

1. Giriş

Toz metalurjisi (T/M), çeşitli metal işleme teknolojileri arasında en farklı üretim tekniğidir. Yüksek kaliteli ve karmaşık parçaların ekonomik olarak üretilebilmesi, toz metalurjisini cazip kılmaktadır. T/M farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliğine sahip metal tozlarını sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürür. Bu işlem; şekillendirme veya presleme ve daha sonra parçacıkların sinterlenme işlemlerini içerir.

T/M nispeten düşük enerji tüketimine, yüksek malzeme kullanımına ve düşük maliyete sahip otomatikleşmiş işlemleri verimli kullanır. Sahip olunan bu özellikler ile T/M verimlilik, enerji ve hammadde gibi işlem basamaklarını ortadan kaldırır. Bunların sonucu olarak, T/M konusu sürekli gelişmekte ve geleneksel metal şekillendirme yöntemlerinin yerini almaktadır.

1.2 Amaç

Otomotiv sektöründe en fazla kullanılan hareketli parçalardan birini oluşturan kamın aşınmaya maruz kalmasından, ağırlığın hafifletilmesi düşünülmüş, T/M yöntemi ile kam üretimine çalışılmıştır.

Kam hem aşınmayacak hem de aşındırmayacak özellikte olması istenmektedir. Bu nedenle çalışmada bu fikir ön plana çıkarılmıştır.

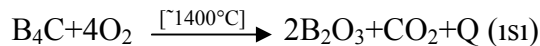
Otomotiv sektöründe kamın dışında da birçok makine parçaları örneğin, radyatör sistemindeki devir daim pompası, satrifuj pompalar, akışkan yataklar gibi aşınmayacak ve aşındırmayacak özellik aranmaktadır.

Bu çalışmalarda B₄C'ün aşındırmayan ve aşınmayan özelliklerinden yararlanıldı.

B₄C kristal yapısı rombohedral (rombohedral) yapıdadır. 20 eşkenar üçgen yüzeyin bir araya gelerek rombohedral (rombohedral) moleküllerden adeta küreye yakın kristal bir yapıya sahiptir. Bu sebepten köşelerin aşındırma özellikleri zayıftır. SiC ise aşındırıcılığı kristal yapısı dolayısıyla çok yüksektir.

Kam ve sızdırmazlık elemanlarında B₄C ideal bir kompozit malzeme vermesi kristal yapısından kaynaklanmaktadır.

B₄C bütün karbürlerde olduğu gibi 1400 °C'in civarında ısı açığa çıkararak yanmaktadır.

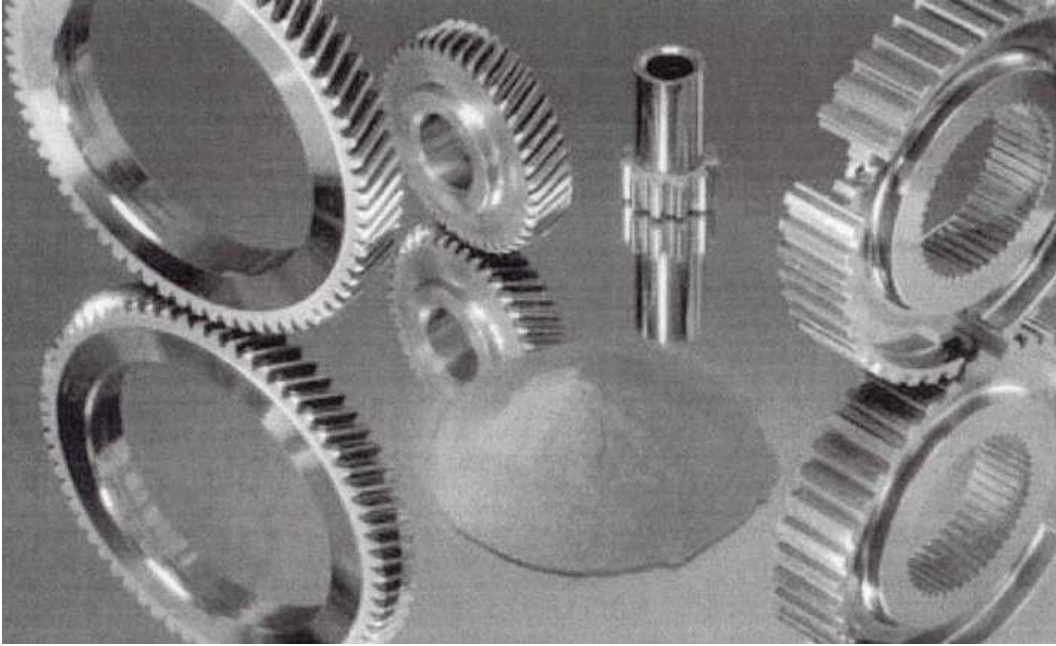


B₄C çıkış maddesi olacağından dolayı 1400°C sıcaklığın altında çalışarak kompozit malzemeler üretmek amaçlanmıştır. B₄C ile birlikte bağlayıcı olarak Fe ve Co tozları kullanılmıştır.

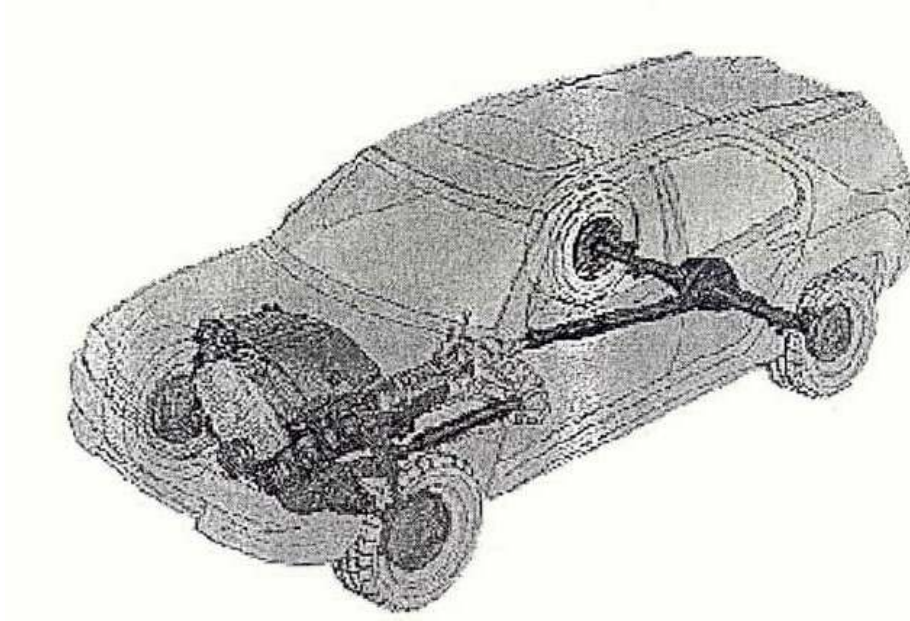
Bu çalışmada hem ucuz hem de iyi malzeme üretmek amaçların içindedir.

1.3. Toz Metalurjisinin Uygulama Alanları

T/M'nin uygulamaları oldukça geniştir. Tungsten lamba filamentleri, diş gereçleri, dişli çarklar (Şekil 1.1) , yağlamasız yataklar, elektrik kontakları, nükleer güç yakıt elemanları, ortopedik gereçler, ofis makineleri parçası, yüksek sıcaklık filtreleri, uçak fren balataları, akü elemanları, otomobil parçaları (Şekil 1.2.) ve jet motor parçaları metal tozlarından üretilen parçalara örnek olarak verilebilir. Ayrıca, metal tozları boyalar, gözenekli betonlar, basılmış devre levhaları, zenginleştirilmiş un, patlayıcılar, kaynak elektrotları, roket yakıtları, baskı mürekkepleri, lehimleme aletleri ve katalizörlerin üretilmesinde de kullanılmaktadır. T/M parçaların dünya genelindeki pazar payı Şekil 1.3' te verilmiştir. Bu pazarın %75'i otomotiv endüstrisi tarafından kullanılmaktadır. Avrupa yapımı arabalar 7 kg, Japon yapımı arabalar ise 5 kg T/M parçaya sahip olduğu halde, Amerikan arabaları 16 kg' dan daha fazla T/M parça içermektedir.

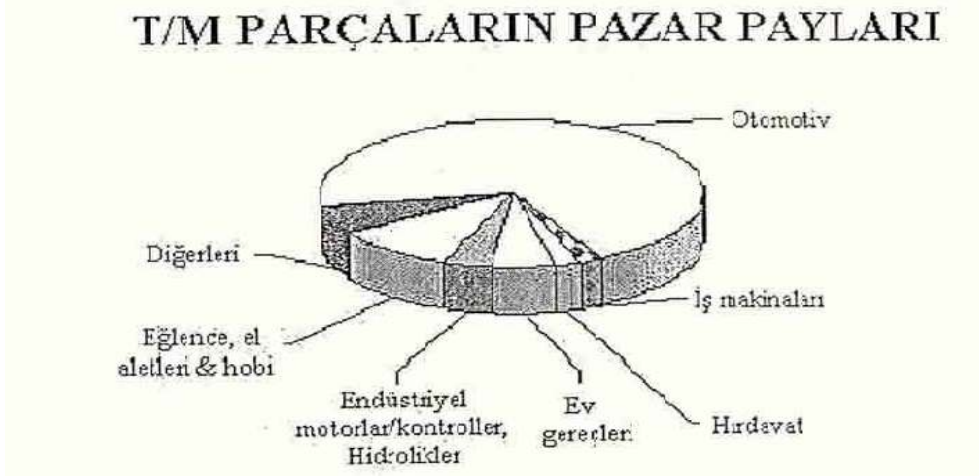


Şekil 1.1 Cu-Fe esaslı T/M ile üretilmiş dişli çarklar



Bir araba içindeki T/M parçalarının dağılımı

Şekil 1.2 T/M nin otomotiv sektöründe kullanılan bölümleri



Şekil 1.3 T/M ürün yelpazesinin gösterimi

Bazı toz metalurjisi üzerine yapılan çalışmalardan bir kısmı incelenmiş ve T/M yöntemi ile üretilen parçaların kullanım alanlarının giderek genişlediği gözlemlenmiştir.

Göktaş (1995) , alüminyum ve borkarbür bazlı kompozitlerin sinterlenmesi ve karakterizasyonu incelenmiştir. Bu çalışmada her iki malzemenin de sinterleme esnasındaki davranışları ortaya konulmuştur.

Selçuk ve arkadaşları (2002) , borkarbürün seramik tozu ile şekillendirilmesi ve karakterizasyonu incelenmiştir. Çalışmada farklı kimyasal kompozisyonda sabit basınç altında borkarbür ve seramik tozları sıkıştırılarak sinterleme çalışmaları yapılmış ve numunelerin yoğunlukları, sertlikleri incelenmiştir.

Savvakın ve arkadaşları (1995) , bornitrürle seramik tabanlı grafit benzeri tozların basınç altında deformasyonları incelenmiştir

Shtern, ve arkadaşları (2001) , sonlu elemanlar yöntemiyle mekanik modellemede tozların davranış hassasiyeti sayısal koddan incelenmiştir. Özel sınır koşulları ile toz metalurjisi kıyaslanmıştır

Kulkarni ve arkadaşları (2003) , bakır, çinko, alüminyum' dan üretilmiş kompozit malzemenin tormalama bıçaklarında kullanıldığında sertliğinin incelenmesi yapılmıştır.

Yılmaz ve arkadaşları (2007) , borlama ve bilyalı dövmenin demir esaslı toz metalurji malzemesinde yorulma davranış etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Her iki metodla yapılan üretimin işlem yapılmadan üretilen numunelere göre daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Ademdir ve arkadaşları (1990) , ileri teknoloji seramiklerden borkarbür elde edilmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır.

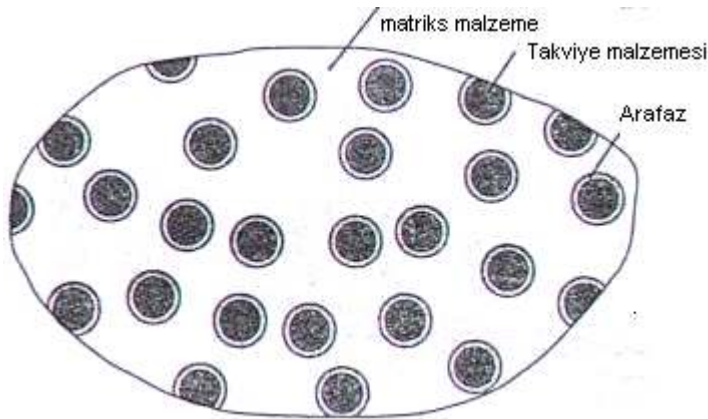
Bu ve benzeri daha birçok çalışmalar toz metalurjisi üzerine yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Burada sadece bir kısım çalışmalardan kısa örneklemler yapılmıştır.

KOMPOZİT MALZEMELER

2.1.Giriş

İki ya da daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzeme toplamak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmesi ile elde edilen malzemelere kompozit malzemeler denir (Şahin,2000) .

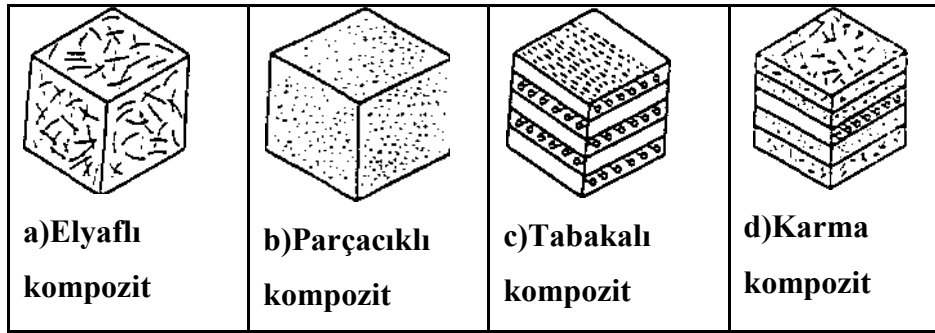
Kompozit malzemeler genellikle matriks adı verilen ana faz ile fiber olarak adlandırılan ikincil fazların istenilen oranda ve tertipte fiziki karışımı ile üretilirler. Bu iki malzeme gurubundan çekirdek olarak kullanılan fiber malzeme, kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini sağlamaktadır. Matriks malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir. Ayrıca matriks olarak kullanılan malzemenin bir amacı da fiber malzemeleri yük altında bir arada tutabilmek ve yükü lifler arasında homojen olarak dağıtmaktır. Böylelikle fiber malzemelerde plastik deformasyon gerçekleştiğinde ortaya çıkacak çatlak ilerlemesi olayının önüne geçilmiş olmaktadır (Tanır, 1997) . Şekil 2.1’de kompozit malzemenin fazları görülmektedir.



Şekil 2.1. Kompozit malzemenin fazları (Daniel, 1994).

2.2 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Yapılarında çok sayıda farklı malzeme kullanılabilen kompozitlerin gruplandırılmasında kesin sınırlar çizmek mümkün olmamakla birlikte, yapıdaki malzemelerin formuna göre bir sınıflama yapmak mümkündür. Bu sınıflama şekli aşağıda verilmektedir.



Şekil 2.2 Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

a) Elyafli Kompozitler: Bu kompozit tipi ince elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelmiştir. Elyafın matris içindeki yerleşimi kompozit yapının mukavemetini etkileyen önemli bir unsurdur. Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, elyaflara dik doğrultuda oldukça düşük mukavemet elde edilir. İki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyeleriyle her iki yönde de eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaflarla ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür.

Elyafın mukavemeti kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir. Ayrıca, elyafların uzunluk/çap oranı arttıkça matris tarafından elyaflara iletilen yük miktarı artmaktadır. Elyaf yapının hatasız olması da mukavemet açısından çok önemlidir.

Kompozit yapının mukavemetinde önemli olan diğer bir unsur ise elyaf matris arasındaki bağın yapısıdır. Matris yapıda boşluklar söz konusu ise elyaflarla temas azalacaktır. Nem absorpsiyonu da elyaf ile matris arasındaki bağı bozan olumsuz bir özelliktir.

b) Parçacıklı Kompozitler: Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilirler. İzotrop yapılardır. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın tip plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar ısı ve elektriksel iletkenlik sağlar. Metal matris içinde

seramik parçacıklar içeren yapıların, sertlikleri ve yüksek sıcaklık dayanımları yüksektir. Uçak motor parçalarının üretiminde tercih edilmektedirler.

c) Tabakalı Kompozitler: Tabakalı kompozit yapı, en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan tiptir. Farklı elyaf yönlendirmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isıya ve neme dayanıklı yapılardır. Metallere göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Sürekli elyaf taviyeli tabakalı kompozitler uçak yapılarında, kanat ve kuyruk grubunda yüzey kaplama malzemesi olarak çok yaygın bir kullanıma sahiptirler.

Ayrıca, uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanı olan sandviç yapılar da tabakalı kompozit malzeme örneğidirler. Sandviç yapılar, yük taşımayarak sadece izolasyon özelliğine sahip olan düşük yoğunluklu bir çekirdek malzemenin alt ve üst yüzeylerine mukavemetli levhaların yapıştırılması ile elde edilirler.

d) Karma (Hibrid) Kompozitler : Aynı kompozit yapıda iki yada daha fazla elyaf çeşidinin bulunması olasıdır. Bu tip kompozitlere hibrid kompozitler denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örneğin, kevlar ucuz ve tok bir elyafdır ancak basma mukavemeti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma mukavemeti olan bir elyafdır. Bu iki elyafın kompozit yapısında hibrid kompozitin tokluğu grafit kompozitden iyi, maliyeti düşük ve basma mukavemetide kevlar elyafı kompozitden daha yüksek olmaktadır

Kompozit malzemeler kullanılan takviye elemanının şekline göre beş sınıfa ayrılabilir. Bunlar partikül takviyeli, fiber takviyeli, levhasal, tabakalı ve doldurulmuş kompozit malzemelerdir. Şekil 2.2'de kompozit malzemelerin takviye elemanının şekline göre sınıflandırılması örnek mikroyapı resimleri ile birlikte gösterilmiştir.

2.2.a) Partikül Takviyeli Kompozitler: Bu tip kompozitler, makroskobik veya mikroskobik partiküllerin matriks ile oluşturdukları malzemelerdir. Ortalama gömülen parçacık boyutu 1 mm' den büyük ve takviye hacim oranı genelde % 50'den fazla kullanılmamaktadır.

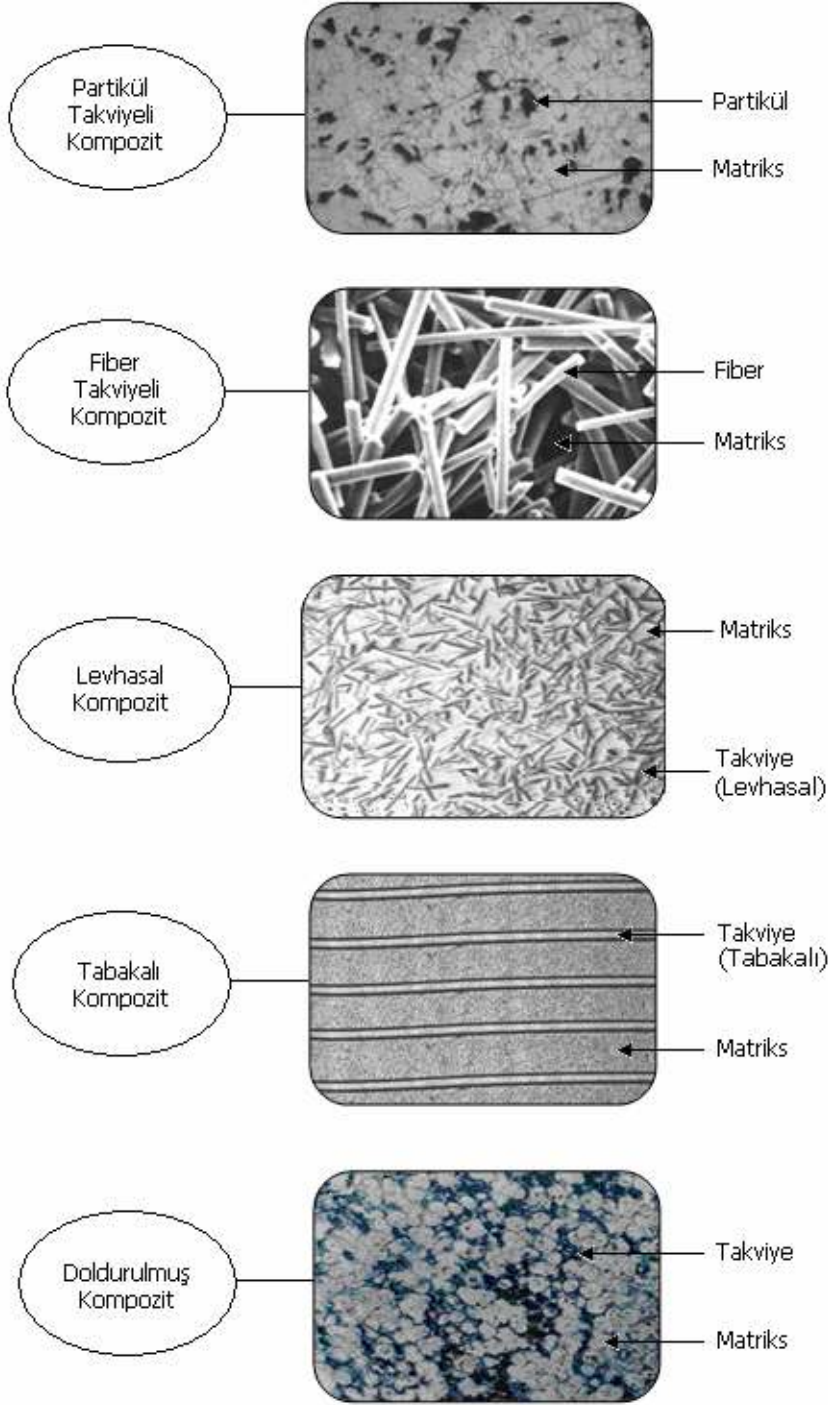
2.2.b) Fiber Takviyeli Kompozitler: Bu tür malzemelerde, matriks kompozite gelen yükü fibere iletir, yükün çoğu fiber tarafından taşınır ve özellikleri anizotropiktir. Fiber formları; örgülü, şerit fitil veya tabakalar halinde yönlü olarak kullanılır.

2.2.c) Levhasal Kompozitler: Matriks fazı içindeki levha şekilli takviye elemanlarından oluşan kompozitlerdir. Al-grafit sistemi levhalar; pullar, cam, mika ve metal olabilir. En çok bilinen metal levhalar AIB2 ve Be levhalardır.

2.2.d) Tabakalı Kompozitler: Bu tür kompozitler farklı bileşenli plakaların sandviç (üst üste) şeklinde birleştirilmesiyle elde edilir. Bu kompozitler, matriks içerisine rasgele yönlendirilmiş, tek yönlü veya çift yönlü fiber takviyeli tabakalardan oluşmaktadır.

