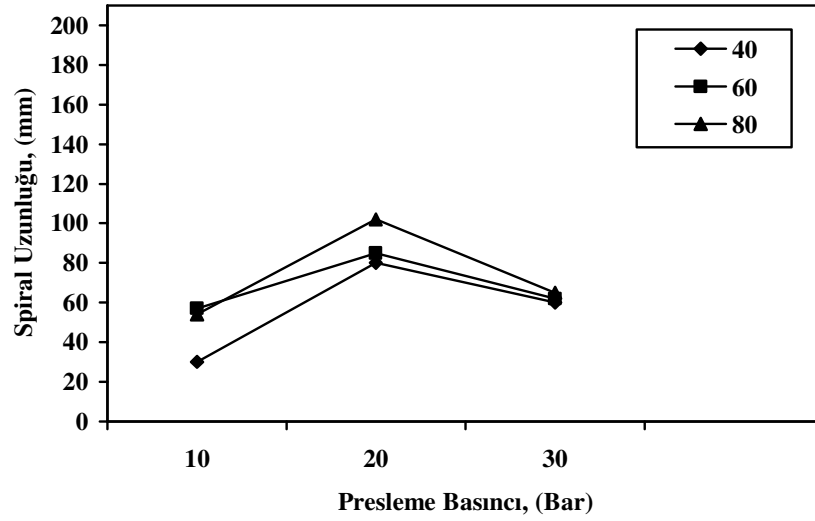
PEG: 3,300 g

PMMA: 0,825 g

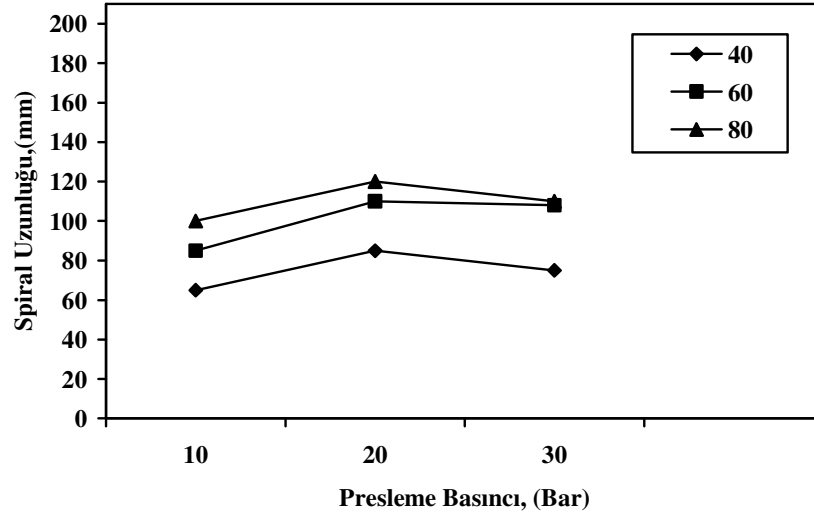
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. Presleme basıncının spiral uzunluğuna etkisi

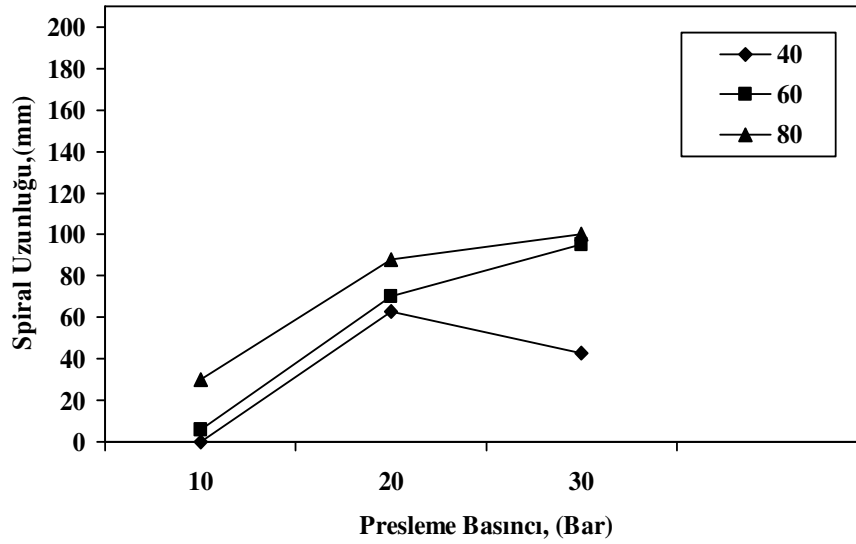
10, 20 ve 30 bar basınçta üç farklı katı hacim oranındaki paslanmaz çelik tozu ile bağlayıcı karışımının akıcılık deneyi üç farklı kalıp sıcaklığı(40, 60, 80 °C) ve 160 °C hazne sıcaklığında yapılmıştır. Deneylerde tespit edilen presleme basıncına bağlı olarak spiral uzunluğu değişimleri Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Presleme basıncına bağlı spiral uzunluğu değişimi (katı hacim: % 50)



