

1. GİRİŞ

Toz metalurjisi metal tozlarının belirli oranlarda karıştırılarak, oda sıcaklığında hassas kalıplarda, istenen teknik değerlere uygun basınçlarda sıkıştırılması (presleme) ve kontrollü atmosferlerde fırınlanmasıyla (sinterleme) parça üretme yöntemidir. Parçalardan beklenen diğer özelliklere ulaşmak için sinterlemeden sonra kalibrasyon, çapak alma, yağlama ve ısıt işlemler gibi işlemlerde yapılabilir (Yıldırım, 1999)

Toz metalurjisi üretim yöntemleri diğer metal şekillendirme yöntemlerinden tamamen farklıdır ve seramik parça üretim teknolojisine benzemektedir. İşlem her iki halde de tozların bir kalıp içinde sıkıştırılmasıyla başlanır. Oluşturulan şekil pişirilerek gerekli mukavemete kavuşturulur (Somunkıran, 1999).

Bazı parçalar bu işlemi takiben kalibrasyon (yeniden presleme), yağ veya plastik emdirme, daha düşük ergime noktalı bir metal veya alaşım sızdırma, ısıt işlem veya kaplama işlemlerine tabi tutulabilir. Diğer bir ifadeyle T/M, elementel tozların, tam ve/veya yarı ön alaşımlanmış tozların bağlayıcılar ve yağlayıcılarla birlikte harmanlanarak uygun sıkıştırma yöntemleri ve sıcaklıklar kullanılarak arzu edilen şekilde üretilmeleri süreçlerini içeren oldukça kapsamlı ve çok disiplinli bir malzeme üretim yöntemidir (Öveçoğlu, 1997).

Toz metalurjisi (T/M) modern bir imalat yöntemidir. Çok küçük partikülleri birbirine bağlayarak parça haline getirme işlemidir. Bu işlem metal tozlarının kendine has yöntemler ile küçük, girintili çıkıntılı, diğer klasik yöntemlerle üretilmesi zor olan iş parçalarının seri olarak üretilmelerine olanak sağlayan toz malzeme teknolojisidir (Benjamin, 1974).

Toz metalurjisi teknolojisi, artık malzeme bilimlerinin önemli bir alanı olmuştur. Böylece, toz dövme, metal matrisli kompozit sıcak izostatik presleme gibi çeşitli süreçlerde toz metalurjisi teknolojisinin kullanım alanı gün geçtikçe genişliyor (Taner, 2000) .

T/M ile şekillendirmenin ilk modern uygulamaları, 1. Dünya Savaşı yıllarında başlamıştır. Gözenekli gereçler, mıknatıslar ve elektrikli lamba flamanlarının üretimi bu yıllarda başlamış ve gelişme göstermiştir. Otomobil sanayindeki gelişmelere paralel olarak T/M üretim yöntemleri de artarak gelişmiştir. Günümüz endüstrisinde, bu yöntemle üretilen parçaların, özellikle şekil ve ağırlık bakımından sağladığı avantajlar nedeniyle tercih edilmesi, bu yönde üretim ve araştırma yapan kuruluşların sayısı artmıştır. Ülkemizde ise 2005 yılında gerçekleştirilen 4. Uluslar arası Toz Metalurjisi Konferansı, bu alandaki gelişmelerin daha da iyi olacağının göstergesidir (Sümer, 2004)

19. yüzyıl sonlarında, endüstride platin ve iridyum gibi yüksek sıcaklıkta ergiyen metallerin kullanılması denenmiştir. Kimyasal bir yöntemle platin toz haline getirilmekte, bu toz çok yüksek basınçta sıkıştırılmakta ve sonra ısıtılmaktaydı. Böylece tozlar masif bir kütle haline

gelmekteydi. 1826 yıllarında Rusya'da çıkarılan platin para, T/M'nin ilk endüstriyel tatbikatı olmuştur (Ersümer, 1970). T/M tarihçesinin teknikteki uygulaması Çizelge 1.1'de görülmektedir.

Çizelge 1.1. T/M tarihçesinin teknikteki uygulamaları (Ersümer, 1970).