2.2.e) Doldurulmuş Kompozitler: Sürekli bir iskelet yapıya sahip takviye malzemesi formunun matriks bir malzeme ile doldurulmasından üretilen kompozitlerdir. Matriks malzemesinin daha önceden hazırlanmış preform (köpük) yapıya basınçlı, basınçsız ya da döküm yoluyla emdirilmesi ile elde edilir.

(www.ugursoy.sakarya.edu.tr)



Şekil 2.3 Kompozit malzemelerin takviye elemanının şekline göre sınıflandırılması

2.3 Kompozitlerin Üretim Amaçları:

- Mukavemeti arttırmak
- Yorulma dayanımı arttırmak
- Aşınma dayanımını arttırmak
- Korozyon dayanımını arttırmak
- Kırılma tokluğunu arttırmak
- Yüksek sıcaklıklardaki özellikleri iyileştirmek
- Isıl iletkenliği arttırmak
- Elektrik iletkenliğini arttırmak
- Akustik özelliği iyileştirmek
- Rijitliği arttırmak
- Ağırlığı azaltmak
- Estetik çekicilik kazandırmak

Hiç kuşkusuz tüm bu özelliklerin aynı anda elde edilmesi olanaklı değildir. Kullanım yerine göre tasarımın gerektirdiği istekler sağlanmalıdır.

2.4 Kompozit Malzeme Türleri

Kompozit malzemeler üçe ayrılır;

- Polimer kompozitler
- Metal kompozitler
- Seramik kompozitler

2.5 Kompozit Malzemelerin Özellikleri

1-Hafiflik: Polimer kompozitler genelde $1,5 - 2 \text{ gr / cm}^3$ yoğunluğundadır. Metal kompozitler, $2,5 - 4,5 \text{ gr / cm}^3$ olmakla beraber özelliklerde sıçrama görülebilir. Seramik kompozitler ise ikisi arasındadır.

2-Rijitlik ve Boyut Kararsızlığı: Genleşme katsayıları nispeten düşük olup sert, sağlam bir yapı ve büyük bir boyut kararsızlığı gösterir.

3-Yüksek Mekanik Özellikler: Çekme, basma, darbe, yorulma dayanımları çok yüksektir.

4-Yüksek Kimyasal Direnç: Kompozitler birçok kimyasal maddelere, bu arada asitler, alkaliler, çözücüler ve açık hava şartlarına karşı son derece direnç gösterirler. Kimya tesisleri için çok kullanılan malzemelerdir.

5-Yüksek Isı Dayanımı: Kompozitlerin ısı dayanımı sıradan plastiklere göre yüksektir.

6-Elektriksel Özellikler: Elektriksel özellikler kompozitlerde isteğe göre ayarlanabilir. Metal Matrisli Birleşik Malzemeler (MMC)' ler iletkenlerdir (<http://www.teknolojikaestirmalar.com>).

2.5.1. Metal Kompozitler (Metal matrisli birleşik malzemeler MMC):

Bir metalik fazın bazı takviye malzemeleri ile eritme vakum emdirme, sıcak presleme ve difzyon kaynağı gibi ileri teknikler uygulanarak MMC' ler elde edilirler. MMC ler daha çok uzay ve havacılık alanlarında, mesela uzay teleskobu, platform taşıyıcı parçalar, uzay haberleşme cihazlarının reflektör ve destek parçaları vs. yerlerde kullanılır (<http://www.teknolojikaestirmalar.com>).

2.5.2. Seramik Kompozitler (Seramik matrisli birleşik malzemeler CMC):

Bu amaçla yapısal ve fonksiyonel nitelikli yüksek teknoloji seramikleri kullanılmaktadır. Başlıcaları Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 , B_4C , CbN, TiC, TiB, TiN, AlN' dir. Bu bileşikler değişik yapılarda olup amaca göre bir ya da bir kaç bir arada kullanılarak CMC' ler elde edilir. Sandviç zırhlar, çeşitli askeri amaçlı parçalar imali ile uzay araçları bu ürünlerin başlıca kullanım yerleridir (www.teknolojikaestirmalar.com).

2.6 Kompozitlerin Sınıflandırılması

2.6.1 Plastik – Metal Fiber Kompozitler

Endüstride çok kullanılan bir tür olan metal fiber takviyeli plastikten oluşan kompozitler oldukça mukavemetli ve hafif bir ürün olarak karşımıza çıkmaktadır.

Cam fiber ile takviye edilmiş termoset plastikler ancak fiberlerin düzgün oryantasyonu ile yüksek mukavemete ulaşabilirler. Cam elyafı kompozitler ise büyük kuvvetleri nakletmelerine karşılık camın çok kırılğan olmasından dolayı çok düşük dirençlidirler. Fakat plastik içine gömülmüş metal fiberler bütün bu aksaklıkları ortadan kaldırır.

Bu kompozitler, metal fiberlerin (bakır, bronz, alüminyum, çelik, vs...) polietilen ve polipropilen plastiklerini takviyelendirmesi amacı ile elde edilmekte ve kullanılmaktadır. Özellikle deformasyon yönünde takviyelendirme yaygın olarak kullanılmakta ve iyi bir verim alınmaktadır (Tanır,1997) .

2.6.2 Metal Matriksli Kompozitler:

Metallerin ve metal alaşımların birçoğu, yüksek sıcaklıkta bazı özellikleri sağlamalarına rağmen kırılğan olmaktadır. Fakat metalik fiberler ile takviye edilmiş metal matriksli kompozitler, her iki fazın uyumlu çalışması ile yüksek sıcaklıkta da yüksek mukavemet özelliklerini vermektedirler.

Bakır ve alüminyum matriksli, volfran veya molibden fiberli kompozitler ve Al-Cu kompoziti, bize bu kompozisyonu veren en iyi örneklerdir. Bu tip kompozitler, matriksin özelliklerini iyileştirdiği gibi bu özelliklere daha ekonomik olarak ulaşmasını sağlamaktadır. Fiberlerin, malzemeyi kuvvetlendirme derecesi, yüzeysel bozuklukların olmayışına bağlıdır. Böylece teorik duruma yaklaşılabilir. Fiberlerin çaplarına matriksle olan adezyon kuvvetinin niteliğine bağlı olarak belli bir kritik uzunluktan daha kısa olmamalıdır.

Bu kompozitlerde metal matriks içine gömülen ikinci faz, sürekli lifler şeklinde olabildiği gibi gelişigüzel olarak dağıtılmış küçük parçacıklar halinde de olabilir (Tanır,1997).

2.6.3 Seramik kompozitler

Metal veya metal olmayan malzemelerin birleşiminden oluşan seramik kompozitler yüksek sıcaklıklara karşı çok iyi bir dayanım göstermekle birlikte, rijit ve gevrek bir yapıya sahiptirler, ayrıca elektriksel olarak çok iyi bir yalıtkanlık özelliği de gösterirler.

Üç ayrı grupta toplanılan seramik kompozitler şu şekilde sıralanabilirler.

a) Seramik-Cam Sistemi: Yaşamımızın her alanında kullanılan porselen, bir seramik cam kompozittir. Kuartz fiberlerin bir cam matriks içerisine çini ile hamurlanıp yerleştirilmesi ile oluşmuştur.

b) Seramik- Seramik Sistemi: İki seramik fazın karışımından oluşmaktadır(Saf çini gibi).

c) Seramik- Metal Sistemi: Bu tür kompozitler, çok fazlı bir yapıya sahiptirler. Bir metal faz, bir seramik fazı, bir gözenek fazı ve daha çok karmaşık formlarda seramik ve metalin ilave fazlarından meydana gelmiştir.

Endüstride kullanılan ve elmas olarak adlandırılan kesme aleti buna örnektir. Bir kobalt matriks içine dağıtılmış tungsten karpit parçalarından oluşan bu kompozit malzeme büyük bir dayanım sağlamaktadır (Tanır,1997).

TOZ METALURJİSİ

3.1 Giriş

Toz metalurjisi çok küçük partüküllerin birbirine bağlayarak parça haline getirme işlemidir. Daha geniş bir ifadeyle toz metalurjisi, toz şeklindeki malzemelerin preslenmesi ve takiben yüksek sıcaklıkta sinterlenmesi ile parça imalatını kapsamaktadır. İnce partikül şeklindeki saf metaller, alaşımlar, karbon, seramik ve plastik malzemeler birbirleri ile karıştırılarak basınç altında şekillendirilirler. Daha sonra bu parçalar ana bileşenin ergime sıcaklığının altında bir sıcaklıkta sinterlenerek partüküllerin temas yüzeyleri arasında kuvvetli bir bağ oluşturulur ve böylece istenilen özellikler elde edilir. Toz metalurjisi küçük, karmaşık ve boyutsal hassasiyeti yüksek parçaların seri imalatına son derece uygundur. Malzeme kaybı çok azdır, belirli derecede porozite'ye (gözenek) izin verilir.



Şekil 3.1 Çeşitli T/M ürünlerinden bir kısım

Milattan önce 3000 yıllarında Mısır'da toz metalurjisi ile üretilmiş küçük parçalara rastlanmasına rağmen, ilk önemli kullanım 1920 yılında tungsten-karbür kesici takımların üretimi şeklinde gerçekleşmiştir. Modern anlamda yeni bir parça üretim tekniği olarak teknolojiye yerini ikinci dünya savaşından sonra almıştır (Sarıtaş,2003).

Toz metalurjisinin önemi; döküm, talaşlı işlem veya plastik deformasyonla şekillendirilmesi oldukça zor veya imkânsız olan aşağıda örnekleri verilen sinter

alaşımlarının bu yöntemle kolaylıkla ve ekonomik bir Şekilde maml haline getirilmesinden kaynaklanmaktadır.

Toz metalurjisi ile maml haline getirilen malzemeler Őunlardır:

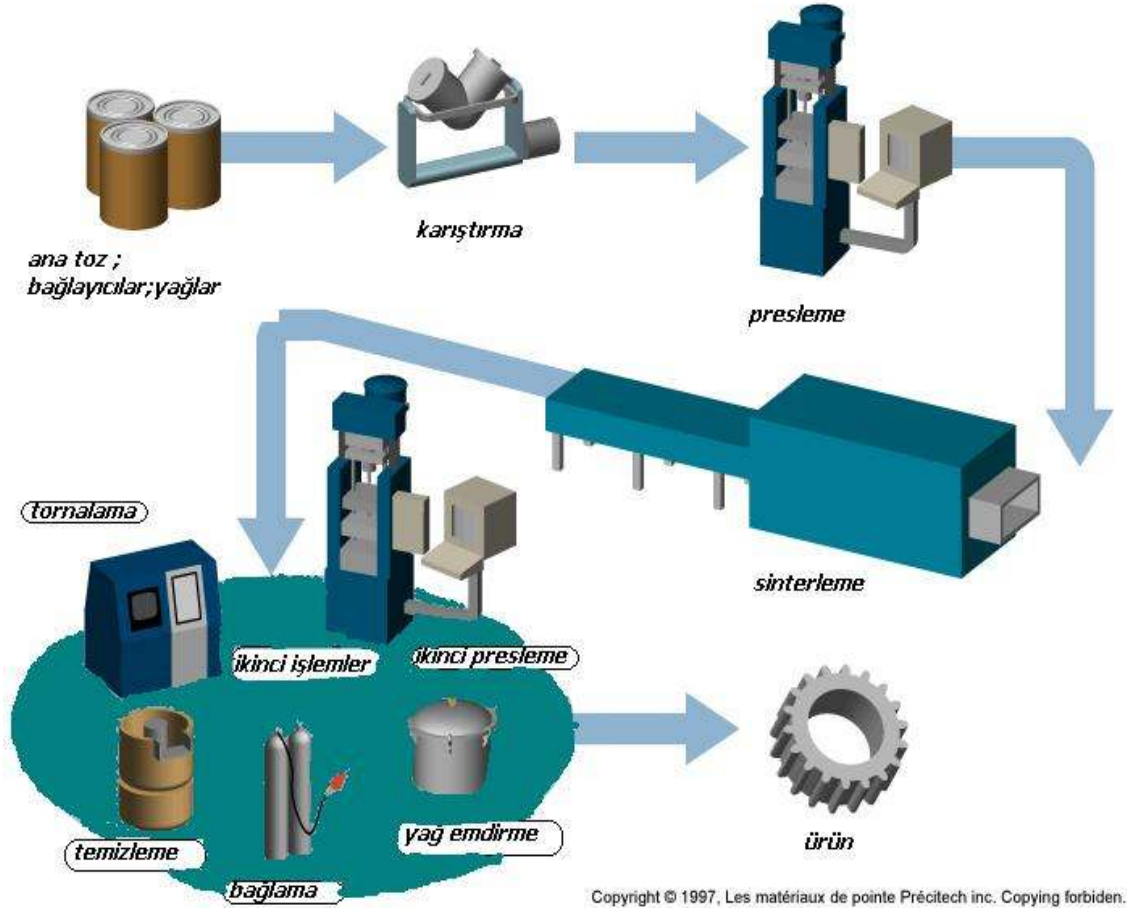
- 1- Yüksek sıcaklıĝa dayanıklı sünek hale getirilmiş refrakter metal ve alaşımları.
- 2- Diş dolgu amalgamlarında kullanılan plastik metallere.
- 3- Metallik karbürlere, metal matrisli sert ve tok alaşımlar (**WC-CO, TiC-Ni -Cr, TaC-Ni-Fe vb.)**



Şekil 3.2 Cu-Fe esaslı T/M rnleri

3.2 Toz Metalurjisi İŐlemlerinin Adımları

- Toz retimi
- Karıştırma veya harmanlama
- Presleme
- Sinterleme



Şekil 3.3 T/M işlem sırası

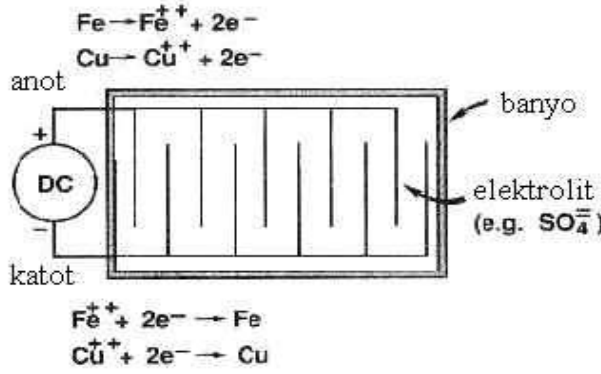
3.3 Toz Üretimi

- Atomizasyon
- Üretim metalurjisi teknikleri (hidro, piro ve elektro metalurji)
- Buhar fazında yoğunlaştırma
- Fiber üretimi, ergiyik döndürme ve hadde döküm yöntemleri
- Mekanik yöntemler

Hemen hemen bütün malzemeler toz haline getirilebilir, fakat tozları üretmek için seçilen metotlar malzeme özelliklerine bağlıdır. Öğütme, elektroliz, kimyasal indirgeme ve atomizasyon dört ana toz üretim metodudur. Bu üretim metotlarına ilave olarak, bazı seçilmiş malzemeler için özel toz üretim teknikleri de kullanılır. Endüstride kullanılan tozların % 60'dan fazlası atomizasyon yöntemi ile üretilmektedir (Saritaş, 2003).

3.3.1 Elektroliz

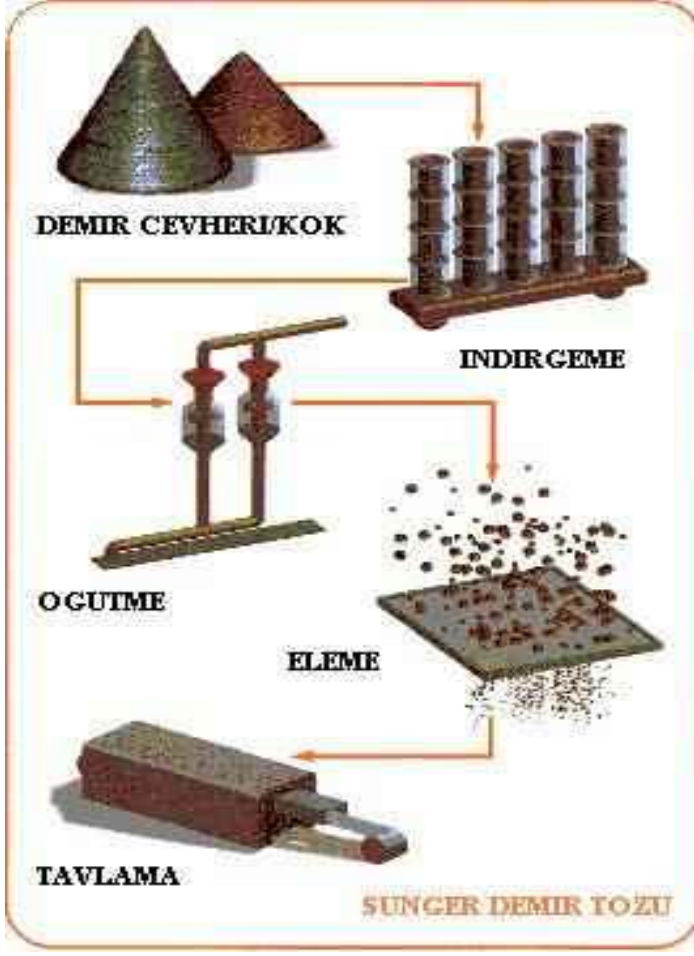
Elektrolitin kimyasal bileşimi ve mukavemeti, sıcaklık, akım yoğunluğu gibi şartları uygunca seçerek, birçok metal sünger veya toz durumunda katot üzerinde biriktirilebilir. Daha sonraki işlemler olarak, yıkama, kurutma, indirgeme, tavlama ve öğütme gerekli olabilir. Bu yöntemle üretilen metallerin başında bakır gelir, aynı zamanda krom ve magnezyum da bu yöntemle üretilir. Elektrolitik tozlar çok saftırlar (Saritaş, 2003).



Şekil 3.4 Elektrolizin şematik gösterimi

3.3.2 Kimyasal İndirgeme

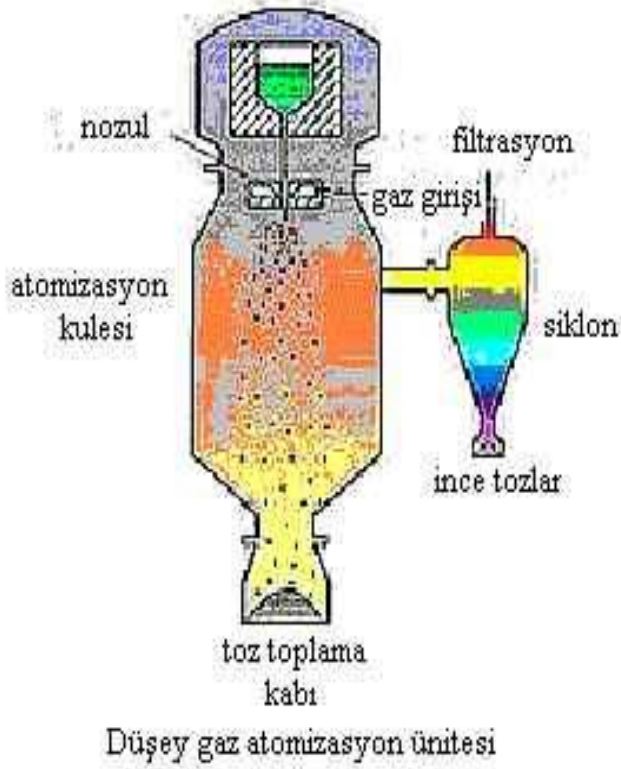
Demir tozlarının üretiminde bu metot çok kullanılmaktadır. Bu yöntemde seçilen cevher öğütülür, kokla karıştırılır, karışım indirgemenin olduğu sürekli fırından geçirilir ve kek şeklinde sünger demir elde edilir. Sünger demir daha sonra öğütülür, metalik olmayan malzemelerden ayrılır ve elenir. Tozların saflığı ham malzemelere bağlıdır. Düzensiz süngerimsi tanecikler yumuşaktır ve kolayca preslenebilir ve böylece ham mukavemeti iyi olan ürünler oluşur. Benzeri şekilde refrakter metaller de oksitlerinin hidrojenle indirgenmesiyle üretilirler



Şekil 3.5 Kimyasal indirgemenin resmi

3.3.3 Atomizasyon

Bu işlemden ergimiş metal küçük damlacıklara parçalanır ve damlacıklar birbirleri ile veya katı yüzeyle temasa geçmeden hızlıca soğutulur. Ana fikir, ergimiş metali yüksek enerjili gaz veya sıvı çarpmasına maruz bırakarak sıvı metali daha küçük parçalara ayırmaktır. Hava, azot ve argon en çok kullanılan gazlardır. Su ise sıvılar içinde en çok kullanılanıdır. Nozul'un tasarım ve geometrisi, atomize eden akışkanın basıncı ve hacmi, sıvı metalin akış çapı gibi birçok parametreyi değiştirerek toz boyutu dağılımını kontrol etmek mümkündür. Tanecik şekli ise katılma hızı ile belirlenir. Düşük soğutma kapasiteli gazlar için küresel şekilden, yüksek soğutma kapasiteli su için karmaşık şekle dönüşür.



Şekil 3.6 Atomizasyon işlemi

Genelde bu toz üretim metodu ergitilebilen tüm malzemeler için uygulanabilir ve ticari olarak demir, takım çelikleri, alaşımlı çelikler, bakır, pirinç, bronz, alüminyum, kalay, kurşun, çinko ve kadmiyum tozlarının üretilmesinde kullanılır. Krom içeren alaşımlar gibi kolayca oksitlenen metallerde atomizasyon argon gibi asal gazlar yardımıyla gerçekleştirilir. Atomizasyon, alaşımı oluşturan tüm metallerin ergimiş durumda tamamen alaşımlandığı için, özellikle alaşımların toz halinde üretilmesinde faydalı bir yöntemdir. Böylece her toz taneciği aynı kimyasal bileşime sahip olur.

Ayrıca, artan oranlarda uygulama alanı bulan diğer birçok atomizasyon yöntemleri vardır. Bunlardan en önemlisi santrifüj atomizasyonudur, ergimiş metalin damlacıkları yüksek hızda dönen bir diskten fırlatılırlar. İki çeşit santrifüj atomizasyonu vardır. Bunlardan birinde, bir kap içindeki ergiyik metal, ergiyik metalin damlacıklara ayrılması için, uygun bir hızda düşey eksen etrafında döndürülür veya bir metal demeti dönen bir disk veya koni üzerine akıtılır. Diğerinde ise, bir metal çubuk yüksek hızda döndürülür ve serbest uça elektron ışını veya plazma arkı vb. ile ergitilir. Bu ikinci tip işlem, Döner Elektrot Atomizasyonu olarak bilinir ve çubuk düşey veya yatay eksen

döndürülebilir. Bu uygulamanın önemli bir üstünlüğü, atmosfer kontrollü bir ortamda, hatta vakumda bile çalışılabilmesi, böylece çok reaktif olan metallere ait temiz tozlar üretmesidir (Saritaş, 2003).

3.3.4 Üretim Metalurjisi Yöntemleri

Bu grup yöntemlerde Fe, Cu, Mo ve W gibi metaller oksitli bileşiklerinden redükleme (indirgeme) ile elde edilirler.

