

KARADENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Den. No:	10528
Fiatı:	100

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİNERLENMİŞ GÖZENKLİ BRONZ YATAK ÜRETİMİNDE
YENİ BİR YÖNTEM

ÇALIŞMAYI YÖNETEN :
Doç.Dr.Fazlı ARSLAN

ÇALIŞMAYI YAPAN :
S.Ferda ÖZDER

Mayıs - 1986
TRABZON

Ö N S Ö Z

Sinter metal teknolojisinin tarihi eski Mısırlı'lara dayanmasına rağmen, teknolojinin esas gelişimi 2.Dünya Savaşından sonra Avrupa ve Amerika'daki ekonomik ve teknolojik gelişmenin paralelinde olmuştur. Ülkemizde ise Toz Metalurjisi çağın ilerleyen teknolojisine ayak uyduramamaktadır.

Sinter metal teknolojisi, kısaca metal tozlarının uygun kalıp ve preslerde sıkıştırılmasıyla elde edilen ham parçanın; oksijen ihtiva etmeyen bir atmosferde, uygun bir sıcaklık ve zaman süresince fırınlanması (sinterlenmesi) olarak tanımlanır.

Sinterlenmiş gözenekli bronz yatak üretiminde yeni bir yöntem,adlı Yüksek Lisans tezimi hazırlamamı sağlayan ve bu çalışmanın her aşamasında bana yardımcı olan ve kaynak oluşturan Değerli Hocam Sayın Doç.Dr.Fazlı ARSLAN'a ve bu çalışmam da bana yardımcı olan arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Trabzon, Mayıs - 1986

S.Ferda ÖZDER

İ Ç İ N D E K İ L E R

	<u>Sayfa</u>
1. GİRİŞ	1
2. TARİHÇE	3
3. TOZ METALURJİSİNİN DİĞER YÖNTEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI .	5
4. TOZ METALURJİSİ YÖNTEMLERİ	7
4.1. Metal Tozlarının Üretimi	7
4.1.1. Mekanik Usuller	9
4.1.2. Fiziko Kimyasal Usuller	11
4.1.3. Yeni Yöntemler	13
4.2. Metal Tozlarının Özellikleri ve Kontrolü	17
4.3. Metal Tozu Karışımlarının Hazırlanması	20
4.4. Presleme	21
4.5. Sinterleme	25
4.6. Sıcak Presleme	27
4.7. Tamamlayıcı İşlemler	28
4.8. Toz Metalurjisi Parçalarının Dizaynı	29
5. TOZ METALURJİSİ UYGULAMALARI	31
5.1. Gözenekli Yataklar	33
5.1.1. Düşük Yoğunluklu Parçalar	33
5.1.2. Orta Yoğunluklu Parçalar	35
5.1.3. Yüksek Yoğunluklu Parçalar	35
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	37
6.1. Deneylerin Yapılışı	37
6.1.1. Kullanılan Malzemeler ve Toz Hazırlama	37
6.1.2. Kalıp ve Presleme	37
6.1.3. Sinterleme	39
6.1.4. Sertlik Ölçümü	40
6.1.5. Sinterleme Sıcaklığına Göre Boyut Değişimi	41
6.1.6. Açık Gözeneklilik ve Yoğunluğun Ölçülmesi	41
6.1.7. Yağ Miktarı Tayini	43
6.1.8. Sürtünme Katsayısının ve Aşınma Oranının Belirlenmesi	44

	<u>Sayfa</u>
6.2. Deney Sonuçları ve İrdeme	46
6.2.1. Sertlik, Gözeneklilik ve Yoğunluğun Presleme Basıncı İle Değişimi	46
6.2.2. Sinterleme Sıcaklığıyla Boyut Değişimi . . .	55
6.2.3. Sürtünme Katsayıları ve Aşınma Miktarları .	61
7. SONUÇLAR	70
8. KAYNAKÇA	71

1. G İ R İ Ő

Toz metalurjisinin gayesi, metal ve metalsel alaşımların tozlarını ergitmeden, basınç ve sıcaklık yardımıyla, dayanıklı cisimler haline sokmaktır. Sinterleme denilen bu işlem, ergitmenin yerini tutmakta ve kullanılan metal tozunun ergime noktasının altındaki bir sıcaklıkta yapılmaktadır. Eğer kullanılan toz bir karışım ise, sinterleme işlemi bu tozlardan en yksek ergime sıcaklığına sahip tozun, ergime sıcaklığının altında yapılır. Sinterlenen tozlar genellikle 1 mm'den daha kucuk parçacıklardır.

Toz metalurjisi endüstrisi, demir çelik endüstrisinin yan kuruluşu olarak nitelendirilebilir. Fakat kesinlikle sadece yardımcı bir rolle kısıtlı bulunduğu düşünölmemelidir. Toz metalurjisi demir çelik endüstrisinin olmadığı hallerde en basitinden en karmaşığına kadar çeşitli alaşım ve parça üretiminde kullanılabilir. Bu olay bir çelik endüstrisinin gerektirdiğı yatırımın çok daha küçük kısmıyla gerçekleştirilebilir. Toz metalurjisi yöntemi, toz üretimi de dahil olmak üzere, plot bir tesis boyutunda veya bağımsız büyük üretim tesisi boyutlarında uygulanabilir. Diğer üretim teknolojileriyle karşılaştırıldığında aynı düzey ve karmaşıklıkta bir üretim için gereken personel eğitim ve becerisinin daha az olduğı da belirlenmiştir.

Toz metalurjisi malzemeleri, çok geniş kapsamlı bileşenleri içermektedir. Örneğın metal dışı bir bileşen olan karbonu, sert metallerde karbür halinde, kendinden yağılamalı yataklarda grafit halinde içerebilir. Toz metalurjisi parçaları 25 g'dan 450 kg'a kadar olan ağırlıklarda olabilirler. Fakat çoğunlukla 2,5 kg'ın altındadırlar.

Pek çok üretici tarafından toz metalurjisi, dökümle karşılaştırıldığında üstün bulunmakta ve bileşme, sert bölge gibi işleme sorunlarına neden olan döküm hatalarını ortadan kaldırmaktadır. Toz metalurjisi parçalarında çok daha az mekanik talaş kaldırma işlemi vardır. Bu da talaş kaldırma işlemini büyük ölçüde azaltmaktadır.

Teknoloji düzeyi yüksek ülkelerde toz metalurjisi; demir döküm, kirkil döküm, vida açma, presle kesme, enjeksiyon döküm, hassas döküm gibi bir çok işlemin yerini almaktadır.

Yüksek vakum tekniğinde çok saf ve gaz ihtiva etmeyen metalsel parçaların kullanılması istenir, hatta bu şarttır. Ergitme ve dökme usulü ile saf malzeme elde edilemez. Buna sebep sıvının dezoksidasyonu için yapılan ilaveler ve potadan gelen yabancı maddedir. Saf metalsel tozların uygun bir gaz atmosferi altında sinterlenmesi saf metalsel maddeler elde edilmesini mümkün kılar. Bu maddeler vakum tekniğine tamamen uygundur. Örnek olarak sinter demiri, sinter nikeli ve demir-nikel-mobilden ile demir-nikel-kobalt sinterlenmiş alaşımlarını gösterebiliriz.

Toz metalurjisi aşağıdaki malzemelerin imal problemini tamamen halletmiştir.

- 1- Sünek hale gelmiş refrakter metaller
- 2- Amalgamlarda kullanılan plastik metaller
- 3- Sert ve tok alaşımlar (Bunlar metalsel karbürler ve bir yardımcı metalden ibarettir)
- 4- Bileşenleri birbiriyle zor karışan veya hiç karışmayan elektrik kontakt malzemeleri
- 5- Gözenekli yataklar.

2. TARİHÇE

M.Ö. 800 yıllarında Fenikeliler demir üretirken, bugünkü sinter çeliği üretim yönteminde görülen pek çok tekniği kullandılar. Kullandıkları ilkel fırınlar, doğal olarak demirin ergimesi için gerekli sıcaklıkları sağlayamamaktaydı. Demir cevherlerini; odun kömürü ile indirgeyerek, irili ufaklı sünger demir külçeleri elde ettiler ve çeşitli defalar yinelenme ısıtma ve dövme yöntemleriyle onları ilkçağlardan günümüze dek ulaşan alet ve silah gibi faydalı gereçlere çevirdiler.

Diğer bir ilkel toz metalurjisi üretim örneği de, Hintli demirciler tarafından 1600 yıl önce Delhi'de sünger demirden yapılan Ashoka sütunudur.

19.Asrın sonlarında, endüstride platin ve iridium gibi yüksek sıcaklıkta ergiyen metallerin kullanılması denenmiştir. Kimyasal bir usulle platin toz haline getirilmekte, bu toz çok yüksek basınçta sıkıştırılmakta ve sonra ısıtılmaktaydı. Böylece tozlar masif bir kütle haline gelmekteydi. 1826 yıllarında Rusya'da tedavüle çıkarılan platin para, toz metalurjisinin ilk endüstriyel tatbikatı olmuştur /2/.

Günümüzde de sinter çeliği; demir cevherinin yüksek sıcaklıkta, fakat demirin ergime noktasının altında indirgenmesiyle üretilmektedir.19. yüzyılda İngiltere'de sünger platinin sinterlenmesiyle masif platin üretilmiştir. Filaman olarak kullanılmaya elverişli sünek tungsten telini ilk olarak 1912'de Avusturya'da Dr.Paul Schwarzkopf, toz metalurjisi yöntemiyle üretmeyi başarmıştır.

Demir tozlarının kullanıma dayanan ilk deneme üretimi 1920'lerde başladı. Önceleri elektrolitik ve hidrojenle indirgenmiş demir tozları, daha sonraları karbonil demir tozları, sinterlenmiş nüve ve mıknatıs gibi parçaların üretiminde kullanılmıştır.

Son yarım asırdır, sert metaller, büyük teknik ve ekonomik önem kazandı. İlk olarak, 1923'de Schröter tarafından elmasın yerini alabilecek sertlik ve aşınma dirəncinde bir malzeme olan tungsten karbür ve kobalt tozları karışımından sinterlenen sert metal geliştirildi. O zamandan beri sert metaller devamlı gelişme göstermiş ve günümüzde de madencilikte; kaya delgi ve tünel açma aletlerinde, metal işlemede; torna, freze, matkap uçlarında, aşınmaya dayanıklı parçalarda; hadde merdanesi ve pompa segmanı olarak kullanılmaktadır.

3. TOZ METALURJİSİNİN DİĞER YÖNTEMLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

Toz Metalurjisi Yönteminin Üstünlükleri :

a- Ergitme yöntemiyle üretilmeyen malzemelerin(sert metaller,ağır metaller, Wolfram teli, mıknatıs ve sürtünme malzemeleri, yatak malzemeleri, filtreler, elektrik kontaktörlerinin) üretimi mümkündür.

b- Alışılmış metodlarla elde edilemeyen bazı özellikler çeşitli elemanların uygun oranlarda birleştirilmesiyle gerçekleşebilir. Örneğin; olağanüstü mekanik sertlik ve aşınma mukavemeti, sıvılara karşı yüksek geçirgenlik, mükemmel yağlama ve elektriksel temas özellikleri gibi.

c- Sert metallerden üretilmiş pres takımları kullanılarak,uzun üretim süreçleri boyunca, yakın toleranslar sağlanarak, kalite kontrol masrafları büyük ölçüde kısılabılır.

d- Boyut toleransı bakımından ve yüzey kalitesi bakımından talaşlı işlenmiş parçalarla rekabet edebilecek kadar iyi olan küçük parçaların kütle üretimi yapılabilir.

e- Çok temiz toz kullanıldığında yüksek saflıkta malzeme üretimi mümkündür.

f- İşçilik giderleri düşüktür. Presleri ve diğer aletleri çalıştırmak için tecrübeli işçi gerektirmez.

Toz Metalurjisi Yönteminin Sakıncaları :

a- Metal tozları pahalı olup, bazen bozulmadan depo edilmesi zordur.

b- Yatırım maliyeti yüksektir.

c- Bazı parçalar, diğer yöntemlerle daha ekonomik olarak üretilir. Üretilecek parçanın büyüklüğü, presin kapasitesi ile sınırlıdır.

d- Presleme sırasında metal tozlarının akışı az olduğundan grift şekilli parçalar üretilemez.

e- Sinterleme sırasında özellikle ergime noktası düşük olan;Pb, Sn, Zn, Cd gibi metallerde güçlükle karşılaşılır. Bu metal tozlarının oksitleri ergime noktalarının altındaki sıcaklıklarda indirgenemez. Eğer yapıda oksit varsa ürünün kalitesini kötü yönde etkiler.

f- Al, Mg, Zn, Ti gibi metallerin ince tozlarını; patlama ve yangın tehlikesi yaratır.

g- Üniform ve yüksek yoğunlukta parçaların üretilmesi güçtür.

h- Kullanılan kalıpların maliyeti yüksek olduğundan az sayıda parça üretimi ekonomik olmaz.

4. TOZ METALURJİSİ YÖNTEMLERİ

Toz metalurjisinin iki ana işlemi, presleme (kompakt hale getirme) ve sinterlemedir.

Sıkıştırma ve presleme, uygun karışımda hazırlanmış metal tozlarına, oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıkta basınç uygulamaktan ibarettir. Tozun sıkıştırma sonunda elde edilen şekli "briket" diye adlandırılır. Bu şekildeki toza ham ve sinterlenmiş toz denir. Briket şeklindeki toz kırılmadan gerekli yere taşınabilir, fakat nispeten gevrektiler.

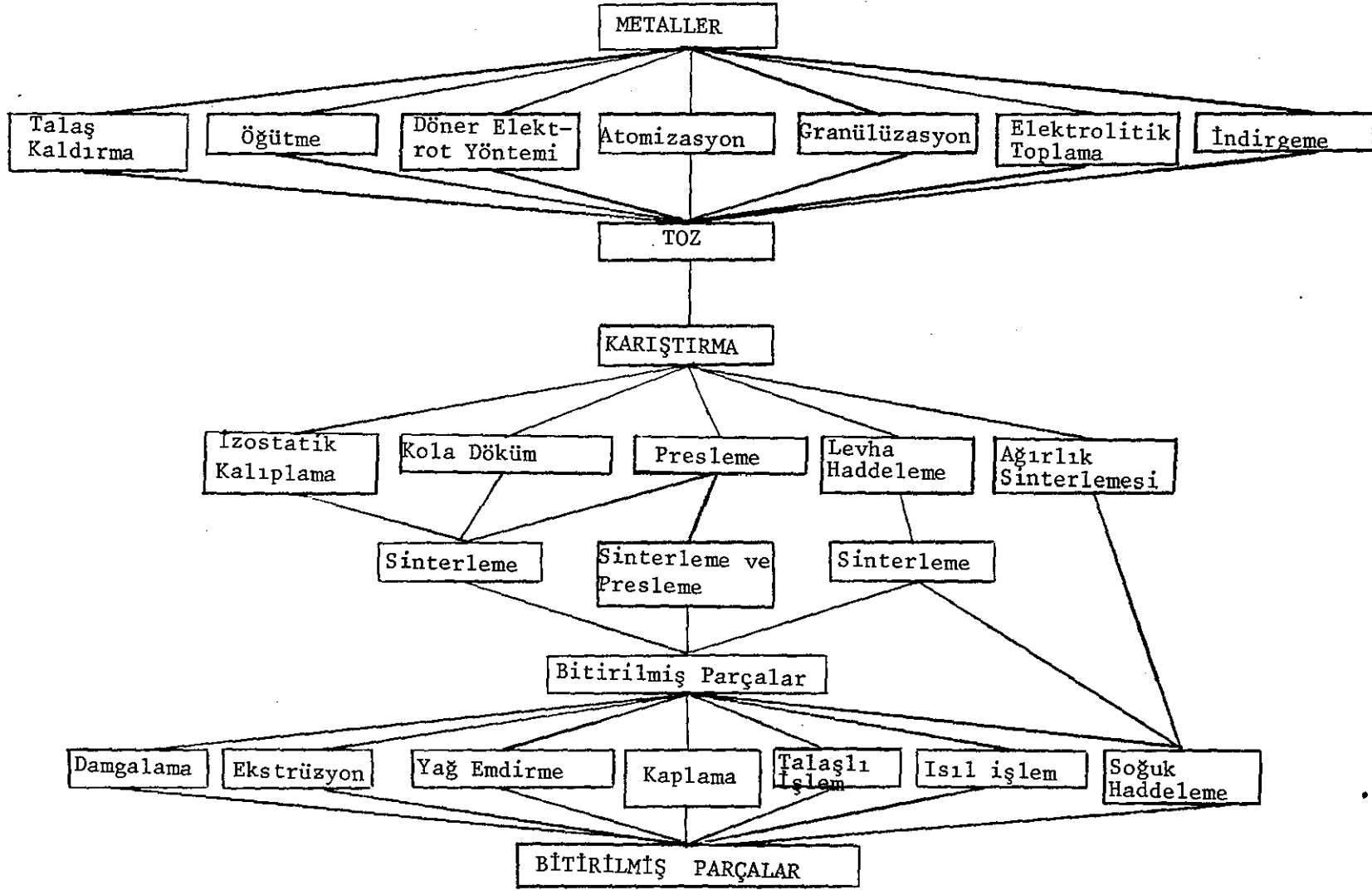
Preslenmiş tozların sinterleme işlemi, genellikle bir asal gaz atmosferinde ve katı metalin ergime noktasının altında yapılan ısıtma işlemidir. Sinterleme gerek duyulan diğer özellikleri verdiği gibi mekanik mukavemette kazandırır. Presleme ve sinterleme işlemine ek olarak uygulamaya göre gerekirse yardımcı işlemler de yapılabilir. Bunlar Örneğin; sinterleme, boyutlandırma, talaşlı işleme ve emdirme işlemleridir (Şekil 1).

Toz metalurjisi ile başarılı bir üretim aşağıdaki işlemlerin uygun seçim ve kontrolüne bağlıdır.

- a- Toz karakteristikleri
- b- Toz hazırlama
- c- Sıkıştırma preslerinin türü
- d- Sıkıştırma alet ve kalıplarının dizaynı
- e- Sinterleme fırınının tipi
- f- Sinterleme atmosferinin bileşimi
- g- Üretim sırasının seçimi

4.1. METAL TOZLARININ ÜRETİMİ

Toz metalurjisi ürünlerinden istenilen özelliklerle, toz üretimi yöntemleri arasında kesin bir ilişki vardır. Bu nedenle tozların hazırlanması büyük önem taşır. Toz üretim yöntemleri şunlardır.



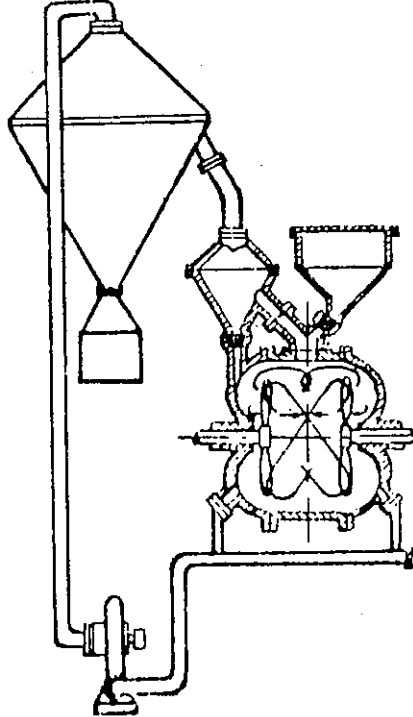
Sekil 1: Toz Metalurjisi Yöntemleri /1/

4.1.1. Mekanik Usuller

a- Kaba ve İnce Öğütme : Metalsel tuzlar elde etmek gayesiyle kullanılan bu çok basit usul, metali torlanama, planyalama, frezeleme ve eğeleme gibi işlemlerde, mekanik olarak küçük zerrelere haline getirilmesinden ibarettir.

Hammadde kafi derecede kırılğan ise, kaba bir öğütmeden sonra ince bir öğütme yapılır. Çimento endüstrisindeki gibi sert maddelerin öğütülmesinde kullanılan tesisat toz metalurjisinde malzeme miktarı az olduğundan kullanılmaz. Malzemenin cinsine göre sert porselenden bilyalı öğütücüler veya sert alaşımla kaplı çelik öğütücüler kullanılır.

Sünek metallerin bilyalı öğütülmeleri imkanı bulunamamıştır. Çünkü öğütme esnasında iri taneler sadece yuvarlaklaşmakta, küçük taneler ise öğütücü cidarlarına ve bilyalara yapışmaktadır. Tok özellikli metallerin pervaneli öğütücülerde arzu edilen granülemetrik karışımda bir toz haline getirilebilmeleri yöntemine "Hametag" yöntemi denir(Şekil 2).



Şekil 2: Pervaneli(Hametag) Öğütücünün Şeması /11/

Bu yöntem demir, bakır, alüminyum gibi tok metallerin tozlarının hazırlanmasında, kaba toz haline getirilmiş kırılğan alaşım ve metallerin ince olarak öğütölmelerinde kullanılır /11/.