Malzeme	Keşif tarihi
Demirci kaynağı ile birleştirilmiş demir ve çelik tozlarından mamul silah ve ziynet eşyası veya kıymetli madenler.	Orta çağ
Sinterlenmiş platin	1800-1810
Madensel amalgamlı kurşun	1850-1855
Metallograflitik karbon	1900-1903
Refrakter malzeme, molibden ve volfram	1903-1905
Toz alaşımlarından mürekkep ikili sistemlerin denge diyagramlarının etüdü	1905-1910
Gözenekli parçalar	1910-1912
Sinterlenmiş karbürler (WC,Mo ₂ C)	1914-1917
Volfram-platin, volfram-bakır, Volfram-gümüş alaşımları	1917-1921
Sinterlenmiş Volfram karbürler (demir asıllı bağlayıcılar)	1921-1922
Bronz alaşımlı yataklar	1925-1930
Sinterlenmiş mıknatıslar	1934-1941
Gözenekli demirden mamul yataklar	1935-1940
Sinterlenmiş demir ve çelik esaslı makina parçaları	1940-1950
Soğuk-sıcak izostatik presleme, toz dövme, toz ekstrüzyon	1950-1960
T/M yöntemleri ile tam olarak homojen, yoğun, ince taneli, segregasyonsuz, ve yüksek mukavemetli malzemelerin üretimi	1970-1980
Birçok yeni ve önemli toz prosesi teknolojileri geliştirilmeye başlanmış (hızlı karıştırma, mekanik alaşımlandırma ve toz enjeksiyon)	1980-1990

2. TOZLARIN ÖZELLİKLERİ

Metal tozlarının birçok özellikleri üretim tekniklerine göre belirlenmektedir. Bu sebeple T/M parçaların kullanım alanlarına göre değişik metotlarla üretilen tozlar kullanılmaktadır. Bazı durumlarda da farklı imal yöntemleriyle hazırlanan tozlar aynı tip bir parçanın imalinde eşdeğer olarak kullanılabilir. Örneğin elektrolitik ve indirgenmiş bakır tozlarının bronz yataklarda kullanılması olduğu gibi . Buna benzer istisnalar dışında genelde her uygulamada farklı metotla üretilen belli özellikteki tozlar kullanılır. Metal tozlarının özellikleri kimyasal ve fiziksel olmak üzere iki ana başlık altında incelenebilir (Kurt, 1992).

Kimyasal ve fiziksel özellikleri tespit edebilmek için numune toza ihtiyaç vardır. Numune toz, kütlenin tüm kesitinden alınarak kütleye ait özellikleri doğru olarak vermelidir. Bunun için özel numune alıcıları üretilmiştir. Bu alıcılar bir tüp şeklinde ve açılır kapanır pencereleri vardır. Tüp toz kütlenin içine gömüldükten sonra pencereler açılarak tüpün içine toz dolar. bu tozlar harmanlanıp bölücülerle parçalanarak özellik tespiti yapılır.

2.1. Kimyasal Özellikler

Kimyasal özelliklerden tozun bileşim ve saflığı anlaşılmaktadır. Genellikle tozların içerisine üretim sırasında kimyasal indirgenme sonucu yabancı parçacıklar karışır. Yeterli indirgenmemiş toz taneciklerinde oksit kalıntılarına rastlanabileceği gibi tane sınırlarında da oksitler görülür. Tozların hava ile teması sonucu bir süre sonra tozlar oksitlenebilir. Tozların preslenmesi sırasında Cr, Zr, Al, Mg, Pb, Sn gibi metallerin kararlı oksitlerinin kalıp ve zımba yüzeylerinde olumsuz etkileri gözlenmiştir.

Tozların kimyasal özelliğinin tespiti için mevcut analiz yöntemleri uygulanabilir. Örneğin tozdaki oksijeni tespit edebilmek için belli ağırlıktaki kurutulmuş tozun yaklaşık bir saat süre ile hidrojen altında 550-1150 °C sıcaklıkta indirgenerek tartılması ile yapılır. (Kurt, 1992).

$$\% O_2 = \frac{A_i - A_s}{A_i} \times 100$$

Burada;
A_i = İlk ağırlık
A_s = Son ağırlık

Bu formül ancak indirgenemeyen bileşikler için kullanılır, indirgenemeyen SiO₂, Al₂O₃, CaO, BeO, TiO₂, vs. gibi dengeli oksitler için başka deneyler yapılır.