Ni ve Fe kendi bileşiklerinin dekompozisyonuyla (yüksek sıcaklıkta bileşenlerin parçalanarak fiziksel ve kimyasal suyun uçurulması)Ti sıvı haldeki tuzun redüksiyonu ile Fe, Cu, Be elektrolizle ve Cu ve Ni kimyasal çözeltilerden sementasyon (çökeltme) yöntemiyle elde edilir.

3.3.5 Yoğunlaştırma İşlemi

Yoğunlaştırma işlemi çinko gibi elementler süblimasyonla buhar fazında üretilirler.

3.3.6 Fiber Üretimi, Ergiyik Döndürme Ve Hadde Döküm Yöntemleri

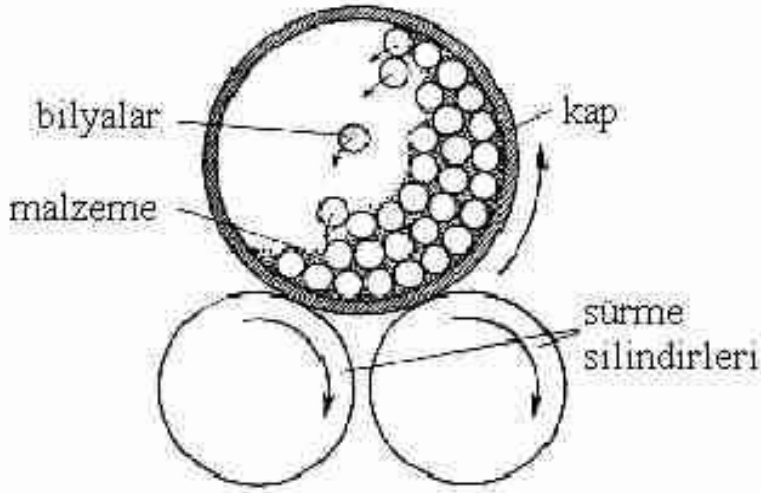
Bu grup yöntemlerden ergiyik döndürme operasyonunda ise sıvı iletkenliği yüksek bir metalden yapılmış dönen bir diske doğrudan çarptırılır ve 20–100µm kalınlığında ve sicim şeklinde ribon üretilir. Ribon üretimi aynı zamanda sıvı metalin hadde merdaneleri aralığına dökümüyle de gerçekleştirilebilir (Saritaş, 2003).

3.4 Mekanik Yöntemlerle Toz Hazırlama

- Merdaneli değirmende öğütme
- Bilyalı değirmende öğütme
- Titreşimli değirmende öğütme
- Çarpma ile öğütme
- Çubuklu değirmende öğütme
- Çekiçli kırıcı ile kırma öğütme
- Çarpma ile kırma öğütme
- Akışkan enerjisi ile öğütme

3.4.1 Öğütme

Metaller arası bileşikler, demir alaşımları, demir-krom, demirsilisyum v.b. gibi kırılğan malzemeler mekanik olarak şekil 3.7'deki bilyalı değirmenlerde öğütülürler. Fakat öğütme işlemi birçok sünek metal için uygun değildir; çünkü bu metaller kolayca kırılmazlar. Sünek tanecikler kırılma yerine birbirleri ile soğuk olarak kaynaklanır ve daha büyük tanecik oluştururlar. Günümüzde öğütme işlemi alüminyum gibi sünek metallere pul toz üretiminde de kullanılır. Bu durumda, soğuk kaynaklanmayı ve yapışmayı engellemek için yağlayıcılar kullanılır (Sarıtaş, 2003).



Şekil 3.7 Öğütme değirmeninin açık şekli

3.5 Metal Tozlarına Uygulanan Ön İşlemler

3.5.1 Metal Tozların Elek Analizi

Birçok metal tozu üretim prosesinde, en yakından kontrol edilmesi gereken, özellikle toz boyut dağılımıdır. Çünkü taşıma yoğunluğu, akışkanlık, birleştirilebilme özellikleri, sinterlenme oranı, boyutsal değişim ve mekanik mukavemet gibi tozun özellikleri kuvvetle tozun boyut dağılımına bağlıdır.

T/M sanayinde parçacık boyut dağılımında en yaygın kullanılan metot elemedir. Toz parçacıklar farklı aralıklardaki elek açıklıkları ile mekanik olarak sınıflandırılırlar. Elekler geçer-geçmez mastarı gibi görev yaparlar. Çizelge

3.1 'de elek açıklıkları ile bunlara bağlı toz boyutu arasındaki ilişki gösterilmektedir (Mastrangelo, 1984).

3.5.2 Tavlama

Metal tozlarının tavlama işlemi, en yaygın ısıl işlemlerden biridir. Birçok toz, üretim aşamasında, üretim yöntemine de bağlı olarak kirlenir. Karbon, oksijen ve azot gibi kirlilikler, ürünün sinterlenmemiş mukavemetini ve sıkıştırılabilirliğini olumsuz yönde etkiler. Metal tozlarına uygulanan tavlama işlemi ile hedeflenen, parçacıkların üzerindeki ince oksit film tabakasını ve nem almaktır (Mark, 1984).

3.5.3 Tozların harmanlanması ve ilk karıştırılması

Metal tozların harmanlanması, aynı nominal yapıdaki tozların birbirleriyle katıp karıştırılması olarak, ön karıştırma ise, iki veya daha çok komponentin karıştırılarak aynı özelliklerin hazırlanması olarak tarif edilebilir.

Tozu karakterize eden; akma oranı, taşıma yoğunluğu, kalıptan çıkamak için gerekli" güç, "kuru haldeki davranışı, sinterleme sonrası boyuttaki değişim, mekanik mukavemeti gibi birçok özellikler, ürünü meydana getiren karışımı oluşturan tozların tane boyutu ve yoğunluğundaki çok küçük değişimler bile malzemenin özelliklerini değiştirmektedir. Bu yüzden T/M parça üreticileri zamandan tasarruf sağlamak için farklı partilerde aynı kompozisyonlar verilmiş olsa bile tüm kontrollerin yeniden yapılmasını gerektirdiği için aynı partide maksimum ürünün üretilmesi hedeflenmektedir (Dotter, 1984).

Çizelge 3-1 Elek açıklıkları ve bunlara bağlı toz boyutları (Mastrangelo, 1984)

Elek Tanımlama		ABD Standardı Elek Açıklıkları		Tyler Standart Mesh No.
Mesh No.	µm	inch	mm	
80	177	0,0070	0,177	80
100	149	0,0059	0,149	100
120	125	0,0049	0,125	115
140	105	0,0041	0,105	150
170	88	0,0035	0,088	170
200	74	0,0029	0,074	200
230	63	0,0024	0,063	250
270	53	0,0021	0,053	270
325	44	0,0017	0,044	325
400	37	0,0015	0,037	400

3.5.4 Yağlama

Metalik tozlar, yağlayıcılar ve isteğe bağlı alaşım elementleri, homojen bir karışım elde etmek için karıştırılır. Karışım içerisine genellikle % 0,5- 1,5 arası yağlayıcı, eklenir. Metalik stearit ve parafin en çok kullanılan yağlayıcılardır. Yağlayıcı kullanmanın ana amacı, toz kütleleri ile takım yüzeyleri ve kalıp duvarları arasındaki sürtünmeyi azaltmak, tozların sıkıştırma esnasında kaymalarını sağlamaktır. Bunlar parçanın tabanından tavanına kadar düzgün bir yoğunluğun oluşmasına yardımcı olur (Anonim, 2005).

3.6 Metal Tozlara Uygulanan Testler Ve Karakterizasyonları

T/M ürünlerinin özellikleri; toz tanelerinin şekli, boyutu, bileşimi, yağlayıcı tipi, pres basıncı, sinterleme sıcaklığı ve süresi, bitirme işlemleri ve benzeri gibi çok sayıda

değişkene bağlı olduğundan özellikler hakkında genel bilgi vermek zordur. Ürünlerin yoğunlukları geniş bir aralıkta değişirken, çekme mukavemetleri 70 MPa ila 1250 MPa arasındadır. Genellikle mekanik özellikler yoğunluğa büyük bir bağımlılık göstermektedir; tokluk, süneklik ve sürünme direncinin bağımlılığı mukavemet ve sertlikten daha yüksektir. Düşük mukavemetli metallere üretilen T/M ürünlerin mekanik özellikleri dövme ürünlerinkine eşdeğerdir. Yüksek mukavemetli toz eldesi için ilave edilen alaşım elementi oranı kritik bir oranın ötesinde arttırılmaya devam edilirse, eşdeğer dövme ürünlerine göre özelliklerinde dikkate değer oranlarda azalma meydana gelir. Daha yüksek yoğunluklu parçaların üretimi için yüksek kapasiteli presler veya sıcak izostatik presleme yöntemi kullanılır. Böylece elde edilen toz ürünlerin özellikleri dövme ürünlerinin özelliklerine yaklaşır. % 100 yoğunluğa ulaşılması ve çok ince tane boyutunun sağlanması halinde ise toz parçaların özellikleri dövme ürünlerinin üzerine çıkar.

Mekanik özelliklerinin yanı sıra fiziksel özelliklerde, T/M parçalar gözeneklilik oranından etkilenir. Korozyon direnci artan gözenek oranı ile birlikte azalır. Elektrik, ısıl ve manyetik özelliklerde izafi yoğunlukla birlikte değişir. Öte yandan gözeneklilik ses ve titreşim söndürme özelliğini arttırmaktadır. Bu nedenle toz metalurjisi ürünlerinin önemli bir kısmı gözenekliliğin sağladığı avantajları kullanmak üzere dizayn edilmiştir (Çalışkan, 2000).

3.6.1 Toz Boyutu Ve Boyut Dağılımı

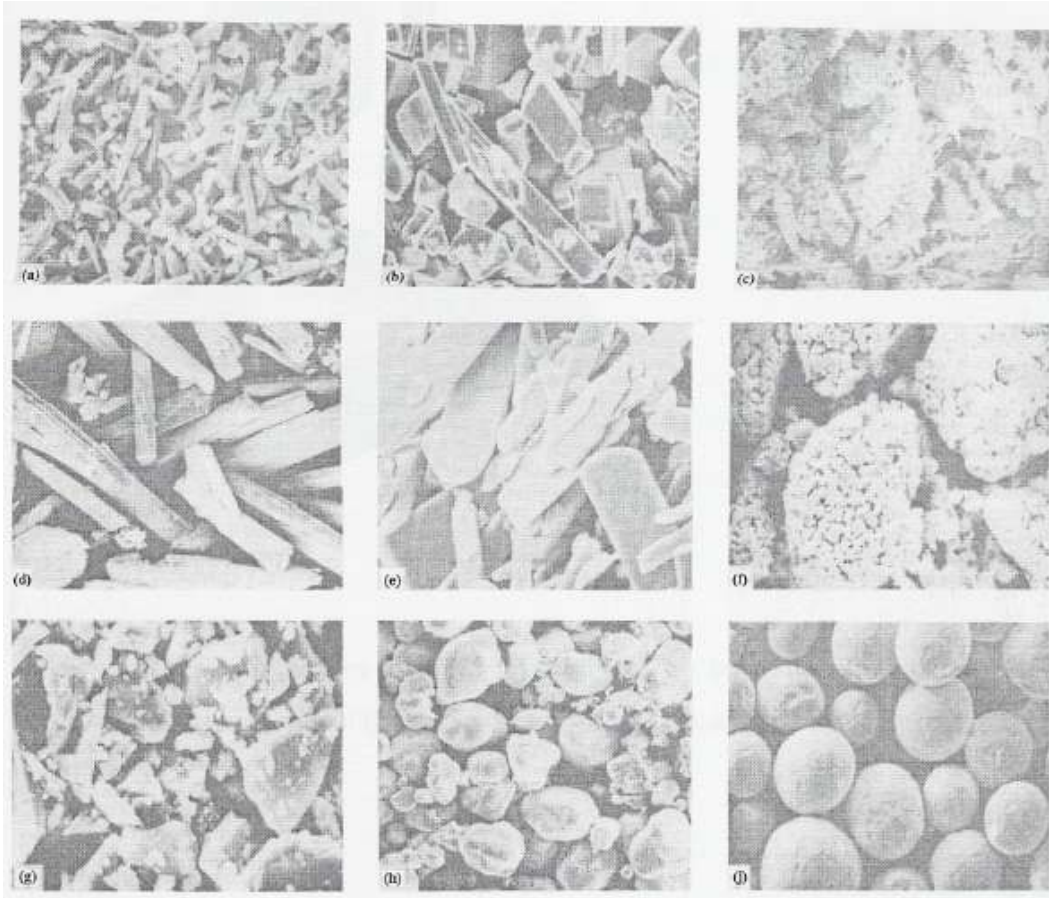
Metal tozu ile yapılan proseslerde kullanılan tozun boyut ve şekli malzemenin özelliklerini çok etkilemektedir. Bu yüzden tozların boyutlarının ölçülmesi gerekmektedir. T/M sanayinde en çok kullanılan toz ölçüm yöntemi elek analizidir. Eleklerle, sadece, toz boyut analizi yapılmaz aynı zamanda hangi oranda ne boyutta toz elde edildiğini de gösterir.

Toz boyut analizi ile tozun şekli birbirine karıştırılmamalıdır. Toz boyutu ile tozun küresel çapı anlaşılmaktadır. Ancak, birçok metal tozu düzensiz şekillidir. Böyle tozların boyut ve dağılımını tespit edebilmek için, tozların; uzunluk, hacim, kütle, toplam yüzey alanı gibi ölçülebilen özelliklerinden faydalanılır (Ullrich, 1984).

3.6.2 Parçacık Şekil Analizi

Tozun şekli, toz boyutu gibi toz metalurjisi ürünlerin optimum özelliklerini belirleyen ana karakteristiklerdendir. Metal tozların davranışsal karakteristiklerini

belirleyen akma oranı, ham yoğunluk, sıkıştırılabilirlik, sinterlenebilirlik gibi özellikler, tozun boyut ve şekli ile ilgilidirler. Kullanılan atomizasyon yöntemi toz şeklinin belirlenmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Gaz veya hava atomizasyon parçacıkların yuvarlak şekilli olmasına meylederken su atomizasyonu, düzensiz şekilli parçacıkların oluşmasını sağlar. Şekil 3.8' de ISO 3252'den alınmış bazı tozlara ait şekiller görülmektedir.



Şekil 3.8 ISO 3252'de resmedilen en yaygın toz parçacık şekilleri (Lenel, 1984)

- | | | |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| (a) İğne şekilli toz parçacık | (b) Köşeli toz parçacık | (c) Dentritik toz parçacık |
| (d) Lifli toz parçacık | (e) Pul toz parçacık | (f) Taneli toz parçacık |
| (g) Düzensiz toz parçacık | (h) Yumru toz parçacık | (i) Küresel toz parçacık |

3.6.3 Yüzey Alanı, Yoğunluk ve Gözeneklilik

Toz metal malzemelerin mekanik özellikleri ile işlem esnasında metal tozların davranışlarını tespit edebilmek için tozların; yüzey alanlarını (m^2/kg), yoğunluklarını

gözenek miktarının bilinmesi çok yararlı göstergelerdir. Yüzey alanı, sinterleme davranışının anlaşılmasında çok yararlıdır. Yoğunluk, diğer malzemeler ile kıyaslamının yanında aynı malzemenin tam yoğunluğuyla ne oranda örtüştüğünü ne oranda boşluklu olduğunu gösterir. Gözeneklilik ise toz metal ürünün sertliği açısından bilgi verir (Lenel, 1984).

3.6.4 Ham Yoğunluk

Metal tozun ham yoğunluğu, tozun temel özelliklerinden biridir. Ham yoğunluk, sıkıştırılmamış tozların birim hacimde kapladığı ağırlık olarak tarif edilebilir. Bu da kalıp dizaynının ve sıkıştırma basıncını belirlemede önemli bir büyüklüktür. Ham yoğunluğun tespitinde en yaygın olarak Şekil 3.9' da gösterilen Hall akışmetresi kullanılmaktadır.



Şekil 3.9 Hall akışmetresi

Ham yoğunluğa; katı metalin yoğunluğu, toz boyutu, toz boyut dağılımı, tozun şekli, yüzey alanı, tozun pürüzlülüğü etki eder. Ham yoğunluk toz boyutuyla çok ciddi ilişkilidir.

Ham yoğunluk;

a) toz boyutu küçüldükçe, düşer,

- b) tozun şekli çok düzensiz ve daha az küresel oldukça, azalır,
- c) yüzey pürüzlülüğü arttıkça, düşer,
- d) genellikle, değişik boyutlarda tozların karıştırılmasıyla, kontrol edilir.

Toz Boyutunun Etkisi: Toz boyutu azaldıkça genellikle ham yoğunluk da azalır. Toz boyutu ne kadar küçükse tozların birbirleriyle teması nedeniyle oluşturacağı yüzey alanı o oranda büyür. Bu olay, tozların birbiriyle sürtünmelerini artırır ve dolayısıyla yoğunluğu düşürür. Gaz atomizasyon yöntemi ile küresel olarak üretilmiş paslanmaz çelik tozları, yuvarlak şekillerinden dolayı birbirleriyle çok az sürtündüğünden, bahsedilen özellikleri göstermezler. Toz boyutunun küçülmesinin yoğunluk üzerindeki etkisi, özellikle 20 µm' dan küçük toz boyutlarında çok önemlidir.

Toz Şeklinin Etkisi: Tozun şekli küresel şekilden ne kadar farklılaşırsa metal tozların sürtünen yüzey alanları artacak ve dolayısıyla ham yoğunluk o oranda düşecektir. Atomizasyon yöntemi ile üretilmiş tozların çoğu küresel olup bu şekildeki tozlar en fazla ham yoğunluğa sahiptirler. Küresel tozların ham yoğunluğu imal edildiği malzemenin yaklaşık yarısıdır. Toz şekillerin diğer bir kısmını temsil eden ve imal edildiği malzemenin yoğunluğunun % 10'u mertebesinde ham yoğunluğa sahip pul tozlardır. Düşük ham yoğunluk özelliklerine sahip oldukları için özellikle boya sanayinde pigment olarak kullanılmaktadırlar.

Tozun Yüzey Pürüzlülüğünün Etkisi: Birim hacim başına yüzey alanının azalması, yüzey pürüzlülüğünün dolayısıyla da sürtünme kuvvetlerinin azalmasına neden olur. Bu durum tozların birbirleri arasındaki boşlukları doldurmasını ve ham yoğunluğun artmasını sağlar.

Tozun Boyut Dağılımının Etkisi: Metal tozlarının ham yoğunluğunu arttırmanın etkili yöntemlerinden biri de metal tozları arasındaki boşlukları daha küçük tozlar ile doldurmaktır (Leo, 1984).

3.6.5 Metal Tozların Kalıp Boşluğundaki Yoğunluğu

Maksimum yoğunluk, kalıp içine doldurulan tozların titreşimle ve/veya tıkladılarak konması durumunda elde edilecek yoğunluk olarak tarif edilmektedir. Taşıma yoğunluğu olarak tarif edilebilen bu kavramın daima serbest haldeki ham yoğunluktan daha büyüktür. Kalıp boşluğu yoğunluk; tozun şekli, tozun gözenekliliği, toz boyut ve dağılımının fonksiyonudur. Metal tozlarının en yaygın özelliklerinden biri olmakla beraber sanayide taşıma kaplarına konabilecek malzemenin ne kadar olacağını ifade eden bir birim olarak kullanılmaktadır (Soper,1984).

3.6.6 Tozun Akma Oranı

Akış oranı; 50 gr'lık standart toz ağırlığının atmosferik şartlar altında özel olarak dizayn edilmiş bir huniden akması için geçen zamanı ifade etmektedir. Akış oranı üretim kapasitesini etkileyen bir faktördür. Düşük akış oranı, tozun kalıp içine istenen şekilde dolmasına mani olacağı gibi basınç kuvvetlerinin de eşit şekilde dağılmasına engel olur.

Tozun akış oranının ölçüldüğü değişik yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan biri de daha önce Şekil 3.9' da gösterilmiş olan ve ham yoğunluğun ölçülmesinde kullanılan Hall akışmetresidir.

Akış oranına aşağıdaki parametreler etki eder.

- a) Parçacıklar arası sürtünme toz boyut ve şekli
- b) Toz malzemesi
- c) Toz boyut ve şekli
- d) Çevre şartları
- e) Tozun ana malzemesinin yoğunluğu
- f) Yaslanma açısı (Patel, 1984).

3.6.7 Sıkıştırılabilirlik

Sıkıştırılabilirlik ve birleştirme, tozların basınç altında daha yoğun bir hale getirme olarak tarif edilebilir. Tozun sıkıştırılabilirliği, kalıp dizaynının, parça yoğunluğunun tespit edilebilmesinin ve istenen bu yoğunluğu sağlayacak pres seçiminin ana faktörlerindedir. Sıkıştırma oranı, presleme ile elde edilen yoğunluğun, tozun ham yoğunluğuna oranı olarak tarif edilmektedir. Bu oran kalıp derinliğinin ne olması gerektiği konusunda bilgi vermektedir. Daha yüksek ham yoğunluğa sahip tozlar daha kısa kalıplar gerektireceği için tercih edilmektedirler. Tozun sıkıştırılabilirliğine değişik faktörler etki etmektedir.

a) Ana malzemenin sertliği; bazı malzemelerin sertliğinin fazla olması sıkıştırılabilmesi için gerekli olan basınç kuvvetlerinin daha fazla olmasını gerektirmektedir.

b) Tozun şekli; tozun şekli ne kadar düzensizse sıkıştırılabilirlik o oranda düşüktür.

c) Tozun gözenekliliği; tozun içindeki küçük boşluklar presleme esnasında tozlar içindeki havanın sıkışmasına dolayısı ile tozların bağlanmasına engel olur. Boşluksuz

tozlar en yüksek sıkıştırılabilirlik özelliklerine sahiptir.

d) Toz boyut dağılımı; aynı boyutlardaki tozların sıkıştırılabilirliği zayıftır. Farklı boyutlardaki tozların karışımı ile tozlar arası boşluklar azaltıldığı için daha iyi sıkıştırılabilirlik elde edilmektedir.

e) Metalik olmayan kalıntıların mevcudiyeti; oksit indirgeme gibi metalik olmayan malzemeler sertliklerinin çok fazla, yoğunluklarının ise az olması nedeniyle sıkıştırılabilirliği azaltır.

f) Katı yağlayıcıların kullanılması; Düşük ağırlıkları buna karşılık çok yer tutan hacimleri dolayısıyla katı yağlayıcıların metal karışıma etkisi sıkıştırılabilirliği artırır.

g) Alaşım elementleri ilavesi; Grafit ve sülfür gibi alaşım ilaveleri genellikle sıkıştırılabilirliği artırır.

Sinterlenmemiş ürün yoğunluğu; ürün için kullanılan ağırlığın, numunenin mikrometre ile ölçülen boyut hacmine bölünmesiyle bulunur. Değişik metal tozları için sıkıştırılabilirlik karakteristikleri Şekil 3.10' da verilmiştir (Davitson, 1984).