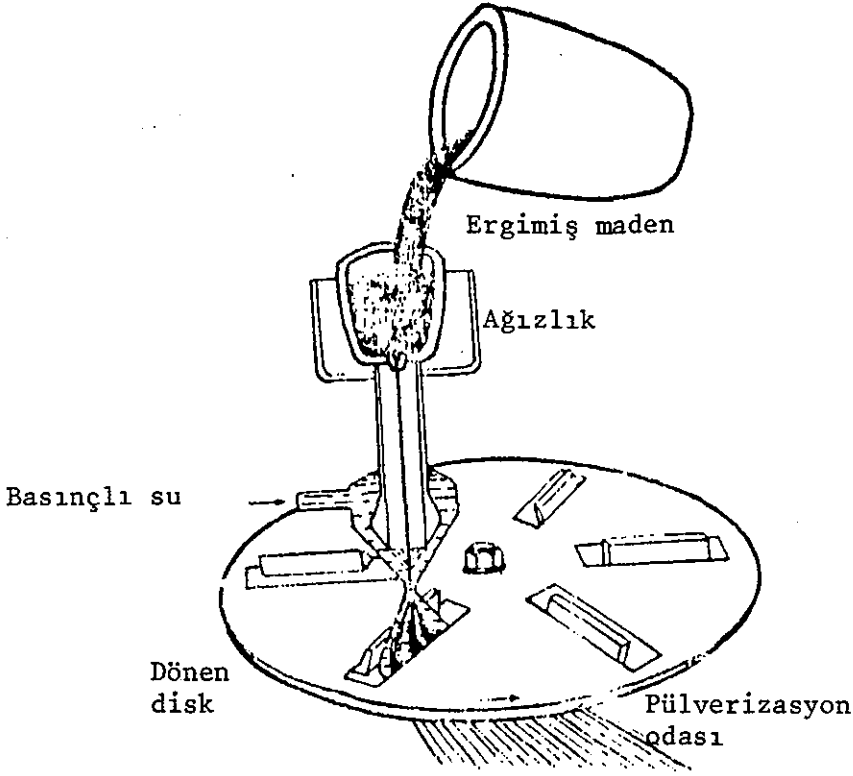
Yukarıdaki toz hazırlama yöntemlerinin üstünlükleri basit ve ucuz olmaları; sakıncaları ise elde edilen tozlarda öğütölen maddeden ileri gelen yabancı artıkların bulunmasıdır.

b- Granölasyon ve Pölverizasyon : Ergimiş bir metalin granölasyonu metalsel tozların da hazırlanmasında kolay tatbik edilebilen ve çok ucuz bir yöntemdir. Granölasyon suda granölasyon veya ergimiş metalin katılaşması esnasında karıştıırılarak elde edilen granölasyon diye ikiye ayrılır. Su içine ergimiş metalin dökölmesiyle elde edilen granölasyon eskiden beri bilinmektedir.

Bir çok metal katılaşırken karıştıırıldıklarında toz haline gelir. Bu usul kaba alüminyum soğuması esnasında mekanik olarak karıştıırılır. Kadmiyum, çinko, kalay tozları da bazen böyle elde edilir. Tozun hazırlanması denge diyagramının liködüs ve solidüs eğrileri arasındaki sıcaklık aralığında olur.

Pölverizasyon usullerinden biri, sıvı metali dar bir pöskürtücüden fışkirtmak ve fışkiran metal hüzmesi üzerine su buharı, basınçlı hava veya başka bir gaz üflenmesinden ibarettir. Böylece sıvı metal toz haline getirilirken aynı zamanda da partiköllerin çabuk soğumaları sağlanır.

Diğer bir yöntem de; suyla çevrelenmiş ince bir metal hüzmesinin, yüksek hızla dönen ve kanatları olan bir disk yardımıyla ince partiköllere ayrılmasıdır. Bu usulle bileşenleri karışabilen bütün alaşım lar toz haline getirilebileceği gibi, aynı yöntemle bileşenleri sadece sıvı halde karışabilen alaşım lar da toz haline getirilebilir(Şekil 3).



Şekil 3: Santrifüj Usulü (DPG) /11/

4.1.2. Fiziko Kimyasal Usuller

a- Gaz Fazından Toz Üretimi : Genellikle kaynama noktası düşük olan metal tozlarının hazırlanmasında kullanılan bu yöntem; önce metali buharlaştırmak ve bu buharı yoğunlaştırmaktan ibarettir. Çinko tozu bu yöntemle hazırlanır.

b- Yüksek Sıcaklıkta Metallerin Redüklenmesi : Bu yöntemle hazırlanan wolfram ve molibden tozları, elektrik ampulleri ve vakumla tüplerin imalinde, kobalt tozu ise sert alaşımların elde edilmesinde kullanılır. Bu tozlar tercihan oksidlerinin hidrojenle redüklenmesiyle elde edilir. Aynı usul ile büyük miktarlarda demir, nikel ve bakır tozları hazırlanabilir. Redükleme sıcaklığı metalin veya bileşiğin ergime sıcaklığının altında olmalıdır. Oksid partiküllerinin boyutlarının, hidrojenin saflığının ve rutubet derecesinin, redükleme zamanı ve sıcaklığının uygun olarak seçilmesiyle, toz tanelerinin şekil, büyüklük ve dağılışını belirli sınırlar içinde değiştirmek mümkündür. Genel olarak en ince tozlar alçak

sıcaklıkta redükleme ile elde edilir. Toz tanelerinin iriliği redükleme sıcaklığı ve zamanıyla ve de redükleyici gazın içindeki su miktarıyla artar. Redükleyici olarak hidrojen, karbon monoksit, amonyak, metal buharları kullanılabilir /5/.

c- Erimiş Tuzların Redüklenmesi: Bu yöntemde metalin tuzlu bir çözeltisi, redüksiyonla kimyasal olarak çökeltilir. Metalsel tozların hazırlanmasında kullanılan en eski yöntemlerden biridir. Platin, altın ve gümüş tozları bu usulle elde edilir.

Çökelen metalin sünger gibi bir görünüşü olup öğütme ile kolayca toz haline getirilebilir.

d- Elektrolitik Toplama: Aşırı derecede saf Fe ve Cu tozlarının üretimi için en uygun yöntemdir. Bu yöntem esas olarak elektrolitik kaplamaya benzer. Akım yoğunluğunun, sıcaklık ve elektrolitin sirkülasyonunun ayarlanması, elektrolitin uygun seçimi ile elektrolitten doğrudan toz çökeltilebilir. Çökelti, yumuşak ve süngerimsi veya kırılğan bir maddedir. Bunlar, daha sonra öğütülürler. Sert ve gevrek çökeltilerden elde edilen tozlar kalıplama için pek uygun değildir.

Elektrolitik çökeltilerin süngerimsi tipleri ticari amaçlı uygulamalar için en çok kullanılanlardır. Elektrolitik tozlar genellikle dendritik şekillidirler. Her ne kadar tozlar düşük yoğunlukta olsa da dendritik yapıdakiler iyi kalıplama özelliği verirler. Çünkü sıkıştırma sırasında parçacıkların birbirine kenetlenebilme özelliği vardır.

e- Sert Mamüllerin Tozlarının Hazırlanması : Sert alaşımların imalinde kullanılan W, Mo, Ti ve Ta karbürlerinin sert tozları; tozların 1300°C ila 1900°C arasında ısıtılmalarıyla elde edilir. Karbürler genellikle levhalar halinde çökeltirler. Bu levhalar bilyalı veya pervaneli öğütücülerde ince toz haline getirilir.

Ergime dereceleri yüksek nitrürler, metal tozunun veya karbon ve metalsal oksit karışımının azot veya amonyak akışı içinde yüksek sıcak-

lıkta (1100°C ile 1300°C) ısıtılmasıyla elde edilir. Toz halinde saf borür, saf metal tozunun bor ile vakumda 1800°C ile 2200°C arasında ısıtılmasıyla elde edilir..

4.1.3. Yeni Yöntemler

a- Döner Elektrot Yöntemi : Tozların üretiminde bir diğer yöntemde döner elektrod yöntemidir. Bu yöntemle toz; soy gaz atmosferi içinde hızla dönen elektrodun erimesi ve eriyen parçaların duvara çarpmadan önce katılaşmasıyla elde edilir. Elde edilen tozlar düzgün yüzeyli, küresel parçacıklardan oluşur. Ortalama tane iriliği 200 mikrondur. Tane iriliği; elektrodun çapına, dönme hızına, metalin özgül ağırlığına ve yüzey gerilimine bağlı olarak değişir. Bu yöntem özellikle titanyum ve alaşımlarının tozunun üretilmesinde kullanılmaktadır /5/, (Şekil 4).

b- Hidrürleme-İndirgeme Yöntemi : Titanyum alaşımı (ham kütük ya da temiz hurda) 260 ile 815°C arasında fırında hidrürlemeden sonra bir soy atmosfer içinde mekanik öğütme ve sınıflandırma işleminden geçirilir. Bu yöntemle elde edilen tozların maliyeti yüksektir. Oluşan toz köşeli şekilli olup ortalama tane iriliği 125 ila 200 mikron arasındadır(Şekil 5).

c- Soy gaz Atomizasyonu : Düşük ergime noktalarına sahip Zn, Pb, Cd, Al gibi metallerde atomizasyon en sık kullanılan yöntemdir(Şekil 6).

Ergimiş alaşım malzemesi, argon gazının ergimiş akıntı üzerine çarptığı bir meme üzerinden akıtılarak toz halinde püskürtülür. Parçacıklar deponun duvarına çarpmadan önce katılırlar.

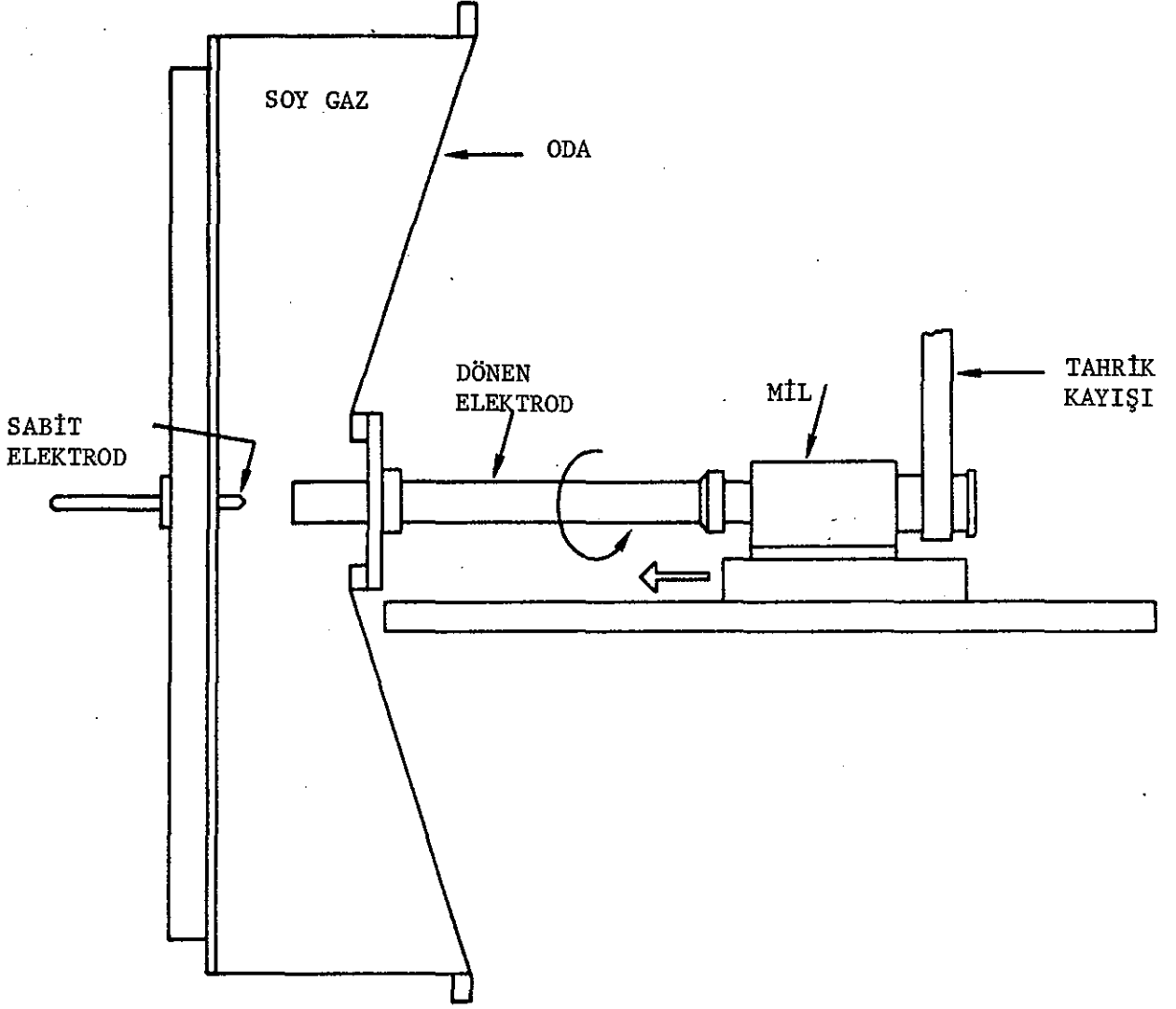
Atomize ürünler genellikle küresel şekilli partiküller halinde olurlar. Bu yöntemle boyutları geniş bir aralıkta değişen tozlar elde edilebilir. Toz parçacıklarının büyüklüğü ;

a- Metalin sıcaklığına,

b- Atomize edici gazın basınç ve sıcaklığına,

c- Püskürtücü uctan metalin akış hızına,

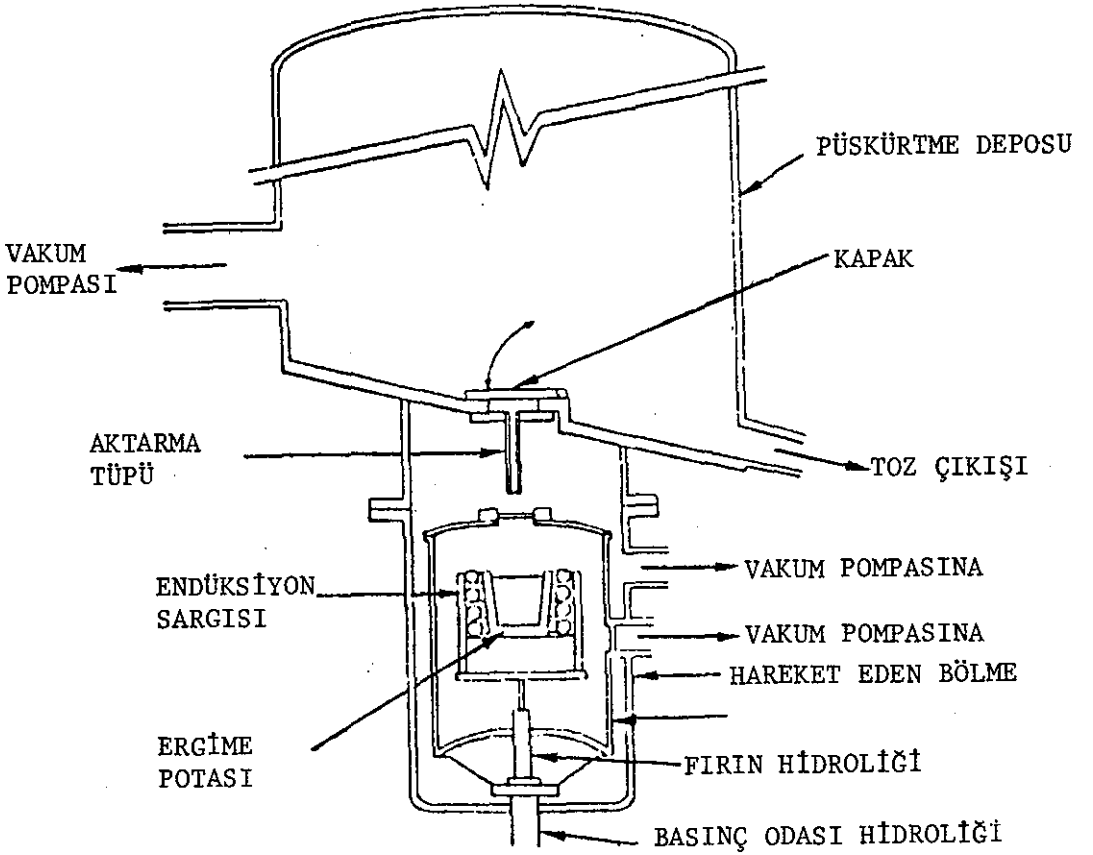
d- Metalin çıktığı açıklık büyüklüğüne ve lülenin dizaynına bağlı olarak değişir /4/.



Şekil 4: Döner Elektrod (Uzun Çubuk) Yöntemi /5/

Atomizasyon yönteminin en önemli yararı; uygulama bakımından esneklik sağlamasıdır. Bu yöntemle değişik irilikte ve istenilen büyüklükte, üniform tane iriliği dağılımında tozlar üretilebilmektedir.

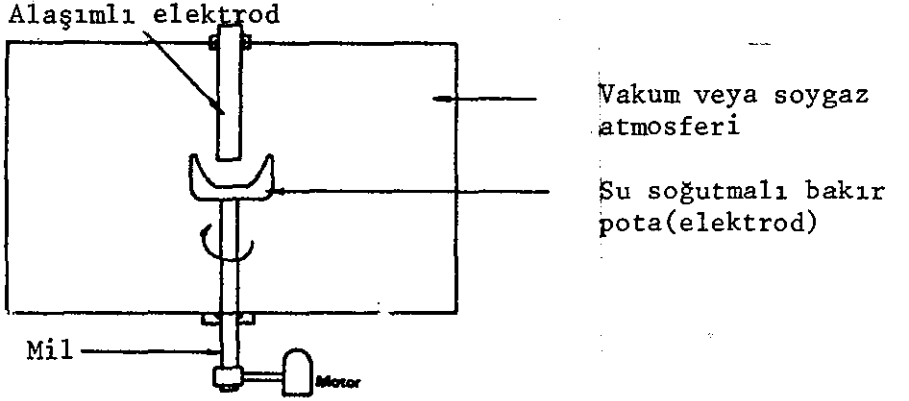
d- Vakumda Püskürtme Yöntemi : Hidrojene aşırı doymuş alaşımın ani olarak vakuma verilmesi esasına dayanır. Alaşım transfer tüpüyle vakuma girer. Gazın genişlemesiyle atomize olur. Atomizasyon hemen hemen ani olarak meydana gelir ve hücrenin zemini üzerinde toplanırken katılaşır. Bu yöntemle küresel ve pürüzsüz toz üretilir. Toz tane iriliği dağılımı 100 mikron ile 250 mikron arasındadır. Parçacık büyüklüğü, sıcaklık, transfer tüpü büyüklüğü ve basınç tarafından kontrol edilir(Şekil 7).



Şekil 7: Süper Alaşım Tozunun Üretimi İçin Vakum Püskürtme İşlemi/6/

e- Döner Pota Yöntemi : Bu yöntem başlangıçta İngiltere Atom Enerjisi" kuruluşu tarafından nükleer yakıtların atomizasyonu için geliştirilmiştir /6/,Şekil 8. Bugün süperalaşım tozlarının üretimi için de kullanılmaktadır.

Atomize edilecek alaşım,harcıyan elektrot durumunda olup eriyen metal hızla dönen su soğutmalı potaya düşecek santrifüj kuvvetin etkisiyle damlacıklar şeklinde uçarak tozu oluşturur. Bu yöntemde kapasite pek büyük olmayıp halen gelişme aşamasındadır.



Şekil 8: Döner Pota Yönteminin Şematik Olarak Gösterimi

4.2. METAL TOZLARININ ÖZELLİKLERİ VE KONTROLÜ

Üretim sırasında malzemenin davranışı, üretim sonucunda elde edilen ürünün özellikleri, bütün durumlarda büyük ölçüde tozun karakteristiğine bağlıdır. Saflık ve kimyasal bileşimden başka; metal tozunun en önemli özellikleri şunlardır /1/.

- a- Parçacıkların büyüklüğü,
- b- Tane iriliği dağılımı,
- c- Yoğunluk,
- d- Parçacık şekli,
- e- Parçacığın mikro yapısı.

Genelde geniş temas yüzeyli küçük gözenekli olduğu için ince taneli tozlar, kaba taneli tozlara göre daha üstün tutulur. Sinterleme sonrasında elde edilen fiziksel özellikler daha iyidir. Bu toz şekillerinin performansları yapılan deneylerle bulunabilir.

Toz karışımlarının taşımada ve sıkıştırma işlemlerinde benzerliğini temin etmek ve üretilen parçaların mukavemetlerinde uygunluğu sağlamak için her bir yığından alınan toz örneklerinin üzerinde laboratuvar testleri yapılır. Kalite kontrol testleri aynı metodla yapılan aynı ara bileşimdeki numunelere uygulanır. Test işlemleri genellikle numune hazırlama hızı, yoğunluk, hidrojendeki ağırlık kaybı, sıkıştırılabilme, sinterleme kabiliyeti, sinterleme karakteri ve kimyasal kompozisyonu için uygulanır.

a- Numune Alma : Metal tozlarının kaplarından genellikle özel olarak planlanmış burgulu bir çeşit numune alıcı ile numune alınır. Bu burgulu numune alıcı ile düşey olarak kabın alt tarafından itibaren toz kolonları şeklinde numune alınır. İçi boş boru, örnek almak için uygun bir yöntem değildir. Her toz kabından bu örneklerden bir veya birkaç tane alınır. Alınan numune sayısı bu kabların büyüklüğüne bağlıdır.

b- Tane İriliği Dağılımı : Tane iriliği dağılımı için elek analizi yapılır. Belirli bir açıklığa sahip olan standart elekler üst üste monte edilerek belirli bir zaman periyodunda titreştirilirler. Eleklerin üzerinde kalan ve elekten altındaki toz numune toplam numunenin ağırlık yüzdesi olarak belirlenir. 325 meshlik elekten geçen tozların tane iriliği, optik ve elektron mikroskop kullanılarak analiz edilebilir.