Şekil 5.2. Presleme basıncına bağlı spiral uzunluğu değişimi (katı hacim: % 52)



Şekil 5.3. Presleme basıncına bağlı spiral uzunluğu değişimi (katı hacim: % 55)

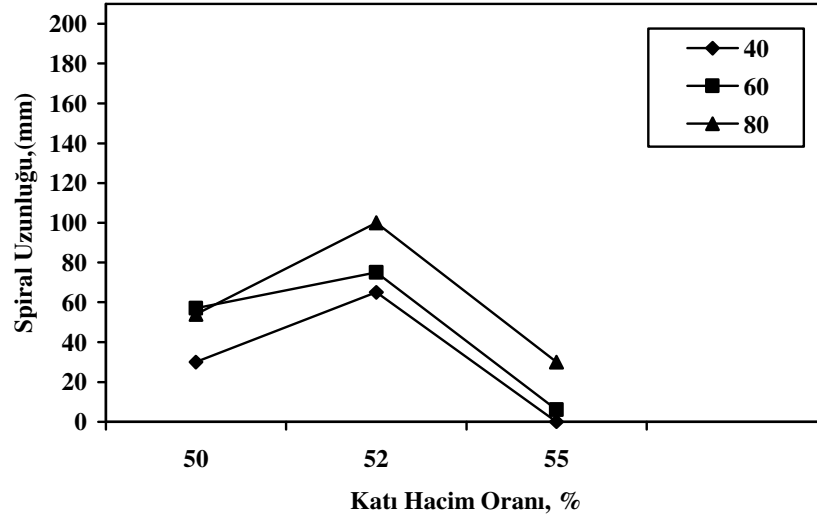
Deneyler basıncın artması ile spiral uzunluğundaki artış oranında doğrusal bir bağlantı olmadığı göstermektedir. Örneğin, tüm katı hacim oranlarında 10 bar uygulama basıncı en düşük spiral uzunluğu verirken 20 bar uygulama 30 bar'dan daha fazla spiral uzunluğu vermiştir. Bunun nedeninin enjeksiyon makinesinin piston tipi olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Enjeksiyon makineleri helezon dişli ve piston tipli olmak üzere iki kısma ayrılmaktadırlar. Pistonun besleme stoğunu

hazneden itmesi sırasında bağlayıcıların tozların üzerine çıkması (sıvılaşma) sonucu besleme stoğundaki bağlayıcı hacim oranı azalmaktadır. Bu durum deneylerde 30 bar basınç kullanıldığında gözlemlenmiştir. Fazla uygulama basıncında bağlayıcı piston ile hazne arasındaki boşluktan geriye çıkmaktadır ve kalıplamada gözle görülür ilerleme problemleri gözlemlenmektedir.