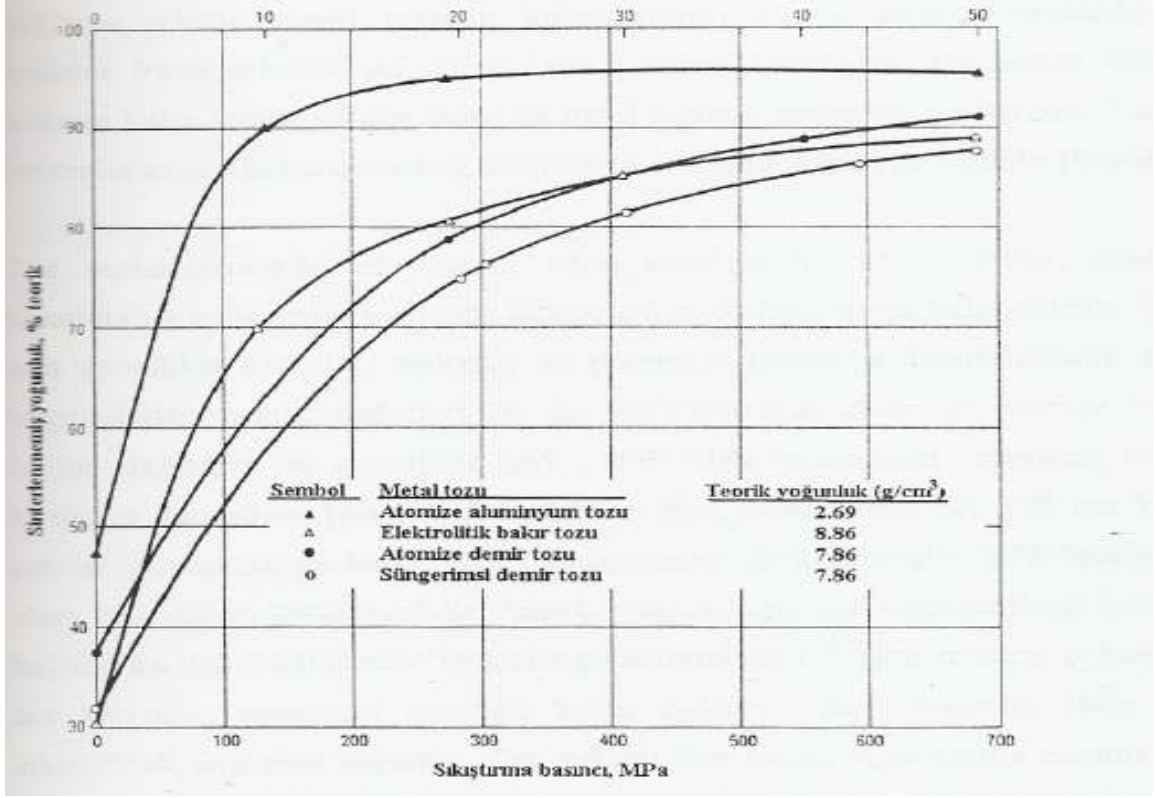
3.6.8 Ham Parçanın Sinterlenmemiş Mukavemeti

Sinterlenmemiş ürünün mekanik mukavemeti, "Green Strength" ham mukavemet olarak adlandırılmaktadır. Sinterleme sonrasında, ürünün şekil ve boyutunun belirlenebilmesini etkileyen çok önemli bir özelliktir. Sinterlenmemiş numunenin mukavemeti, presleme esnasında meydana gelen plastik deformasyonun ve tozların yüzeylerindeki düzensizliklerin birbiriyle etkileşimi ile alakalıdır. T/M endüstrisinde en yaygın olarak kullanılan demir ve bakır tozlarıyla ilgili birçok bilgi bulunmaktadır.

Sinterlenmemiş malzeme mukavemetine en fazla tozların yüzey düzensizlikleri ve toz şekli etki eder. Düzensiz şekilli tozların aynı şartlarda meydana getirdiği sinterlenmemiş malzeme mukavemeti, küresel şekilli tozların oluşturduğu malzeme mukavemetinden daha yüksektir. Çünkü küresel şekilli tozlar birbirleriyle daha az mekanik temasa sahiptir.

Genel olarak sinterlenmemiş malzeme mukavemeti, tozların birbirleriyle temas eden yüzey alanlarının artırılmasıyla artar. Bu da tozun yüzey pürüzlülüğünün artması veya ortalama tane boyutunun küçülmesiyle sağlanır.

Tozların yüzeylerinin oksitlenmesi ve kirlenmesi sinterlenmemiş malzeme mukavemetini düşürür (Evans,1984).



Şekil 3.10 Değişik metal tozları için sıkıştırılabilirlik karakteristikleri (Davitsun, 1984)

3.7 Metal Tozların Birleştirilmesi

Metal tozlarının ana ham malzemede olduğu gibi, koherent metal bağı oluşturarak bağlama işlemi, metal tozların birleştirilmesi olarak adlandırılmaktadır. Metal tozların birleştirilmesi iki temel teori üzerine kuruludur. Bunlardan ilki, metal tozların kalıp içinde sıkıştırılması da dâhil tozların mekanikliği ile ilgilidir. İkincisinde ise tozlar arasında koherent bağ oluşturan sinterleme işlemi ile ilgilidir (Lenel, 1984).

Toz metalurjisindeki en önemli adım preslemedir. Metal tozlar, özel olarak hazırlanmış çelik kalıp içerisinde basınç etkisiyle ham parça hale getirilir. Bu işlem için genellikle hidrolik, mekanik ve pnomatik presler kullanılmaktadır. Preslerin uyguladıkları basınç değerleri 70 ila 700 MPa arasındadır ve pratikte kullanılan basınç değerleri ise genellikle 145 – 450 MPa arasındadır. Preslerin büyük bir kısmının kapasitesi 100 ton civarındadır. Son zamanlarda 200–300 ton kapasiteli presler yapılmıştır ve hatta 3000 tonluk presler de üretilmiştir. T/M ürünlerin kesit alanı maksimum 2000 mm² dir. Ancak, yüksek kapasiteli özel preslerin kullanılması halinde bu değer 6500 mm²' ye kadar çıkabilmektedir. Uygulamaların çoğunluğunda, toz karışımı, yerçekimi etkisiyle kalıbı doldurur, fazla kısımlar alınır ve tozu sıkıştırmak için pres kapatılır. Toz miktarı için hacim veya ağırlık esasına göre bir başlangıç ölçüsü

oluşturulur (Çalışkan, 2000).

3.7.1 Sıkıştırmanın Mekanik Temelleri

Kalıp boşluğuna konan tozun yoğunluğu, tozun özelliklerine ve kalıp içine konurken konma şekline bağlıdır. Kalıba konan tozlar titreşimle beraber hafif bir şekilde tıklatılırsa yoğunluk değişecektir. Gerek basınçsız sinterleme şartlarının uygulandığı durumlarda, gerekse basınç altında sıkıştırılarak sinterlemenin uygulanacağı durumlarda tozun yoğunluğu önemlidir.

Rijit bir kalıp içinde veya izostatik olarak sıkıştırılan tozların davranışları üç şekilde olmaktadır. Birinci aşamada, tozlar, birbirleri arasındaki boşlukları rasgele doldurarak sıralı biriketler gibi bir düzen içine girme eğiliminde hareket ederler.

İkinci aşamada, tozların elastik plastik deformasyonunun olduğu kısımdır. Plastik deformasyon miktarı toz malzemesinin sünekliliğine bağlıdır. Üçüncü aşamada, uygulanan kuvvet altında toz parçacıkları hasara uğrar ve daha küçük parçalara ayrılır (Lenel, 1984).

3.7.2 Toz Ürün Üzerinde, Basınç Yoğunluk İlişkisi

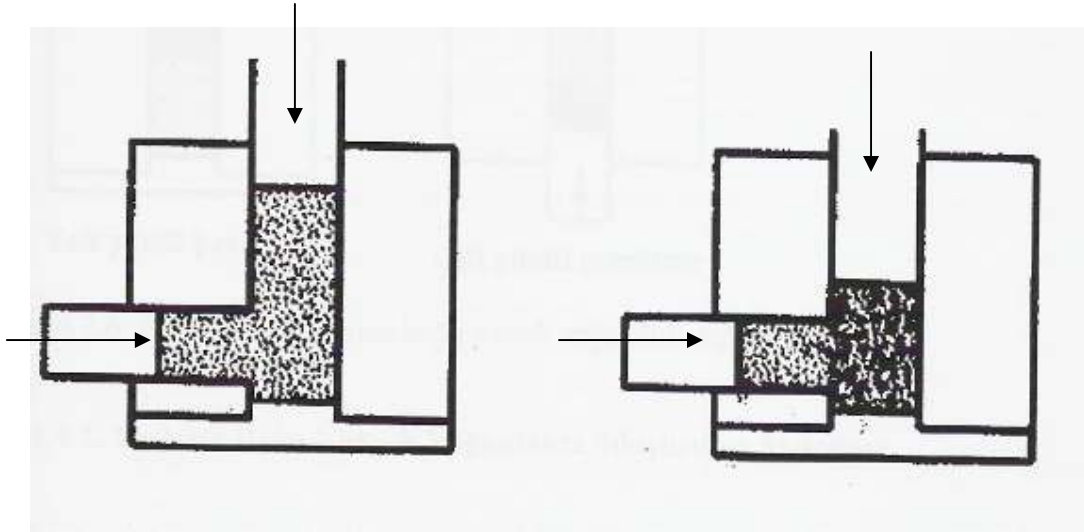
Uygulanan basınç arttıkça yoğunluk artar, gözeneklilik azalır. Uygulanan basınç ile yoğunluk veya ürünün gözenekliliği arasındaki ilişki konularında birçok araştırmacı çalışma yapmış, basınç ile yoğunluk arasında matematiksel bir bağıntı kurmaya çalışmışlardır. Tozların birbirleriyle olan temas yüzeylerinin artırılması için uygulanan kuvvetin de artırılması gereklidir. Bu kuvvet aynı zamanda yoğunluğu da artırır. Bu artış malzemenin akma gerilmesi ve toplam temas yüzeyi ile alakalıdır. Teorik yoğunluğun % 92 'ye kadar olan sıkıştırmalarda, tozlar arasındaki temas alanı genellikle tek iken, bu yoğunluğun üzerine çıkıldığı durumlarda parçacıklar birbiri üzerine binmeye başlar ve temas yüzeyi artar.

3.7.3 Toz Ürün Üzerinde, Gerilme ve Yoğunluk Dağılımı

İzostatik presleme de dâhil tamamen ünifom bir gerilme dağılımının tozlar vasıtasıyla aktarılması mümkün olmayabilir. Tüm ürün üzerinde eşit yoğunlukta kalabilmek, esnek bir kalıp yapılmasını gerektirir. İzostatik presleme ile elde edilen

sinterlenmemiş üründeki yoğunluk dağılımı ile gerilme dağılımı, sabit kalıp ta elde edilen ürünlere nazaran çok daha eşit şekildedir (Lenel, 1984).

Presleme işlemi esnasında toz taneleri, önce uygulanan kuvvet yönünde hareket ederler. Tozlar sıvı gibi akmaz; kalıp yüzeyi ile toz taneleri arasında sürtünme sonucu bir reaksiyon kuvveti gelişir. Bu kuvvet uygulanan kuvvete eşit bir değere ulaşana kadar sıkışma aksel yönde devam eder. Daha sonra toz taneleri yatay yönde hareket ederler. Basınç bir darbe şeklinde uygulanırsa, maksimum yoğunluk zımbanın hemen altında meydana gelir ve zımba ile temas eden yüzeyden itibaren artan mesafe ile birlikte azalır. Bu yüzden ürün boyunca homojen yoğunluğun sağlanması amacıyla basıncın homojen bir şekilde transferi nadiren mümkündür. Çift etkili presler daha homojen yoğunluk elde edilmesini ve daha kalın ürünlerin kalıplanabilmesini sağlarlar (Şekil 3.11).



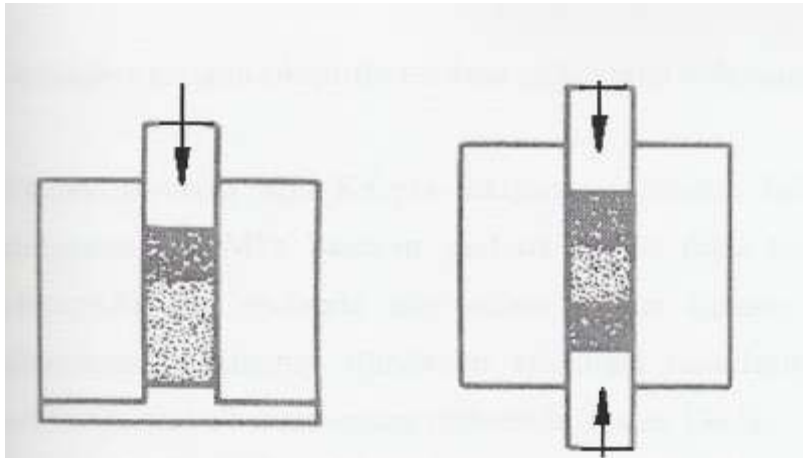
Şekil 3.11 Bir kalıpta sıkıştırılmış üründeki yoğunluğun değişimi

Yoğunlaştırma veya presleme işleminde kenar duvarların sürtünmesi anahtar bir faktör olduğundan, presleme ile elde edilen yoğunluk kalıplanan parçanın kalınlığı ve genişliğinin bir fonksiyonudur. Homojen yoğunluk dağılımını sağlayabilmek için kalınlık genişlik (t/w) oranı 2 den küçük olmalıdır. Kalınlık genişlik oranı 2 den büyük olan ürünlerde yoğunluk parça içinde bir noktadan diğer bir noktaya değişiklik gösterebilir (Çalışkan, 2000).

Üretimin seri ve hızlı olabilmesi için birçok uygulamada tek yönlü basınç uygulamaları vardır. Böyle durumlarda yoğunluk dağılımı eşit olmayacağı için değişik tip kalıplar ve aksel yönde çift taraflı hareketli basınç uygulayıcılar kullanılmaktadır. Bunun yanında tozların birleriyle ve kalıp yüzeyiyle olan sürtünme kuvvetlerini

azaltmak için tozlara yağlayıcılar katılmaktadır.

Yoğunluktaki değişim; hem basınca, hem yağlayıcının etkisine, hem de basıncın uygulanış şekline bağlıdır. Daha iyi bir yoğunluk dağılımı Şekil 3.12.'de görüldüğü gibi çift yönlü hareketli kalıplarda elde edilmektedir. Eksenel yönde basıncın temas ettiği yüzey alanı ile ham parçanın kalıp yan yüzeyleri ile temasta bulunduğu toplam alan arasındaki oran ne kadar büyükse, yoğunluk dağılımı o oranda iyi olur.



Tek yönlü presleme

Çift yönlü presleme

Şekil 3.12 Presleme yöntemine bağlı olarak yoğunluk değişimi

3.7.4 Tozların Daha Yüksek Yoğunlukta Sıkıştırılma Metotları

Dönen Kalıp Yöntemi: Toz presleme esnasında içinde bulunduğu kalıpla beraber döndürülmesi usulüdür. Bu usul sayesinde toz metal ile kalıp yüzeyi arasındaki sürtünme azaldığı için uygulanan basınç gerilmesinin % 20'si oranında tasarruf sağlanmıştır.

Üç Yönlü Sıkıştırma Yöntemi: Esnek bir kalıp içine konan tozlara her yönden uygulanan basınçla eşit yoğunlukta ürün elde etme yöntemidir. Daha çok yuvarlak şekilli parçalar için uygulanan bir usuldür. Bu metotta, verilen bir yoğunluğun elde edilmesi için gerekli olan basınç seviyesi, izostatik ve tek yönlü sıkıştırmaya nazaran daha düşüktür. Örneğin, Ancor 1000 atomize demir tozlarından izafi % 85 yoğunluklu bir ürün elde edebilmek için tek yönlü sıkıştırma ile 540 MPa veya izostatik sıkıştırma ile 415 MPa basınç gereklidir. Aynı yoğunluğu her iki yöntemin birleştirilmesiyle elde edilmesi durumunda 83 MPa izostatik basınç ve 470 MPa tek yönlü sıkıştırma basıncı

ile elde edilebilmektedir.

Yüksek Enerji Oranlı Sıkıştırma Yöntemi: Genellikle bir patlayıcı ile bir anda yüksek bir basınç elde edilmesi ile hızlı sıkıştırma işleminin gerçekleştirildiği işlemdir.

Tozun Titreşimli Sıkıştırılması Yöntemi: Bu yöntem özellikle tozların minimum hacimde maksimum yoğunlukta taşınması işleminde kullanılan yöntemdir. Titreşim ile beraber tozların sıkıştırılması daha yoğun ürün elde edilmesini sağlamaktadır.

Yüksek Basınçta Rijit Kalıpta Sıkıştırma Yöntemi: Sabit kalıpta yaygın olarak kullanılan 750 MPa basıncın yaklaşık 4 katı daha fazla basıncın uygulanması yöntemidir. Bu yöntemle elde edilen ürünler sıradan kullanımlarda uygulanan sinterleme sıcaklığının altında bir sıcaklıkta sinterlemeye imkân vermesi veya sinterlemesiz kullanıma imkân vermesidir (Lenel, 1984).

3.7.5 Sıkıştırmanın Fiziksel Temelleri

Sinterleme esnasında tozlar yüksek sıcaklıkta koruyucu bir atmosfer altında koherent bağ ile bağlanırlar. Tek bir metal tozundan meydana getirilmiş bir ürünün veya katı solüsyon alaşım tozlarının homojen bir ürün oluşturduğu alfa pirinç veya ostenitik çelik tozları gibi ürünlerin sinterlemesinde sinterleme sıcaklığına kadar ısıtılır. Sinterleme sıcaklığı tek metal tozun veya homojen alaşım tozlarının ergime sıcaklığının altındadır (Lenel, 1984).

Soğukta presleme veya yığma ile elde edilen parçalar itinalı bir ısıl işleme tabi tutulmalıdır. Bu ısıl işlem veya sinterleme, toz tanelerin mekanik olarak tuğla gibi dizilmelerini ve birbirleriyle yapışmalarını sağlayarak metalsel bir parça oluşturmasıdır. Tek bileşenli sistemlerde genellikle sinterleme sıcaklığı olarak metalin mutlak ergime sıcaklığının 2/3 veya 4/5'i alınır; birden fazla bileşenli sistemlerde ise sinterleme genellikle ergime sıcaklığı en düşük olan bileşenlerin ergime sıcaklığının üstünde yapılır.

Gözenekli bronzlar ve bronzlara benzeyen alaşımlar 600°C ila 800°C arasında, demir grubu metallerin alaşımları ise 1000°C ila 1300°C arasında, sert alaşımlar 1400°C ila 1600°C arasında, refrakter metaller (molibden, wolfram, tantal) 2000°C ila 2900°C arasında sinterlenirler.

Sinterleme sıcaklığı gibi, sinterleme süresi de kullanılan malzemeye göre değişir. Sert alaşımlar ve mıknatıs alaşımlarında olduğu gibi birçok hallerde de birkaç saat süren bir sinterleme uygulanmalıdır. Sinterleme zamanı ve sıcaklığı arasında basit bir bağıntı vardır. Sinterleme sıcaklığı yükseldikçe sinterleme zamanı kısalmış; aksine olarak düşük

bir sinterleme sıcaklığı sinterleme zamanının uzamasına neden olur.

Sinterleme sıcaklığının 1050°C civarında olması halinde nikel-krom veya demir-krom-alüminyum rezistanslı elektrik fırınları yeterli gelir. 1350°C'ye kadar silit çubuklu fırınlar kullanılır. Daha yüksek sıcaklıklar için (1000°C ila 1600°C) molibden rezistanslı fırınlar, 1800°C ve daha yüksek sıcaklıklar için ise yüksek frekanslı veya kısa devreli karbon tüplü fırınlar kullanılır. Karbon tüplü fırınlar, karbon monoksit mevcudiyetinin zararlı etkileri olmadığı hallerde kullanılır.

Molibden, wolfram, tantal gibi refrakter metallerin sinterlenmesinde 2000°C'lik sıcaklık dahi yeterli gelmediğinden, bu metaller hidrojen dolu T/M çantaları içinde sinterlenirler. Burada sinterlenecek parçadan akım geçirilir. Harcanan enerji zor sinterlenen parçanın ergimesi için gereken enerjiden % 10 kadar daha azdır. Sinterlenen malzemenin oksitlenmesini önleyecek tedbirler alındığı takdirde gazla ısıtılan fırınlardan da faydalanılabilir.

Sıcaklığın yükselmesi ile çekme kuvvetlerinin etkileri artarken, sinterlemeyi zorlaştıran etkiler de ortadan kalkar. Ayrıca sıcaklığın artması kristalleşme şartlarını da uygun hale getirir. Ortam sıcaklığında, toz tanelerin gerektiği kadar plastik olmamaları, yüzeylerinde gaz ve oksit tabakalarının mevcudiyeti, toz taneleri arasındaki temasın mükemmel olmaması, presleme esnasında toz içinde zararlı gazlar bulunması, sinterlemenin yüksek sıcaklıkta yapılmasını gerektirir. Yukarıda sözü geçen zararlı etkiler sinterleme şartlarında önemli değişiklikler gösterirler ve tozun hazırlanma şartlarına büyük ölçüde bağlıdır. Bu nedenle tozun sinterlemeden önce tabii tutulduğu işlemler çok önemlidir (Çalışkan, 2000).

3.7.6 Sadece Bir Metal Tozundan Üretilmiş Ürünün Sinterlenmesi

Sinterleme esnasında düşünülmesi gereken önemli olaylardan biri, üründeki boyut ve yoğunluk değişimidir. Tek fazlı metal tozundan imal edilmiş bir ürün sinterlendiğinde, genellikle boyutlarda küçülme, yoğunlukta ise artma olur. Sinterleme sıcaklığı ne kadar yüksekse çekme o oranda büyük olur. Aynı zamanda sinterleme süresi uzun olursa çekme yine artar. Başlangıçta çekme oldukça yüksek iken, sinterleme süresi uzadıkça çekme de yavaşlar.

Sinterleme sıcaklığı ne kadar yüksekse, çekme oranı o oranda azalır. Tüm bunlara bağlı olarak yüksek yoğunluklu sinterlenmiş bir ürün elde edebilmek için, sinterleme süresinin uzun tutulmasından daha çok, hızlı bir şekilde sinterleme sıcaklığının artırılmasıyla sağlanabilir.

Çekmeyi etkileyen diğer bir faktör toz boyutudur. Elektrolitik olarak elde edilmiş 75-100 µm arası bakır tozları ile yine elektrolitik olarak elde edilmiş 441µm' dan küçük bakır tozlarından imal edilmiş ürünler 276 MPa'da preslenip, 865°C farklı sinterleme sürelerinde sinterlenmesi sonucunda, küçük tane yapılı tozların oluşturduğu ürünün yoğunluğunun kaba taneliye nazaran daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir faktör ise sinterlenmemiş ürün yoğunluğudur. Sıkıştırma basıncı ne kadar yüksekse sinterleme sonrası yoğunluk değişimi o oranda az olmaktadır.

Demir tozlarından üretilen ürünlerde, sinterleme sıcaklığı, demirin gama fazında bulunduğu sıcaklıkta (yüzey merkezli kübik) yapılıdır. Ticari olarak imal edilmiş piyasada yaygın olarak bulunan demir tozları ile sinterlenmemiş ürün yoğunluğu genellikle 6,6–7, 1 gr/cm³ arasında değişirken, ürünlerin sinterleme sıcaklık aralığı 1100 ile 1200°C, sinterleme süresi ise yarım ila bir saat arasındadır. Böyle ürünlerde çekme genellikle % 1 den daha azdır.