Parçacık şeklinin yuvarlak olduğu durumlarda elek analizi, parçanın büyüklüğü ve dağılımı için doğru sonuçlar verecektir. Toz parçaları düzensiz ve pul pul ise yanlış bilgiler verebilir.

c- Akış Hızı : Standart akış ölçüsü metal tozu parçacıkları için a-
yarlanabilen bir deliğe sahip olan huni şekilli bir alettir. Belirli a-
ğırlıktaki tozların delikten akması için gerekli zaman taneciklerin akış
hızı olarak belirlenir. Akmayan tozlar için özel huni kullanılır veya de-
ğeri sıfır olarak kabul edilir.

d- Zahiri Yoğunluk : Serbest bir şekilde akan tozların görünen yo-
ğunluğunu belirlemek için de, akış hızını bulmaya yarayan standart akış
ölçüsü aleti (flowmetre) kullanılır. Belirli hacımdaki kaba tozların kont-
rollü akışı sağlanır. Dolu kap tartılır, görünen yoğunluk gr/cm^3 olarak
belirlenir.

Görünen yoğunluğun artırılmasının etkin bir yolu, parçacıklar ara-
sındaki boşlukların, daha küçük parçacıklarla doldurulmasıdır. Bu tür yer-
leşirmeye interstitiyel yerleşme düzeni adı verilir. Fakat yine de en
küçük parçacıklar bile boşlukları tam olarak dolduramaz. Tozun şekli de
görünen yoğunluğu etkileyen nedenlerden biridir. İyi diye nitelendirile-
bilecek küresel toz, görünen yoğunluğu artırmada çok etkilidir. Bunun ya-
nında pul şeklindeki parçacıklar görünen yoğunluğu hızla düşürür. Tozun
görünen yoğunluğu; ergitme ve sinterleme işlemlerinin her ikisinde de bü-
yük önemi olan bir özelliktir.

Düşük görünen yoğunluklu tozlar, verilen boyut ve yoğunlukta bir bri-
ketin üretim için daha uzun bir sıkıştırma stoku ve daha derin boşluklar
gerektirir. Sinterleme işlemi süresince kompaktın çekme eğilimi, görünen
yoğunluğun artmasıyla azalan karakterdedir.

e- Hidrojendeki Ağırlık Kaybı : Birçok metal parçacıklarının içinde-
ki oksijen miktarının doğru bir şekilde belirlenmesi standart zaman ve sı-
caklık şartları altında hidrojen içinde daha önce tartılmış parçacıkların

indirgenmesi ile olur. Numune kuru hidrojenli bir atmosfer içinde oda sıcaklığında soğutulmalıdır. Ağırlık kaybı (içindeki oksitlerin redüklenmesiyle olur) ilk numunenin kütesinin yüzdesi olarak ifade edilir.

f- Sıkıştırılabilme : Verilen belirli bir ağırlıktaki metal parçacıkları belirli basınçta ve doğru olarak kontrol edilen şartlarda(sıkıştırma testi altında) yoğunlaştırılır. Preslenmiş tanelerin yoğunluğunun teorik yoğunluğa oranı parçacıkların sıkıştırılabilme ölçüsüdür.

g- Preslenmiş Mukavemet : Preslenmiş tozların mukavemeti, belirli ağırlıktaki tozun dikdörtgen biçiminde standart bir şekile sahip olan çubuklar haline gelene kadar, belirli bir yoğunluğa kadar sıkıştırma işlemi ile belirlenir. Bu çubuk test numunesi sonradan basit bir kırıyla desteklenir ve çapraz olarak yüklenir. Kopma modülü değerlendirilerek, preslenmiş mukavemet olarak belirlenir.

h- Sinterleme Karakteristikleri : Belirli miktarlarda tartılmış tozlar, kontrollü şartlar altında sıkıştırılırlar ve numunenin boyutları ölçülür. Sinterlemeden sonra, boyutsal ölçümler yeniden alınır. Numunenin son olarak mekanik özellikleri ölçülür. Sinterleme karakteristikleri genel olarak; boyutsal değişikliklere, yoğunluk değişimleriyle, son yoğunluğu ve mekanik özellikleri ile belirlenir.

i- Kimyasal Bileşim : Yukarıdaki bütün testlere ilave olarak rutin kimyasal analizlerle başlıca metal miktarları tespit edilir. Eğer istenmeyen maddeler oranı belirli bir sınırın üzerinde ise, işlem sırasında maddeler beklenmeyen özellikler gösterir.

4.3. METAL TOZU KARIŞIMLARININ HAZIRLANMASI

Son ürünün homojenliği için, tozların uygun harmanlanması ve karıştırılması önemlidir. Karıştırma işlemi dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir. Aynı zamanda çabuk karıştırma işlemi yapan aletleri kullanmak ve en kısa zamanda; belirlenmiş oranda düzenli bir şekilde dağılımı sağlamak önemlidir /1/.

Yine de karıştırma süresi tecrübeye ve istenilen özelliklere bağlı olarak değişebilir. Bir çok durumda aşırı karıştırmadan kaçınılmalıdır. Çünkü aşırı karıştırma; tanelerin sertleşmesine, deformasyona ve küçülmesine neden olur. Bu durumda tozların kalıplama karakteristikleri değişecektir.

Preslemeden önceki son işlemde farklı türdeki tozları harmanlamayla, arzulanan tane büyüklüğü dağılımları elde edilir. Karıştırma işlemi boyunca alaşım tozları, yağlama maddeleri ve buharlaşabilen katkı maddeleriyle istenilen miktarda gözenek içeren yapı elde edilebilir.

Yağlayıcı madde sadece kalıpta sürtünmeyi ve aşınmayı düşürmez aynı zamanda parçacıkların sürtünmesini de azaltarak, parçacıkların bir araya gelerek sıkı bir şekilde birleşmesini temin eder. Bunun sonucunda da preslenmiş numunelerde yüksek yoğunluk oluşur.

Bağlama işleminde üç mekanizma vardır. Bunlar :

- 1- Küçük taneciklerle daha büyük tanelerin arasının doldurulması,
- 2- Köprüleşmenin (boyunların) kırılması,
- 3- Parçacıkların dönmesidir.

Bu yöntemler kalıp boşluklarının metal tozlarıyla doldurulması bakımından önemlidir.

4.4. PRESLEME

Toz metalurjisinin en önemli işlemi sıkıştırma veya preslemedir. Sıkıştırmanın (kompaktlamanın) amacı; tozların istenilen şekilde ve olabildiğince yüksek yoğunlukta birleştirilmesidir. Presleme çoğu zaman soğuk olarak yapılır. Sinterleme sırasında boyut değişiklikleri de göz önüne alınarak, olabildiğince son boyutlara uygun olarak, presleme yapılır. Preslemenin başka bir amacı da, işlem için uygun mukavemet ve arzulanan boşluk oranı düzeyinin ve tipinin verilmesidir /1/.

Toz metalurjisi parçaları yapımında kullanılan presler diğer pres işlerinde kullanılan preslere ve yöntemlere benzer. Buna rağmen pres seçerken bazı şartlar göz önüne alınarak seçilir.

Bu gerekli şartlar :

- a- Sıkıştırılabilir en büyük derinlik için yeterli darbe uzunluğu,
- b- Preslemede, yeterince parçanın üst tarafından ve alttan bastırarak, parçada üniform bir yoğunluk dağılımı sağlanabilmesi,
- c- Basınç ve vuruşun hız ve yoğunluğunun kontrol edilebilmesi,
- d- Kalıp doldurma yeteneğinin ayarlanabilmesi,
- e- Çok hareketli preslerde vuruşun ve toz transferini senkronize edebilme ve diğer otomatik işlemleri yapabilme yeteneği.

Metal tozlarının preslemede kullanılan presler ya mekanik olarak ya da hidrolik olarak çalışırlar veya her ikisinin bileşimi de olabilirler. Tozlar, mekanik presle vuruş ayarlanarak istenilen kalınlığa kadar sıkıştırılabilirler. Tanecikler, hidrolik basınç veya mekaniksel kuvvet ile belirli bir kalınlıkta sıkıştırılırlar. Hidrolik basınç kullanıldığı zaman basıncı ayarlamak gerekmektedir. Parça şekli, karışıklığı, gerekli yoğunluk toz metalurjisi uygulamalarında seçilen basınç için önemli faktörlerdir.

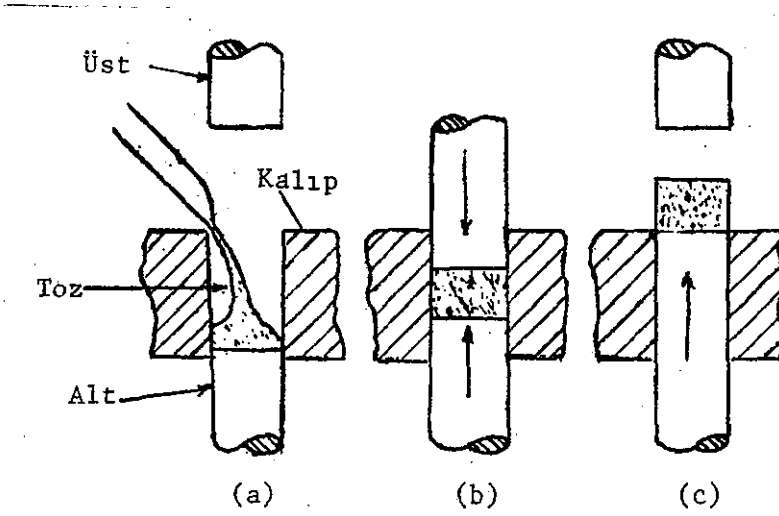
Kompaktlama yöntemleri iki gruba ayrılabilir :

1- Kalıpta kompaktlama; izostatik, yüksek enerjili, hızlı kalıplama, dövme, ekstrüzyon, titreşimli ve sürekli sıkıştırma gibi presleme usulleriyle yapılır.

2-Kola döküm; ağırlıkla birleştirme ve süresiz sıkıştırma gibi basınçsız tekniklerle.

Kalıpta kompaktlama(sıkıştırma) kullanımı en yaygın yöntemdir. Kalıp kompaktlamada işlemlerin sırası; kalıp boşluklarının belirli bir toz

hacmiyle doldurulması, alt ve üst istanpalarla basınç uygulanması ve hazırlanan kompaktın alttan kaldırılarak çıkartılmasından ibarettir. Bu işlemler şematik olarak Şekil 9' da gösterilmiştir.



Şekil 9: Kalıpta Kompaktlamayla Tozların Şekillendirilmesinin Şematik Gösterilişi /2/

Basınç değerleri genellikle 260 ile 690 N/mm^2 dir. Basınç genellikle mekanik veya hidrolik preslerle sağlanabilir. Mekanik preslerin 10-150 tonluk, dakikada 6-150 vuruşlu türleri vardır.

Mekanik preslerin üretim hızının yüksek olması, bakım masraflarıyla, maliyetin (yatırım masrafların) düşüklüğü en önemli özellikleridir.

Hidrolik presler mekanik preslere göre daha büyük basınç değerlerine sahiptirler. Bu presler daha komplike metal parçalarının yüksek basınçlarda preslenmesinde kullanılır.

Kalıplar; genel olarak, sertleştirilmiş, taşlanmış, parlatılmış olarak takım çeliğinden yapılır. Preslenecek toz sert parçacıklardan oluşuyorsa; kalıp genellikle iki parçalı yapılır. Sünek dış kısmın içine

sert ve aşınmaya dayanıklı ikinci bir kısım yerleştirilir. Bu kısım aşınınca değiştirilir.

Zımbalar ısıtılmış kalıp çeliğinden yapılmış olup kalıptan daha az sert olacak şekilde ayarlanmıştır.

1. Kalıpta Kompaktlama

a- İzostatik Sıkıştırma : Basınç bütün yönlerden aynı zamanda ve aynı eşitlikte uygulanır. Basıncın üniform uygulanması nedeniyle homojen bir iç yapı ve özellik elde edilecektir. Bu yöntem metalik malzemelerden daha çok seramik malzemeler için kullanılır.

b- Yüksek Enerjili-Hızlı Yöntemler : Kapalı kalıplar, pnömatik, explosive(patlayıcı) veya kıvılcım yöntemleri uygulanabilir. Bu yöntemlerin üstünlükleri sürenin kısıtlılığı ve erişilebilen basıncın yüksekliğidir. Bu yöntemde çok ucuz ve düşük kaliteli tozların kullanılması mümkündür. Bu yöntemin sakıncası ise, yüksek zımba ve kalıp aşınması, toleransların sınırlı olması ve maliyetin yüksek olmasıdır.

c- Dövme ve Ekstrüzyon Yöntemleri :

Sınırlı bir ölçüde kullanılırlar. Her iki yöntemde de toz bir kutuya konulur. Kapatılan kap, sızdırmazlığı sağlanarak veya havası alınarak, dövme veya ekstrüzyon uygulanır. Şekillendirmeden sonra tozun kalıbı mekanik veya kimyasal olarak kaldırılır.

Her iki yöntemde de elde edilen kompaktlar yüksek yoğunluktadır ve genellikle sinterleme gerekmez.

d- Titreşimle Sıkıştırma : Kalıp içindeki toza basınç ve titreşim aynı anda uygulanır. Normal kalıpta sıkıştırma ile karşılaştırıldığında, bu metod çok daha düşük basınç gerektirir. En önemli problem kullanılan pres ve takımlara titreşimin uygulanmasını sağlayacak donanımın tasarımıdır.

e- Sürekli Sıkıştırma : Öncelikle boru, levha, çubuk ve plaka gibi basit şekiller için uygulanan bir yöntemdir.

2. Kola Dökümle Kompaktlama

a- Kola Döküm : Seramikler için yaygın olarak kullanılır. Fakat metaller için kullanım alanı sınırlıdır. Bu yöntem sıvı bir taşıyıcı içinde, tozun süspansiyonundan ve çökelmeyi önleyici katkılardan oluşan çamur hazırlanmasından ibarettir.

Kola dökümde karışım sıvı absorblayıcı malzemelerden yapılmış(alçı gibi) bir kalıba konarak şekillendirilir. Kalıptan çıkarıldıktan sonra, kola döküm kurutulur ve sinterlenir.

b- Ağırlık Etkisiyle Sıkıştırma : Kalıp toz ile doldurulduktan sonra kalıpta sinterlenir. Kalıp genellikle grafit gibi asal bir malzemedendir yapılır. Basınç kullanılmadığından parçalar genellikle daha gözeneklidir. Genellikle bu yöntem filtrelerin imalinde kullanılır.

c- Süreksiz Basıncısız Yerleştirme : Bu yöntem yeniden doldurmalı Ni-Cd'lu bataryaların elektrodları için, gözenekli levhaların üretiminde kullanılır. Metal tozu kola dökümde olduğu gibi metal levha üzerine sulu olarak uygulanır.

Preslenmiş yoğunluk; presleme basıncı, parça büyüklüğü, görünür yoğunlukla doğru, mukavemet, sertlik değeri, presleme hızıyla ters orantılı artar.

Presleme basıncı ya da yaş yoğunluğu çoğalttığımızda, yaş mukavemeti te yükselir. Çünkü parçacık hareketi daha fazla,deformasyonu daha büyüktür.

4.5. SİNERLEME

Sinterleme yöntemi; genellikle, ergime noktası en yüksek bileşenin, ergime noktasının altındaki bir sıcaklıkta yapılır.

Sinterlemenin, bağlayıcı metalin ergime noktasının üzerinde yapıldığı bazı durumlarda (karbürlerde olduğu gibi), sıcaklık sıvı bir faz oluşturacak kadar yüksektir. Diğer bazı durumlarda ise bileşenlerin hiç birinin ergime noktası üzerine çıkılmaz.

Sinterleme fırınları, elektrik rezistanslı tipte veya gaz ya da fuel oil tipli olabilir. Sıcaklığın hassas ve üniform olması bu tip çalışmalar için çok önemlidir.

Parçacıklar arasındaki bağlama, yüzey filmlerinden çok etkilendiğinden, oksitler gibi film oluşumları istenmez. Bu da kontrollü, koruyucu atmosfer kullanılarak sağlanır. Atmosferin bir başka görevi de briketlemeden ve sinterlemeden önce, tozların üzerindeki bu filmlerin azaltılmasıdır. Koruyucu atmosferde hiç serbest O_2 olmamalı, nötral veya kullanılan metal tozunu, indirgeyici nitelikte olmalıdır.

Elektrik kontak malzemelerinin ve ateşe dayanıklı karbürlerin sinterlenmesinde kuru hidrojen atmosferi kullanılır. Ticari uygulamalarda sinterleme atmosferlerinin, değişik hidrokarbürlerin yanmalarıyla elde edilir. Bu amaçla çoğunlukla doğal gaz veya propan kullanılır.

Sinterleme esas olarak katı parçacıkların atomik kuvvetlerle bağlanması işlemidir. Sıcaklığın artmasıyla, sinterleme kuvvetleri azalmaya başlar. Yetersiz yüzey teması gibi engeller, yüzey filmleri, plastisite yetersizlikleri ise artan sıcaklıkla azalır. Bu nedenle sinterleme yönteminde mümkün olabildiğince yüksek sıcaklıklar tercih edilir. Isıtma işleminin uzun sürmesi veya daha yüksek sıcaklıkta yapılması, parçacıklar arasında daha güçlü bağlanma ve çekme dayanımında artma sağlar.

Üzerinde büyük ölçüde araştırma ve teorik çalışma yapılmasına rağmen, sinterleme işlemi henüz tamamen anlaşılamamıştır.

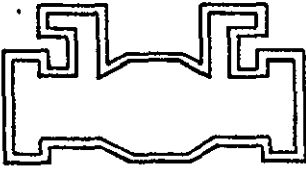
Sinterleme işlemi ısıtılan parçacıklar arasındaki bağlanmayla başlar. Bağlama komşu parçacıkların birbirine yakın temas yüzeyleri arasın-

daki difüzyonla başlayarak tane sınırlarının oluşmasını sağlar. Bu aşamada yüksek sıcaklıkta kısa süre tutulursa, mukavemet ve sertlikte yüksek oranda artış görülür. Bunu izleyen aşamada yeni bağlanan alanlar "boyun" (köprüleşme) oluşturur. Bunlar büyüdükçe gözönekler yuvarlaklaşır.

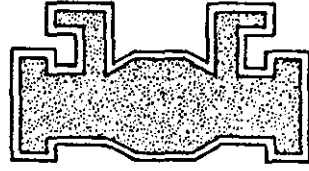
4.6. SICAK PRESLEME

Bu yöntem basınç ve sıcaklığın aynı zamanda uygulanmasından ibarettir. Kalıplama ve sinterleme, aynı zamanda yapılarak, sonuçta üretimde ve yoğunlukta artma sağlar.

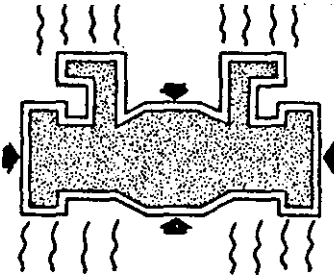
Sıcak presleme öncelikle çok sert karbürlerin üretilmesi olmak üzere sınırlı olarak kullanılır. Bu yöntemin en büyük sakıncası yüksek sıcaklıklarda dayanabilecek kalıpların fiyatlarının yüksek olmasıdır, Şekil 10, /5/.



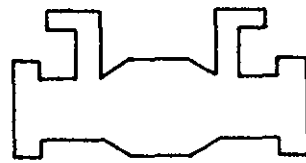
a- Kalıp(Cam,seramik,Çelik)



b- Tozla Doldurulmuş



c- Sıcakta Presleme



d- Bitirilmiş Parça

Şekil 10: Sıcak İzostatik Preslenmenin Şematik Olarak Gösterimi

4.7. TAMAMLAYICI İŞLEMLER

Yoğunluğun daha fazla ve boyut toleransının daha yakın olmasının istendiği durumlarda sinterlemeyi, damgalama veya tekrar presleme denilen, bir soğuk işlem daha izler. Damgalama işlemi sinterlenmiş parçanın yoğunluğunu artırır. Kalıp içinde; tozdan basınçla doğrudan elde edilenden daha karmaşık şekiller verebilen, önemli düzeyde plastik deformasyonlar yapılabilir. Bir çok durumda, kalıp içinde yapılan sınırlı plastik şekil değişimleriyle, pahalı işlemleri gerektirmeksizin, yakın tolerans boyutlarının elde edilmesi mümkündür.

Sinterleme işlemi için, ısıtma bazı ara sıcaklıklarda kesilebilir. Bu ön sinterleme diye bilinir. Bu noktada kompakt, makina ile iyi işlenebilme özelliklerine sahip olabilir veya sinterlemeden sonra yapılması uygun olmayan işlemlere olanak veren yeterli yumuşaklıkta olabilir.

Bazı durumlarda tekrar presleme işleminden sonra, tekrar sinterleme ile mekanik özellikler önemli düzeyde artar. Doğrudan sinterlenmiş metale göre, tekrar sinterleme işlemiyle çekme dayanımı yaklaşık olarak bakırda %60, demirde %30 arttırılabilir. Mukavemetin artmasıyla birlikte tekrar sinterleme, çekme sonucu boyutlarda değişiklik ve tane irileşmesi meydana getirebilir. Bu ise parçanın maliyetini artıracak olan, diğer bir boyutlandırma işlemi gerektirir.