Asitle çözünmeyen maddelerin tespiti için de yine belli ağırlıkta alınan toz numune^ asit içinde kaynatılarak çözünmeyen maddeler filtre edilerek bir fırında 980 °C civarında yakılarak son ağırlığın ilk ağırlığa bölümünün yüzle çarpımı; asitte çözünemeyen maddenin % miktarını verir.

MgO, CuO, MnO₂, vs. HCl asitle çözünebildiklerinden, çözücü asit olarak HCl asit kullanıldığında bulunan değere saydığımız oksitler dahil değildir.

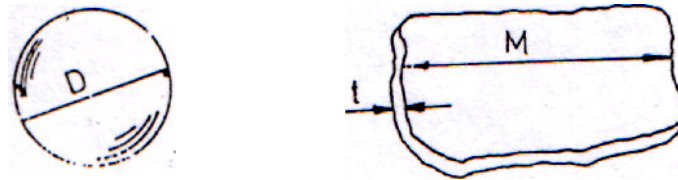
2.2. Fiziksel Özellikler

Tozların fiziksel özelliklerini; parçacık boyutu, parçacık şekli, yapısı, özgül yüzey, görünür yoğunluk ve akış hızı gibi özellikler belirler. Presleme ve sinterleme özellikleri de bu özelliklerle yakından ilgilidir.

2.2.1. Parçacık Boyutu

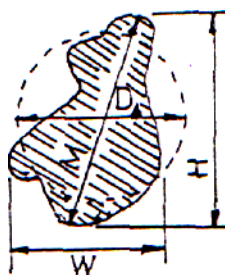
Tane boyutu bilgisi tozları ele alan herkes için gereklidir. Eğer partikül küresel değil ise tek bir partikül boyutunu belirlemek kolay bir iş değildir. Tek bir partikül boyutunu saptamak çoğunlukla parçacığın yaklaşık geometrik yapısının silüetinden yola çıkılarak varsayıma dayanan çap özelliğinden yararlanılır (Kousaka, 1997)

Toz parçacıklarının eleklerle veya diğer metotlarla tespit edilen boyutudur. Tozların tamamının aynı boyutta olduğu söylenemez, ancak ortalama tane boyutundan söz edilebilir. Toz şekli; parçacık şekli karmaşık oldukça parçacık boyutu ölçüm teknikleri de değişir. Şekil 1' de görüldüğü gibi küresel bir toz için bir tek çap ölçmek yeterli iken, pul şeklindeki toz parçacıkların pul kalınlığı ile düzlem yönündeki boyunun da ölçülmesi gerekir.



Şekil 2.1:Küresel ve pul şeklindeki parçacıklar

Parçacık tozla karmaşık şekilli ise üç dört boyut Ölçümü gerekir. Çok fazla karmaşık şekilli parçacığın tane boyutu yüzey alanından gidilerek bulunabilir.



H - İzdüşüm boyu

M - Maksimum kort boyu

W - izdüşüm genişlik

Eşdeğer küresel çap

$DA=(4A/\pi)^{1/2}$, A= İzdüşüm alanı

$DS=(S/\pi)^{1/2}$, S= Yüzey alanı

$DV=(6V/\pi)^{1/3}$, V= Hacim

Tozların tane büyüklüklerini genellikle elek analizi ölçüm tekniği ile yapılır. Ölçüm döküm kumu tane büyüklüğü tespiti gibi yapılır. Elek büyüklüğü delik büyüklüğü ile ölçülür. Elek büyüklüğü meş (mesh) ile belirtilir. Gönümüzde metrik sisteme geçiş olduğundan artık eleklerde delik büyüklüğü (U m j mikron cinsinden değeri yazılıdır. Elek hiçbir zaman bir toz tanesinin gerçek boyutunu ölçmez, sadece belirli bir değerden büyüktür veya küçüktür diye ayırır.