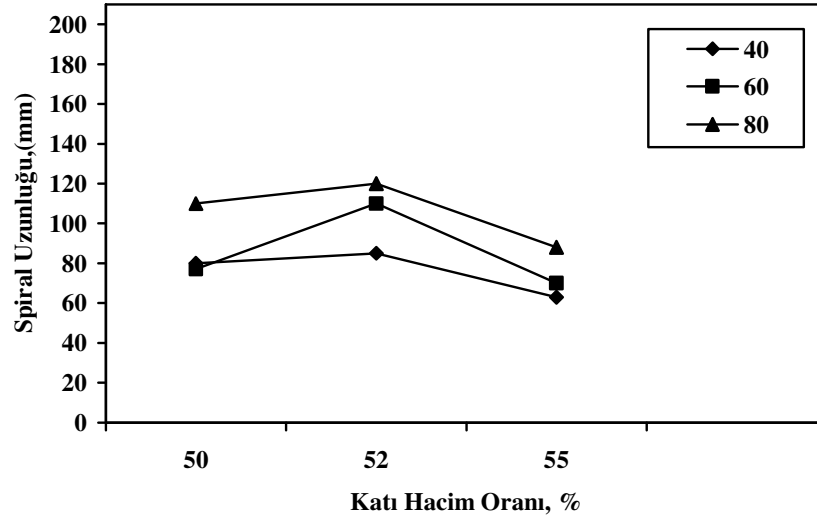
Diğer bir etkinin ise toz şekli olabileceği ağırlıkla muhtemeldir. Zira, deneylerde kullanılan tozlar tam küresel değildir ve ilerleme için belli zaman aralığına ihtiyaç duyacaktır. Oysa uygulanan yüksek basınç, tozların hızlı ilerleme eğilimi karşısında birbirleri ile kilitlemesine sebep olabilecektir. Şekil 5.1’de bağlayıcı hacim oranı Şekil 5.2’ den daha çok olmasına rağmen daha az spiral uzunluğu elde edilmiştir ki bu da yüksek basınçlarda sıvılaşmanın ve kilitlemenin olabileceğinin bir delili olarak düşünülebilir. Bu sorunlar [Karataş ve Sarıtaş, 1998] gaz atomize 316L paslanma çelik tozlarının su atomize 316L tozlarına oranla daha iyi reolojik karaktere sahip olduklarını sebebini ise tozların yarı küreselden küresel şekle geçişi olarak açıklamışlardır. Ayrıca [Thomas ve Marple, 1998] %45 mikron altı zirkonyum tozunun PEG ile enjeksiyon yapmış ve optimum kayma hızının olduğunu rapor etmiştir. Daha yüksek basınçlarda kayma hızlarında ise (diğer bir deyişle yüksek uygulama basıncında) reolojik özelliklerin düştüğü rapor edilmiştir.

5.2. Katı hacim oranının spiral uzunluğuna etkisi

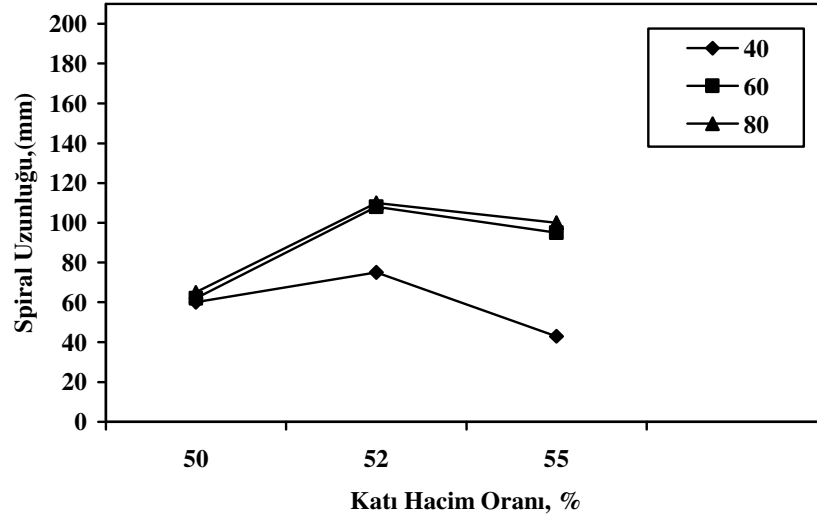
% 50, 52 ve 55 katı hacim oranındaki paslanmaz çelik tozu ile bağlayıcı karışımının akıcılık deneyi 160 °C hazne sıcaklığı, üç farklı basınç (10, 20, 30 bar) ve kalıp sıcaklığında (40, 60 ve 80 °C) yapılmıştır. Deneylerde tespit edilen katı hacim oranına bağlı olarak spiral uzunluğu değişimleri sırasıyla Şekil 5.4, 5.5 ve 5.6’da verilmiştir.



Şekil 5.4. Katı hacim oranına bağlı spiral uzunluğu değişimi (basınç: 10 bar)



Şekil 5.5. Katı hacim oranına bağlı spiral uzunluğu değişimi (basınç: 20 bar)



Şekil 5.6. Katı hacim oranına bağlı spiral uzunluğu değişimi (basınç: 30 bar)