Özel uygulamalara bağlı olarak, sinterlenmiş kompakta istenen belirli özelliklerin elde edilebilmesi için, ısıl işlem uygulanabilir. Bu ısıl işlem, bir gerilim giderme veya tavlama işlemi olabilir. Uygun demir olmayan metal alaşımları, yaşlandırma sertleştirilmesi işlemi gibi yüzey sertleştirme veya su verme işlemine tabi tutulabilir.

Tozdan üretilen metal parçaların imalatlarını tamamlamak üzere çeşitli bitirme işlemleri uygulanabilir. Bunlar, makinayla şekil verme, kesme, delme, parlatma, düzeltme, taşlama ve püskürtme işlemleridir.

Elektrolitik kaplama, metal püskürtme vb. gibi koruyucu yüzey kaplamaları toz metalurjisi parçalarına da uygulanabilir.

Toz metalurjisi ürünlerine, çeşitli diğer birleştirme yöntemlerinden yalnızca lehimleme işlemi yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sinterlenmiş elemanın içindeki delikler emdirme yolu ile doldurulur. Bu işlem kendi kendini yağlayan yataklarda olduğu gibi, öncelikle sürtünme özelliklerini iyileştirmek için yapılır. Yağ emdirmesi; parçaları, içinde sıcak yağ bulunan bir kaba daldırmakla veya önce deliklerdeki havayı vakum yolu ile alıp daha sonra delikleri basınç altında yağla doldurmak şeklinde gerçekleşir. Emdirme malzemesi olarak parafinler veya gres yağı kullanılabilir. Demir olmayan alaşımların gözenekli yapıları içinde, kolay ve kurşundan oluşan beyaz maden (yatak alaşımları) gibi ergime noktası düşük metalleri dolgu maddesi olarak kullanmak metalin yataklama özelliklerini iyileştirir.

Sıvı kurşun emdirme yöntemi demir asıllı parçaların yoğunluklarını arttırmak için kullanılır.

4.8. TOZ METALURJİSİ PARÇALARININ DİZAYNI

Toz metalurjisi parçaları ile olanaklı şekillendirmeler büyük ölçüde kompaktlama işlemine bağlıdır. Metal tozlar serbestçe akamadığı için keskin köşeler, uzun ince kesitler ve ani kesit değişimi olan kısımlar, basınç uygulanmadan önce iyice doldurulmaları güç olduğundan, yoğunlukları düşük olabilir. Aynı zamanda basınç, yataydan çok düşey olarak etkid olduğundan, basınç doğrultusuna dik delik ve kesitler, alışılmış yöntemlerle şekillendirilemezler. Bunlara talaşlı işlem uygulanmalıdır. Tasarımlar ayrıca pres kapasitesi, strok uzunluğu ve basınç uygulama alanının büyüklüğü tarafından sınırlanır.

Toz metalurjisi parçalarının toleransları bir çok değişkenden etkilenir. Alaşım yoğunluk, sinterleme sıcaklığı, sinterleme süresi ve damgalama veya boyutlandırma işlemlerinin tümü toleransları etkiler. Adi toleranslarla üretilmiş toz metalurjisi parçalarının maliyetleri,

hassas toleranslarda üretilenlere göre önemli derecede düşük olur.

Toz metalurjisi parçaları büyük boyut değişimleri bulunmayan, silindirik veya dikdörtgen şekillerin üretimi için çok uygundur. Parçaların tepelerinde veya altlarında bulunan yüzey delik ve girintileri veya flanşları kolaylıkla şekillendirilebilir. Yarıklar, dişli çarklar, aksenal delikler, mil gibi parçaların iç delikleri, yivler, setler ve kama yuvaları kolaylıkla şekillendirilebilir. Bununla birlikte, alt girintiler (gerilme birikmesini önlemek için), baskı doğrultusuna dik delikler, ters yönde incelen uçlar, iç delikler, vida dişleri basılamaz. Çoğu zamanlarda, doğrudan istenen özelliklerde basılamayan parçalar ilk aşamada yarı şekillendirilmiş biçimde basılır ve istenen ayrıntılarda makinayla işlenir. İnce duvarlardan, dar yarıklardan (derinliği az) ve keskin köşelerden kaçınılmalıdır.

Bu öneriler üretimi kolaylaştırıcı; kullanılacak aletlerin maliyetini azaltacaktır. Keskin uçlar ve ince delikler veya ince pim gibi elemanların yalnız yapımları pahalı, aynı zamanda kırılma eğilimleri fazla olduğundan, bakım masrafları da yüksektir /1/.

5. TOZ METALURJİSİ UYGULAMALARI

Toz metalurjisi teknikleri, dökülemeyen metallerin, kompozit metallerin, gözenekli metallerin, metal metal olmayan kombinasyonların ve bazı parçaların daha etkin bir üretim yöntemi olarak kullanılmaktadır.

Refrakter metallerin yüksek ergime noktoları, alışılmış, ergitme ve döküm yöntemlerinin uygulanmasını olanaksız kılar. Tungsten flamanların üretiminde toz yönteminin kullanılması daha önce açıklanmıştı. Bu teknik Mo, Ta ve aynı gruptaki diğer metallerin üretiminde uygulanabilecek başlıca pratik yöntemdir.

Toz metalurjisinin en önemli uygulama türü de, semente karbürlerin yapılmasının temelini oluşturan, bir metal esaslı matrix içinde sert metallerin birleştirilmesidir.

Karbür kesme aletlerinin üretiminde; W, Ta, Ti karbürler bir bağlayıcı olarak Co ile preslenir ve ön sinterleme işlemine tutulur. Bu durumda malzemeler kesilebilir, makina ile işlenebilir ve son şekline getirilebilir. Bundan sonra kompakta, kobaltın kuvvetli karbür parçacıklarının katı bir parça şeklinde yapışmasını sağlayan, yüksek bir sıcaklıkta (1510°C de) sinterleme uygulanır.

Karbür takımlar, yüksek basma dayanımı, sıcak sertlik, aşınma direnci gösterirler. Diğer malzemelere göre kırılğan olduklarından, genellikle bir çelik tutucunun ucuna lehimlenmiş olarak kullanılırlar. Karbürler aşınma dayanıklılığı gereken uygulamalarda astar olarak da kullanılabilirler.

Bu sınıflandırmanın diğer örnekleri, elmas tozu emdirilmiş taşlama diskleri, delme matkap uçları, dikiş aletleridir. Bunlar karbür veya daha plastik metal ve alaşımlar içine gömülmüş elmas parçacıklardan oluşur.

Metal metal olmayan malzeme kombinasyonları, kavrama diskleri ve fren bağlantıları gibi sürtünen parçaların üretilmesinde geniş bir kulla-

nım alanı bulur. Bu malzemelerde ısı iletimi için Cu veya bronzdan metalik bir matrix, çalışma süresince yumuşak bir temas hattı oluşturmak için Pb veya grafit ve sürtünme amaçları için silikon ve zımpara bulunur.

Bakır-Grafit kombinasyonları, akım-kollektör fırçaları olarak ve gözenekli bronz ve demir yataklarda kullanılır.

Kompozit metallere, özel amaçlar için, içindeki her metalin özelliklerini taşıyan metal kombinasyonlarıdır. Toz metalurjisi özellikle sıvı halde çözünmeyen veya monoötektik oluşturmayan metallere alaşımları için yararlıdır. Özel teknikler kullanıldığında, döküm iki metal katmanı oluştururken, tozlardan kolaylıkla homojen karışımlar elde edilebilir. Elektrik endüstrisinde W gibi refrakter bir metalin aşınma ve arka karşı dayanıklılığı ile Ag veya Cu'nun yüksek iletkenlik özelliklerini bir arada bulunduran, ağır koşullarda çalışan kontakların üretiminde kompozit metallere kullanılmaktadır. Benzer şekilde, kurşunun yağlama özelliği bakır-kurşun yataklarda Cu'nun yük taşıma yeteneği ile birleştirilmektedir.

Toz metal parçaları kontrol edilebilen gözeneklilik özelliği, gözenekli yatakların, dişlilerin ve filtrelerin üretimini sağlamaktadır.

Gözenekli yataklar; sinterlemeden sonra kontrol edilen gözenekli yapıdaki bronzdan yapılmaktadır. Gözenekler daha sonra yağla doldurulmaktadır. Çalışma koşullarında, yatak içindeki hareketli parçalar tarafından oluşturulan yatak yükü ve artan ısı, otomatik ve üniform yağlamayı oluşturmak üzere, yağı gözeneklerden dışarı çıkmaya zorlar.

Kendi kendini yağlayan yataklar, otomotiv endüstrisinde ve çamaşır makinalarında, buzdolaplarında, elektrikli saatlerde ve diğer bir çok araç türlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu yataklar, yağ boruları ve pompalarını bertaraf ederek makina dizaynını basitleştirir. Yağ sızması sorununu da ortadan kaldırırlar. Yataklar kolay erişilemeyecek yerlere yerleştirilebilir ve kolayca takılırlar. Sık sık bakım çalışmaları da önlenmiş olur. Diğer yöntemlerle üretilen yataklardan daha ucuz olurlar.

Gözenekli dişliler, yağlama özellikleri nedeniyle yağ pompalarında kullanılmaktadırlar. Kimya endüstrisinde kullanılan metal filtreler, seramik tiplere benzerler fakat, mekanik ve ısıl şoklara karşı daha yüksek mukavemet ve dirençleri vardır.

Al, Ni, Co ve Fe bulunduran, küçük sürekli Alnico mıknasitler, tozdan veya dökümle üretilebilirler. Döküm alaşımının makina ile işlenmesi zordur ve son boyutları çok dikkatli taşlama işlemleri sonunda elde edilir.

Bu mıknasitler doğrudan tozdan istenilen boyut ve şekillerde üretilebilir ve sinterleme işlemi süresince, bu boyutlar kabum edilebilir tolerans sınırları içinde tutulur. Ayrıca sinterlenmiş mıknasitlerde daha iyi bir tane büyüklüğü ve daha yüksek mekanik mukavemet elde edilir.

Sonuç olarak birçok uygulamalarda toz metalurjisi tekniklerinin kullanılması, parçaların daha ekonomik şekilde üretilmelerini sağlar. Yük koşullarının ağır olmadığı, küçük dişliler, kamlar, manivelalar, zincir dişlileri ve diğer demir çelik, pirinç veya bronz parçalar; pahalı ve zaman alıcı makina işlemlerini ve diğer şekillendirme işlemlerini önemli düzeyde azaltmak veya tamamen ortadan kaldırmak üzere tozdon üretilebilirler /2/.

5.1. GÖZENEKLİ YATAKLAR

5.1.1. Düşük Yoğunluklu (Yüksek Gözenekli) Parçalar

Bu guruba "kendinden yağlamalı" olarak tanımlanan sinter yataklarla (burç) pneumatik devrelerde filtrasyon maksadıyla kullanılan bronz filtre elemanları girmektedir.

Sinter yataklar bünyelerinde % 20-30 arası porozite (boşluk) ihtiva edecek şekilde imal edilirler. Dolayısıyla fırınlanmış bir sinter yatağın mikroskop altında süngerimsi bir görünümü vardır. Fırınlama işleminden sonra sinter yataklara özel bir prosesle yağ emdirilerek yapıdaki

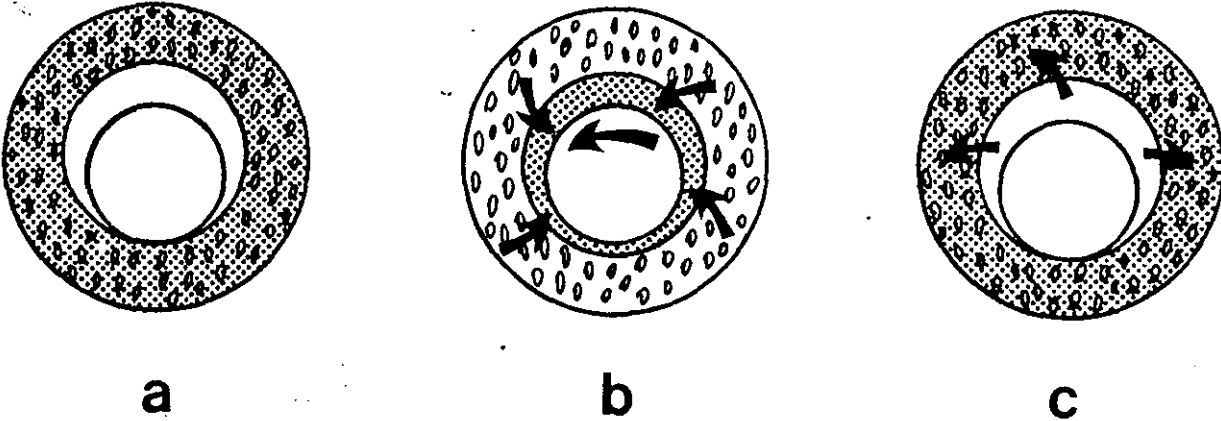
porozitelerin yağ ile dolması sağlanır. Bu yağ normal tatbikatlar için (-20°C den 100°C ye kadar) SAE 20-30 numara sanayi yağıdır. Daha sıcak ortamlarda kullanılarak yataklara bu maksada uygun bir yağ da emdirilebilir /3/.

Yağ emdirme işlemi :

a- Vakumla; Numune, oda sıcaklığında yağa daldırılır ve basınç 50.8 mm cıva basıncından daha düşük değerlere düşürülerek, 30 dakika bekletilir. Sonra basınç atmosfer basıncına çıkartılarak; numune, oda sıcaklığında 10 dakika bekletilir.

b- Numune yağa daldırılarak 85°C de 15 saat bekletilir. Bundan sonra numune, oda sıcaklığındaki bir başka yağ kabına daldırılarak bekletilir.

Sinter yatağın süngerimsi bünyesine emdirilmiş olan yağ kılcal olaydan dolayı dışarı akmadan bünyede muhafaza edilir. Yerine çakıldığında ve içinde çalışan mil dönmeye başladığında burç iç cidarını süpürmeye başlar. Bu süpürme sonucu çalışma boşluğunda vakum meydana gelir ve burcun bünyesinde depolanmış olan yağ bu boşluğa dolar, dolayısıyla mil dönerken mil ile burç iç yüceyi arasında daimi bir yağ filmi kendiliğinden oluşur. Şekil 11-b. Dönme hareketi tekrar durduğunda bu defa çalışma boşluğuna emilmiş olan yağ kılcal olaydan dolayı tekrar eski yerine döner. Şekil 11-c. /17/



Şekil 11. Kendinden yağlama mekanizması.

Böylece bünyeye depolanmış (emdirilmiş) olan yağ normal çalışma şartlarında oldukça uzun bir süre işlemini sürdürür. Bazı tatbikatlarda burcun eksilen yağını tamamlamak ve dolayısıyla burç ömrünü çok daha uzatabilmek için burç dış yüzeyine temas eden ilave bir yağ rezervuarı, yağlı keçe, fitil v.s. tatbik edilebilir.

5.1.2. Orta Yoğunluklu Sinter Parçalar

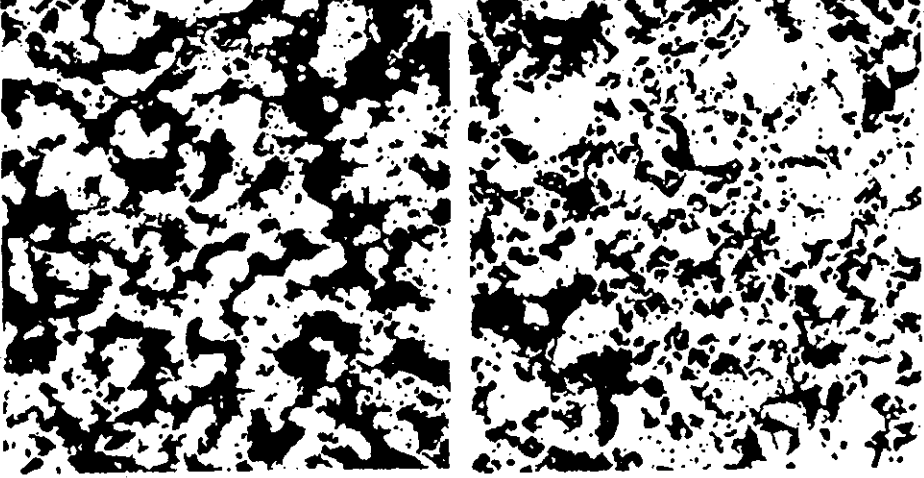
Bu gruba kullanım yerlerindeki fonksiyonları yatak olmayan ve aynı zamanda fazla mukavemetli olmaları da gerekmeyen ve poroziteleri % 15-20 civarında değişen sinter parçalar girmektedir.

Bu grup parçalar arasında otomobil amortisörleri, pistonları, mil kılavuzları, bazı dikiş makinası parçaları, elektrik motorlarının rulman takviye bilezikleri v.b.

5.1.3. Yüksek Yoğunluklu Sinter Parçalar

Bu gruba yoğunlukları 7 ve daha üzerinde (poroziteleri % 10 dan daha az) olan bir takım mukavemet parçaları, dişliler, mekanik kavramlar, kamalar, ö.b. girmektedir.

Bu parçaların imalatında kullanılan metal tozu hammaddesi diğer alçak dansite parçalarda kullanılanlardan daha farklı olduğu gibi diğer imalat proseslerinde de (baskı, fırınlama gibi) belirli farklılıklar vardır. Bu proseslerde ve kullanılan toz kalitesinde yapılabilecek bir takım varyasyonlar sonucu fiziksel ve kimyasal özellikleri çok değişik, istenilen her sertlikte ve her mukavemette parça elde etmek mümkün olmaktadır.



(a) Alçak Yoğunluk

b) Yüksek Yoğunluk

Şekil 12. Alçak ve yüksek yoğunluktaki sinterlenmiş numunelerin mikroyapısı.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. DENEYLERİN YAPILIŞI

6.1.1. Kullanılan Malzemeler ve Toz Hazırlama

% 99,99 Cu

% 99,91 Sn

Grafit tozu

Cu 61,5 gr ve Sn 38,5 gr alınarak bir pota içinde 850°C de ergitildi. İçinde % 61,5 Cu bulunan, gevrek bir iç yapıya sahip intermetalik (metallerarası bileşik) Cu_3Sn (ϵ -fazı) bileşiği oluşturuldu. Şekil 13. Bu elde edilen intermetalik bileşik havanda dövülerek toz elde edildi. Tozlar 0,355 mm'lik elekten geçirildi.

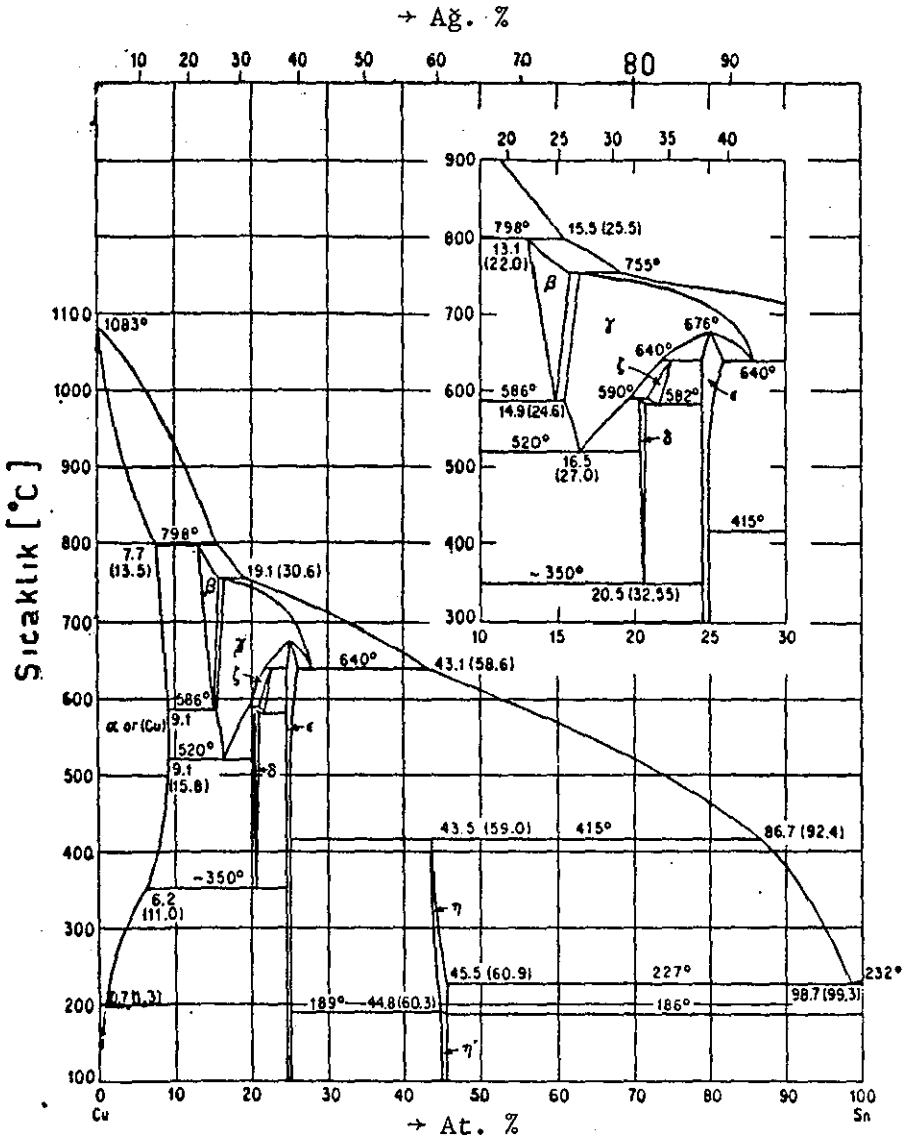
Bu metallerarası bileşikten 25 gr alınarak, diğer taraftan eğelenecek elde edilen ve 0,355 mm'lik elekten geçirilen 74,6 gr Cu tozu ile karıştırıldı. Bu oluşturulan yeni Cu Sn karışımının içine katkı maddesi olarak 0,4 gr grafit tozu katıldı. Böylece içinde % 90 Cu, % 9,6 Sn ve % 0,4 C içeren toz karışımı oluşturuldu. Bundan sonra bu karışım intermetalik olarak anılacaktır.