Sinterlenmemiş üründen, sinterlenmiş ürüne geçişte mikro yapıda meydana gelen değişime etkiyen en önemli parametrelerden biri sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresidir. Soğuk haddelemeden sonra uygulanan tavlama sonrasında meydana gelen yeniden kristalleşme ile tane büyümesi meydana gelir. Sinterleme yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerinde bir sıcaklık olduğu için toz metal parçalarda da benzer şekilde yeniden kristalleşme ve tane büyümesi olur.

3.7.7 Tek Metal Tozlu Ürünün Sinterlenmesini Etkileyen Kuvvetler

Birçok sinterleme işleminde, sinterlenmemiş ürüne göre bir çekme ve teorik malzemenin yoğunluğuna yakın bir yoğunluğa ulaşılır. Üründeki çekme çok az hatta hiç olmasa bile malzemenin içyapısında değişiklik meydana gelir. Presleme esnasında her bir parçacık birbiri ile temas edecek şekilde hareket ettirilerek parçacıklar arasında minimum boşluk kalacak şekilde sıkıştırılırlar.

Sinterleme başlangıcındaki en önemli olaylardan biri parçacıklar arasındaki temas alanının artmasıdır. Bu aşamada ürünün toplam yoğunluğunda ciddi bir değişiklik olmayabilir. Yine bu aşamada önemli bir değişiklik boşluklarda meydana gelen küreselleşmedir. Sinterleme esnasında mekanik yapıdaki bu değişiklikler yukarıda bahsedilen malzemenin geometrik yapısındaki değişikliklerin bir sonucudur. Ana çalışma mekanizmasında ilk adımında yeniden kristalleşme sıcaklığında meydana gelen olaylar yer alır.

Sinterlemeyi tetikleyen ana kuvvetler, sıvı ile gaz fazı arasında veya iki sıvı

arasında meydana gelen yüzey gerilme kuvvetleridir. Bu kuvvetler, sıvı ile gaz fazı arasında veya iki sıvı arasında bir eğriliğe bağlı olarak gerilme oluşturur.

Sinterleme esnasında sıvı faza geçen kısım ile gaz fazında olabilecek diğer kısmın birbirleri arasındaki yüzey kuvvetleri ile yine sinterleme esnasında sıvı faza geçebilecek iki yüzeyin birbirleri arasındaki kuvvetlere bağlı olarak meydana gelen gerilmeler, yüzey alanlarının azalmasına meyleder. Bu da malzemenin çekmesine neden olur.

3.7.8 Katı Hal Sinterlemesi

Katı hal sinterlemesi, düşük aktivasyon enerjisinde sinterlemeyi ifade etmektedir. Bu amacı gerçekleştirmek için ham parçaya kimyasal ilaveler ve özel atmosferler altında sinterleme teknikleri geliştirilmiştir. Çalışmaların büyük bir bölümü tungsten üzerine yoğunlaşmıştır (Lenel, 1984).

3.7.9 Sıvı Faz Sinterlemesi

Değişik tozların karışımından meydana gelmiş bir ham parçanın içindeki bazı elementlerin sinterleme esnasında sıvı faza geçmeleri mümkündür. En yaygın sıvı faz sinterlemesi gösteren alaşımlar; bakır-kobalt, tungsten-bakır, tungsten-nikel-demir, tungsten-gümüş, bakır-kalay, demir-bakır, tungsten karpit/kobalt ve bakır-fosfor' dur.

Sıvı fazdaki malzemeler, akar ve katı parçacıkları ıslatır. Katı parçacıklar arasındaki sıvı nüfuziyet, ham parçanın şişmesine neden olur. Bu durum, özellikle sinterlenmemiş yoğunluğu yüksek ve kaba taneli ham parçalarda görülür. Ancak, sıvı nüfuziyetle parçacıklar yeniden bir yerleşime uğrarlar. Islaklığın, sıvının akışkanlığının ve parçacıklar yeniden yerleşime uğramasının kombinasyonu, ham parça hacminin hızlı bir şekilde değişimine yol açar. Sıvı faz sinterleme esnasında ısıtmaya devam edilirse, ürünü oluşturan ve erimemiş olan katı faz da erimeye başlayabilir. Çözünürlük, sıvı miktarı, faz diyagramı ve alaşımın kompozisyonuna bağlı olarak değişir. Eğer katı, sıvı içinde yüksek çözünürlüğe sahipse, sıvı kompozisyon faz diyagramındaki katılaşma sınırının karşısına geçebilir ve katılaşabilir. Bu durum, sıvı faz geçişi sinterlemesi olarak adlandırılmaktadır.

Sıvı faz geçişi sinterlemenin ticari uygulaması, bakır ve kalay tozları karışımının sinterlenmesiyle elde edilen kendinden yağlamalı bronz yataklardır. Bu yataklarda gözeneklilik kontrol edilmelidir. Bu prosesin amacı hızlı yoğunlaşmayı sağlamak değildir. Ancak, sinterleme esnasında yoğunluktaki değişimin dikkatli bir şekilde kontrol edilmesidir. Bu ancak, başlangıçta uygun toz boyut dağılımının, presleme

basıncının, sinterleme sıcaklığının ve ürünün ısıtılma oranının uygun seçilmesiyle başarılabılır (Lenel, 1984).

3.7.10 Sinterleme Atmosferleri

Sinterleme atmosferleri dikkatli seçilmelidir. T/M ürünler boşlukludurlar. Bu yüzden teorik yoğunluğa sahip aynı malzemelere karşılık, bu ürünlerin çok daha büyük bir alanı fırın atmosferine maruz kalmaktadır. Sinterleme sıcaklığı da ısıtılma sıcaklığından daha yüksek olarak düşünülebilir. Dolayısıyla, malzeme ile içinde bulunduğu atmosfer arasında kimyasal reaksiyonlar gelişebilir. Ticari uygulamalarda sinterlemede kullanılan atmosferler; endotermik gaz, ekzotermik gaz, kırılmış amonyak gazı, hidrojen ve vakumdur. En çok kullanılan sinterleme atmosferi endotermik gazdır. Endotermik gaz doğal gazın yanmasıyla elde edilir.

Fırın atmosferi; azot, su buharı, karbon monoksit, hidrojen, karbon dioksit ve metan karışımından oluşur. Fırın atmosferine hava ilavesi ile yanmanın özellikleri kontrol edilir. Bu hava-gaz oranı çıkan yanmış gazların özelliklerini belirler. Endotermik gaz ortamında hava-gaz oranı yaklaşık 2,4 iken ekzotermik gaz ortamında yaklaşık 9 ve üzerindedir. Ekzotermik gaz ortamı tam yanma ile sağlanır.

Sinterleme Atmosferi Gereksinimleri: Sinterlemede kullanılan atmosferler, aşağıdaki fonksiyonları sağlamalıdır.

- a) Havanın fırın içine girmesini engellemelidir.
- b) Çiğlenmeyi önleyebilmelidir.
- c) T/M ürün üzerinde oluşabilecek oksitlenmeyi azaltmalıdır.
- d) Çelik parçalardaki karbon miktarını koruyabilmelidir.
- e) Özel uygulamalarda karbonu çıkarabilmelidir.
- f) Özel uygulamalarda soğutma esnasında oksidasyonu kontrol edebilmelidir.
- g) Isıl verimi üniform olarak taşıyabilmelidir (Nayar, 1984).

3.7.11 Demir-Bakır-Grafit Ham Parçaların Sinterlenmesi

Demir-grafit tozların karıştırılıp sinterlenmesi esnasında ilk olarak demir-demir bağlarının büyümesi daha sonra demirli karbon kombinasyon içine karbon difüzyonu ve son olarak boşlukların küreselleşmesi şeklinde gerçekleşir. Demirin oksit içeriği, grafitli demirin aktivasyonunu belirleyen en önemli faktördür. Demir bakır karışımının sinterlenmesi sırasında sırasıyla;

- a) Demir-demir katı bağın oluşması,
- b) Bakır-demir katı bağın oluşması,
- c) Bakırın erimesi,
- d) Katı demirde bakırın çözünmesi ve difüzyonu,
- e) Sıvı bakır içinde demirin çözünmesi ve çökmesi, şeklinde gerçekleşir.

Yaygın sinterleme sıcaklığı olan 1095 ile 1120°C' de, % 7,5 ila 9 oranında bakır demir içinde çözülür. Ancak, bakır içeriğine ve sinterleme sıcaklığına bağlı olarak, erimiş bakırın bir kısmı çözülmeden serbest halde kalabilir.

Demir-bakır-grafit karışımının sinterlenmesi esnasında meydana gelen mekanizmalar demir-grafit ve demir-bakır-grafit mekanizmalarının karışımıdır. Genellikle, bakırın erime sıcaklığına ulaşılmadan önce karbon difüzyonu tamamlanır. Karbonun, katı demirin içinde bakırın çözünmesine çok az bir etkisi vardır. Ayrıca, bakırın demir içinde çözülme oranını azaltır. Bu yüzden, karışımda karbon bulunması durumunda genellikle serbest halde bakır kalıntıları vardır (Gummesson ve Stosuy, 1984).

Ağırlıkça bakır miktarı oranı % 2 ile % 20 arasında bir oranda demir içine bakır veya demir grafit içine bakır karıştırılması çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Normal sinterleme şartları altında % 3' e kadar bakır demir içinde çözülmemektedir. Bakır 1083°C'de eritilmeli ve demir parçacıkları içinde birbirine difüze olmalıdır.

Sinterlemeden sonra erimemiş kısımlar halinde bakır hala mevcut ise, parçanın o parça için olması gereken minimum sinterleme sıcaklığının altında tutulduğu dolayısıyla sinterlenmediği anlaşılmalıdır. Demir içindeki bakır genellikle sinterleme esnasında parçanın hacimce büyümesine sebep olur. Erimiş bakır, demir parçacıkları arasında bağ oluşturur (Pease, 1984).

Örneğin, % 1 grafit, % 2 bakır, % 1 yağlayıcı ve kalanı demirden meydana gelmiş bir ham parçanın tam olarak sinterleme prosesinin meydana getirilebilmesi için en az beş aşamadan geçmesi gereklidir. Bunlar, fırının beş farklı bölgesinde meydana gelmektedir (Nayar, 1984).

3.8 Sekonder İşlemler

Tekrarlı presleme, zımbalama veya boyutlandırma olarak adlandırılan ikinci bir presleme operasyonu boyutsal toleransları azaltmak amacıyla gerçekleştirilir.

3.9 Yüksek Yoğunluklu Toz Ürünlerin Üretiminde Kullanılan Diğer Metodlar

Oldukça yeni bir yöntem olan serekon prosesi konvansiyonel toz metalurjisi yöntemleriyle preslenmiş ve sinterlenmiş ürünlere ideal yoğunluk kazandırmak amacıyla dizayn edilmiştir. Günümüzde gözenekli ve geçirgen ön şekillendirilmiş formların özellikleri bu yöntemle artırılabilir. Ön şekillendirilmiş ve ısıtılmış parçalar, basıncı transfer edebilen sıcak granül malzeme ile sarılır ve tüm asemble geleneksel hidrolik bir preste preslenir. Sıvı ve gaz kullanılmadığı için ön şekillendirilmiş poröz ve geçirgen parçanın kaplanmasına gerek yoktur. İşlem zamanı birkaç saniyedir, parça ve basınç transfer işlevini gören kaplamalar kolaylıkla birbirinden ayrılabılır ve basınç transfer granülleri tekrar kullanılabilir.

Yüksek yoğunluklu toz metalurjisi ürünü üretmek amacıyla geliştirilen bir diğer yöntem ise osprey prosesidir. Burada sıvı, metal atomize edilir ve azot veya karbondioksit gibi inert ve zararsız bir gaz akımıyla şekilli kollektör kalıplarda toplanır. Damaların kalıba yarı katı bir halde çarparak katılaşmalarını sağlamak için kontrollü soğutma yapılır. Bu yüzden elde edilen ürünler gerek döküm ve gerekse konvansiyonel yöntemlerle üretilen toz ürünlere göre daha ince ve eş boyutlu tane yapısı, homojen kimyasal kompozisyon ve çok düşük oranda porozite içerirler. Tozların yığılma hızı dakikada 18 ila 23 kg'a kadar yükselebilmektedir (Sarıtış, 2003).

3.10 Toz Metalurjisi Ürünlerinin Dizaynı

Toz metalurjisinin ana amacı özel mühendislik uygulamaları için kaliteli ve ekonomik bir şekilde parça üretimini sağlamaktır. Başarıya ulaşmada ilk adım dizayn kademesidir. Bunu malzeme seçimi ve uygun fabrikasyon takip etmektedir. Toz metalurjisi parçalarının tasarımında dikkate alınması gereken bazı ana kurallar aşağıda özetlenmiştir;

- Parça şekli preslemeden sonra kalıptan çıkarmaya uygun olmalıdır.
- Parça şekli tozun ince duvarlar ve keskin köşeler gibi küçük boşlukların doldurulmasını gerektirmemelidir
- Parça şekli dayanıklı kalıp imaline müsait olmalıdır.
- Parça şekli presleme ile elde edilebilecek kesit kalınlığı değerlerine uygun olmalıdır.
- Parçaların değişik kesit kalınlıkları arasındaki fark mümkün olduğunca az olmalıdır.

- Bazı şekillerdeki parçaların toz metalurjisi dışındaki yöntemlerle üretilmesi maliyet ve uygulama açısından mümkün olmadığından bu avantajı kullanabilecek şekilde dizayn yapılmalıdır.

- Parça ve kalıp tasarımı esnasında atölyedeki teçhizatlar teknik özellikleri dikkate alınmalıdır. Presleme alanı pres kapasitesi ile uyumlu olmalıdır ve kalınlık sayıları kullanılabilir pres hareketleri sayısına eşdeğer olmalıdır.

- Ürünlerin boyutsal toleransları dikkate alınmalıdır. İstampa ekseni veya presleme yönüne paralel olan boyutlara (istampanın hareket yönü) göre radyal yöne paralel boyutlarda daha yüksek hassasiyet ve tekrarlanabilirliğin elde edildiği gözlemlenmiştir

3.11 Toz Metalurjisi Ürünleri

Toz metalurjisi ile imal edilen ürünler beş grupta sınıflandırılabilir:

- Yatak, filtre, basınç veya sıvı regülâtörü gibi gözenekli ve geçirgen ürünler.
- Diğer proseslerle üretilmeleri halinde aşırı miktarda talaşlı işler gereksinim duyulan girift parçalar.
- Talaşlı işlemi güç veya yüksek ergime noktalı malzemelerden yapılan parçalar.
- İki veya daha fazla metalin kombine özelliklerinin istendiği parçalar.
- Toz metalurjisi proseslerinin diğer proseslere göre üstünlük sağladığı ürünler.

3.12 Toz Metalurjisi Ürünlerinin Avantajları

- Talaşlı işlem gereksiniminin azaltılması veya tamamen eliminasyonu,
- Yüksek üretim hızları,
- Karmaşık (girift) şekillerin üretimi,
- Çok geniş bir kompozisyon aralığı,
- Özelliklerin geniş bir aralıkta değişimi,
- Hurda miktarının azaltılması veya eliminasyonu,

3.13 Toz Metalurjisinin Dezavantajları

- Düşük mekanik özellikler,
- Nispeten yüksek kalıp maliyeti,
- Yüksek malzeme maliyeti,

- Dizayn sınırlamaları,
- Parça kesiti boyunca özelliklerin değişim göstermesi (SARITAŞ,2003).

KAM

4.1 Giriş

Dairesel hareket yaparak kam iticisinin alternatif hareket yapmasını sağlayan özel biçimli makine elemanlarına kam denir. Kam diğer makine elemanlarıyla elde edilemeyen düzgün olmayan veya özel hareketlerin elde edilmesinde kullanılır. Kamın sürekli temas halinde bulunduğu ve alternatif hareket yaptırdığı elemana itici denir. İtici genelde alternatif hareket yapsa da bazı durumlarda alternatif dairesel hareket yaptığı da olur. Burada alternatif hareketten kasıt aşağı yukarı, sağa sola gibi gidip gelme hareketidir. Bilindiği gibi genelde makine elemanları dairesel hareket yaparak çalışırlar. Kamlarla makine elemanlarına değişik hızlarda ve boylarda alternatif hareket ettirmek mümkündür.

4.2 Kamların Çalışma Şekli

Kam, itici ve iticiyi üzerinde tutan gövdeden oluşur. Kam kendi eksenini etrafında dairesel hareket yaptığında simetrik olmayan çevre profili sayesinde iticiyi aşağı yukarı hareket ettirir. Burada iticinin yukarı çıktıktan sonra geri geliş hareketi sisteme eklenen bir yay ile sağlanabilir. İticisine her iki yönde hareket sağlayan kamlar çift etkili kamlardır.

4.3 Kamın Kullanıldığı Yerler

Kamlar makinelerdeki otomatik düzeneklerin çalıştırılmasında önemli rol oynarlar. Özellikle patlamalı ve yanmalı motorlarda gaz giriş ve çıkışını sağlayan supapların hareketinin sağlanmasında, saatlerde, kilitlerde, otomat torna tezgâhlarında kalem ve revolver başlığın hareketlerinin elde edilmesinde, dikiş makinelerinde, vida tezgâhlarında kalem hareketinin sağlanmasında ve diğer otomatik çalışan makinelerde kullanılır.

4.4 Kamların Sınıflandırılması

Kamları çalışma şekilleri bakımından aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz.

4.4.1 Çevresiyle Çalışan Kamlar

Bu kamlar iticiye çevreleriyle değerek hareket verdikleri için bu ismi almışlardır. Bunlar motor kamları, disk kamlar, çerçevesiz kamlar ve kanallı tambur kamlardır.

- Motor Kamları

Motor kamları, motorların supaplarını açıp kapamakta kullanılırlar. Bu kam sahip olduğu özel profil sayesinde dönme hareketi yaparken iticisini hareket ettirerek supaba ileri geri hareketi yaptırır. Bu açılıp kapanma hareketi sayesinde motorun içine yakıt girer veya yanan yakıttan arta kalan gaz dışarı çıkar. Her bir supap için yapılan bu kamların bir milin üzerinde toplanmasıyla kam mili pratikte anıldığı şekliyle eksantrik mili ortaya çıkmıştır

- Disk Kamlar

Disk kamlar adından da anlaşılacağı üzere disk şeklindedirler. Bu tür kamlar kendilerinden beklenen hareketi sağlamak için genellikle simetrik değildirler. Bu yüzden biçimsiz görünümleri vardır

- Çerçevesiz Kamlar

Çerçevesiz kamların iticisi çerçeve şeklindedir. Kam dönme hareketi yaparken her iki taraftan yataklanmış olan itici sağa sola alternatif hareket yapar. Bu kam düzeneğinin kullanıldığı yere örnek olarak mekanik elekler gösterilebilir.

- Kanallı Tambur Kamlar

Bu kamlar bir tamburun üzerine çeşitli profilde sonsuz kanalların açılmasıyla elde edilir. Kam döndüğünde bu kanalların içerisinde bulunan her iki taraftan yataklanmış itici sağa sola alternatif hareket yapar.

4.4.2 Alın Kısmıyla Çalışan Kamlar

Bu tür kamların iticiye hareket veren kısımları alın kısımlarındaki girinti veya çıkıntılar olabileceği gibi alın kısımlarına açılan sonsuz kanallar da olabilir.

- Alın Şekilli Kamlar

Bu kamların alın kısımlarında iticiye alternatif hareket yaptıracak şekilde özel biçimli girinti ve çıkıntılar bulunur.

- Kanallı Disk Kamlar

Bu kamlar bir disk üzerine açılmış sonsuz kanallardan oluşur. Kamın dönmesiyle bu kanalın içinde bulunan iticinin makarası alternatif hareket yapar. Bu kamlar da çerçevesiz kamlar ve kanallı tambur kamlar gibi çift etkilidirler. Yani iticinin ileri ve geri kurslarını kamın dönme hareketi sağlamaktadır.

4.5 Kamın Üretim Biçimleri

4.5.1 Kamların Elle İmalatı

Kamların elle imal edilmeleri sırasında yapılan ilk işlem kamın çizilmesidir. Bunun için kam diyagramları iticinin yapacağı hareketlere göre çizilir. Bu hareketler yükselme durma ve dönüş hareketleridir. Diyagramdan elde edilen mesafeler daha önceden belli açılarda parçalara bölünmüş bulunan kam resminin üzerindeki açılal çizgilerin üzerine işaretlenir. İşaretlenen noktalar uygun bir pistole kullanılarak birleştirilir. Böylece kam profili elde edilmiş olur. Elde edilen kam profili kam diskinin üzerine markalanır. Daha sonra kesme delme ve eğeleme gibi teknikler kullanılarak kam profili oluşturulmaya çalışılır. Bu yöntem zahmetli ve tecrübe gerektiren bir işlemdir. Ayrıca elde edilen kam, makinede yapılan kamlar kadar düzgün olmaz. Kam yüzeylerinde eğelemeden oluşan hatalardan dolayı ortaya çıkan pürüzlülükler kam iticisinin titreşimli çalışmasına sebebiyet verebilir.

4.5.2 Kamların Üniversal Freze Tezgâhında İmalatı

Üniversal freze tezgâhlarında kamların doğrudan yapılmaları mümkün değildir. Ancak kam imalatı için özel olarak hazırlanmış basit makineler ve aparatlar yardımıyla basit bazı kamlar üniversal freze tezgâhlarında yapılabilir. Kam yapımında kullanılan bu türden aparatlar kopya mantığı ve tezgâhın kendi bölme prensiplerinden hareketle çalışırlar. Bu aparatlarda özel bir bölme aygıtına bağlanan elektrik motoruyla kamın bağlı bulunduğu milin sürekli hareketi sağlanır. Bu bölme aygıtı sonsuz vidasına elektrik motoru bağlanmış bir divizör olarak düşünülebilir. Yapılması istenen kamın bir taslak şekli yapılarak bölme aparatındaki alın kısmına bağlanır. Bu taslak kam, bir dayama ile durdurulur. Zincirli bir ağırlık mekanizmasıyla taslak kamın dayamayla sürekli temas halinde bulunması sağlanır. Dayama ise tezgâhın tablasında sabit durumdadır. Bu şekilde divizör elektrik motoruyla hareket ettirildiğinde ağırlığın etkisiyle dayamayla sürekli temas halinde bulunan kılavuz kamın şekli işlenecek olan kama verilmiş olur. Aparata gerek görülmeden de bazı basit kamların imalatı divizör eksen konumlarının ayarlanmasıyla mümkündür. Buradaki mantık kamın çeşitli eksenlerdeki farklı çaplarda dairelerden oluştuğundan hareketle bu dairelerin merkezlerinin freze tezgâhının tabla hareketleriyle bulunarak divizörün çevirme

kolunun döndürülmesiyle işlenmesidir. Pratik olarak yapılan bu kamlar pek muntazam olmazlar. Ancak ege ile el işçiliği yapılarak tamamlanırlar.