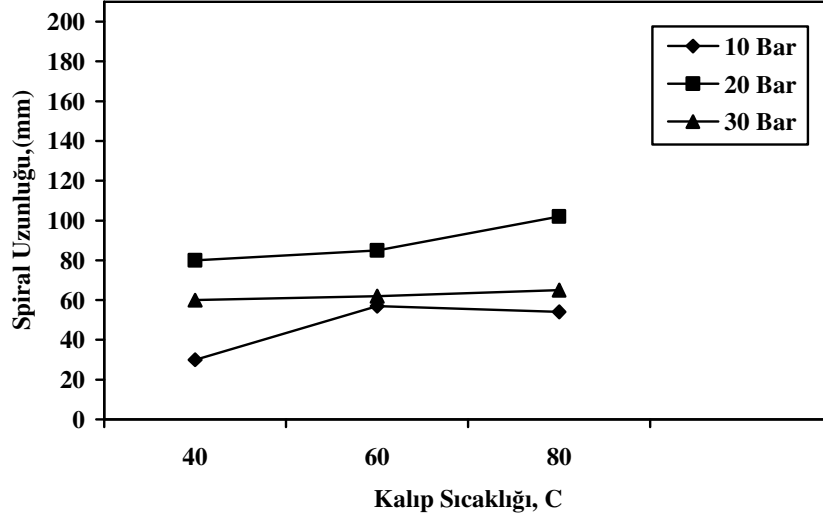
Deneylerden katı hacim miktarının artmasıyla spiral uzunluğunda azalma olduğunu göstermektedir. Katı hacim miktarı %55 oranına çıktığında spiral uzunluğunda kayda değer bir düşme gözlenmiştir. Özellikle 40 °C kalıp sıcaklığında % 55 katı hacim oranı ile kalıplama yapılamamıştır. Yüksek katı hacim oranları yetersiz bağlayıcı oranına sebep olmaktadır. Dolayısıyla karışımın kalıp içerisinde ilerlemesi zorlaşmaktadır. Diğer bir nedeni ise fazla katı hacim oranına bağlı olarak kalıpta sıvı haldeki bağlayıcıya ısı transferi olarak açıklanabilir. Katı metal tozlarının ısı transfer katsayıları oldukça yüksektir. 60 ve 80 °C kalıp sıcaklıkları dikkate alındığında spiral uzunluklarının artması katı tozların ısı transferi ile olduğu savını daha da güçlendirmektedir. 40 °C kalıp sıcaklığında muhtemelen metal tozlarının ısı iletimi ile bağlayıcı çok erken donmakta ve kalıpta ilerleme olmamaktadır.

Diğer dikkate değer bir nokta ise artan basınç ve kalıp sıcaklığı ile spiral uzunluklarında saçınımların gözlenmesidir. Bu durum Bölüm 5.4'de açıklanmıştır ve oradaki sav söz konusu sonuçlarla uyum halindedir.

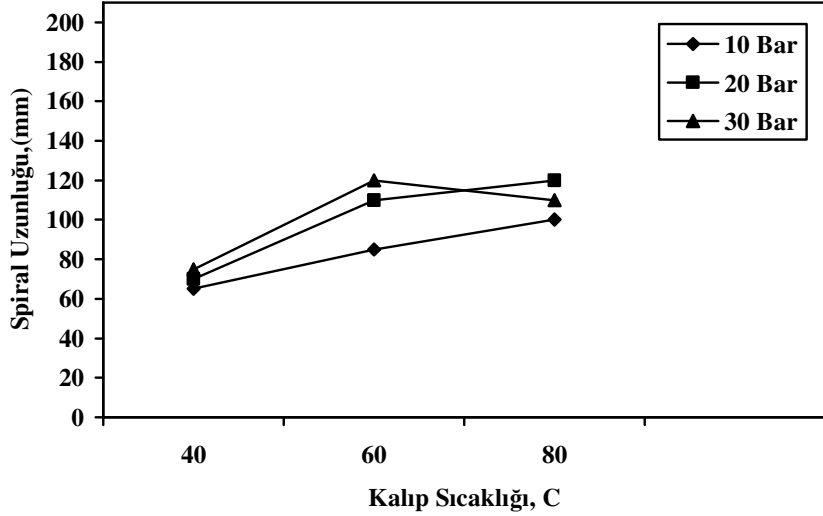
5.3. Kalıp sıcaklığının spiral uzunluğuna etkisi

40, 60 ve 80 °C kalıp sıcaklığında üç farklı katı hacim oranındaki paslanmaz çelik tozu ile bağlayıcı karışımının akıcılığı deneyi 160 °C hazne sıcaklığı ve üç farklı

basınçta yapılmıştır. Deneylede tespit edilen kalıp sıcaklığına bağlı olarak spiral uzunluğu değişimleri Şekil 5.7, 5.8 ve 5.9'da verilmiştir.