Diğer bir karışımda, eğelenecek elde edilen ve 0,355 mm'lik elekten geçirilen Cu ve Sn tozlarının, içinde % 90 Cu, % 9,6 Sn ve % 0,4 C olacak şekilde, hazırlanmasıyla oluşturuldu. Bu karışım da saf kalay olarak anılacaktır.

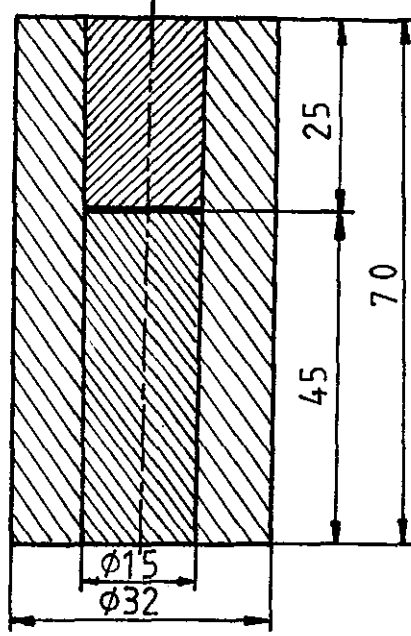
6.1.2. Kalıp ve Presleme

Hazırlanan karışımlardan 30 cm³ hacımlarda alınarak Şekil 12'deki kalıpta, tablo 1'de verilen basınçlarda preslendi.

Presleme işlemi 20 tonluk, Schenk Trebel Marka, UPM 20 tipinde, Batı Alman Malı olan Universal Çekme-Basma Makinasında gerçekleştirildi. Basınç uygulama süresi bütün işlemler için 1 dakika olarak alındı.



Şekil 13: Cu-Sn denge diyagramı /7/



Şekil 14. Preslemede kullanılan kalıbın kesiti (Boyutlar mm).

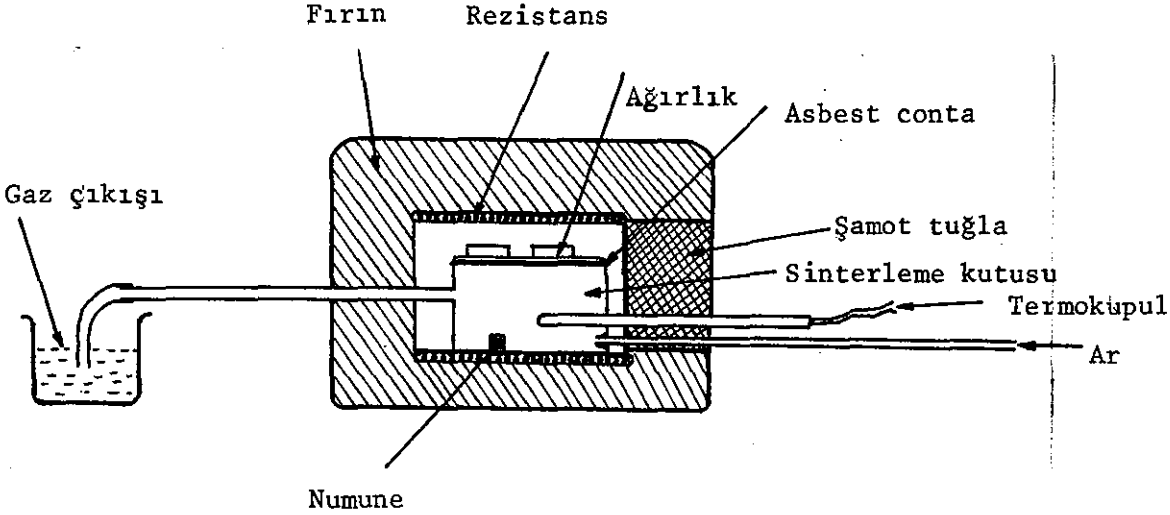
Numune No	Uygulanan Kuvvet [N]	Basınç [N/mm ²]
1	27000	150
2	35000	200
3	55000	300
4	80000	450
5	90000	500

Tablo 1. Hazırlanan karışımlara uygulanan basınçlar.

6.1.3. Sinterleme

Preslenen numuneler, sinterleme kutusuna konularak, 1050°C ye çıkabilen ve istenilen sıcaklığa ayarlanabilen Heraeus Marka Fırında 1,5 saat süreyle 800°C de sinterlendi. Sinterleme sırasında sinterleme kutusuna sürekli olarak, silikajelden ve sülfürik asitten geçirilerek nemi alınmış, argon gazı üflendi. Gaz geçirme işlemi sinterleme sırasında ve

fırın kapatıldıktan sonra, numuneler 150°C sıcaklığı sağlayana kadar devam edildi. Böylece numuneler için nötr ortam sağlanmış oldu. Şekil 15.



Şekil 15. Sinterleme fırını.

Sinterlenmiş numuneler, kaba zımparalama ve ince zımparalama işlemlerinden geçirilerek; sertlik ölçümü, açık gözeneklilik, yoğunluk ölçümü ve yağ emdirme işlemlerine hazırlanmıştır.

6.1.4. Sertlik ölçümü

Sertlik ölçümü, Karl Frank GMBH Marka, Frankoskop No 532 tipinde, Fransız Malı olan Universal sertlik ölçme cihazında gerçekleştirilmiştir.

Numunelerin sertliklerinin ölçümünde, Brinell sertlik ölçme yöntemi kullanılmıştır. Burada :

Bilya çapı, $D = 2,5 \text{ mm}$

Muayene yükü, $F = 15,6 \text{ kp}$

Yükleme derecesi, $C=2,5$

Yükleme süresi, $t=15$ s. olarak alındı.

6.1.5. Sinterleme Sıcaklığına Göre Boyut Değişimi

5 ton/cm² basınçta kompaktlanan numunelerin yükseklikleri ve çapları 1/20 lik kumpasla ölçüldü. Çeşitli sıcaklıklarda sinterlenen numunelerin tekrar boyutları ölçülerek aşağıdaki bağıntılardan faydalanılmıştır.

$$\% \text{ Boy değişimi} = \frac{h_1 - h_0}{h_0} \times 100$$

$$\% \text{ Çap değişimi} = \frac{d_1 - d_0}{d_0} \times 100$$

Burada:

h_0 : Kompaktlanmış numunenin yüksekliği,

h_1 : Sinterlenmiş numunenin yüksekliği,

d_0 : Kompaktlanmış numunenin çapı,

d_1 : Sinterlenmiş numunenin çapıdır.

6.1.6. Açık Gözeneklilik ve Yoğunluğun Ölçülmesi

Deney parçası temizlenerek havada 0,001 duyarlıklı terazide tartıldı. Yoğunluğun ve açık gözenekliliğin aynı anda tayini için deney parçası; 85°C de Rando Oil HD 68 marka yağda 17 saat tutuldu /3/.

Rando Oil HD 68 yağının özellikleri :

Viskozite : 65 (100°F CST)

Alevlenme Noktası: 218°F

Akma Noktası : -30°F

Yoğunluk : 0,86 g/cm³

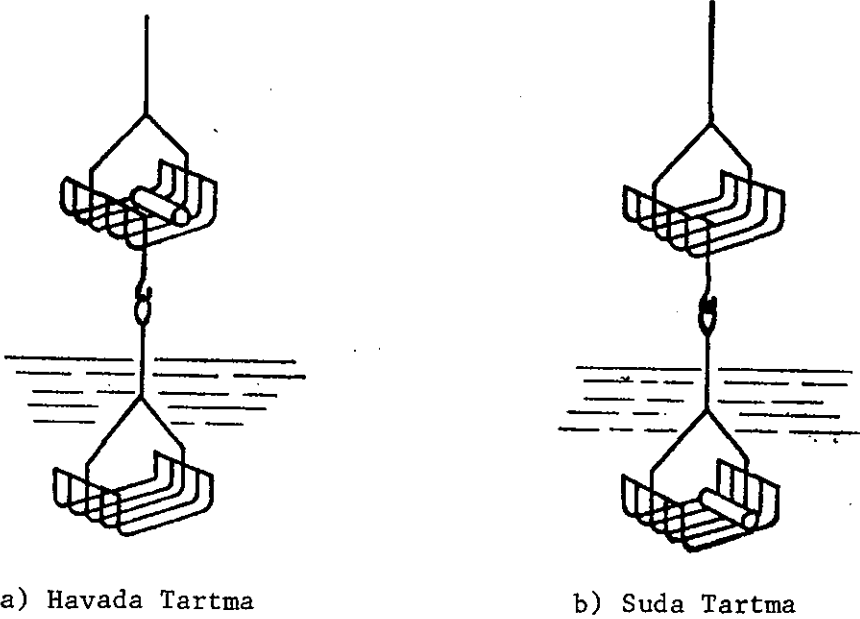
17 saat bekledikten sonra, yağdan çıkarılan numune, oda sıcaklığındaki başka bir yağ kabına daldırılarak 30 dakika soğutuldu.

Böylece yağ doldurulan (emprenye edilen) numune havada tekrar tartıldı. Bundan sonra numune, Şekil 14'teki gibi, 0,01 duyarlıklı terazide, suya daldırılarak tekrar tartıldı.

Yoğunluk, temiz deney parçasının havadaki kütlelerinin, hacmine oranı olarak hesaplandı.

Deney parçasının hacmi, doldurulmuş deney parçasının suda tartıldığında görülen kütle kaybına eşittir.

Açık gözeneklilik; sinterlenmiş parça hacminin yüzdesi olarak ifade edilen birbirleriyle bağlantılı kanallardır. Açık gözeneklilik; kanallar yağla doldurulduğunda deney parçasının kütlelerinde görülen artıştan hesaplanır.



Şekil 16. Numunenin havada ve suda tartılmasının şematik olarak gösterilmesi /13/.

Açık gözeneklilik $|p|$, TS 2305'e göre hacim yüzdesi olarak aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$p = \frac{(m_2 - m_1) \rho_{su}}{(m_2 - m_3) \rho_{yağ}} \times 100$$

Burada :

m_1 : Kuru deney parçasının havadaki kütlesi.

m_2 : Tam olarak doldurulmuş deney parçasının havadaki kütlesi.

m_3 : Tam olarak doldurulmuş deney parçasının suda görünen kütlesi.

ρ_{su} : Suyun yoğunluğu, bu 0,997 g/cm³ olarak alındı.

$\rho_{yağ}$: Yağ yoğunluğu, bu da 0,86 g/cm³ olarak alındı.

Deney parçasının yoğunluğu $|\rho|$:

$$\rho = \frac{m_1 \times \rho_{su}}{m_2 - m_3} \text{ formülü ile hesaplandı. Burada;}$$

kullanılan m_1 , m_2 , m_3 ve ρ_{su} indisleri yukarıda, açık gözenekliliğin hesaplanmasında belirtilmiştir.

6.1.7. Yağ Miktarı Tayini

Açık gözeneklilik ve yoğunluğun ölçümünde kullanılan deney parçasının içerdiği yağ miktarı; kütlede görülen artıştan, kütle yüzdesi olarak hacim yüzdesi olarak ve açık gözenek hacminin yüzdesi olarak aşağıdaki formüllerden TS 2309 göre hesaplanır /14/.

Kütle yüzdesi olarak :

$$\frac{m_2 - m_1}{m_2} \times 100$$

Hacim yüzdesi olarak :

$$\frac{m_2 - m_1}{V_t} \times 100$$

Açık gözenek hacminin yüzdesi olarak :

$$\frac{m_2 - m_1}{\rho_{\text{yağ}} \times V_p} \times 100$$

Burada :

m_1 : İlk kütle,

m_2 : Doldurma işleminden sonraki kütle,

$\rho_{\text{yağ}}$: Yağın yoğunluğu,

V_t : Görülen toplam hacim,

V_p : Açık gözenek hacmi

6.1.8. Sürtünme Katsayısının ve Aşınma Oranının Belirlenmesi

Sürtünme katsayılarının ve aşınma oranının belirlenmesinde, laboratuvar şartlarında imal edilen bir deney düzeneği kullanılmıştır /16/.

Deney düzeneğinde kullanılan motorun devir sayısı 1500 d/d dir. Burada kullanılan kayış-kasnak mekanizmasından elde edilen devir sayıları 1150, 1500, 1800 d/d dir. Deney diskinin ortalama yarı çapı 100 mm dir. Buna göre deney hızları

$V(m/s)$: 12.04, 15.70, 18.84 dür.

Deneylerde kullanılan numunelerin sürtünme yüzeyi $1,91 \text{ cm}^2$ ve kalınlıkları 10 mm dir.

Deneylerde kullanılan yüklere karşı gelen yüzey basınçları tablo 2 de verilmiştir.

$W N $	30	40	50
$P N/mm^2 $	0.142	0.189	0.236

Tablo 2. Yüklere karşılık gelen yüzey basınçları.

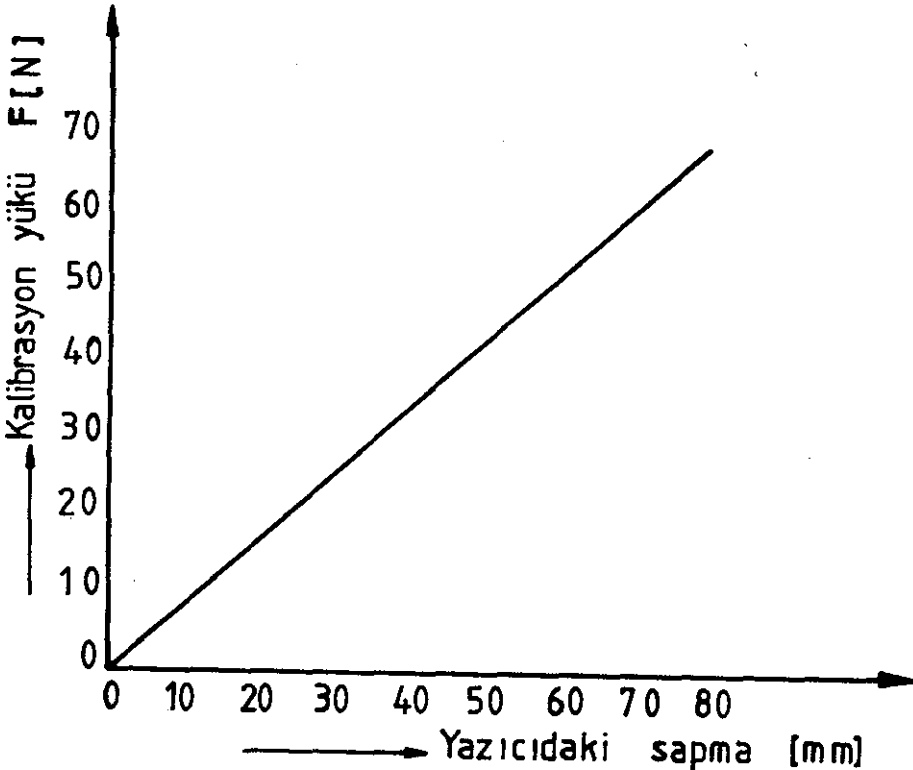
Deney diskisi Fe 42 malzemedendir olup sertliği 123 BSD 30 dur.

Deney numuneleri yüzeyi temizlenmiş disk üzerine $P = 0,502 \text{ N/mm}^2$ lik basınçta ve 15,70 m/s lik kayma hızında alıştıdırıldı. Böylece numunelerin disk yüzeyine tam oturması sağlanarak sürtünme katsayısı ve özellikle aşınma oranının hatalı olarak belirlenmesi önlenmiştir.

Numunelerin sürtünme kuvvetleri strain-gauge amplifikatörüne bağlı yazıcıda kayıt edilmiştir (Kağıt hızı: 5 cm/dak). Her deney sırasında kayıt edilen sürtünme kuvvetleri kalibrasyon eğrisi ile belirlenmiştir (Şekil 15).

Aşınma deneyleri: $P = 0.142, 0.189, 0.236 \text{ N/mm}^2$ lik yüzey basınçları ve 18.84, 15.70, 12.04 m/s lik kayma hızları ile $L = 26 \text{ km}$ lik sabit kayma yolunda yapılmıştır.

Aşınma deneylerinde numuneler disk üzerine alıştıdırıldıktan sonra tartılmıştır. Deney bittikten sonra da tekrar tartılmış ve ağırlık kaybı ölçülmüştür.



Şekil 17. Yazıcının kalibrasyon eğrisi.

6.2. DENEY SONUÇLARI VE İRDELEME

6.2.1. Sertlik, Gözeneklilik ve Yoğunluğun Presleme Basıncı ile Değişimi

Bu çalışmada (6.1.1.) de verilen malzemeler kullanılarak (6.1.2-4) de açıklanan şartlarda deneyler yapılmıştır. Metal tozlarına uygulanan sıkıştırma basınçlarına göre 800°C de sinterlemeden sonra ölçülen brinelli sertlik değerleri tablo 3 ve Şekil 18'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi kalayın intermetalik toz olarak katıldığı numunelerin BSD sertlikleri daha yüksek bulunmuştur.

Presleme Basıncı N/mm ²	İntermetalik Cu Sn C		Saf Cu Sn C	
	Ölçüm Sayısı	Ortalama BSD kp/mm	Ölçüm Sayısı	Ortalama BSD kp/mm
150	4	39,80	4	30,30
200	5	40,40	4	33,60
300	6	42,25	5	36,76
500	6	43,10	4	41,80

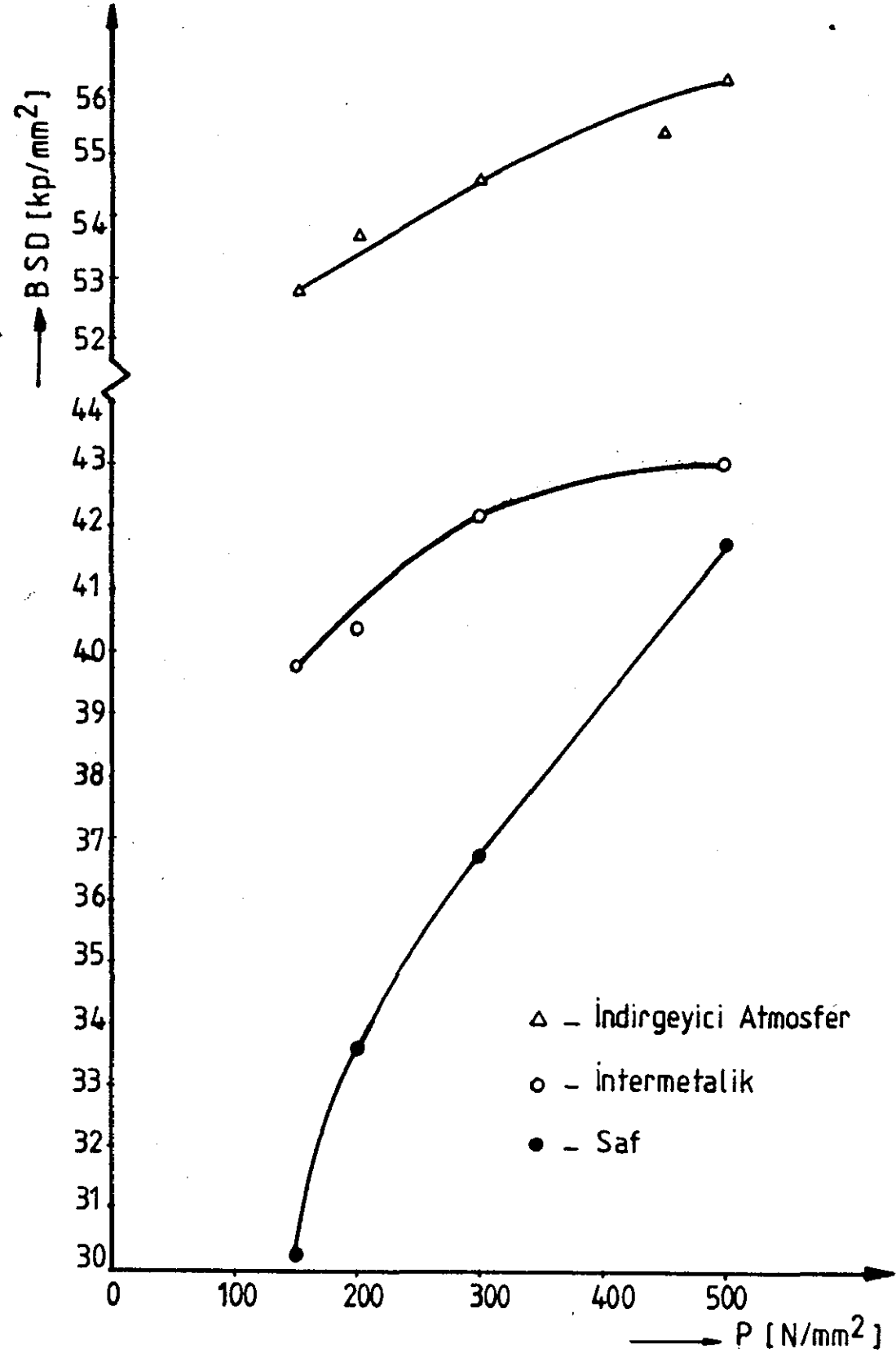
Tablo 3: 800°C sıcaklıkta sinterlenen numunelerin presleme basınçlarına göre sertlikleri