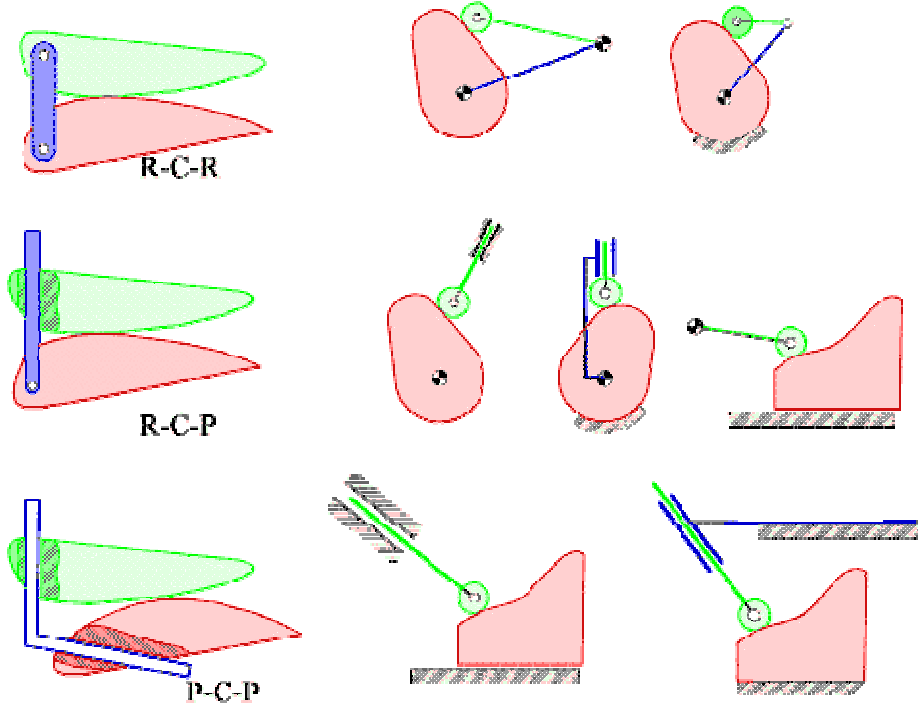
4.5.3 Kamların Özel Kam Tezgâhlarında İmalatı

Kamların kullanma alanlarının çokluğundan dolayı sanayide özel kam yapan tezgâhlara ihtiyaç duyulmuş ve bu amaçla sadece kam imalatı yapan tezgâhlar tasarlanmıştır. Ancak ekonomik yönden çok pahalı olduklarından pratik olmalarına rağmen her işletmede bulunmamaktadır.

4.5.4 Kamların CNC Tezgâhlarda İmalatı

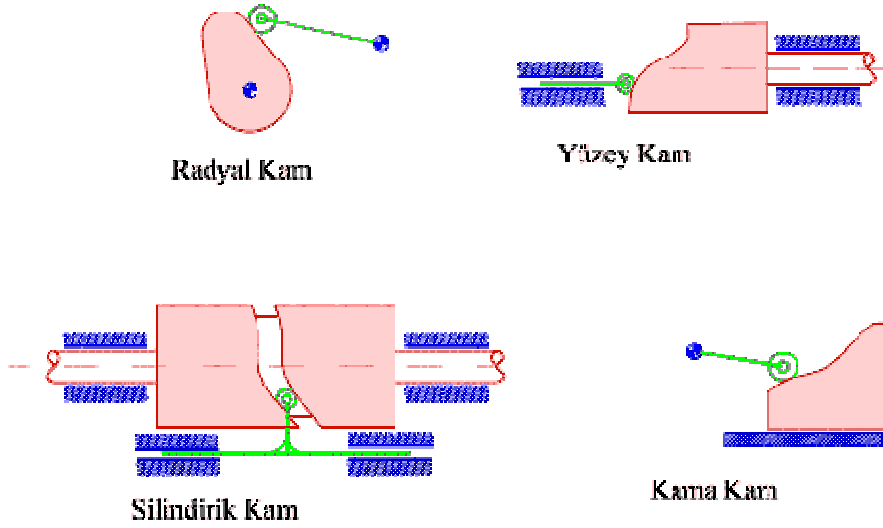
Kamların üretim yöntemlerinde son yıllarda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Kam profillerinin bilgisayarda tasarlanması ve sayısal kontrollü tezgâhlar sayesinde kamların tasarlanması ve imalatı tamamen değişmiştir. 1960'ların sonlarına kadar kamlar kâğıt üzerinde markalama teknikleri kullanılarak tasarlanıyor ve elle, klasik takım tezgâhlarında veya kopya tertibatlı tezgâhlarda düşük adetlerde üretiliyordu. Son zamanlarda kamlar tamamen üniversal ve aynı zamanda ekonomik bir yol olan bilgisayar destekli tasarım teknikleri kullanılarak tasarlanmaktadır. Bilgisayar ortamında profilleri istenilen değerlerde oluşturulan kamlar CNC freze tezgâhlarında ve CNC elektro erozyon tezgâhlarında hassas bir şekilde işlenmektedir. Kamların tasarlanması için çeşitli programlama dillerinde yazılımlar geliştirilmiştir. Bu yazılımlar sayesinde kam için gerekli olan parametreler girilerek kamın etkileşimli olarak tasarlanması mümkündür. Bu yazılımlara internetten erişim imkânı bulunmaktadır. Bu programlarda elde edilen kam resmi bir CAM programına alınarak CNC tezgâh için gerekli programlama kodları üretilebilir.

4.6 Kam Mekanizması Çeşitleri ve Sınıflandırılması



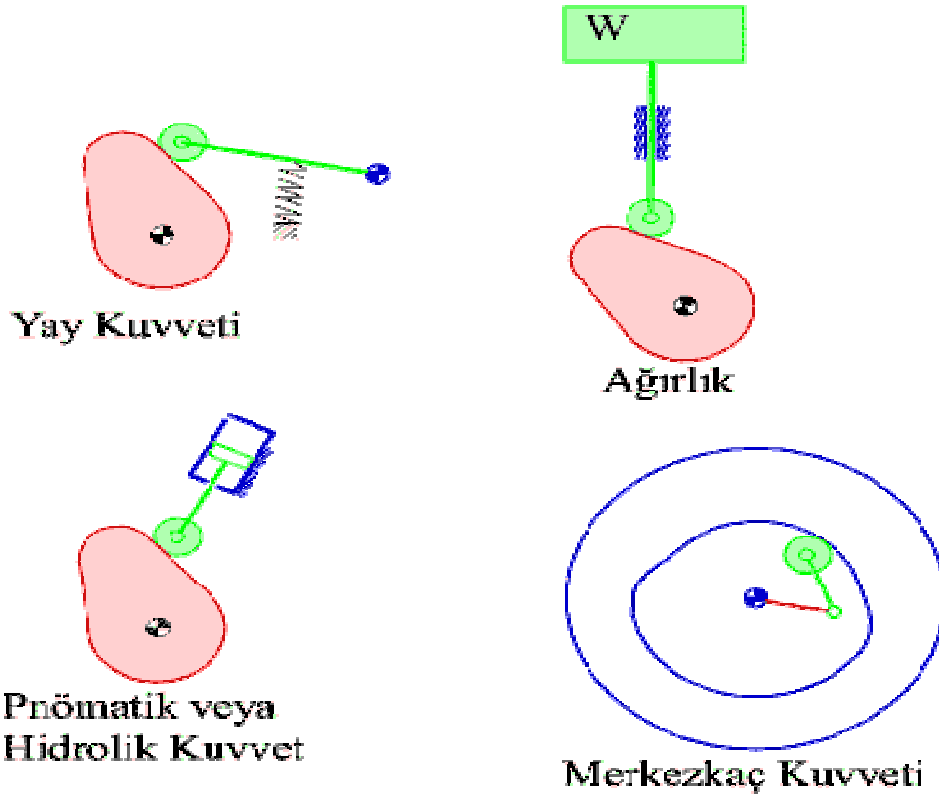
Şekil 4.1 Kam çiftleri

En basit yapı olarak bir serbestlik dereceli kam mekanizmaları üç uzuvlu bir kinematik zincirden oluşur. Mekanizma serbestlik derecesi bir olması için zincirde kam çiftinin dışında bulunan diğer kinematik çiftlerin serbestlik derecesi bir olması gerekir. Bu durumda, diğer kinematik çiftler kayar veya döner mafsall olabilirler. Yukarıda gösterildiği gibi, 3 değişik zincir ve bu zincirlerden elde edilebilen yedi değişik mekanizma mümkündür. Genel olarak kam çiftini oluşturan her iki yüzeyde farklı bir eğri olabilir ise de, imalat kolaylığından dolayı yüzeylerden biri bir doğru veya dairedir. Daire olarak kendi ekseni etrafında dönebilen bir toparlak yerleştirilerek kayma sürtünmesi dönme sürtünmesine dönüştürülür. Kam mekanizmalarının yukarıda gösterildiği şekilde sınıflandırılması yeterli olmamıştır. Bu nedenle uygulamada kam mekanizmalarının sınıflandırılmasında üç değişik kriter kullanılır.



Şekil 4.2 Kam yüzey çeşitleri

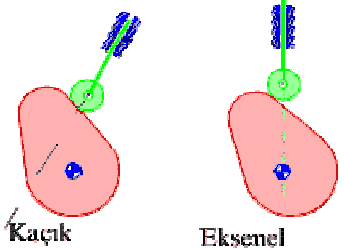
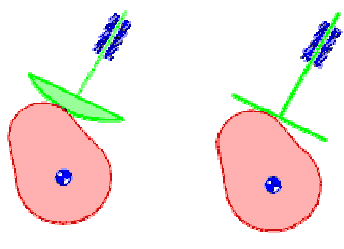
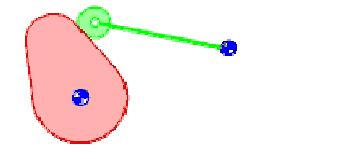
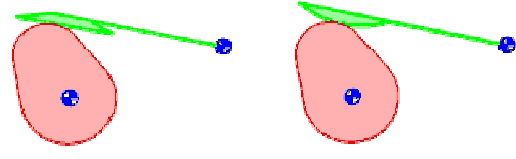
Kamın şekline göre, radyal, yüzeysel, silindirik, kama, konik, küresel veya üç boyutlu olarak kamların sınıflandırılmaları mümkündür.



Şekil 4.3 Kam kuvvet çeşitleri

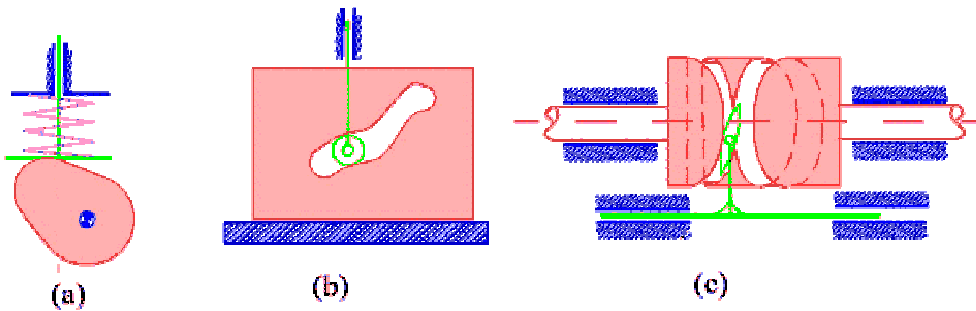
Kam ile izleyicinin temas şekline göre kam çiftleri **kuvvet kapalı** veya **şekil kapalı** olarak sınıflandırılabilir. Kuvvet kapalı kam çiftleri daha yaygın olup kam çifti yüzeyine etkiyen normal kuvvetin ne şekilde oluştuğuna göre sınıflandırılabilir (yay, ağırlık, pnömatik, santrifüj, vb). İzleyici uzuv olarak adlandıracağımız, genellikle basit geometrik yapıya sahip kinematik elemanı olan uzuv ise iki değişik şekilde sınıflandırılır:

1. Kinematik elemanın geometrik şekline göre, düz yüzeyli, toparlaklı, küresel izleyiciler,
2. İzleyici uzvun hareket şekline bağlı olarak, öteleyen veya salınan izleyicilerdir. Ayrıca, öteleme yapan izleyiciler kaçık veya aksenel olarak da ayrılırlar.

Öteleme yapan izleyici	 Kaçık Eksenel	 Silindirik veya küresel Düz yüzey
Salınan izleyici	 Toparlaklı	 Silindirik veya küresel Düz yüzey

Şekil 4.4 Kam sınıflandırması

Bir kam mekanizmasını tanımlarken yukarıda verilmiş olan sınıflandırmalardan mümkün olduğunca fazlası verilmeye çalışılır. Aksenel öteleme yapan, düz-yüzeyli izleyicili, kuvvet kapalı radyal kam (Şekil 4.5a), toparlaklı öteleme yapan izleyicili, şekil kapalı, kamalı kam (Şekil 4.5b) veya öteleme yapan silindirik izleyicili silindirik kam (Şekil 4.5c) gibi. (<http://mekanizma.me.metu.edu.tr/ch8/8-4a.htm>)



Şekil 4.5 Kam izleyici tipleri

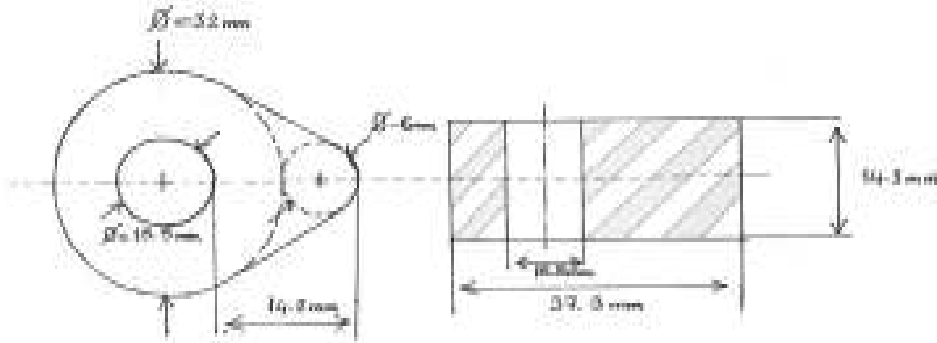
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Toz Metalürjisi İle Kam İmalatı

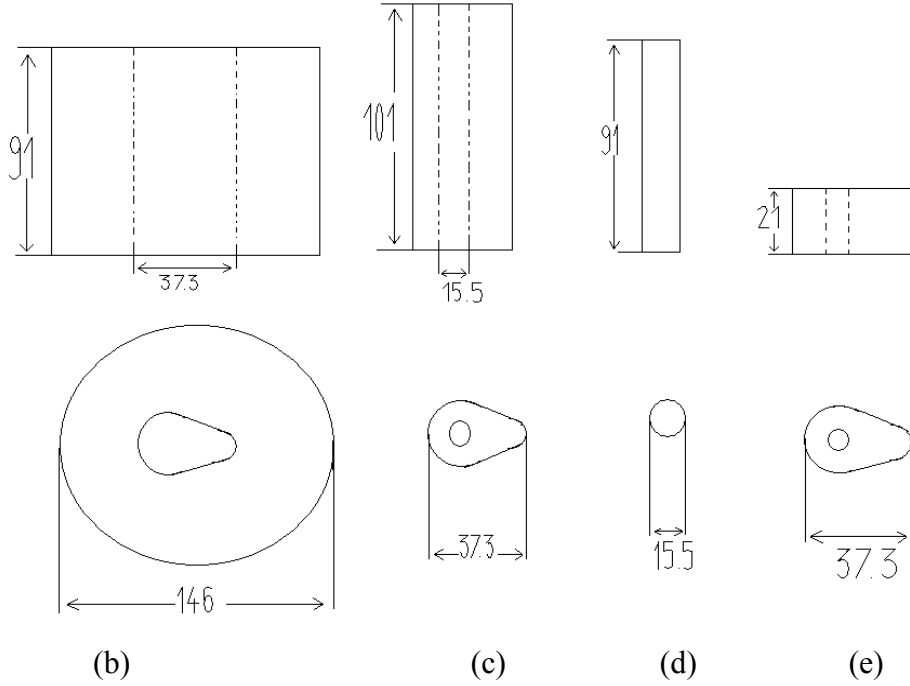
Toz metalürjisi ile kam imal edebilmek için üretilecek kam için kalıp tasarımı yapıldı ve buna göre de kalıbın üretimi tamamlandı, ardından kam üretiminde kullanılacak tozlar ve bağlayıcılar hazırlandı. Tozları aynı boyuta getirmek ve homojen karışımı sağlamak için bir değirmen, hazırlanan tozların şekillendirilmesi için bir pres ve sinterlemek için de bir fırın kullanıldı. Üretilen kamların mikro yapısını incelemek için SEM görüntüsü ve kimyasal bileşimini belirlemek için EDX analizi alındı. Bu işlem aşamaları aşağıda anlatılmıştır.

5.2 Kalıp İmalatı

Toz metalürjisi ile kam imalatı yapabilmek için önce kam profiline uygun kalıp tasarımı yapıldı, teknik resmi hazırlandı ve belirlenen ölçüler doğrultusunda kalıp imal edildi. Şekil 5.1a da toz metalürjisi ile üretilecek kam ve kamın ölçüleri ile birlikte kamın üretiminde kullanılacak kalıbın ölçüleri Şekil 5.1b, c, d ve e' de, imalatı tamamlanmış kalıbın resmi de Şekil 5.2 görülmektedir.



Şekil 5.1a İmal edilecek kamın ölçüleri



Şekil 5.1 Kam imalatında kullanılacak kalıbın ölçüleri (Tüm ölçüler mm dir.)



Şekil 5.2 Üretilecek kam için imalatı yapılmış kam kalıbı ve parçaları

Şekil 5.2 de görülen kam kalıbı, ısıl işlem özellikleri ve kimyasal analizi Çizelge 5.1' de verilen Ç 2080 (AISI D3) sıcak iş çeliğinden tel erozyon ile Ankara Ostim'de bulunan kalıpsan firmasında imal edildi (Şekil 5.1 ve Şekil 5.2) ve kalıplama sırasında kalıbın aşınmaması için vakumda su verme işlemi uygulanarak 60-62 HRC'ye sertleştirildi.

Çizelge 5.1 AISI D3 (Ç 2080) çeliğinin kimyasal bileşimi ve bazı mekanik özellikleri

Ç 2080 çeliğinin Kimyasal analizi										
C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Yumuşatma Tavı	Yumuşatma Tavı	Sertleşme
								Derecesi(°C)	sonrası sertlik(HB)	Derecesi(°C)
2.00	0.20	0.3	11,5	0	0	0	0	800-850	Max.250	940-970

5.3 Tozların Hazırlanması

Kam üretiminde kullanılacak olan bor karbür (B_4C), silisyum karbür (SiC), demir ve kobalt tozları temin edildi. Bor karbür (B_4C) tozu ve silisyum karbür (SiC) tozu Sivas ESTAŞ firması aracılığı ile Almanya'dan getirildi. Fenolik reçine Çukurova Kimya firmasından alındı. Demir tozu ise Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünden, kobalt tozu da Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Tahsin ÜNLÜ Bey'den temin edildi.

Kam üretiminde kullanılacak tozların sıkıştırılması sırasında birbirleri ile tutunabilmeleri için çeşitli bağlayıcılar kullanıldı. Bu bağlayıcılar, potasyum silikat (K_2OSiO_2) ile alüminyum fosfat ($Al_2O_3P_2O_5nH_2O$) ve fenolik reçineden oluşmaktadır. Bu kimyasallar (% 50 Su + % 50 K_2OSiO_2) ve (% 50 Su + % 50 $Al(H_2PO_4)_3$) olmak üzere karıştırıldı. Fenolik reçine, metil alkol-izopropial alkol karışımı içinde çözüldü ve içine hegzametiltetramin [$(CH_2)_6N_4$] ile kalsiyum stearat [$(C_{17}H_{35}COO)_2Ca$] ilave edilerek bakalit yapısı hazırlandı.

5.3.1 Tozların Karıştırılması ve Harmanlanması

Kam üretiminde kullanılacak tozlar beş değişik oranda (Çizelge 5.2) hazırlandılar.

Çizelge 5.2.Metal tozların karışım oranları

	1	2	3	4	5
Demir (Fe) Tozu	50 gr	50 gr	50 gr	50 gr	-----
Kobalt (Co) Tozu	-----	-----	-----	-----	50 gr
Silisyum Karbür (SiC) Tozu	50 gr	50 gr	-----	-----	-----
Bor Karbür (B_4C) Tozu	-----	-----	50 gr	50 gr	50 gr
Potasyum Silikat (K_2OSiO_2)	10 gr	-----	-----	-----	-----
Alüminyum Fosfat ($Al_2O_3P_2O_5nH_2O$)	-----	10 gr	10 gr	-----	-----
Fenolik Reçine	-----	-----	-----	15 gr	15 gr

5.3.2 Kam Üretiminde Kullanılacak Aletler

5.3.2.1 Pres

Şekillendirme presi başlıca şu elemanlardan oluşmaktadır; 490 mm ×490 mm × 25 mm ebatlı üç adet plaka, 42 mm çapında 700 mm yüksekliğinde 4 adet pres sütunu,130 mm çapında 300 mm yüksekliğinde 1 adet hidrolik eleman, 3kW'lık elektrik motoru ve buna bağlı pompadan oluşmaktadır (Şekil 5.3).

Deneylerde kuru presleme uygulandı. Kuru presleme yöntemi kullanılırken pompa basıncı 100 kg/cm² basıncında 13,5 ton 150 gr/cm² basınçta ise 19,5 ton sıkıştırma gücüne sahiptir. Kuru preslemede, presin hareketli orta plaka ile sabit plaka arasına konulan kalıbın hareket kabiliyeti 190 mm dir.



Şekil.5.3 Kam üretiminde kullanılan prese bağlanmış kam kalıbı ve ısıtıcı

5.3.2.2 Şekillendirme Fırını

Genel tanımı:

Lenton Thermal Design Ltd. tarafından üretilen UAF17–27 Furnace, 200–700°C sıcaklıklar arasındaki işlemler için uygun genel amaçlı bir laboratuvar fırınıdır (Şekil 5.4). Bu fırın, “ısıtma odası” ve bir “kontrol sistemi”nden ibarettir.

Isıtma odası;

İzole edilmiş oda, U şeklinde şekillendirilmiş “Super Kanthal 1800 ” elemanlarının kenarı boyunca duvardan boşluğa doğru asılmış olarak durmakta ve bunlarla ısıtılmaktadır. Bu elemanlar MoSi₂ ’den yapılmıştır. Oda, çok özellikli ve çok yüksek sıcaklığa dayanıklı fiber plakalarla izole edilmiştir. Bu materyal, yüksek sıcaklık sürecinden doğan bazı yüzey çatlaklarına duyarlıdır. Bu çatlama fırın performansını etkilemez.