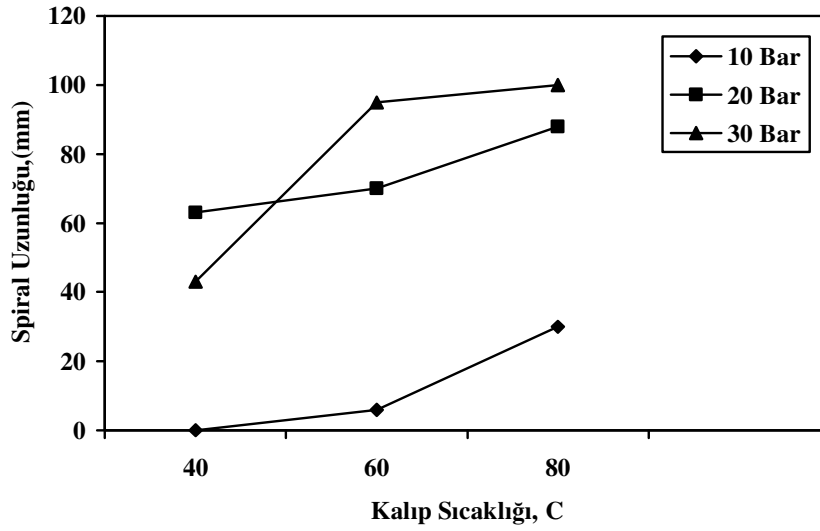
Şekil 5.7. Kalıp sıcaklığına bağlı spiral uzunluğu değişimi (katı hacim: % 50)



Şekil 5.8. Kalıp sıcaklığına bağlı spiral uzunluğu değişimi (katı hacim: % 52)

Kalıp sıcaklığının artması ile spiral uzunluğunda (her % katı oranı için) artma gözlemlenmiştir. Özellikle %52 katı hacim oranında 80 °C kalıp sıcaklığında en fazla spiral uzunluğu elde edilmiştir. Burada dikkati çeken sonuç ise %50 katı hacim

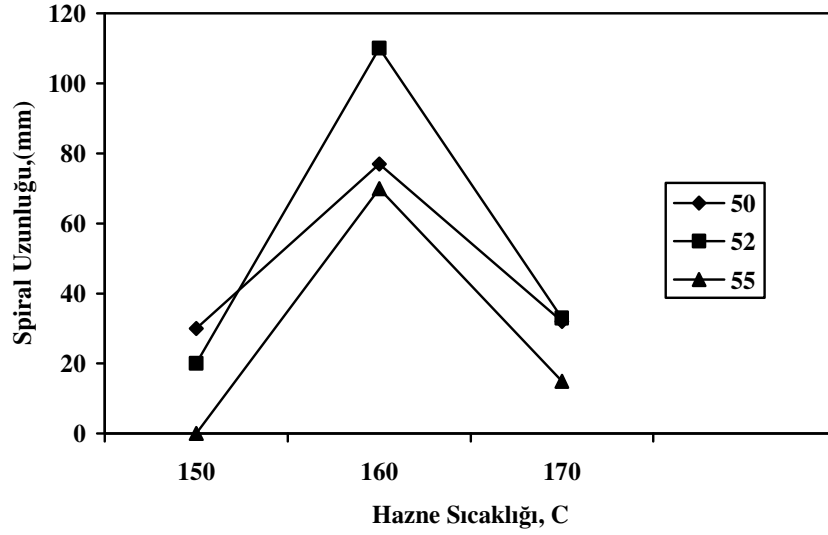
oranındaki spiral uzunluğunun %52 katından daha az olmasıdır. Bunun nedeni bölüm 5.1’de açıklanan sıvılaşma olabilir. Çünkü, basıncın 20 bardan fazla artması ile spiral uzunluğu düşmektedir. Deneylede diğer bir dikkate değer gözlem ise 80 °C kalıp sıcaklığında spiralın kalıba yapışması olayıdır. PEG bu sıcaklıklarda buharlaşmaya başlamaktadır. [Yang, 2005] PMMA büyük ihtimalle kalıba yapışma eğilimi göstermektedir. Şekil 5,8’de ise 40 °C kalıp sıcaklığında spiral uzunluğu 60 °C kalıp sıcaklığından fazla görülmektedir.



Şekil 5.9. Kalıp sıcaklığına bağlı spiral uzunluğu değişimi (katı hacim: % 55)

5.4. Hazne Sıcaklığının Spiral Uzunluğuna Etkisi

150, 160 ve 170 °C Hazne sıcaklığında üç farklı katı hacim oranındaki paslanmaz çelik tozu ile bağlayıcı karışımının akıcılığı deneyi 60 °C kalıp sıcaklığı ve 20 bar basınçta yapılmıştır. Deneylede tespit edilen hazne sıcaklığına bağlı olarak spiral uzunluğu değişimleri Şekil 5.10’da verilmiştir.