Şekil 18'de görüldüğü gibi saf Sn tozu ile hazırlanan numunelerin sertliği presleme basıncı ile büyük ölçüde değişmekte, intermetalik toz kullanılan numunelerde ise bu değişme daha az olmaktadır. Bu duruma göre intermetalik toz kullanıldığında daha düşük basınçta sıkıştırılmış (dolayısıyla daha fazla gözenekli) fakat sertliği önemli ölçüde yüksek olan (~10 BSD) yatak üretmek mümkün olmaktadır. Bu özellik intermetalik toz kullanmanın üstünlüğünü göstermektedir. Diğer taraftan Şekil 18'de daha önce yapılan çalışmada redükleyici ortamda (odun kömürü tozuna gömerek) sinterlenen intermetalik numunelerin sertliği verilmiştir /17/. Görüldüğü gibi elde edilen sertlik değerleri soygaz atmosferine oranla 10 ile 16 BSD daha yüksek olmaktadır. Redükleyici ortamda

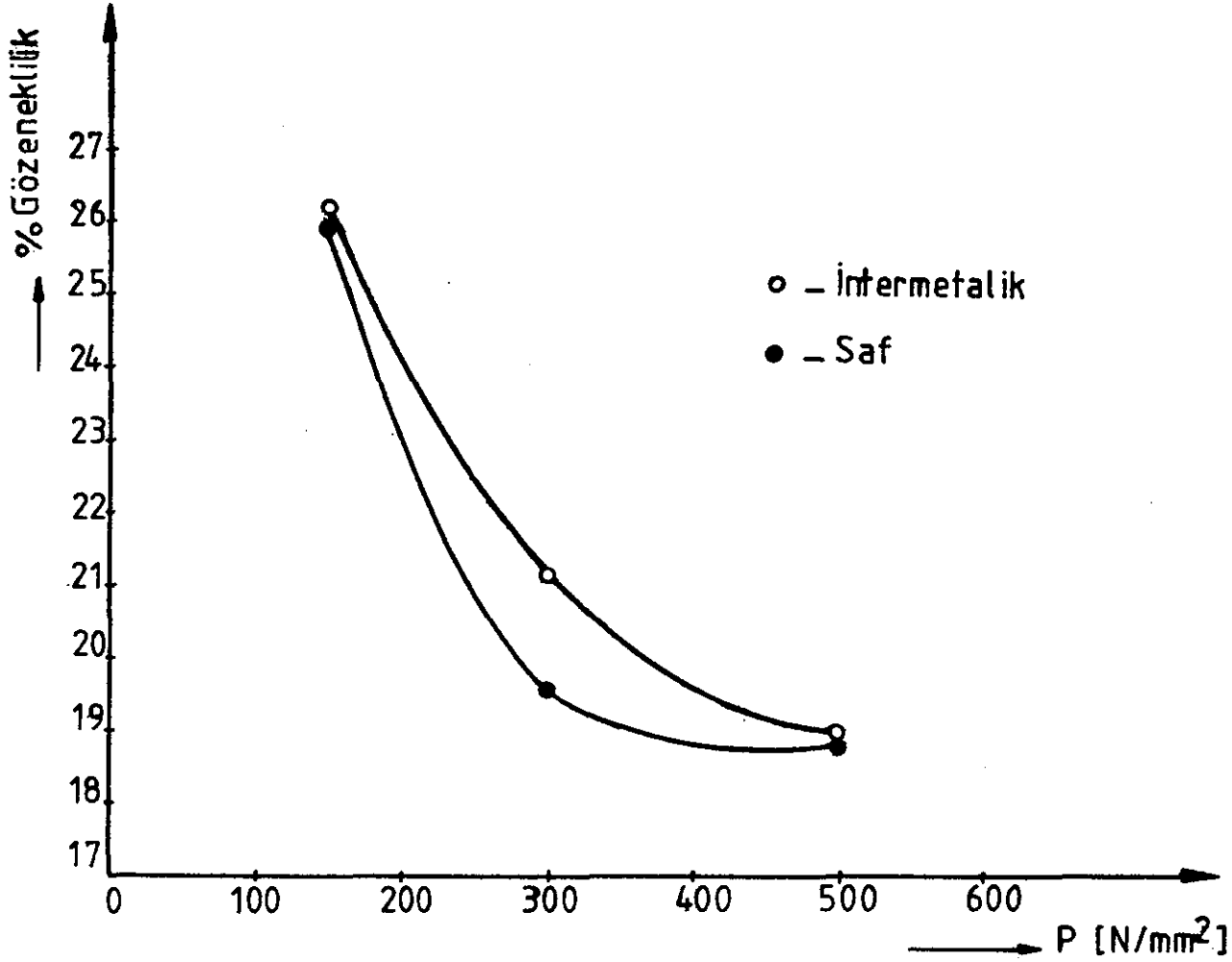
sertlik değerlerinin daha yüksek bulunması kaynaklara uygundur /7/. Bu tür yataklar için kaynaklarda verilen sertlik değerleri 20-40 BSD arasında değişmektedir. Bu değer saf Sn tozu kullanılarak bulunan sonuçlara uymaktadır. Bütün bunlardan anlaşılacağı gibi intermetalik toz kullanılarak, istenilen gözeneklilik oranında ve daha fazla yük taşıyabilen veya aynı yüklerde aşınmaya daha dayanıklı yataklar üretmek mümkün olmaktadır. Endüstriyel uygulamalarda genellikle redükleyici atmosferde sinterleme yapıldığından elde edilecek sertlik değerleri daha yüksek olacaktır. Şekil 18.

Presleme basıncıyla gözenekliliğin değişimi Tablo 5, Şekil 19'da verilmiştir. Şekil 19'da görüldüğü gibi gözeneklilik oranı presleme basıncıyla düşmektedir. Intermetalik toz kullanılan karışımların gözeneklilik oranının saf toz kullanılan karışımlara göre biraz daha düşük olduğu görülmektedir. Ancak aradaki bu fark düşük ve çok yüksek presleme basınçlarında çok az miktardadır. Presleme basıncıyla gözenekliliğin değişimi bilindiğine göre, basıncı değiştirmek suretiyle istenilen gözeneklikte yatak üretmek mümkündür. Yataklarda gözenek oranından daha önemli olan faktör iç yapıda gözeneklerin dağılımıdır. Saf kalay tozlarıyla hazırlanan yatak malzemelerinde yerel olarak çok iri gözeneklerin oluştuğu bilinmektedir /7/. Bu çalışmada bulunan sonuçlarda bu durumu doğrulamaktadır. Şekil 20'de görüldüğü gibi intermetalik toz kullanılan yatak malzemelerinde gözenekler daha ince ve homagen bir dağılım göstermektedir. Yerel iri gözeneklerin bulunması özellikleri çok kötü yönde etkilediğinden istenmeyen bir durumdur. Uygulamada bunun önlenmesi için saf Cu/Sn tozu yerine, önceden alaşımlandırılarak hazırlanan bronz tozu kullanılmaktadır /7/. Ancak bronz tozunun hazırlanması bu ön alaşımlandırma nedeniyle daha pahalıya mal olmaktadır.

Genel olarak yatak malzemesinde gözenek bulunması mukavemeti düşürmektedir. Bu nedenle gözenekli yataklar darbeli yüklemelere ve yorulmaya karşı diğer tip yataklardan daha az dayanıklıdır. Diğer taraftan porozite, termal iletkenliği de düşürür. Bu mahzurları karşılamak için bazı durumlarda yatağın büyüklüğü arttırılabilir. Gözeneklilik yağ filminde basınç düşmesine de yol açabileceği de dizaynında göz önüne alınmalıdır /3/.



Şekil 18: 800° de Sinterlenen Numunelerin, Presleme Basıncılarıyla Sertliklerinin Değişimi



Şekil 19: 800°C da Sinterlenen Numunelerde presleme basıncıyla açık gözenekliliğin değişimi

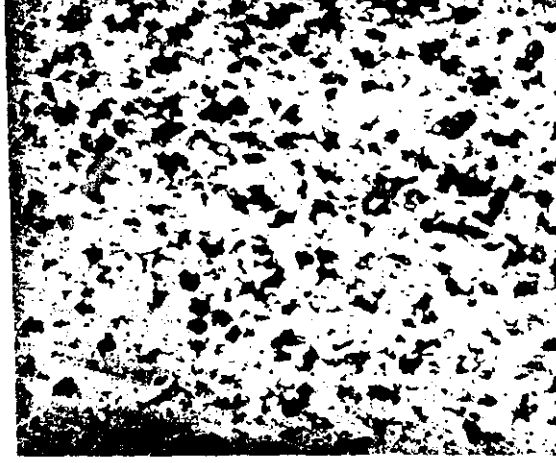
NUMUNE NO	Kullanılan Kalay Tozu İçeriği	Kuru Numunenin Havadaki kütlesi m_1 gr	Yağ Emdirilmiş Numunenin Havadaki kütlesi m_2 gr	Yağ Emdirilmiş Numunenin Sudaki kütlesi m_3 gr	Hacim V cm^3
1	İntermetalik	12.2384	12.7445	10.4800	2.2645
2	İntermetalik	17.2091	18.6905	14.8230	2.8675
3	İntermetalik	13.3090	13.6496	11.5540	2.0956
4	Saf	13.8884	14.4690	11.8940	2.5750
5	Saf	14.5590	15.1526	12.5000	2.6526
6	Saf	15.1341	15.5400	13.0640	2.4760

Tablo 4: Gözenekliliğin, yoğunluğun ve yağ miktarının bulunmasında kullanılan değerler

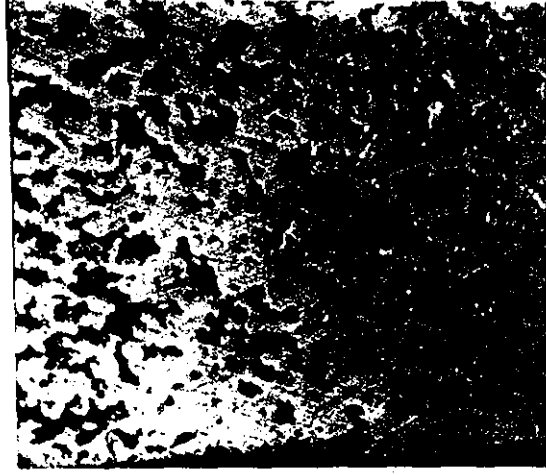
Numune No	Presleme Basıncı $ N/mm^2 $	Sertlik BSD $ kp/mm^2 $	Yoğunluk $ gr/cm^3 $	Açık Gözeneklilik $ % $
1	150	39.80	5.38	25.90
2	300	42.25	5.98	19.46
3	500	43.10	6.33	18.84
4	150	30.30	5.37	26.14
5	300	36.76	5.51	21.13
6	500	41.80	6.09	19.00

Tablo 5: 800°C sıcaklıkta sinterlenen numunelerin, presleme sonuçlarına göre yoğunluk, sertlik ve gözenekliliğin değişimi

Üretilen yatak malzemelerinin yoğunluğunun presleme basıncı ile değişimi TS. 2305'e göre hesaplanmış olup Tablo 5 ve Şekil 21'de gösterilmiştir. Doğal olarak her iki durumda da presleme basıncıyla yoğunluk artmaktadır. Fakat intermetalik toz kullanılan numunelerde yoğunluk daha yüksek bulunmuştur. Nispeten düşük ve çok yüksek basınçlarda elde edilen değerler



(a)

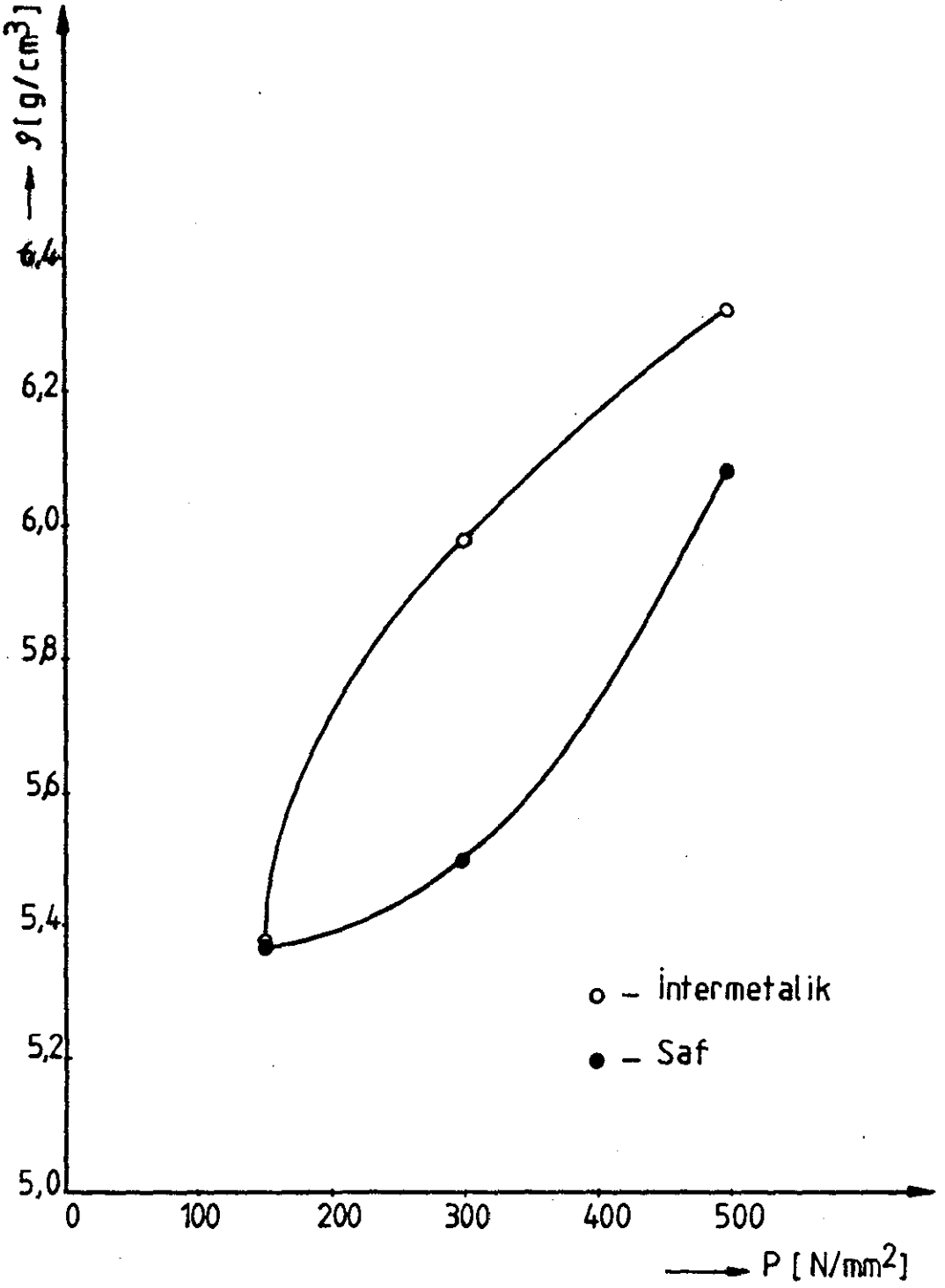


(b)

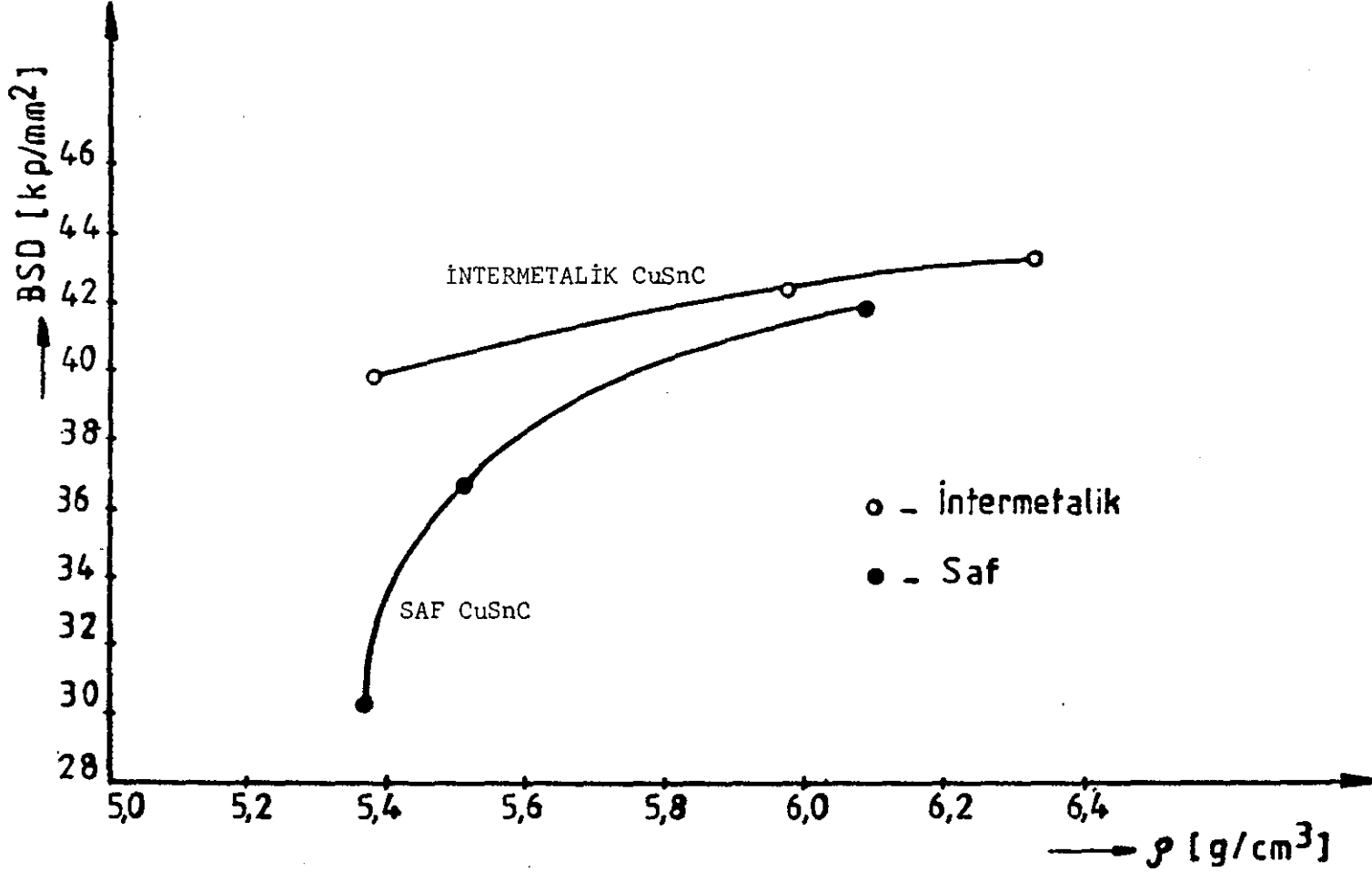
Şekil 20: 300 N/mm² de preslenmiş yatak malzemelerinde gözenekliliğin görünüşü. (a) İntermetalik toz, (b) Saf kalay tozu

birbirine yakındır. Bu durumda intermetalik tozlarla üretilen yatak malzemelerinin orta büyüklükteki basınçlarda preslenmesinde daha yoğun bir iç yapı elde edildiği anlaşılmaktadır. Bu durum Şekil 19'da görülen sonuçlara uymaktadır. Kaynaklarda yatak malzemelerin yoğunluğu 5.8-7 gr/cm³ olarak verilmiştir /11/.