Çizelge 1.2. Standart Elek Analiz Takımı

Meş	Delik büyüklüğü (µm)	Hata ±µm
30	600	25
40	425	19
50	300	14
60	250	12
80	180	9
100	150	8
140	106	6
200	75	5
230	63	4
235	45	3

2.2.2. Parçacık Şekli

Parçacıkların şekli; tozların akış, görünür yoğunluk sıkıştırılabilirlik, ham mukavemet, gerginlik, sinterlenebilirlik gibi özelliklerini etkileyen önemli bir etkidir. Toz parçacık şekilleri Şekil 2.2'de görüldüğü gibi homojen bir şekilde değildir. Tek boyutlu (iğne, düzgün olmayan çubuk), iki boyutlu dentiritik, pul ve üç boyutlu (küresel, yumru vb) olarak sınıflandırılırlar (Kurt, 1992).

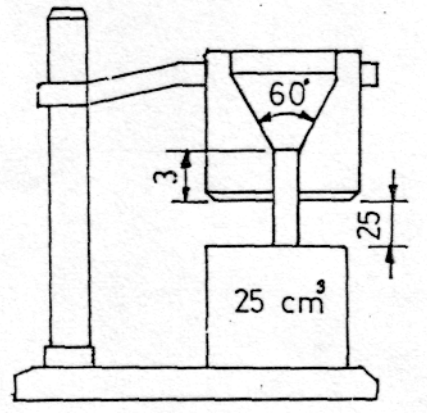


Şekil 2.2. Üretim metotlarına göre toz şekilleri

Parçacık şekli küresel olan tozlar kolay akış özelliği gösterirler. Pul şeklindeki tozlar iyi akış özelliği göstermezken bazı tozlar ise, genellikle düzgün olmayan şekilli tozlar, hiç akmaz. Görünür yoğunluğu en yüksek toz, küresel tozdur. Köşeli tozlar ile yüksek gözenekli tozlar düşük yoğunluk gösterirler. Düzgün şekilli tozlar kolay preslenirken; düzgün olmayan şekilli tozlar daha zor sıkıştırılırlar. Bu tür zor sıkıştırılan tozlarda sıkışmayı kolaylaştırmak için toza yağlayıcılar katılır. Parçacık şekli düzgün olmayan taneciklerde sıkıştırma ile tanecikler arasında daha fazla bağlantı meydana geleceğinden sinterleme sırasında difüzyon daha hızlı olur. Bu olayda parçanın sinterleme sonrası mukavemetinin artmasını sağlar.

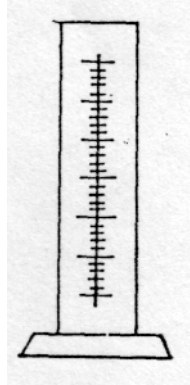
2.2.3. Teorik ve Görünür Yoğunluk

Hall akış aparatı ile ölçülen görünür yoğunluk; parçacık şekli, boyutu, yüzey alanı ve parçacıkların düzeni gibi faktörlerle yakından ilgilidir. Hall akış aparatı Şekil 2.3' de görüldüğü gibidir. Aparatın standart yükseklikteki hunisinden 25 cm hacmindeki kabına toz doldurulur. Toz huniden akarak altındaki kabı doldurur. Kap dolunca toz ağırlığı tartılarak yoğunluk bulunur. Görünür yoğunluk, belirli şartlar altında dökülerek elde edilen tozun yoğunluğudur . Başka bir ifadeyle görünür yoğunluk sıkıştırılmamış tozun ağırlığıdır.



Şekil 2.3: Hall akış aparatı.

Teorik yoğunluk ise ergitilerek dökülmüş malzemenin yoğunluğudur. Metal tozlarından parça üretimi sırasında, tozlar titreşime maruz kaldıkları için tozlara ait vurgu yoğunluğunun bilinmesinde fayda vardır. Tozların vurgu yoğunluğunun bulunması Şekil 2.4’de görülen hacim ölçekli bir kap içinde yapılır. Kaba toz doldurulur ve sonra bu kap herhangi bir titreşimli cihazla titreştirilir veya kaba dışarıdan vurularak tozun kap içinde titreşim sonucu sıkışması sağlanır. Daha sonrada son durumdaki tozun kap içindeki gösterge karşılığı hacmi okunarak toz ağırlığı tartılır. Tartılan toz kütle, okunan hacime bölünerek tozun vurgu yoğunluğu tespit edilir.