Şekil 5.10. Kalıp sıcaklığına bağlı spiral uzunluğu değişimi (kalıp sıcaklığı 60 °C, presleme basıncı 20 bar)

Deneyler artan hazne sıcaklığı ile spiral uzunluğundaki bağıntının açık olmadığını göstermektedir. Örneğin spiral uzunluğu 150 °C hazne sıcaklığından 160 °C çıktığını gösterirken sıcaklığın 170 °C hazne sıcaklığına çıkması ile spiral uzunluğu dramatik şekilde azalmaktadır.

Bu durum 170 °C'de PEG'in yanması ile açıklanabilir [18]. PEG'in yanması sonucu toplamdaki % bağlayıcı oranı düşmekte ve bunun sonucu akıcılık azalmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Toz enjeksiyon kalıplama yöntemiyle, metal tozların kalıplanabilmesi için, akıcılık spiralinde alınan sonuçlar yol göstericidir. Deneyleerde, 45 µm toz tane boyutlu 316L paslanmaz malzeme için kalıplamada kullanılacak % katı hacim oranı, kalıp sıcaklığı, hazne sıcaklığı ve enjeksiyon basıncı gibi parametrelerden ışık tutacak bilgiler elde edilmiştir.

6.1. Sonuçlar

Yapılan deneysel çalışmaların sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Ortalama 45 µm toz tane boyutlu 316L paslanmaz çeliklerde % kritik katı hacim oranının % 52 olduğu gözlemlenmiştir.
- Karışımlar 160 °C hazne sıcaklığında daha iyi akıcılık sonuçları verirken daha yüksek sıcaklıklarda bağlayıcı PEG'in yanması ile hazneyi terk ettiği görülmüştür.
- Karışımlar 60 °C kalıp sıcaklığında daha iyi akıcılık sonuçları verirken daha yüksek sıcaklıklarda kalıba yapışmalar gözlenmiştir.
- 20 bar presleme basıncı besleme stoğu akıcılığında daha fazla etki gösterirken daha yüksek uygulama basınçlarında tozların kilitlenmesinden dolayı akıcılık düşmektedir.

6.2. Öneriler

İlerideki çalışmalar için öneriler aşağıda sunulmuştur;

- Deneyleerde uygulanan aynı parametreler farklı toz boyut ve şekil sistemleri kullanılarak akıcılıktaki değişimler araştırılmalıdır.
- Akıcılık spiralinde ulaşılan % kritik katı hacim oranındaki malzemelerin ayırıştırma ve sinterleme işlemleri incelenebilir.
- Ne tür bağlayıcıların hangi tozlarla daha iyi uyum sağladığı araştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. German, R.M., "The scientific status of metal powder injection molding" *Int J. Powder Metallurgy*, 36 (3): 31-36 (2000).
2. German, R.M., "Powder Injection Molding", *Metal Powder Industries Federation*, Princeton, NJ, ABD, 521 (1990).
3. Hansner, H. H. and. Mal, M. K., "Chemical pvb, Co." *Material Letters*: 46:15-29 (1982).
4. Sarıtaş, S., "Toz metalurjisi: Mühendis ve Makine", Ankara, 36: 421 (1994).
5. Koçer, A., "Seramik Endüstrisinde Kullanılan Çeşitli Polimerik Bağlayıcı Besleme Stoklarının Hazırlanması ve Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 142 (2001).
6. Liu, Z.Y., Loh, N.H., Tor, S.B., Khor, K.A., Murakoshi, Y. And Maeda, R., "Binder system for micropowder injection molding", *Material Letters*, 46:31-38 (2001).
7. Levenfeld, B., Varez, A., Castro, L. And Torralba, J.M., "Processing of P/M high speed steels by mould casting using thermosetting binders", *J. Mater. Procces. Tech.*, 119: 1-6(2001).
8. Supati, R., Loh, N.H., Khor, K.A. and Tor, S.B., "Mixing and characterization of feedstock for powder injection molding", *Materials Letters*, 46: 109-114 (2000).
9. Cornwall, R.G., German R.M., "An analysis of the powder injection molding industry global market": *Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials*, Proceeding of International Conference (PM2TEC 2000), Compiled by H. Ferguson and D. T. Whyhell, Metal Powder Industries Federation, Princeton, New Jersey, USA, 2000, Part 4, 4-55/4-60 (2000).
10. Gökten, M., "Steatit ve 316L Paslanmaz Çelik Tozları ile PEG Ağırlıklı Reçinelerden Meydana Gelen Besleme Stoklarının Reolojik Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisan Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 210 (2003).
11. Candan, E., "Injection Moulding of Co-Cr-Mo Powder with a Novel Binder System", Yüksek Lisan Tezi, *Engineering Materials Faculty of Engineering The University of Sheffield*, (1994). CANDAN, E., "Injection Moulding of Co-Cr-Mo Powder with a Novel Binder System", Yüksek Lisan Tezi, *Engineering Materials Faculty of Engineering The University of Sheffield*, 20-25 (1994).
12. Sungur, H., "Geleceğin teknolojisi; Metalin plastik gibi şekillendirilmesi" *Turkcadcam.net Dergisi* Ocak 16-17 (2005).