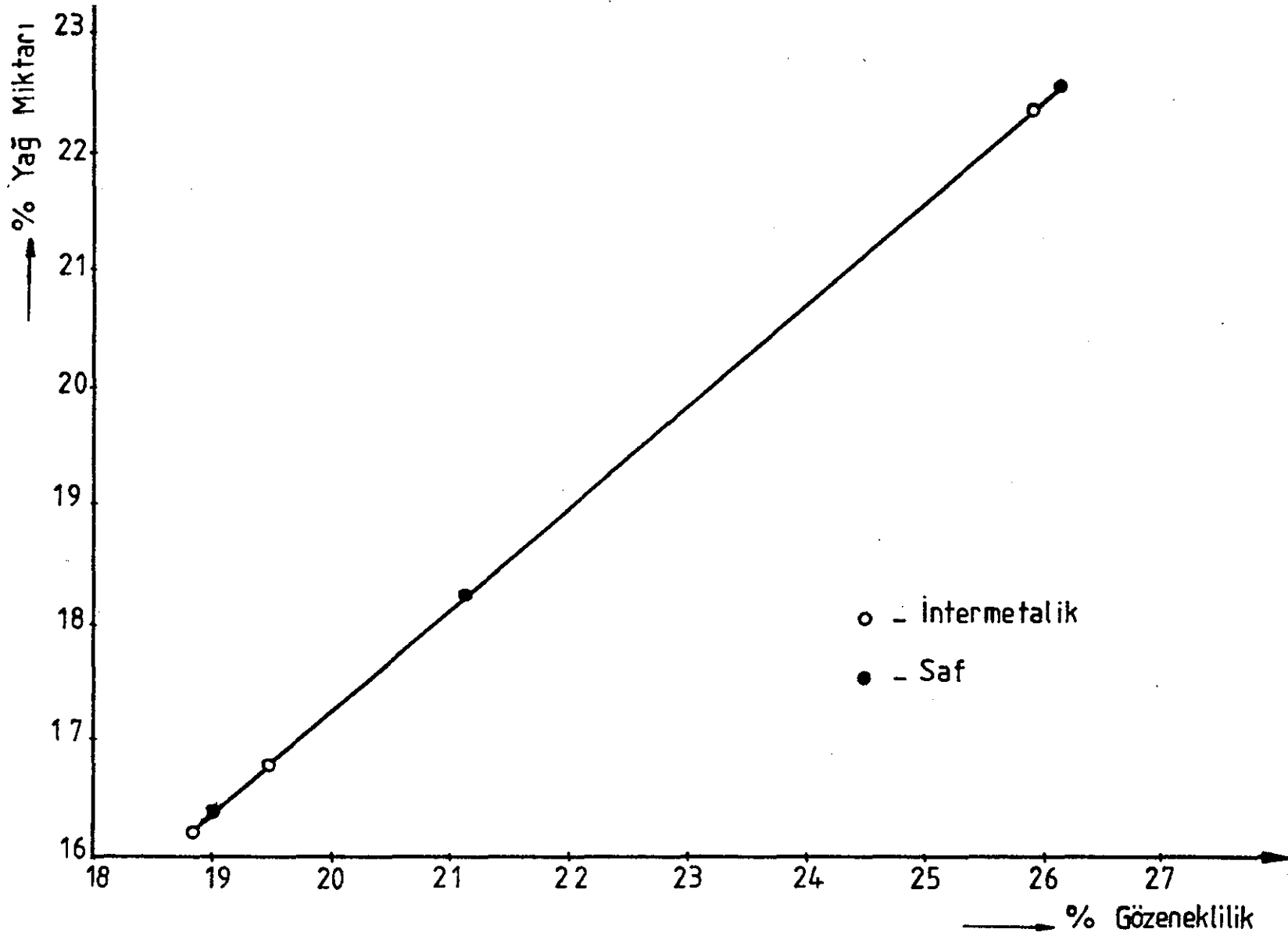
Sinterlenen numunelerde yoğunlukla sertliklerinin değişimi Şekil 22' de görülmektedir. Beklendiği gibi yoğunluk arttıkça sertlik artmaktadır.



Şekil 21: Presleme basıncıyla yoğunluğun değişimi



Şekil 22: 800°C da Sinterlenen numunelerde yoğunlukla sertliklerinin değişimi



Şekil 23: Yağ miktarının açık gözeneklilik oranı ile (hacimsal olarak) değişimi

Fakat bu artış intermetalik toz kullanılan numunelerde daha az olmaktadır. Yukarıda da değinildiği gibi bu durum intermetalik toz kullanmanın üstünlük sağlandığını göstermektedir.

Açık gözeneklilik oranıyla yağ miktarının değişimi TS.2309'a göre bulunmuş olup Tablo 6 ve Şekil 23'de görülmektedir. Görüldüğü gibi yağ miktarı açık gözeneklilik oranı ile doğrusal olarak değişmektedir. Bu durum (6.1.6) da anlatıldığı gibi yapılan yağ emdirme işleminin çok başarılı olduğunu göstermektedir.

NUMUNE NO	Presleme Basıncı N/mm ²	Yağ Miktarı gr	Yağ Miktarı Kütle yüzdesi olarak %	Yağ Miktarı Hacim yüzdesi olarak %	Yağ Miktarı Porozite yüzdesi olarak %
1	150	0.5061	3.97	22.35	2.27
2	300	0.4814	2.72	16.78	2.87
3	500	0.3406	2.49	16.25	2.10
4	150	0.5806	4.01	22.54	2.58
5	300	0.4836	3.19	18.23	2.66
6	500	0.4059	2.61	16.39	2.48

Tablo 6: 800°C de sinterlenen numunelerin, presleme basınçlarına göre; kütle yüzdesi, hacim yüzdesi ve açık gözeneklilik yüzdesi olarak yağ miktarı değişimi.

6.2.2. Sinterleme Sıcaklığıyla Boyut Değişimi

Preslenerek kompaktlanan numuneler sinterlemeden sonra boyut değişimi göstermektedir. Boyut değişimi oranı ısıtma hızına, tozların tane iriliğine ve toz yüzeylerinin oksitli olup olmamasına bağlı olarak değişmektedir /7/. Ayrıca karışımdaki grafit oranıyla, sinterleme atmosferi de boyut değişimini etkilemektedir. Literatürde istenmeyen bir durum olan ve birçok faktöre bağlı olarak bu boyut değişimini düzenlemek için toz karışımına bronz tozu katılması önerilmektedir /10/. Bu çalışmada karşılaştırma yapmak amacıyla saf ve intermetalik kalay tozu kullanılarak hazırlanan numunelerde sinterleme sıcaklığıyla boyut değişimi ölçmeleri yapılmıştır. Sin-

terleme sıcaklığı 750°C ile 1000°C arasında alınmıştır. Boyut değişimi 500 N/mm² basınçta kompaktlanmış numuneler üzerinde çap ve boy değişimi olarak incelenmiştir. Bulunan sonuçlar Tablo 7, Şekil 24 ve Şekil 25'te verilmiştir.

Şekil 24'te görüldüğü gibi saf kalay tozu ve intermetalik tozla hazırlanan numuneler farklı boyut değişimi göstermektedir. Saf kalay tozu ile hazırlanan numunelerdeki boyut değişimi eğrisi Dowson /7/ tarafından verilen eğriye şekil olarak uymaktadır. Fakat Dowson'un vermiş olduğu eğride boyut değişimi yüzdesi verilmediği için burada gösterilmemiştir.

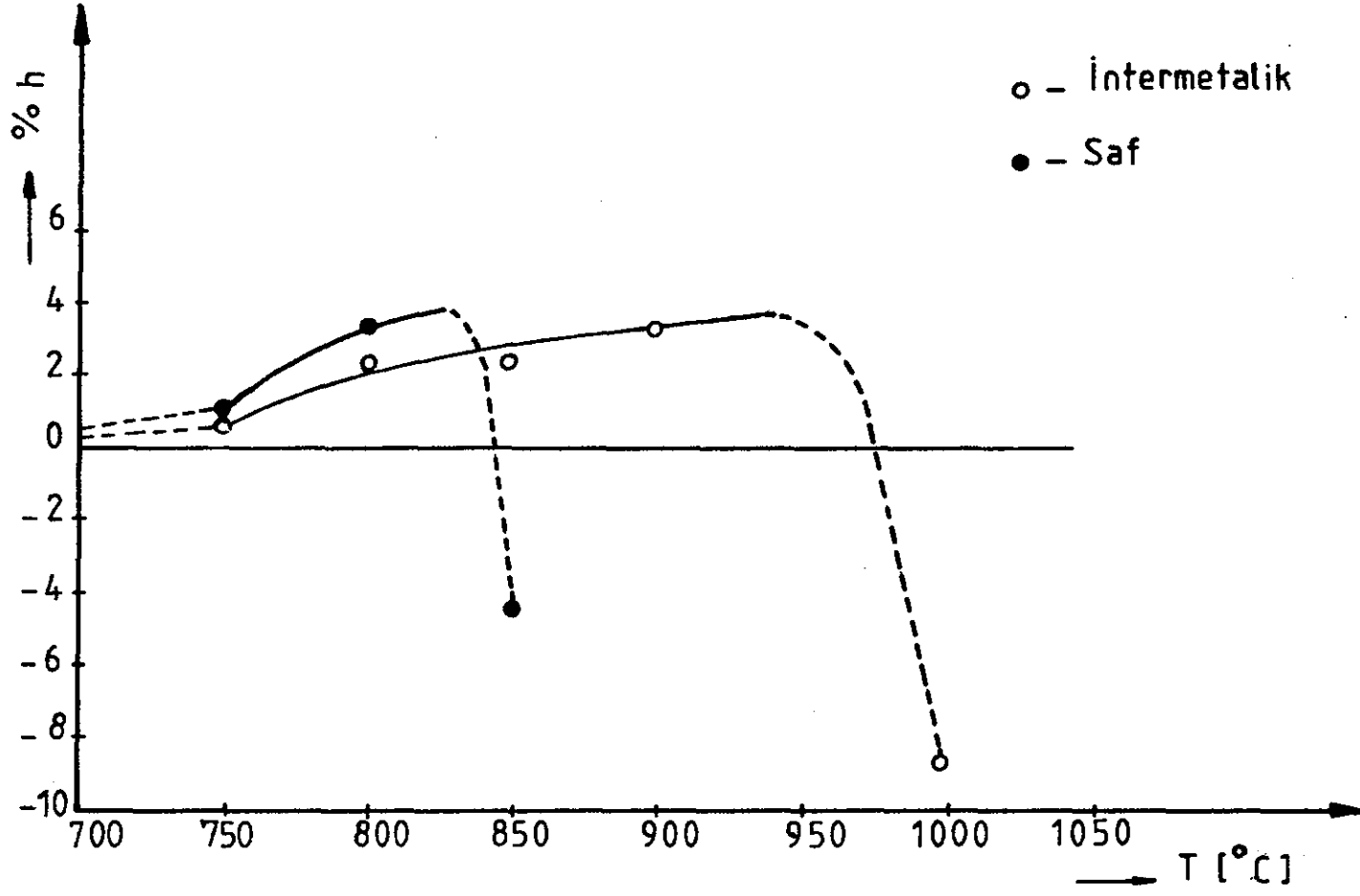
İntermetalik tozla hazırlanan numunelerdeki boyut değişimi Şekil 24'te görüldüğü gibi farklılık göstermekte, max. boyut değişimi oranı (%4 şişme) aynı olduğu halde boyut değişim sıcaklıklarının daha yüksek sıcaklığa kaydığı görülmektedir. Saf kalay tozu ile hazırlanan numunelerde, saf kalay tozları 232°C'de erimiş duruma geçerken bu çalışmada kullanılan intermetalik ε fazından (Şekil 13) hazırlanan toz yaklaşık 750°C civarında sıvı duruma geçmektedir. Bu nedenle sinterleme durumu değişik karakter göstermektedir. Kanımızca boyut değişiminin yüksek sıcaklıklara kaymasının nedeni kullanılan saf ve intermetalik tozlarının ergime sıcaklığının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Yapılan kaynak araştırmalarında intermetalik toz kullanma yönteminin bu zamana kadar başka araştırmacılar tarafından kullanılmadığı sonucuna varılmıştır. Elimizde bulunan ve bronz yatak sinterlemesine genel bakış (review) tarzında olan Dowson'ın 1984 tarihli makalesinde de bu çalışmada kullanılan yöntemden bahsedilmemektedir. Aşırı boyut değişimi oranlarının yüksek sıcaklıklara kaymış olması sinterleme açısından üstünlük sağlamaktadır. Diğer taraftan saf toz kullanılarak hazırlanan numuneler 850°C civarında tamamen deforme olmaktadır. İntermetalik toz kullanılması durumunda ise bu sıcaklık 950°C'nin üzerine çıkmaktadır. Bu durum yeni yöntemle üretilen yatakların nispeten yüksek sıcaklıklara dayanabileceği ümidini vermektedir. Cu/Sn denge diyagramı Şekil 13'te görülmektedir. Saf kalay tozları kullanılarak yapılan sinterleme sırasında diyagramda görülen δ, γ, β fazlarının özellikle ısıtma sırasında oluştuğu görülmektedir /7/. Eğer son sinterleme sıcaklığı veya bu sıcaklıkta tutma süresi, alaşımın homogenizasyonu için yeterli değilse bu fazların iç yapıda kalması mümkündür. Bu durumda β ve γ fazları, soğuma sırasında 586 ve 520°C sıcaklık-

larında ötektoid dönüşümüne uğrayarak α fazı ve bir miktarda δ fazına ayrışırlar. Teorik olarak δ fazında 350°C 'de ötektoid dönüşümle $\alpha+\epsilon$ fazlarına ayrışması gerekir. Fakat dönüşüm çok yavaş olduğundan uygulamada bu dönüşüm oluşmaz. Bu ayrışmamış δ fazının bulunması ve faz dönüşümünün daha sonra çalışma sırasında meydana gelmesi boyut değişmesine yol açabilir. Bu istenmeyen bir durumdur. İntermetalik toz kullanılması durumunda, ısıtma sırasında bu fazların oluşması söz konusu olmadığından böyle bir tehlike yoktur. Bu nedenle intermetalik toz kullanarak üretilen yatakların boyut kararlılığı daha üstündür.

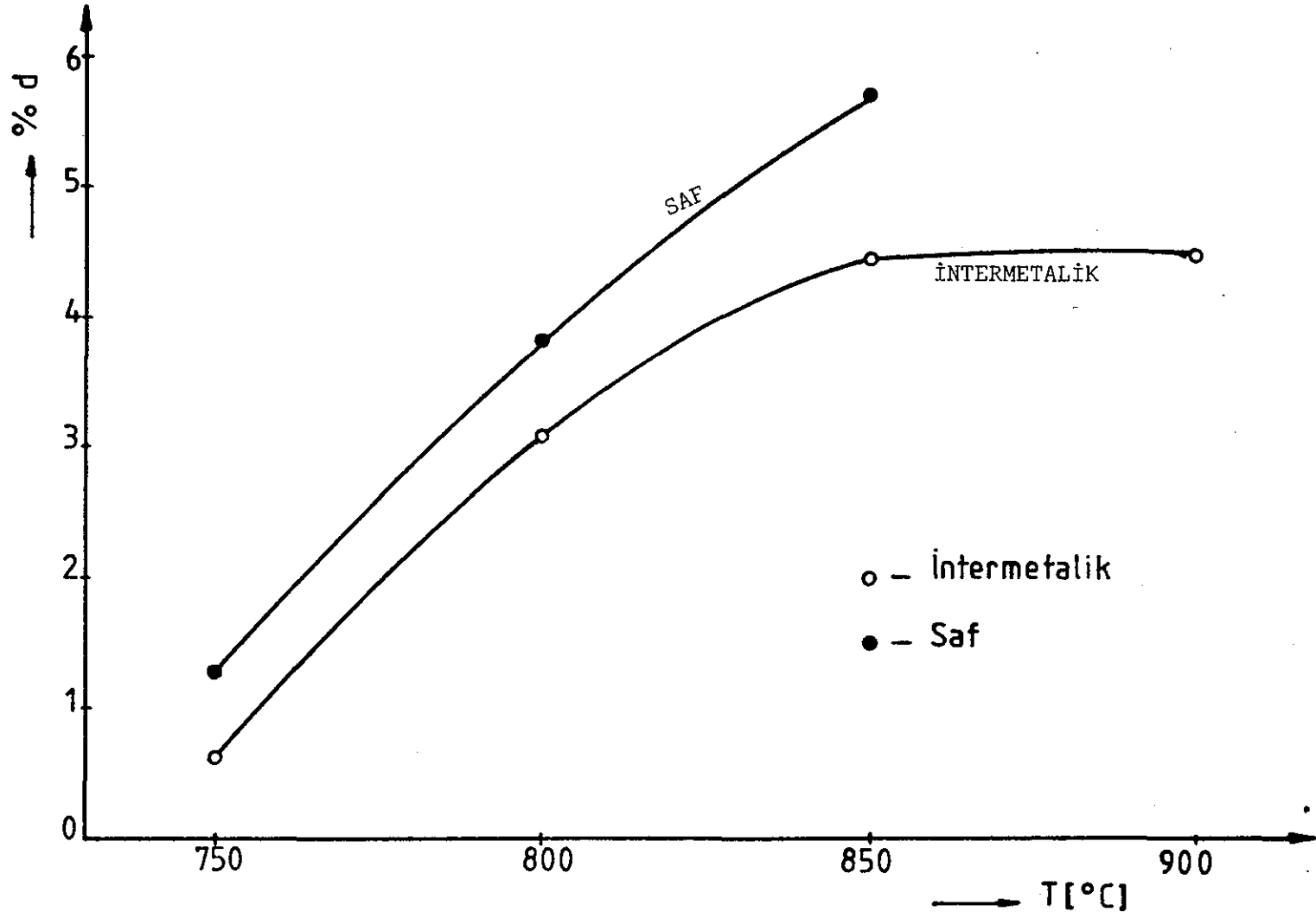
Uygulamada son zamanlarda ön alaşımlı bronz tozları kullanılmaktadır. Ancak bronz tozlarının sertliği saf bakırdan yüksek olduğundan presleme için daha yüksek basınçlar kullanılması gereklidir. Pres kapasitesinin sınırlı olması durumunda bu durum dezavantaj teşkil etmektedir. Bu çalışmada kullanılan intermetalik tozların sertliği bakırdan yüksek olmakla birlikte tozların yaklaşık % 90'ını teşkil eden bakır tozu yumuşak olduğundan sorun olmamaktadır. Sinterleme sıcaklığıyla çapta meydana gelen değişme oranı (genişleme) şekil 25'te görülmektedir. Saf metal tozları kullanılması durumunda çap değişmesi daha büyük olmaktadır. İntermetalik toz kullanıldığında ise çap değişim oranı daha düşük olmakta ve 850°C ile 900°C arasında yaklaşık olarak sabit kalmaktadır. Sinterleme sıcaklığının bu aralıkta seçilmesi durumunda boyutların daha hassas olarak elde edilmesinin mümkün olduğu anlaşılmaktadır. Çap değişimi, silindirik yataklarda pek sorun olmamakla birlikte küresel yataklarda sorun çıkarmaktadır.

Sinterleme Sıcaklığı °C	İNTERMETALİK (Cu/sn)						SAF (Sn)					
	h ₁ mm	h ₂ mm	h %	d ₁ mm	d ₂ mm	d %	h ₁ mm	h ₂ mm	h %	d ₁ mm	d ₂ mm	d %
750	12.9	13.0	0.775	15.7	15.8	0.637	9.7	9.8	1.031	15.7	15.9	1.274
800	12.0	12.3	2.5	15.7	16.2	3.185	11.7	12.1	3.419	15.7	16.3	3.821
850	12.0	12.3	2.5	15.7	16.4	4.458	11.5	11.0	-4.348	15.7	16.6	5.732
900	11.4	11.8	3.508	15.7	16.4	4.458	-	-	-	-	-	-

Tablo 7: 5 N/mm² de kompaktlanmış numunelerde, sinterleme sıcaklığına göre boyut değişimi.



Şekil 24: Sinterleme Sıcaklığıyla Boyut Değişimi (Yükseklik olarak)



Şekil 25: Sinterleme Sıcaklığıyla Boyut Değişimi (Çap olarak)

6.2.3. Sürtünme Katsayıları ve Aşınma Miktarları

Bu çalışmada üretilen gözenekli yatak malzemelerinin sürtünme katsayıları ve aşınma miktarları (6.1.8) ve (6.1.9)'da anlatıldığı gibi yapılmıştır. Bu çalışmalar ön çalışma niteliğinde olup üretilen iki tip yatak malzemesini karşılaştırma amacıyla yapılmıştır. Daha güvenilir sonuçlar alınabilmesi için daha kapsamlı deneylerin yapılması gerekmektedir. Örneğin bu çalışmada kullanılan yüzey basınçları bu tür yataklar için kaynaklarda verilen değerlerden daha yüksek alınmıştır. Çünkü bölümümüz Makina Elemanları Laboratuvarında daha önce Soydan /16/ tarafından kullanılan, deney cihazı kullanılmış olup yeni deney aleti yapma yoluna gidilmemiştir.

Sürtünme katsayıları ile ilgili bulgular tablo 8,9 ve Şekil 26 ve 27'de verilmiştir. Sürtünme katsayısı bir çok değişkene bağlı olarak farklı değerler göstermektedir. Bu çalışmada bulunan sürtünme katsayısı değerleri 0,05 ile 0,25 arasında değişmektedir. Genel olarak saf kalay tozu ile üretilen numunelerle, intermetalik toz kullanılarak hazırlanan numuneler arasında çok belirgin bir fark görülememiştir. Genel olarak yüzey basıncı arttıkça sürtünme katsayısı artmaktadır.

Değişik yüzey basınçlarında ve sabit kayma yolunda yapılan deneylere göre ağırlık kaybı ΔW 'nın değişiminde intermetalik numuneler, saf numunelere göre daha iyi sonuçlar vermişlerdir. Fakat daha güvenilir sonuçlar alabilmek için, daha uzun kayma yolunda deneylerin yapılması gerekir.