Şekil 2 4. Vurgu yoğunluğu için hacim ölçeği

2.2.4. Tozların Akış Hızı

Toz metal parça üreten firmalarda, üretim sırasında tozların kolay akması önem arz eder. Çünkü üretimin hızlı ve seri olabilmesi için tozların kaplardan kalıplara, dolayısıyla kalıplar içinde kolay akması gerekir. Tozların akış hızı zamanı da kısaltacağından görünür yoğunlukla akış hızı arasında da bir ilişki mevcuttur. Görünür yoğunluğu yüksek tozlar kısa akış süresine sahiptir.

Tozların akış hızı, yine Hall akış aparatından faydalanılarak bulunabilir. Bunun için; 50 gr toz 100 °C bir saat süreyle kurutulduktan sonra Hall akış aparatına doldurulur ve akış süresi zaman olarak tespit edilir. Kütlenin (gr), zamana (sn) bölümü toza ait akış hızını verir. İyi akış özelliğine sahip olmayan tozlar ise şev açısından faydalanılarak bulunur. Şev açısı; tozun belirli şartlar altında yatay bir yüzey üzerine serbestçe döküldüğünde oluşturduğu yığının taban açısıdır.

2.2.5. Tozların Sıkıştırılabilirliği

Uygulanan basınç ile kolay sıkışabilme ve yüksek yoğunluk sağlama kabiliyetidir. Sıkıştırılabilirlik yoğunlaşma parametresi ile tanımlanır.

$$\text{Yoğunlaşma parametresi} = \frac{P_h - P_g}{P_t - P_g} \text{ dir.}$$

Burada;

P_h = Ham yoğunluk,

P_g = Görünür yoğunluk,

P_t = Teorik yoğunluktur.

Ham yoğunluk, sıkıştırılmış tozun sinterlemeden önceki yoğunluğudur. Yani tozun sıkıştırma sonrası, sinterleme öncesi yoğunluğudur.

Yoğunlaşma parametresi tozların yoğunlaşma oranını tespit eder ve bu oran ham yoğunluk teorik yoğunluğa yaklaşıncı 1, görünür yoğunluğa yaklaşıncı 0 (sıfır) olur.

Sıkıştırma oranı ise; tozun sıkıştırılmadan önceki hacminin, sıkıştırıldıktan sonraki hacmine oranıdır.

Tozun sıkıştırılabilirliği, toz şekline, tane büyüklüğüne ve dağılımına, tozun sertliğine ve kullanılan yağlayıcılara bağlıdır.

2.2.6. Tozların Yanıcılık ve Zehirleyici Özelliği

Her şeyin üzerinde gelen insan sağlığı açısından tozlara ait bu özelliklerin dikkate alınması gerekir. Birçok toz çeşidi düşük denilebilecek sıcaklıkta, bazıları da oda sıcaklığında oksijenle birleşerek ateşlenebilirler. Ateşlenme yönüyle 50 mikronun altındaki parçacıkları zararlı, 1 mikronun altındaki parçacıkların özellikle tehlikeli olduğu söylenebilir. İnsan vücuduna solunum ve sindirim yolu ile alınan tozların vücutta birikmesi neticesi tehlikeli rahatsızlıklar ortaya çıkarmaktadır. Radyoaktiflik gösteren tozlar ise özellikle tehlikelidir. Bu tehlikelere maruz kalmamak için gerekli emniyet tedbirleri alınmalı havalandırma, temizleme, sistemleri mükemmel olmalı, gerek duyuluyorsa emniyet maskeleri ile çalışılmalıdır (Kurt, 1992).