Kontrol Sistemi:

Kontrol sistemi bir ısı programlayıcısı, bir aşırıdan koruma kontrolcüsü, üç transformatör, üç faz açılı tristörü ve bir kapı motoru kontrol ünitesi içerir. Isı programcısı Eurotherm 902P2’den sağlanmıştır. Kontrol paneli “enerji açık” göstergesi, bir ” ısıtma açık” anahtarı, güç kontrol ve kapı kontrol sisteminden ibarettir. Bu sistem, kapıya güç verip kesme, gösterge, kapı-güç açık, yukarı-aşağı ve stop butonudur. Isıtma odasına Pt-PtRh termokulp sıcaklık algılayıcısı yerleştirilmiştir. Aşırı sıcaklık kontrolcüsüne ise aynı tip ikinci termokulp bağlanmıştır. Transformatörlerde elde edilen düşük voltaj, seri bağlı elemanları devreye geçirmeye uygun olarak donatılmıştır. Faz açısı tristör kontrol ünitesi seviyesine karşılık gelen sinyali ısı programcısından alarak kontrol eder.”ısıtıcı açık” neon göstergesi, elemanların ısındığını görüntüler. Güç devresindeki manyetik kondaktör aşırı ısı hatası görüldüğünde ve kapı açıldığında devreyi keser fırının her bölgesine kuvvetli soğutma havası sağlanması için soğutma fanları yerleştirilmiştir. Üniteye güç verince fanlar çalışmaya başlar. Isıl işlem sonrası kalan ısı giderilinceye kadar fanlar çalışmaya devam eder. Fırın sıcaklığı 300°C’nin altına düşünceye kadar enerji kapatılmamalıdır.

Lenton marka bu şekillendirme fırının teknik özellikleri aşağıdaki Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3 Sinterleme fırınının teknik özellikleri

MODEL	UAF 17\27E	
Sıcaklık Kontrolü	808P	
Aşırı Sıcaklık Kontrolü	92	
Elektrik Kaynağı	Kayna	3PH\1N
	Voltaj	380 V
	Frekans	50\60
	Maksimum Güç Hızı	1200 W
	Güç ayarı (faktör ayarı)	100%
Nominal Ağırlık	316 kg	
Elektrik Tesisat Diyagramı	WD	
EK BİLGİLER		
L.T. D Ara Ref.	14341	
Seri Numarası	5525	



Şekil 5.4 Sinterleme fırını

5.3.2.3 Öğütme ve Karıştırma Değirmeni

Bu değirmen (Şekil 5.5) içersinde seramik bilyeler bulunduran 3,5 lt hacimli iki porselen kavanoz (dönen silindirler üzerinde yatay konumda bulunmaktadır) ve bunları döndüren iki silindirten ibarettir. Çalışma esnasında bu silindirler dönerken porselen kavanoz içersindeki bilyeler birbiri üzerinde darbe ile yuvarlanarak hammadde veya mamul maddeyi sıvı ortamda öğütür.

Deneysel çalışmalarda kullanılacak tüm tozlar aynı tane boyutuna getirilmesi için Şekil 5.5 görülen değirmende öğütüldü.



Şekil 5.5 Öğütme ve karıştırma değirmeni

5.3.2.4 Kamın Üretimi (Tozların Şekillendirilmesi) ve Sinterleme İşlemi

Kam üretimi için gerekli karışımlar Çizelge 5.2 de verildiği şekli ile hazırlandı ve aşağıdaki açıklama doğrultusunda birleştirilen tozlar kuru malzeme kalmayacak şekilde karıştırıldılar.

Silisyum karbür (SiC) tozları, potasyum silikat (K_2OSiO_2) bağlayıcı ile ıslatıldı ve Fe tozlarının üzerine ilave edildi.

Silisyum karbür (SiC) tozları, alüminyum fosfat ($Al_2O_3P_2O_5nH_2O$) bağlayıcı ile ıslatıldı ve Fe tozlarının üzerine ilave edildi.

Bor karbür (B_4C) tozları, alüminyum fosfat ($Al_2O_3P_2O_5nH_2O$) bağlayıcı ile ıslatıldı ve Fe tozlarının üzerine ilave edilmiştir.

Bağlayıcı fenolik reçine, B_4C tanelerini ıslatarak Fe tozu ile karışımın üzerine eklendi.

Bağlayıcı fenolik reçine, B₄C tanelerini ıslatarak Co tozu ile karışımın üzerine eklendi.

Bu şekilde hazırlanan karışımlar Şekil 5.5 'de görülen değirmende tekrar homojen karışım haline getirildi.

Çizelge 5.2 de verilen 1.ci karışım önce Şekil 5.6'de görülen kam kalıbı ile üretildiler. Bu karışım prese bağlanmış kalıba yerleştirilerek 150 bar basınçla kam biçiminde şekillendirildiler. Bu kamlar, Şekil 5.4'de görülen fırında 960°C sıcaklığına 16 saat süre ile ısıtılarak sinterleme işlemi ile pişirildiler. Bu sıcaklıkta 30-60 dakika beklendikten sonra fırın oda sıcaklığına soğutuldu. Daha sonra fırından dışarı alınan numune kamların bozulmuş olduğu görüldü (Şekil 5.7). Kamlardaki bu bozukluk, sinterleme sırasında bağlayıcı özelliğinin kaybolmasına ve aynı zamanda kalıbın da hatalı olabileceğine bağlanabilir. Bağlayıcı özelliğinin kaybolması da ya bağlayıcının uygun olmadığı ya da sinterleme sıcaklığının bu bağlayıcı için doğru seçilmediği kanaatini doğurmaktadır. Dolayısıyla kamların şekil bozukluğu bir taraftan bağlayıcı maddeye diğer taraftan da kalıba bağlanabilir. Bu grupta bağlayıcı olarak kullanılan potasyum silikatın (K₂OSiO₂) iyi bir ıslatıcı olmasına rağmen 960°C sıcaklıkta bağlayıcılık özelliğini kaybettiğini söylemek mümkün olmuştur.

Çizelge 5.2 de verilen oranlarda hazırlanan toz karışımlarından 1ci gurup dışında kalan guruplar (2ci, 3cü ve 4cü guruplar), Şekil 5.5 de görülen öğütme ve karıştırma değirmeninde takriben aynı tane boyutuna getirildikten sonra içerisine fenolik reçine ilave edildi ve karışım 30-60 dakika süre ile homojen hale getirilmeye çalışıldı. Buradan alınan karışım tozları Şekil 5.2 de görülen kalıp, Şekil 5.3'de görüldüğü gibi prese bağlandıktan sonra içerisine konarak preslenmek sureti ile Şekil 5.8'de görülen kamlar üretildi. Karışım tozları, Şekil 5.3 de görüldüğü gibi prese bağlanmış kalıba yerleştirilerek 150 bar basınçla şekillendirildiler. Şekil 5.3 de görüldüğü gibi presleme esnasında kalıbın dış yüzeyi harici bir ısıtıcı ile çepeçevre sarıldı. Bu ısıtıcı sadece iç tarafa ısı vermektedir. Yani yalnız kalıbı ısıtmaktadır. Tozlar kalıba doldurulduktan sonra preslemeye başlandı ve aynı anda tozlar sıkıştırılırken de ön ısıtma (yaklaşık 150°C'de) yapıldı. Ön ısıtmanın amacı hem toz karışımındaki nemi almak hem de bağlayıcı tozların iyi bağlanmasını sağlamaktır.

Şekillendirme tamamlandıktan sonra elde edilen yarı mamul kamların guruplar halinde Şekil 5.4'de görülen fırında 22 saat süre ile 1060°C sıcaklığa ısıtıldılar ve 30-60 dakika beklendikten sonra fırın oda sıcaklığına soğutuldu. Sinterlemenin amacı; ergime

noktası düşük malzemelerin sinterleme esnasında ergiyerek, yüksek ergime noktasına sahip tozların arasındaki boşlukların doldurulmasıdır. Ayrıca sinterleme esnasında ön ısıtmada tam olarak ortamı terk etmemiş olan bağlayıcının hava ile yakılarak ortamdan uzaklaştırılmasını sağlamaktır.

Şekillendirilme sırasında kamlara yaklaşık 150°C civarında ön ısıtma uygulandı. Çizelge 5.2 de verilen karışımlarda yer alan ıslatıcı maddeler ön ısıtma sırasında tozların hidrojen (Van Der Waals) bağlarıyla bağlanarak kamların rijitik kazanması sağlanmaktadır. Özellikle ön ısıtma B₄C ile demir veya kobalt tozlarını bir arada tutabilmesi için gerekli sıcaklıktır. Demir veya kobalt tozları B₄C'ü tamamen sarması gerekmektedir. Bunun için ıslatıcı kullanılmaktadır. Islatıcı 150°C civarında hidrojen bağlarıyla bağlanarak malzemeyi rijit durumda tutar.

Sinterleme, B₄C ana madde olmak üzere Fe ve Co tozlarının ergime derecelerinin 2/3'ü sıcaklıkta (moleküller arası kohezyon kuvvetleri) sinter bağları teşekkül ettirme işlemidir. B₄C'ün ergime sıcaklığı yüksek (2800°C) olduğundan dolayı sinter bağı demir veya kobalt tozlarınca oluşur. B₄C'ü demir veya kobalt tozları sarar. B₄C ile sinter bağı yapmış demir veya kobalt tozları arasında Van Der Waals bağları oluşur.

Ergime sıcaklığı düşük bir bağlayıcı toz ile ergime sıcaklığı (bağlayıcı tozdan veya granülden) çok yüksek malzeme tozları arasında birleşmeyi sağlayarak kompozit elde etme işlemine sinterleme işlemi denir. Bu işlem sırasında ortaya çıkan bağa sinter bağı denir. Sinter bağı metalik bağdan daha sert (aşınmaya dayanıklı) ve mukavemet yönünden sağlamdır. Sinter bağı fırınlama işlemi sırasında bağlayıcı tozları sıcaklık arttıkça, tozlar arasındaki çekim kuvveti (kohezyon) artar. Kompozit malzemede verilen ısının etkisiyle iç enerji artar ve iç enerjinin artması sinter bağını oluşturur. Sinter bağı yüksek enerjili bağ olduğundan kovalent bağ gücünde bir bağdır. Kovalent bağlar yüksek enerjili bağ olup B₄C, SiC, TiC, AlN vs gibi ileri teknoloji seramiklerinde görülür.

Sinter bağ, bağlayıcı tozun ergime sıcaklığına yakın (yaklaşık 4/5) sıcaklığa kadar bağ enerjisi artar. Optimum sıcaklık 2/3'ün biraz üstüdür.



Şekil 5.6 Hatalı kalıp görünümü



Şekil 5.7 Hatalı üretilen kamlar



Şekil 5.8 İmalatı bitmiş kam

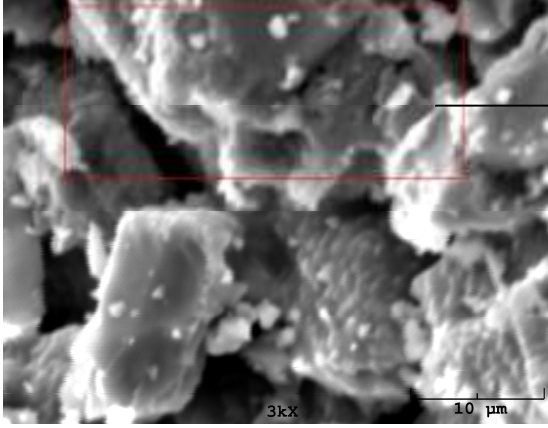
Kalıplama işlem tamamlandıktan sonra kam numuneler kalıptan çıkarıldılar. Bu kamlar, 300°C sıcaklığa ön ısıtılmış fırına (Şekil 5.5) konarak sinterlendiler. Sinterleme tamamlandıktan sonra fırın içinde bırakılmak sureti ile oda sıcaklığına soğutuldular. Sinterleme olarak tanımlanan bu pişirme işlemi sırasında ise fenol reçineden artık kalan nem ve oksijenin kamlardan uzaklaşması sağlandı. Daha sonra fırından alınan bu numunelerin (Şekil 5.8), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi laboratuvarlarında SEM görüntüleri ile EDX grafikleri (Şekil 5.9-5.24) ve EDX analizleri (Çizelge 5.4-5.12) alındı.

5.4 İmal Edilen Malzemelerin SEM-EDX Görüntüleri ve Kimyasal Analizleri

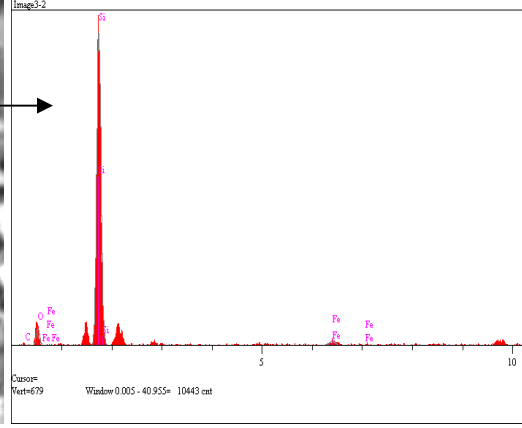
5.4.1 Silisyum Karbür ve Fe Tozları Karışımı

% 50 SiC + % 50 Fe tozları ile potasyum silikat (K_2OSiO_2) bağlayıcısının karışımından (1ci karışım) üretilen ve 960°C sinterlendikten sonra oda sıcaklığına soğutulan kamin SEM görüntüsü (Şekil 5.9) ve EDX analizi (Şekil 5.10) alındı. SEM görüntüsü üzerinde görülen dikdörtgen alan içinden alınan EDX sonuçları Çizelge 5.4' de görülmektedir. Çizelgede karıştırılan tozlarda yer alan elementler görülmektedir. Bunların dışında gerek grafikte gerekse çizelgede oksijende görülmektedir. Bu ise, son sinterleme esnasında bağlayıcıdan gelen oksijenin tam olarak giderilemediği sonucuna götürmektedir. Ayrıca Si pikinin yüksek olması, analiz alınan noktada Si'un yoğun

bulduğunu göstermektedir. Bu da toz karışımının istenen homojen yapıda olmadığı sonucunu göstermektedir.



Şekil 5.9 SiC-Fe tozları karışımının SEM görüntüsü



Şekil 5.10 Şekil 5.9 daki SEM görüntüsündeki dikdörtgen içerisinde alınan EDX grafiği

Çizelge 5.4 Şekil 5.9’de dikdörtgen içerisinde alınan elementlerin yoğunluğu

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
C	Ka	1.18	0.685	4.475	wt.%	
O	Ka	27.91	3.340	19.700	wt.%	
Si	Ka	651.94	16.141	71.733	wt.%	
Fe	Ka	14.06	2.370	4.092	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

kV 20.0

Takeoff Angle 35.0°

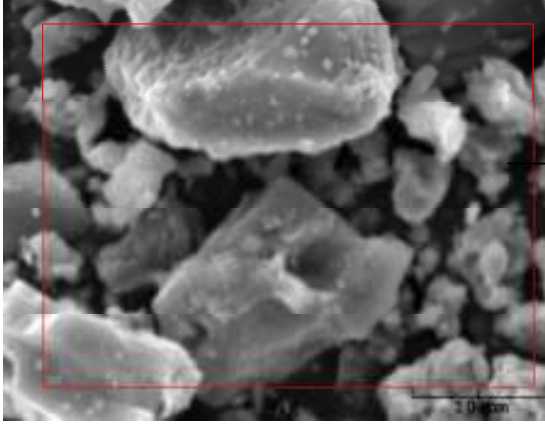
Elapsed Livetime 10.0

5.4.2 Silisyum Karbür ve Fe Tozları Karışımı

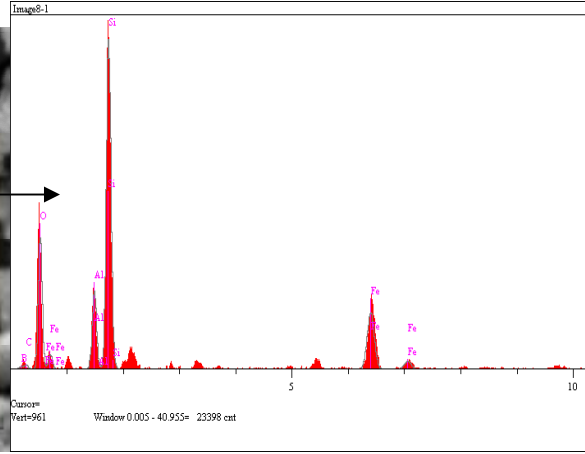
% 50 SiC + % 50 Fe tozları ile alüminyum fosfat ($Al_2O_3P_2O_5nH_2O$) bağlayıcısı karışımından (2ci karışım) üretilen kam, 1060°C sıcaklıkta sinterlendikten sonra kamın aynı noktasından alınan SEM görüntüsünün farklı bölgelerinden EDX analizleri alındı.

Bunlardan ilk alınan SEM görüntüsü Şekil 5.11’de ve EDX analizi Şekil 5.12’de görülmektedir. SEM görüntüsü üzerinde görülen dikdörtgen şeklinde geniş bir alan içinden alınan EDX analiz sonuçları Çizelge 5.5’ de görülmektedir. Çizelgede karıştırılan tozlarda ve bağlayıcıda yer alan elementler görülmektedir. Bu elementlerden Al ve oksijen bağlayıcıda buldukları için yapıda yer almışlardır. Bu nedenle Al

bulunması normaldir. Ancak oksijen son sinterleme sırasında yapıdan uzaklaşması gerekirdi. Sinterleme sırasında oksijenin uzaklaşması için yeterli bir zamanın verilmediğinden yapıda kaldığını söylenebilir.



Şekil 5.11 SiC-Fe tozları karışımının SEM görüntüsü



Şekil 5.12 Şekil 5.11 deki SEM görüntüsündeki dikdörtgen içerisinde alınan EDX grafiği

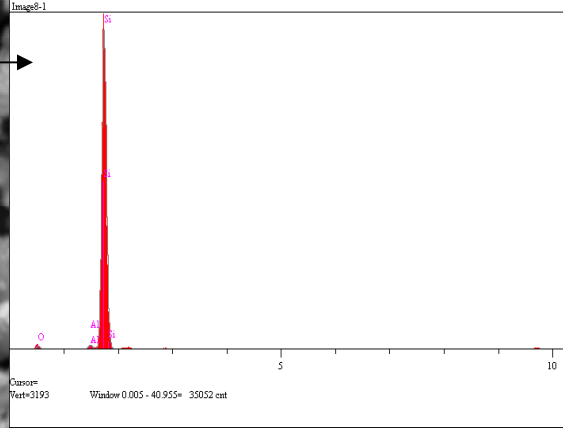
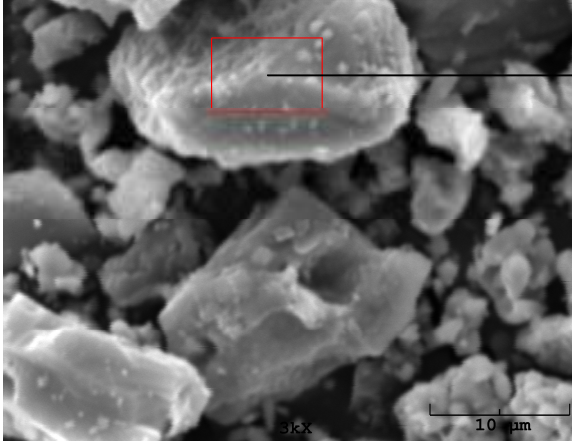
Çizelge 5.5 Şekil 5.11’de dikdörtgen içerisinde alınan elementlerin yoğunluğu

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Unit	
B	Ka	6.22	1.576	23.269	wt. %	
C	Ka	10.93	2.090	5.919	wt. %	
O	Ka	301.29	10.975	31.540	wt. %	
Al	Ka	210.15	9.166	5.228	wt. %	
Si	Ka	922.53	19.204	21.870	wt. %	
Fe	Ka	239.93	9.794	12.174	wt. %	
				100.000	wt. %	Tota 1

kV 20.0
Takeoff Angle 35.0°
Elapsed Livetime 10.0

Şekil 5.13’de görülen SEM görüntüsü Şekil 5.11’de görülen ile aynı olup aynı kamdan alınmıştır. Ancak EDX analizinin alındığı alan, şekilden de görüldüğü gibi Şekil 5.12’deki EDX analiz alanının küçük bir bölgesini içermektedir (Şekil 5.13’deki küçük dikdörtgen alan). Bu alandan alınan EDX analizi (Şekil 5.14) ve Çizelge 5.6’de görülmektedir. Çizelgede karıştırılan tozlarda ve bağlayıcıda yer alan elementler görülmektedir. Bu elementlerden Al ve oksijen bağlayıcıda buldukları için yapıda yer almışlardır. Bu nedenle Al bulunması normaldir. Ancak oksijen son sinterleme sırasında

yapıdan uzaklaşması gerekirdi. Sinterleme sırasında oksijenin uzaklaşması için yeterli bir zamanın verilmediğinden yapıda kaldığını söylemek mümkündür. Dikkat çeken bir husus ise C'un ve Fe'in bulunmamasıdır. Bu da, toz karışımının homojen olmadığını göstermektedir. Ayrıca bu bölgede C'un oksijen ile birleşerek gaz halinde yapıdan uzaklaştığı söylenebilir.



Şekil 5.13 SiC+Fe tozları karışımının SEM görüntüsü

Şekil 5.14 Şekil 5.13 deki SEM görüntüsündeki dikdörtgen içerisinde alınan EDX grafiği

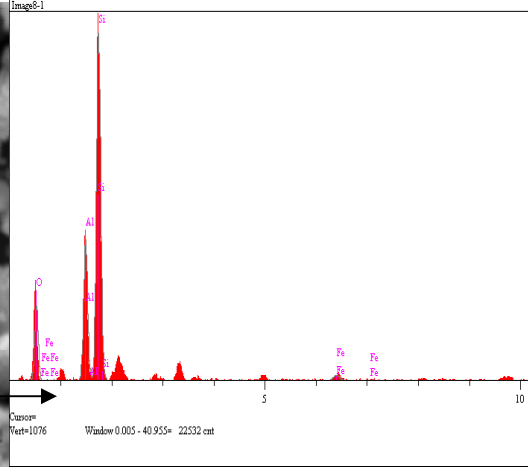
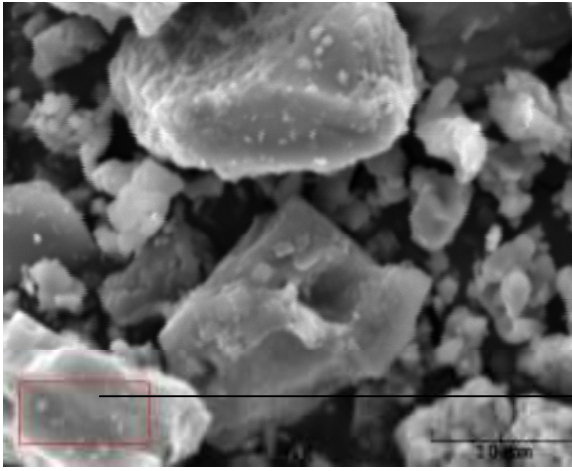
Çizelge 5.6 Şekil 5.13'de dikdörtgen içerisinde alınan elementlerin yoğunluğu

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	26.12	3.231	6.170	wt. %	
Al	Ka	40.39	4.018	1.063	wt. %	
Si	Ka	3,119.10	35.310	92.767	wt. %	
				100.000	wt. %	Total

kV 20.0
Takeoff Angle 35.0°
Elapsed Livetime 10.0

Şekil 5.15'de görülen SEM görüntüsü Şekil 5.11'de görülen ile aynı olup aynı kamdan alınmıştır. Ancak EDX analizinin alındığı alan, şekilden de görüldüğü gibi Şekil 5.12'deki EDX analiz alanının küçük bir bölgesini içermektedir (Şekil 5.15'deki küçük dikdörtgen alan). Bu alandan alınan EDX analizi (Şekil 5.16) ve Çizelge 5.7'de görülmektedir. Çizelgede karıştırılan tozlarda ve bağlayıcıda yer alan elementler görülmektedir. Bu elementlerden Al ve oksijen bağlayıcıda buldukları için yapıda yer

almışlardır. Bu nedenle Al bulunması normaldir. Ancak oksijen son sinterleme sırasında yapıdan uzaklaşması gerekirdi. Sinterleme sırasında oksijenin uzaklaşması için yeterli bir zamanın verilmediğinden yapıda kaldığını söylemek mümkündür. Dikkat çeken bir husus ise C'un bulunmamasıdır. Bu da, toz karışımının homojen olmadığı ve bu bölgede C'un oksijen ile birleşerek gaz halinde yapıdan uzaklaştığı anlamına gelmektedir.