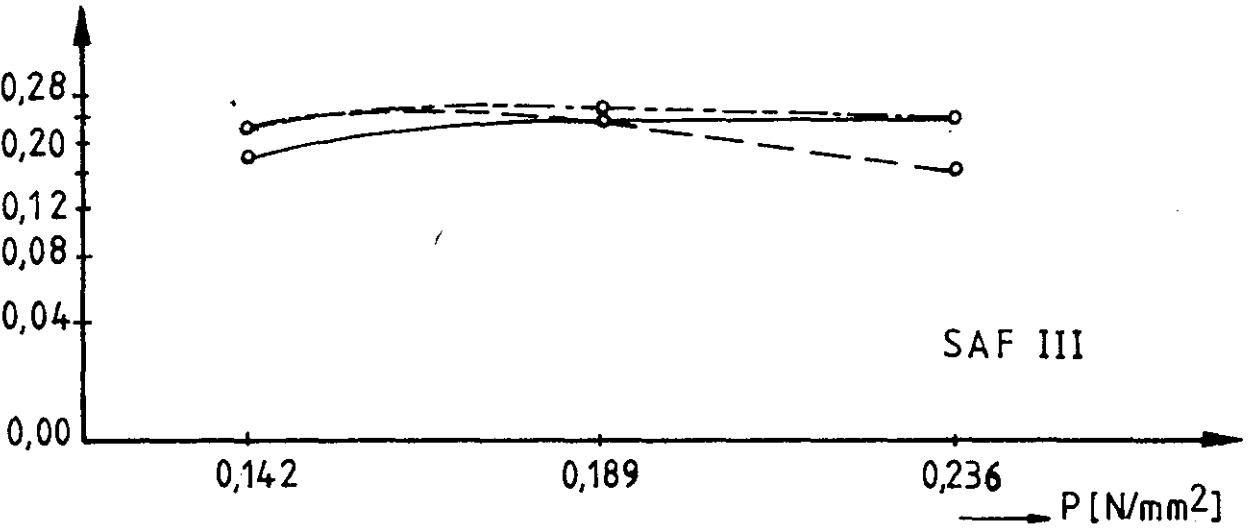
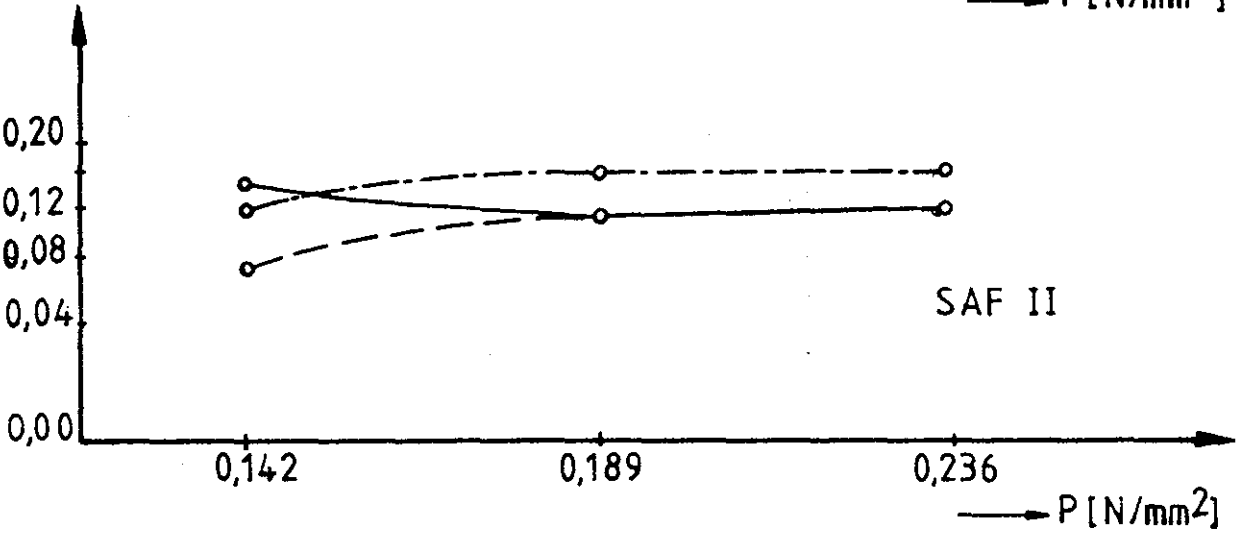
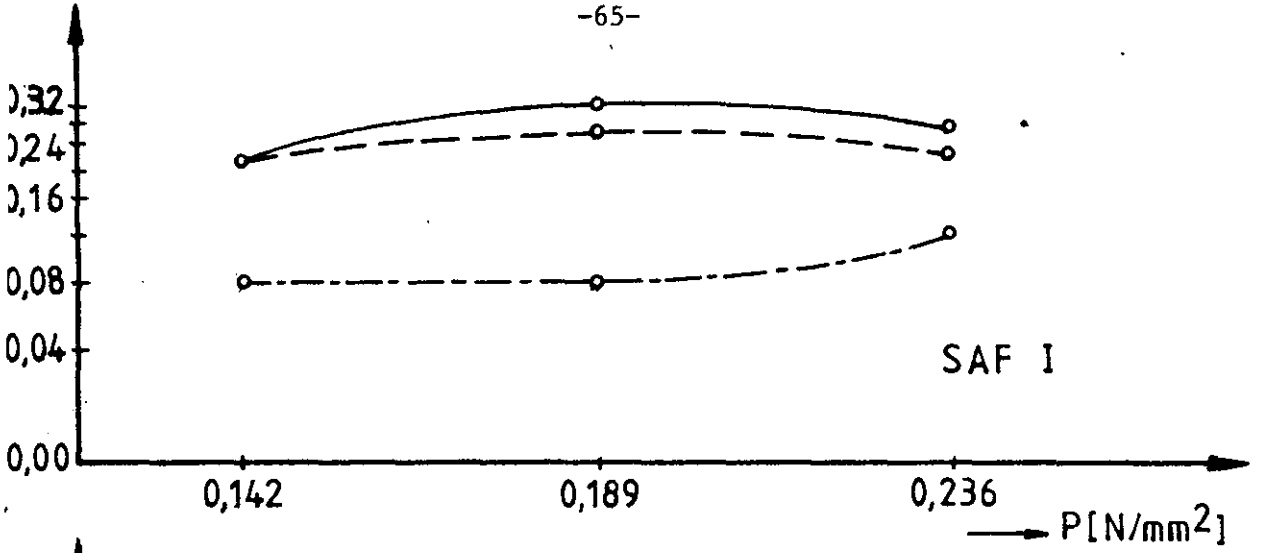
Aşınma ve sürtünme katsayısı deneylerinden intermetalik tozlarla hazırlanan numunelerin saf tozlarla hazırlanan numunelerden kötü olmadığı, hatta daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

MALZEME	V[m/s]	P[N/mm ²]	Sürtünme Katsayısı μ
İNERMETALİK I 150 [N/mm ²]	12.04	0.142	0.18
		0.189	0.22
		0.236	0.22
	15.70	0.142	0.15
		0.189	0.20
		0.236	0.22
	18.84	0.142	0.07
		0.189	0.145
		0.236	0.14
İNERMETALİK II 300 [N/mm ²]	12.04	0.142	0.18
		0.189	0.30
		0.236	0.25
	15.70	0.142	0.14
		0.189	0.17
		0.236	0.18
	18.84	0.142	0.25
		0.189	0.24
		0.236	0.25
İNERMETALİK III 500 [N/mm ²]	12.04	0.142	0.06
		0.189	0.12
		0.236	0.16
	15.70	0.142	0.07
		0.189	0.12
		0.236	0.18
	18.84	0.142	0.14
		0.189	0.145
		0.236	0.14

Tablo 8: İntermetalik Numunelerin Sürtünme Katsayıları

MALZEME	V[m/s]	P [N/mm ²]	Sürtünme Katsayısı μ
SAF I 150 [N/mm ²]	12.04	0.142	0.22
		0.189	0.32
		0.236	0.27
	15.70	0.142	0.22
		0.189	0.27
		0.236	0.22
	18.84	0.142	0.08
		0.189	0.08
		0.236	0.12
SAF II 300 [N/mm ²]	12.04	0.142	0.15
		0.189	0.12
		0.236	0.12
	15.70	0.142	0.07
		0.189	0.12
		0.236	0.12
	18.84	0.142	0.12
		0.189	0.16
		0.236	0.16
SAF III 500 [N/mm ²]	12.04	0.142	0.18
		0.189	0.24
		0.236	0.24
	15.70	0.142	0.22
		0.189	0.24
		0.236	0.16
	18.84	0.142	0.22
		0.189	0.25
		0.236	0.24

Tablo 9: Saf Kalay Tozu Karışımı İle Hazırlanan Numunelerin Sürtünme Katsayıları

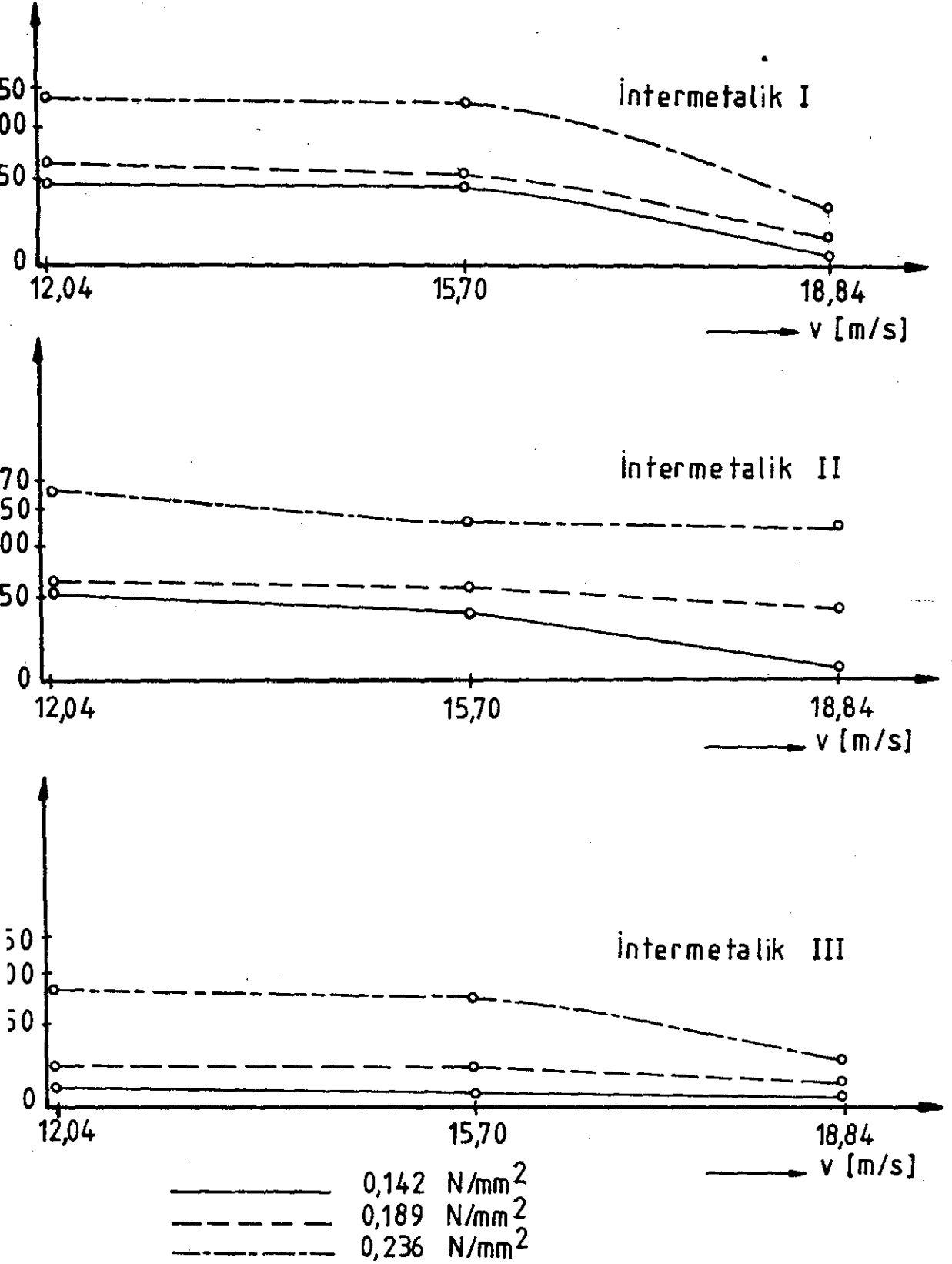


- 12,04 m/s
- - - 15,70 m/s
- · - · 18,84 m/s

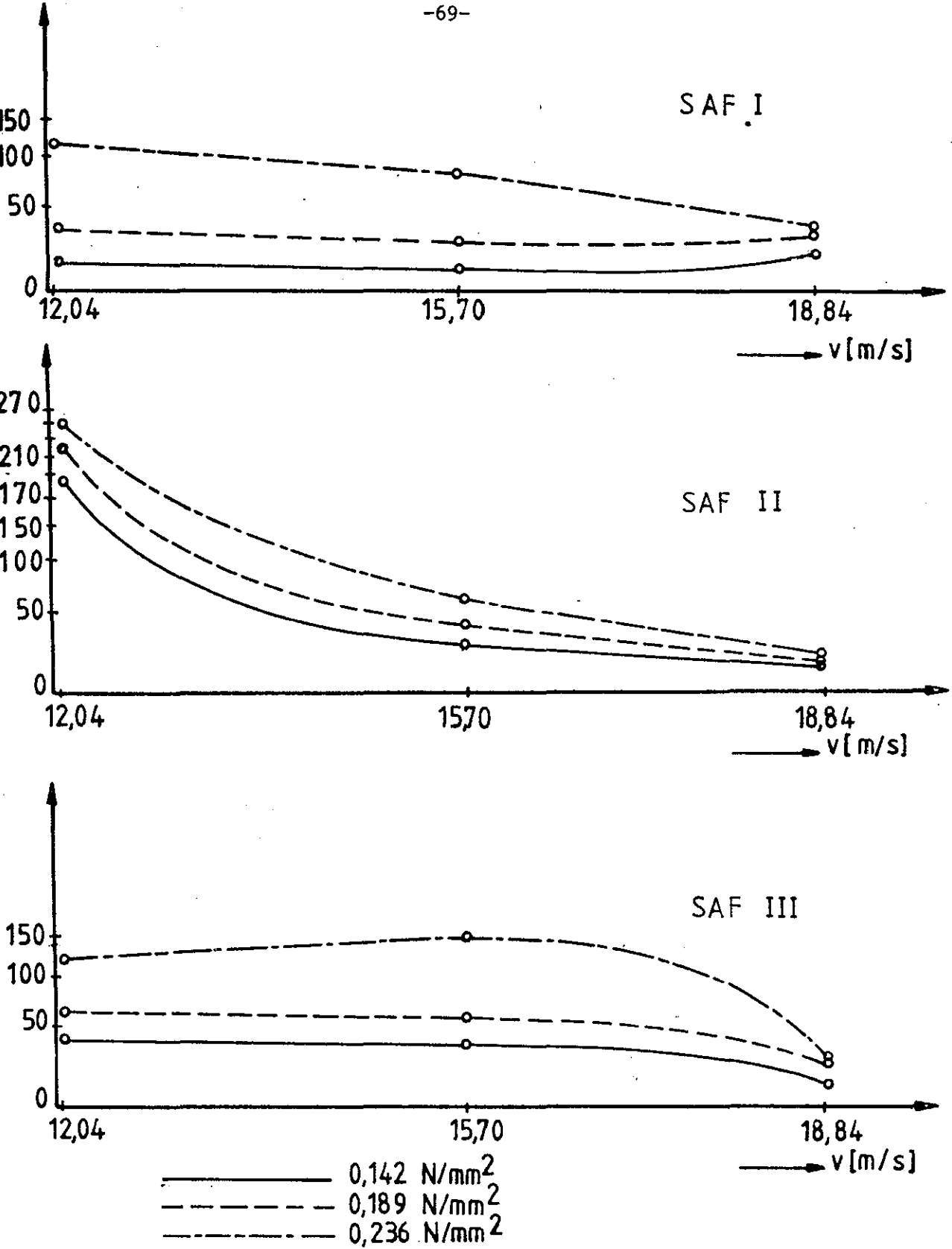
Şekil 27: Değişik Kayma Hızlarında Sürtünme Katsayısının Yüzey Basıncı ile Değişimi

MALZEME	V[m/s]	P[N/mm ²]	Aşınan Tabaka Ağırlığı ΔW[g]
SAF I 150 [N/mm ²]	12.04	0.142	0.01241
		0.189	0.03383
		0.236	0.11939
	15.70	0.142	0.00895
		0.189	0.02140
		0.236	0.07765
	18.84	0.142	0.0286
		0.189	0.01409
		0.236	0.03083
SAF II 300 [N/mm ²]	12.04	0.142	0.17656
		0.189	0.21297
		0.236	0.23844
	15.70	0.142	0.02264
		0.189	0.03692
		0.236	0.05536
	18.84	0.142	0.01243
		0.189	0.01756
		0.236	0.01946
SAF III 500 [N/mm ²]	12.04	0.142	0.03590
		0.189	0.05730
		0.236	0.11375
	15.70	0.142	0.03168
		0.189	0.05009
		0.236	0.14805
	18.84	0.142	0.00945
		0.189	0.20788
		0.236	0.22902

Tablo 11: Saf CuSnC Numunelerinin Aşınma Deneyleri Sonuçları



Şekil 29: Sabit kayma yolunda ($L = s_{bt} = 26$ km) ve yüzey basınçlarında ağırlık kaybı ΔW 'nin hıza bağlı olarak değişimi



Sekil 30: Sabit kayma yolunda ($L=sbt=26$ km) ve yüzey basınçlarında ağırlık kaybı ΔW 'nin hıza bağlı olarak değişimi

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada yapılan deney ve gözlemlerden aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir :

1. İntermetalik toz kullanılarak üretilen yatak malzemelerinin sertliği, saf kalay tozu kullanılarak üretilenlere oranla daha yüksek olmakta ve sertlik değişimine presleme basıncının etkisi daha az olmaktadır. İndirgeyici ortamda intermetalik toz kullanılarak üretilen yatak malzemelerinin sertliği ~56 BSD'ye kadar çıkmaktadır. Bu kadar yüksek sertlik değerine kaynaklarda rastlanmamıştır.

2. İntermetalik toz kullanılması durumunda gözenekler iç yapıda daha düzgün bir dağılım göstermekte ve yatak özelliğini çok kötü yönde etkileyen aşırı büyüklükte gözenekler oluşmamaktadır.

3. İntermetalik toz kullanılması durumunda aynı presleme basıncında açık gözeneklilik oranları nispeten düşük olmakla birlikte düşük ve yüksek presleme basınçlarında bulunan değerler birbirine çok yakındır.

4. Sinterleme sıcaklığıyla boyut değişimi incelemelerinde intermetalik toz kullanılması durumunda farklı değerler bulunmuştur. Buna göre saf kalay tozu kullanılması durumunda numuneler ~850°C'de tamamen deforme olurken intermetalik toz kullanılan numuneler 950°C'de bile şekillerini korumaktadırlar. Sinterleme işleminin uygulamada olduğu gibi 800°C'de yapılması halinde, intermetalik toz kullanılması durumunda boyut değişimi daha az oranda olmaktadır.

5. İntermetalik toz kullanılması durumunda, saf kalay tozu kullanıldığında ısıtma sırasında oluşan, δ , γ , β fazlarının oluşma tehlikesi yoktur. Bu nedenle üretilen yatakların boyut kararlılığı daha üstün olacaktır.

6. İntermetalik tozların üretilmesi daha ucuz ve oksitlenmeye eğilimi daha azdır.

7. Yapılan sürtünme ve aşınma deneylerinde sürtünme katsayılarında pek belirgin bir farklılık gözlenememiştir. Fakat intermetalik tozla üretilen numunelerin aşınma oranlarının daha az olduğu görülmüştür.

8. KAYNAKÇA

- / 1 / Amstead,B.H. ; Oswald,F.P. , Begeman,M.C.,"Manufacturing Processes". Seventh Edition, John Wiley and Sons. 1972.
- / 2 / Avner,S.H., "Introduction to physical Metallurgy" Second Edition. Mc Graw-Hill. 1974, s.605.
- / 3 / Hausner,H.H. , Johnson,P.K. and Roll,R.H. "Friction and Antifriction Materials" Plenum Press. New York-London. 1970.
- / 4 / American Society for Metals: "Metals Handbook" 1948 ed, Metals Park, Ohio,1958.
- / 5 / Clark,L.P. "Powder Metallurgy Production Processes" AGARD Conference Proceedings No.200 S.S. 1-18.
- / 6 / AGARD Report No.627 "Advanced Manufacturing Methods and their Economic implications some pilot papers on Powder Metallurgy and Boining" Published March 1975, London.
- / 7 / Dowson, "Sintering of Bronze" Metal Powder Report 2 Feb. 1984 p.71-73
- / 8 / Peissker Mod Dev. in Powder Metallurgy 1974, Vol.7, pp.597-614.
- / 9 / Peissker,Metal Powder Report, 1983, Vol.38, No.5, pp.259-262.
- /10 / Berry, Powder Metallurgy, 1972, Vol.15, pp.247-266.
- /11 / Ersümer A. "Toz Metalurjisi" İ.T.Ü. Matbaası, Gümüşsuyu 1979.
- /12 / Turan Nilgün "Toz Metalurjisi Seminer Çalışması" Mayıs 1984 Trabzon.
- /13 / Sinterlenmiş Geçirgen Metal Malzeme-Yoğunluk ve Açık Gözenekliliğin Tayini 2305/Nisan 1976.

- / 14 / "Sinterlenmiş Geçirgen Metal Malzeme Yağ Miktarı Tayini"
TS 2309 / Nisan 1976.
- / 15 / "Toz Metalurjisi - Terimler"
TS 3087 / Nisan 1978.
- / 16 / Soydan Şeref, "Bazı Mühendislik Malzemelerinin Sürtünme Katsayıları ve Aşınma Oranlarının Belirlenmesi" Yüksek Lisans Tezi.
Mart 1986, Trabzon.
- / 17 / Özder Ferda, "Metallerarası Bileşiklerden Toz Üretimi ve Toz Metalurjisi Uygulamalarında Kullanılmasının İncelenmesi"
Mayıs 1985, Trabzon.
- / 18 / Broşür
Sinter Metal A.Ş. İstanbul.