13. Hauck, P.A., "Powder injection molding: Current and long term outlook", *Int J. Powder Metallurgy*, 36 (3): 29-30 (2000).
14. Terauchi, S., "MİM industry finds firm foothold in Japan", *Metal Powder Report*, July/August, 16-17 (2001).
15. Türker M.; Karataş Ç. "Investigation of rheological properties of mechanically alloyed and turbula processed composite powder PIM feedstock by capillar rheometer", *Powder Metallurgy*, 1 Jan 2004, 47: 49-56 (2004).
16. Karataş, Ç., "Toz Enjeksiyon Kalıplamada Karışımın Reolojisi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 239 (1997).
17. German, R. M. and Hens, K.F., "Key issues in powder injection molding", *Ceram Bull.*, 70/8: 1294-1302 (1991).
18. Karataş, Ç. and Sarıtaş, S., "Rheological properties of 316L stainless steel powder Polypropylene based binder feedstocks", *J. Turkish Eng. Env Sci. TÜBİTAK*, 22 (4): 353 (1998).
19. Suzuki, M., Sato, H. and Hasegawa, M., "Effects of size distribution on tapping properties of fine powder", *Powder Tech.*, 118: 53-57 (2001).
20. Scott, G. D., "Packing of equal spheres": *Nature*, 188: 908-909 (1960).
21. Karataş, Ç. And Sarıtaş, S., "Rheological properties of mixed gas and water atomized stainless steel powder MİM feedstock", *Int. J. Powder Metallurgy*, 37 (8): 39-44 (2001).
22. Kupp, D., "Practical PIM workshop" *Penn State University*. July 17-18 30-42 (1995).
23. Reddy, J. J. and Vijayakumar, M., "Combined model for prediction of viscosity of powder injection moulding mixes", *Powder Metal*, 44 (2): 128-132 (2001).
24. German, R.M., "Theory of thermal debinding", *Int J. Powder Metallurgy*, 23 (4): 237-245 (1987).
25. Dowson, G. And Williams, B., "Metal Injection Moulding", *European Powder Metallurgy Association*, Old Bank Building, Bellstone, Shrewsbury, UK, 11 (1995).
26. Goldszal, A. And Bouquet, j., "Wet agglomeration of powder: from physics toward process optimization", *Powder Technology*, 117: 221-231 (2001).
27. Sellasie, I. G., "Pharmaceutical pelletization technology". *Marcel Dekker Inc.* New york and Basel, 272 (1998).

28. Türk Standartları TS 1323, "Plastikler - Termoplastikler - Kütlesel ergime akış hızı (MFR) ve hacimsel erime akış hızı (MVR)' nin tayini", 9 (1993).
29. Reddy, J.J., Ravi, N. and Vijayakumar, M., "A simple model for viscosity of powder injection moulding mixes with binder content above powder critical binder volume concentration" *J. Europ. Ceram. Soc.*, 20: 2183-2190 (2000).
30. Sim, C. P., Cheang, P., Liang, M.H. and Khor, K.A., "Injection moulding of hydroxiapatite composites", *J. Mater. Process. Tech.*, 69: 75-78 (1997).
31. Novak, S., Dakskobler, A- And Ribitsch, V., "The effect of water on the behaviour of alumina-paraffin suspensions for low-pressure injection moulding (LPIM)", *J. Europ. Ceram. Soc.*, 20: 2175-2181 (2000).
32. Millan, A.J., Moreno, R. And Nieto, M.I., "Aqueous injection moulding of alumina using agarose", *Materials Letters*, 47: 324-328 (2001).
33. Rak, S.Z. and Czechowski, J., "The influence of powder characteristics on the properties of alumina ceramics shaped by injection moulding from water based suspensions", *Engineering Ceramics*, 96: 71-82 (1996).
34. Kupperblatt, G.B. and Chung, C.I., "Evaluation of solubility in powder injection molding binders", *The Int J Powder Metallurgy*, 29 (3): 229-237 (1993).
35. Yang, W. W., Yang, K.Y. and Hon, M.H., "Effects of PEG molecular weights on rheological behavior of alumina injection molding feedstock", *Mater. Chem.Phys.*,78: 416-424 (2002).
36. Thomas, Y. And Marple, B.R., "Partially water-soluble binder formulation for injection molding submicrometer zirconia", *Adv. Perform. Mater.*, 5: 25-41 (1998).
37. Lee, S. H. and Jeung, W. Y., "Anisotropic injection molding of stronsium ferrite powder using a PP/PEG binder system", *J. Magnts. And Magn. Mater.*, 226 (30):1400-1402 (2001).
38. Maca, K., Trunec, M. And Cihlar, J., "Injection moulding and sintering of ceria ceramics", *Ceram. Int.*, 28: 337-344 (2002).
39. Bakan, H.İ., Eroğlu, Ş., Baykara, T. ve Davies, H., "Suda çözünen bağlayıcı sistemi kullanarak 316L tozunun enjeksiyonla kalıplanması" *Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı*, 15-17 Eylül, ODTÜ, Ankara, Bildiriler, 703-708 (1999).