Örneğin berilyumun zehirliliği nedeni ile en uç derecede güvenlik tedbiri almak gerekir. Prosedür ve ekipmanlar metalografik hazırlık sırasında üretilen zararlı toz parçacıklarını hesaba katarak tasarlanmalıdır (Marder ve diğ., 1992). Berilyumun gazı tutulup alınmaz ise çok tehlikeli olur. Berilyum kaybını minimize etmek amacı ile çok az bir oksitleyici atmosfer altında çok dikkatli bir şekilde çalışılmalıdır. (Schmidt ve diğ., 1992).

3. METALİK TOZ ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Metal tozların üretiminde temel olarak dört çeşit yöntem vardır.

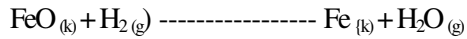
- 1- Kimyasal tepkimelerle toz üretimi,
- 2- Elektroliz yöntemi,
- 3- Atomizasyon yöntemi,
- 4- Mekanik öğütme veya Mekanik alaşımlama

3.1. Kimyasal Tepkimelerle Toz Üretimi

Genelde tüm metal tozları kimyasal tekniklerle üretilebilir (German, 1994). Kimyasal yöntemle üretimde; katı, sıvı veya buhar fazı tepkimeleri ile toz üretimi gerçekleştirilebilir. Bu yöntemle üretilen tozların ebatları 5-10 µm ile 100-500 µm arasında ve değişik şekilli olabilmektedir. Bu üretim yöntemi; gaz altında katının ayrışması, temel ayrışma, sıvıdan çökeltme ve gazdan çöktürme olmak üzere dörde ayırmak mümkündür (Roll, 1984).

3.1.1. Gaz Altında Katının Ayrışması (Doğrudan İndirgeme)

Bu yöntemde, saf metal oksit tozları gerek karbon monoksit gerek de hidrojen gazı ile tepkimeye sokularak yüksek sıcaklıklarda metal oksit indirgenmesi gerçekleşir. Bu yöntemle, demir, bakır, tungsten, molibden, nikel ve kobaltın oksitleri indirgenerek bunların tozları üretilir. Gaz altında metal oksit indirgenmesine en iyi örnek demir oksit'in (FeO) indirgenmesi için geçerli olan tepkimedir (Öveçoğlu, 1997).



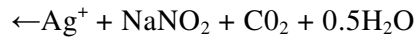
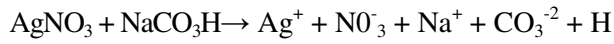
3.1.2. Termal Ayrışma (Karbonil)

Buhar fazında ayrışma ve yoğunlaşma süreçlerinin birleşimi ile metal tozlarını üretmek mümkündür. Bu süreçlerin birleşimdeki en temel örnekleri demir karbonil Fe (CO)₅ veya nikel karbonil Ni (CO)₄ tepkimelerini içeren üretim yöntemidir. Üretilen bu tozlar 2-4 µm veya 2-10 µm arasında ve yaklaşık % 99.6 saflıktadır (Roll, 1984). Diğer metallerden; bakır, krom, platin, radyum, altın ve kobalt karbonil üretimi için gereken yüksek enerji ihtiyacı

ile karbondioksit sirkülasyonunun beraberinde getireceği potansiyel tehlikelerden ötürü dünyada sadece nikel ve demir karbonil üretimi tam olarak benimsenmiştir (Öveçoğlu, 1997).

3.1.3. Sıvı Fazdan Çöktürme

Sıvı çözeltide, nitrat, klorür ve sülfatlar olarak bulunan tuzlar çökeltilir. Çökeltilen bu tuzlar ısıtılarak parçalanır. Tuz suda eritilir ve ikinci birleşik yardımı ile çökeltilir. Örnek olarak aşağıda gümüş nitratın potasyum karbonhidrat ile tepkimesini ele alalım (Boz, 1999).



Son ürün olan katı gümüş çözeltisi öğütülerek toz ürün haline gelir. Kimyasal yöntemlerle çökelti fazında elde edilen tozların tipik boyutları 1 µm dolayında olup yüksek derecede safiyete sahiptirler. Bu yöntemle, kobalt, nikel veya demir ile kaplanmış torya (ThO₂), titanya (TiO₂) ve volfram karbür (WC) ve süper alaşım malzemeleri üretilir (Boz, 1999).