Şekil 5.15 SiC-Fe tozları karışımının SEM görüntüsü

Şekil 5.16 Şekil 5.15'deki SEM görüntüsündeki dikdörtgen içerisinde alınan EDX grafiği

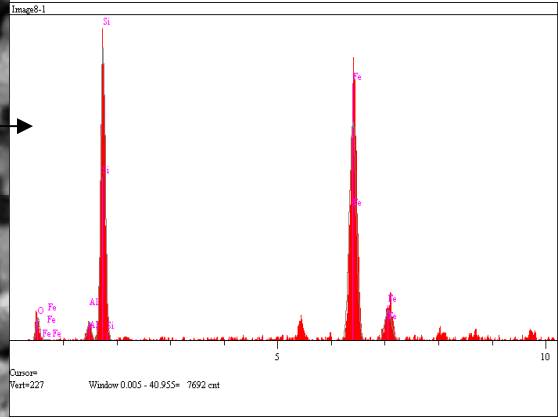
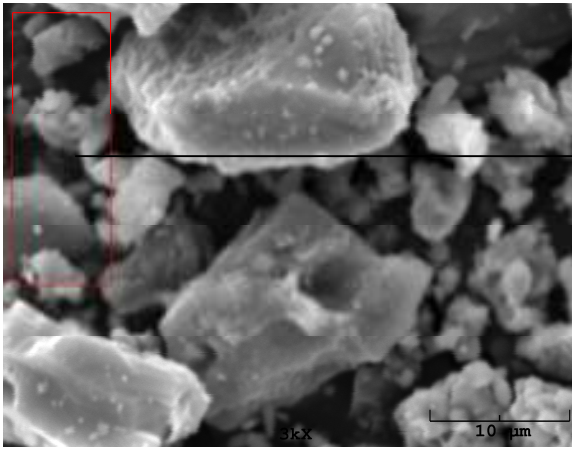
Çizelge 5.7 Şekil 5.15'deki dikdörtgen içerisinde alınan elementlerin yoğunluğu

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	182.25	8.535	33.262	wt.%	
Al	Ka	405.10	12.725	16.054	wt.%	
Si	Ka	1,043.90	20.427	48.220	wt.%	
Fe	Ka	26.11	3.231	2.464	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

kV 20.0
Takeoff Angle 35.0°
Elapsed Livetime 10.0

Şekil 5.17'de görülen SEM görüntüsü Şekil 5.11'de görülen ile aynı olup aynı kamdan alınmıştır. Ancak EDX analizinin alındığı alan, şekilden de görüldüğü gibi Şekil 5.12'deki EDX analiz alanının küçük bir bölgesini içermektedir (Şekil 5.17'deki küçük dikdörtgen alan). Bu alandan alınan EDX analizi (Şekil 5.18) ve Çizelge 5.8'de görülmektedir. Çizelgede karıştırılan tozlarda ve bağlayıcıda yer alan elementler

görülmektedir. Bu elementlerden Al ve oksijen bağlayıcıda buldukları için yapıda yer almışlardır. Bu nedenle Al bulunması normaldir. Ancak oksijen son sinterleme sırasında yapıdan uzaklaşması gerekirdi. Sinterleme sırasında oksijenin uzaklaşması için yeterli bir zamanın verilmediğinden yapıda kaldığını söylemek mümkündür. Dikkat çeken bir husus ise C'un bulunmamasıdır. Bu da, karışımın homojen olmadığı ve bu bölgede C'un oksijen ile birleşerek gaz halinde yapıdan uzaklaştığı anlamına gelmektedir. Ayrıca 2ci karışımın değişik noktalarından alınan analizlerde Si'un, bazı noktalarda da Si ile Fe yoğun bulunduğu görülmektedir. Bu da toz karışımının istenen homojen yapıda olmadığı sonucunu göstermektedir.



Şekil 5.17 SiC-Fe tozları karışımının SEM görüntüsü

Şekil 5.18 Şekil 5.17 deki SEM görüntüsündeki dikdörtgen içerisinde alınan EDX grafiği

Çizelge 5.8 Şekil 5.17'de dikdörtgen içerisinde alınan elementlerin yoğunluğu

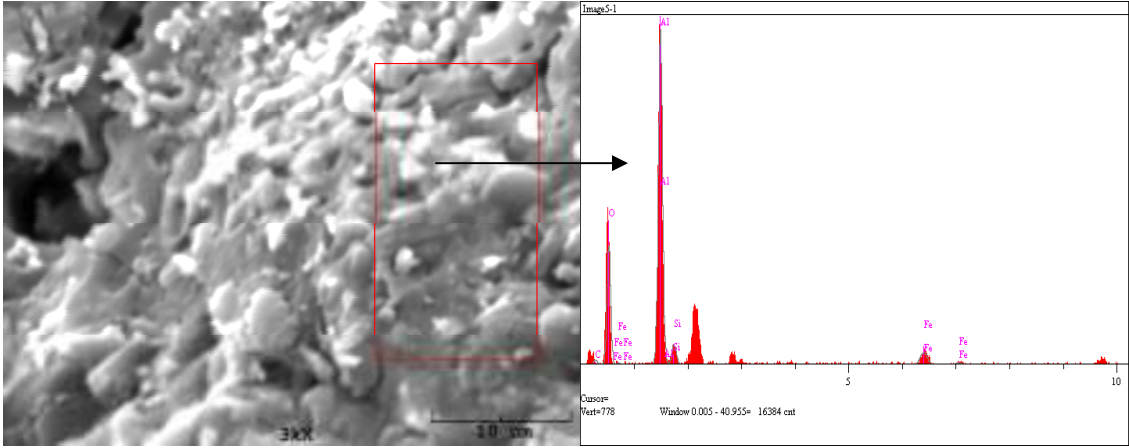
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
O	Ka	13.20	2.297	5.556	wt.%	
Al	Ka	13.20	2.298	2.292	wt.%	
Si	Ka	210.90	9.183	31.731	wt.%	
Fe	Ka	239.55	9.787	60.420	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

kV 20.0
Takeoff Angle 35.0°
Elapsed Livetime 10.0

5.4.3 Bor Karbür ve Fe Tozları Karışımı

% 50 B₄C + % 50 Fe tozları ile alüminyum fosfat (Al₂O₃P₂O₅nH₂O) bağlayıcısı karışımından (3cü karışım) üretilen kam, 1060°C sinterlendikten sonra kamdan alınan

SEM görüntüsü (Şekil 5.19) ve EDX analizi (Şekil 5.20) görülmektedir. SEM görüntüsü üzerinde görülen dikdörtgen alan içinden alınan EDX sonuçları Çizelge 5.9 de görülmektedir. EDX grafiğinde ve Çizelgede karıştırılan tozlarda yer alan elementler ve karışımda olmayan Si görülmektedir. Normalde karışımda olmayan Si elementinin, bir önceki Si ve Fe tozlarının karıştırılmasından sonra değirmenin iyi temizlenmemesi sonucu değirmen içinde kalan artık tozlardan karışıma girdiği, ayrıca Çizelge 5.9 ve Şekil 5.20’de görülen Al elementi ise bağlayıcıdan arta kaldığı ve yapıda yer aldığı, bağlayıcıda yer alan O (oksijen)’in sinterleme sırasında yapıdan uzaklaştığı kabul edilmektedir. Ayrıca Al ve C’un yoğun bulunduğu (Şekil 5.20) toz karışımının homojen olmadığını işaret etmektedir.



Şekil 5.19 B₄C-Fe tozları karışımının SEM görüntüsü

Şekil 5.20 Şekil 5.19 daki SEM görüntüsündeki dikdörtgen içerisinde alınan EDX grafiği

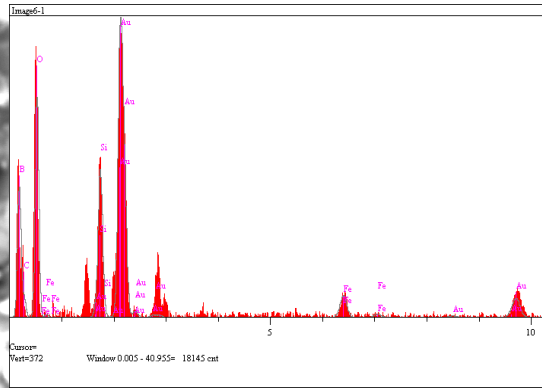
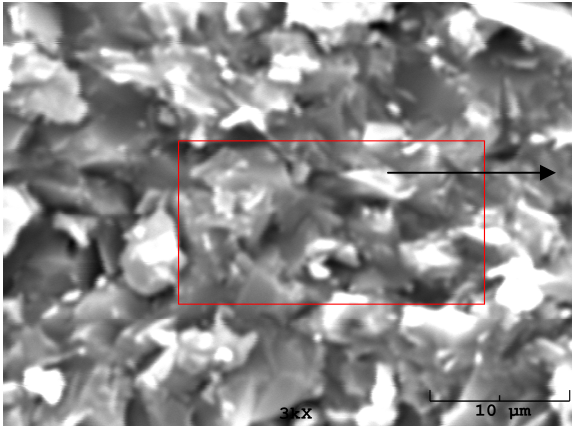
Çizelge 5.9 Şekil 5.19’da dikdörtgen içerisinde alınan elementlerin yoğunluğu

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
B	Ka	9.29	1.927	6.974	wt.%	
C	Ka	221.44	9.408	42.718	wt.%	
Al	Ka	734.93	17.139	41.396	wt.%	
Si	Ka	44.81	4.232	3.781	wt.%	
Fe	La	42.94	4.143	5.131	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

kV 20.0
Takeoff Angle 35.0°
Elapsed Livetime 10.0

% 50 B₄C + % 50 Fe tozları ile fenolik reçine bağlayıcısı karışımından (4cü karışım) üretilen kam, 1060°C sinterlendikten sonra kamdan alınan SEM görüntüsü (Şekil 5.21)

ve EDX analizi (Şekil 5.22) görülmektedir. SEM görüntüsü üzerinde görülen dikdörtgen alan içinden alınan EDX sonuçları Çizelge 5.10 da görülmektedir. EDX grafiğinde ve Çizelgede karıştırılan tozlarda yer alan elementler ve karışımda olmayan Si, O ve Au görülmektedir. Normalde karışımda olmayan bu elementlerden Si, daha önceki Si ve Fe tozlarının karıştırılmasından sonra değirmenin iyi temizlenmemesi sonucu değirmen içinde kalan artık tozlardan karışıma girdiği düşünülmektedir. Şekil 5.22 ve Çizelge 5.10 da görülen oksijenin bağlayıcıdan geldiği ve sinterleme esnasında giderilemediği ve altın (Au) elementinin ise, EDX analizi için yapılan altın kaplamadan yapıya karıştığı sanılmaktadır.



Şekil 5.21 B₄C-Fe tozları karışımının SEM görüntüsü

Şekil 5.22 Şekil 5.21deki SEM görüntüsündeki dikdörtgen içerisinden alınan EDX grafiği

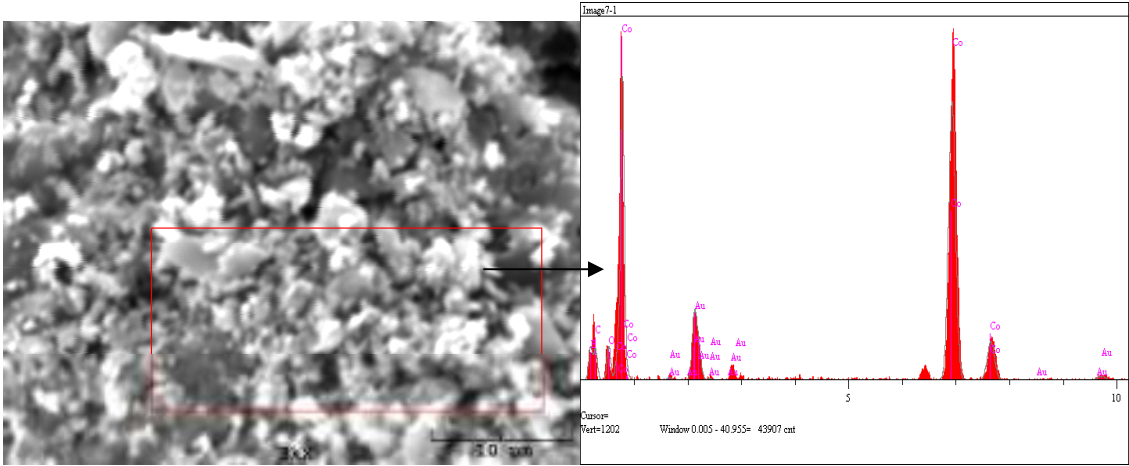
Çizelge 5.10 Şekil 5.21’de dikdörtgen içerisinden alınan elementlerin yoğunluğu

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
B	Ka	136.35	7.384	47.887	wt.%	
C	Ka	21.44	2.928	7.433	wt.%	
O	Ka	228.66	9.563	20.430	wt.%	
Si	Ka	186.74	8.642	2.718	wt.%	
Fe	Ka	41.73	4.085	1.497	wt.%	
Au	La	44.72	4.229	20.035	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

kV 20.0
Takeoff Angle 35.0°
Elapsed Livetime 10.0

5.4.4 Bor Karbür ve Kobalt Tozları Karışımı

% 50 B₄C + % 50 Co tozları ile fenolik reçine bağlayıcısı karışımından (5ci karışım) üretilen kam, 1060°C sinterlendikten sonra kamın SEM görüntüsü (Şekil 5.23) ve EDX analizi (Şekil 5.24) alındı. SEM görüntüsü üzerinde görülen dikdörtgen alan (Şekil 5.23) içinden alınan EDX sonuçları (Şekil 5.24) Çizelge 5.11’ de görülmektedir. EDX grafiğinde ve Çizelgede karıştırılan tozlarda yer alan elementler ve karışımda olmayan altın (Au) ve oksijen (O) elementi görülmektedir. Normalde karışımda olmayan altın, EDX analizi için yapılan altın kaplamadan yapıya karıştığı, oksijenin ise bağlayıcıdan geldiği ve son sinterleme esnasında giderilemediği düşünülmektedir. Ayrıca analiz bölgesinde yoğun olarak Co’ın bulunması toz karışımının istenilen homojen yapıda olmadığını göstermektedir.



Şekil 5.23 B₄C-Co tozları karışımının SEM görüntüsü

Şekil 5.24 Şekil 5.23 deki SEM görüntüsündeki dikdörtgen içerisinden alınan EDX grafiği

Çizelge 5.11 Şekil 5.23’de dikdörtgen içerisinden alınan elementlerin yoğunluğu

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units	
B	Ka	92.17	6.071	36.339	wt.%	
C	Ka	91.00	6.033	16.165	wt.%	
O	Ka	93.35	6.110	4.823	wt.%	
Co	Ka	1,479.99	24.329	36.419	wt.%	
Au	La	23.19	3.046	6.254	wt.%	
				100.000	wt.%	Total

kV 20.0

Takeoff Angle 35.0°

Elapsed Livetime 10.0

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Sonuçlar

- ❖ Toz metalürjisinde kalıp imalatının çok önemli olduğu tespit edildi.
- ❖ Potasyumsilikat 960°C'deki sinterleme sıcaklığına uygun bir bağlayıcı ve ıslatıcı olmadığı görülmüştür. Potasyumsilikat bu sıcaklıkta değil, daha düşük sıcaklıklarda (800°C sıcaklığın altında) uygun olabilir.
- ❖ Toz metalürjisinde bağlayıcının seçiminin de önemli bir kıstas olduğu belirlenmiştir.
- ❖ Alüminyumfosfat'ın iyi bir bağlayıcı ve iyi bir ıslatıcı olduğu ortaya çıkmıştır.
- ❖ Tozların mikro yapı farklılığı olduğu zaman sinterlemede problemle karşılaşılacağı, her metal tozunun elek testinden geçirilerek karıştırılmasının uygun olacağı tespit edilmiştir.
- ❖ Tozların karıştırılmasında homojen bir yapı elde edilmediği zaman kaliteli bir ürün elde edilmeyeceği sonucuna ulaşıldı.
- ❖ B₄C, SiC metal tozları ile kompozit çalışmalarında demir tozlarının yan reaksiyonlara açık olduğu için Fe tozunun kompozit çalışmalarda uygun olmadığı görüldü.
- ❖ Ayrıca SiC'ün kam ve sızdırmazlık elemanı için uygun bir madde olmadığı görüldü.
- ❖ Bu çalışmada B₄C ve kobalt tozu alüminyumfosfat veya fenolik reçine gibi bağlayıcılarla uyumlu ve çok iyi kompozit malzeme olacağı görüldü.
- ❖ Yanlış ya da uygun olmayan bağlayıcı kullanıldığında iyi bir ürün elde edilemeyeceği sonucuna varıldı.

Öneriler

- Tozların daha homojen yapıda karıştırılması sağlanmalıdır.
- Değirmenlerin çok iyi temizlenerek veya farklı öğütme değirmenleri kullanılarak tozların içersine yabancı tozların girmesi engellenebilir.
- Sinterleme sıcaklığının bağlayıcı özelliğine bağlı olarak seçilmesi gerekir.
- Vakumlu fırında sinterleme yapılarak karışımdaki oksijenin uzaklaştırılması sağlanabilir ve demir tozu gibi ucuz malzeme kullanılabilir.
- Demir tozu ile pasif bir ıslatıcı (Fe ile reaksiyon vermeyen ıslatıcı) kullanılabilir.
- Aynı tozlar ile değişik bağlayıcılar kullanılarak araştırmaya devam edilmelidir.
- SEM görüntüleri daha kaliteli alınmalıdır.

- Elde edilen ürünün birden çok noktasında EDX analizi alınmalıdır.
- Gözeneklilik testleri yapılmalıdır.
- Aşınma testleri de yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Anonim www.ugursoy.sakarya.edu.tr
- Anonim <http://mekanizma.me.metu.edu.tr/ch8/8-4a.htm>
- Çalışkan, C. (2000). Toz metalurjisi, İ.T.Ü Bitirme projesi.
- Davitsen, J.E. (1984). Compressibility of metal powders. Metal handbook ninth edition vol.7 Powder metallurgy, 286–287, Ohio.
- Dotter, T.T. (1984). Blending and premixing of metal powders. Metals handbook ninth edition vol.7. Powder metallurgy, 186–189.
- Daniel, I.M., shai, O. (1994), Engineering Mechanics of Composite Material, by Oxford University, _res, _nc.
- Evans, C. (1984). Gren strength of compacted metal powders. Metals handbook ninth edition vol.7. Powder metallurgy, 288-289.
- Göktaş, A.A. (1995). “Al₂O₃-B₄C kompozit seramiklerin sinterlenmesi ve karakterizasyonu” Uluslararası metalurji sempozyumu, 6 Haziran.
- Gummesson, P. , Stosuy A. , (1984). Production sintering practices for P/M materials. Metals handbook ninth edition vol.7. Powder metallurgy, 339-350.
- Kulkarni, M.S. , Mariappan, V. (2002). “Multiple responce potimization for improved machined surface quality” 16 Kasım.
- Lenel Fritz Z. (1984). Mechanical Fundamentals of Consolidation, Metals Handbook Ninth Edition, Vol.7, Powder Metallurgy, American Society of Metals, pp. 296-308.
- Leo, A.A. (1984). Apperent density of metal powders, Metal handbook ninth edition vol.7. Powder metallurgy, 273–275, Ohio.
- Mark, W.D. (1984). Annealing of metal powders, Metals handbook ninth edition vol.7, Powder metallurgy, 182–185.
- Mastrangelo, A.J. (1984). Screening of metal powder, American society for metals, Metal handbook ninth edition vol.7. Powder metallurgy 176-177.
- Nayar, H.S. (1984). Production sintering atmospheres. Metals handbook ninth edition vol.7. Powder metallurgy, 339–350.
- Patel, K.B. (1984). Flow rate of metal powders, Metal handbook ninth edition vol.7. Powder metallurgy, 278–281.
- Shtern, M., Mikhailov, O. (2001). “Peculiarities of the use of package gid for the analysis of forming processes in powder metallurgy” Institute for problems of materials

sciences, Kiev, Ukraina.

Şahin, Y. (2000). Kompozit malzemelere giriş, Gazi Üniversitesi, Ankara

Sarıtaş, S. (2003). “Toz metalurji ders notları” .

Sarıtaş, S. (1985). “Çelik toz dövmeçilik” O. D.T.Ü, Cilt-sayı 11.

Savvakın, G.I. , Dubovik, T.V., Oleinik, G.S. (1995). “Structure studies of ceramics based on detonation-wave-threathed grahite-like boron nitride” Powder metallurgy and metal ceramics.vol.34.

Selçuk, B. , Ünlü, T. , Yücel, A. , Namlı, N.(2002).“Borkarbürün seramik tozu ile şekillendirilmesi ve karakterizasyonu” 3rd international powder metallurgy conference,September,4-8.

Soper, W.E. (1984). Tap density of metal powders.Metals handbook ninth edition vol.7. Powder metallurgy ,276-277.

Tanır (1997). Termoplastik kompozitlerin imalı ve mekanik özelliklerinin bulunması. Lisans Programı Bitirme Projeleri, Dokuz Eylül Üniversitesi.

Ulrich (1984). “Powder metallurgy”

Yılmaz, S.S., Ünlü, B.S., Varol, R. (2007). “Borlama ve bilyalı dövmenin demir esaslı T/M malzemelerde yorulma davranışına etkisi” Makine teknolojileri elektronik dergisi,61–68.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Hakan UYGUNUÇARLAR
Doğum Yeri ve Tarihi	Sivas, 28/04/1970
Medeni Hali	Evli
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	TCDD Loko Bakım Atelyesi Tekerlek Torna Şubesi
E-posta Adresi	huygunucarlar@gmail.com

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Samsun 19 Mayıs Lisesi, 1987
Lisans	Gaziantep Üniversitesi, 1996
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2005

İş Tecrübesi

Kümsan	Makine mühendisi M.AN kısım amiri , 1996-1997
TCDD4. BÖLGE LOKO BKM ATELYESİ	Uzm.Mühendis, 1999-

Ödüller, Teşvikler ve Üyelikler

YMGV
TUBİTAK
BRITISH COUNCIL
TMMOB/MMO