40. Yiğit, İ., Sarıtaş, S. ve Ercan, Y., "Bir toz enjeksiyon kalıplama deney düzeneği kullanılarak Bentonit+Su karışımı ile enjeksiyon hızı kontrolünün araştırılması" *Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı*, 15-17 Eylül, 691-702 (1999).
41. Wei, W.C.J., Wu, R.Y. and Ho, S.J., "Effects of pressure parameters on alumina made by powder injection moulding", *J. Europ. Ceram. Soc*, 20: 1301-1310 (2000).
42. Tseng, W.J., "Statistical analysis of process parameters influencing dimensional control in ceramic injection molding", *J. Mater. Process. Tech*, 79: 242-250 (1998).
43. Liu, D.M. and Tseng, W.J., "Binder removal from injection moulded zirconia ceramics", *Ceram. Int.*, 25: 529-534 (1999).
44. Kosmac, T., "Near-net shaping of engineering ceramics: Potentials and prospects of aqueous injection molding (AIM)", *Eng. Ceram.*, 13-21 (1996).
45. Zhang, H. And German, R.M., "Homogeneity and properties of injection moulded Fe-Ni alloys", *Metal Powder Report*, June 2001, 18-22 (2001).
46. German, R.M., "Optimization of the powder-binder mixture for powder injection molding", *Adv. Powder Metall*, 3: 51-66 (1989).
47. Karataş, Ç., Özbilen, S. ve Sarıtaş, S., "Toz enjeksiyon kalıplama karışımlarının reolojisi", *Birinci Ulusal Tez Metalurjisi Konf.*, 16-17 Eylül, Ankara, Bildiriler, 581-594 (1996).
48. Tseng, W.J., Liu, D.M. and Hsu, C.K., "Influence of stearic acid on suspension structure and green microstructure of injection-molded zirconia ceramics", *Ceram. Int.*, 25: 191-195 (1999).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : OĞULCU, Faysal
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 15.02.1966 Konya
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 413 13 00
 Faks : 0 (312) 425 19 67
 e-mail : fogulcu@meb.gov.tr, ogulcu@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ TEF Metalurji Eğitimi Bölümü Döküm Anabilim Dalı	1988
Lise	Konya Meram EML	1983

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1989-1990	İST Fatih Çıraklık ve Halk Eğitimi Merkezi	Meslek Dersleri Öğretmeni
1990-2003	MEB METARGEM	Görevli Öğretmen
2003-2006	MEB Erkek Teknik Öğretim Genel Müdürlüğü	Görevli Öğretmen

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Oğulcu, F., Aytaş A., Panal, A., Türker, H., “Anadolu Teknik Liselerinde Verilen Eğitimin Etkililiğinin İncelenmesi Araştırması”, METARGEM, 2000.

2. Oğulcu, F., Ardıç, A., Türker, H., ‘‘Ticaret Eğitimi Araştırması, METARGEM, 2003.
3. Oğulcu, F., Gülegül, H. İ., Kazancı A., Panal, A., Yörükoğlu, İ., Hınıslı C., ‘‘Ticaret Meslek Lisesi Mezunlarının İzlenmesi Araştırması’’, METARGEM, 1996.
4. Oğulcu, F., Yıldırım, Ő., Ekşi F., Ardıç, A., Türker, H., ‘‘Mesleki ve Teknik Ortaöğretim Kurumları Bilgisayar laboratuarlarının Etkiliğinin Değerlendirilmesi’’, METARGEM, 1999.

Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, Futbol, Seyahat