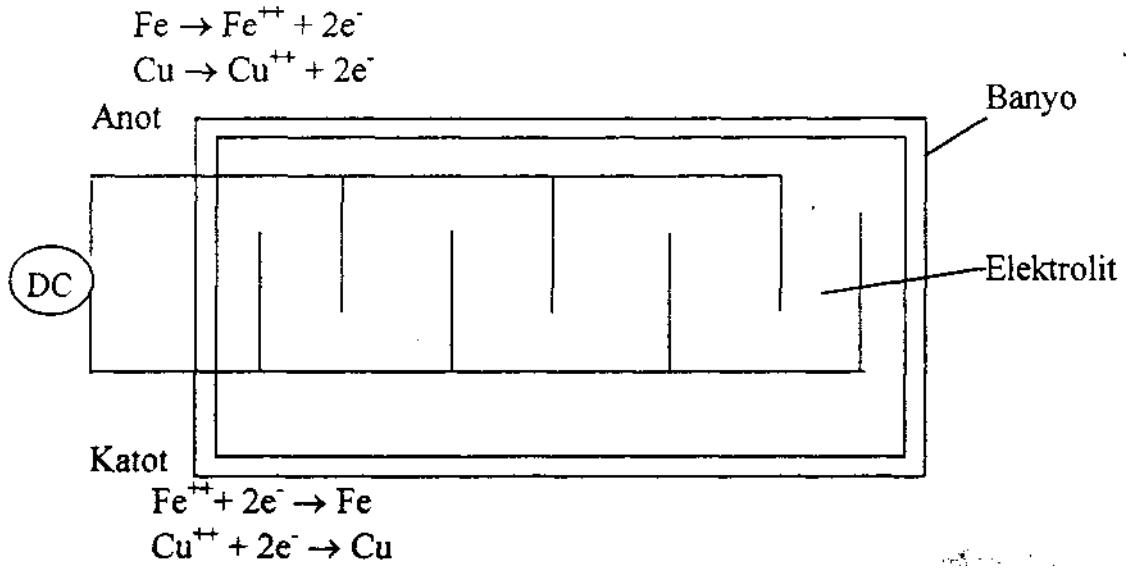
3.1.4. Gazdan Çöktürme

Gaz bileşiklerin oluşturduğu kimyasal tepkimeler sonucu reaktif metallere ve nano ölçekli partiküllerden tozlar üretilir. Gaz esaslı tepkimelerin en büyük avantajı, tepkime sırasında toz üretiminde ergitmenin ortadan kalkması sonucu potanın kirlenmemesi ve yeniden kullanılabilir olmasıdır. Bu tür üretim sürecine en iyi örnek molibden trioksit'in saf hidrojen ile tepkimeye girerek metalik molibden tozunun üretimidir. Bu yöntemle, vanadyum, niyobyum, volfram, hafniyum, gümüş, nikel ve zirkonyum metallerinin klorürleri, florürleri ve hatta oksitleri işleme sokularak çok küçük tane boyutlarında % 99.6 saflığındadır (Roll, 1984).

3.2. Elektroliz yöntemi

Yüksek iletkenliğe sahip metal tozlarını üretmenin bir başka yöntemi de elektroliz bir hücrenin katot çubuğunda metal tozlarını çöktürmektir. Bu yöntemi kullanarak % 94'e varan saflıkta Cu, Fe, Zn ve Ag tozlarını üretmek mümkündür (Kurt, 1992).

Şekil 3.1'de şematik olarak gösterilen bir elektroliz hücresinde uygulanan direkt voltaj altında Fe ve Cu anot-katot tepkimeleri gerçekleşir ve sülfat esaslı bir elektrolit içerisinde anot malzemesi çözülerek eksilir ve katotta artma veya depolanma gerçekleşir.



Şekil 3.1. Toz biriktirmede kullanılan örnek elektroliz şeması

Üretilcek tozun ham maddesi anota çözünerek katota birikir. Hücreye verilen DC voltajı ise elektroliz biriktirmenin doğru yönde ilerlemesini sağlar (Öveçoğlu, 1997).

Elektrolizle üretilen tozlar, yıkanarak elektrolitten ve tuzlardan iyice temizlenmeli ve kurutma inert gaz altında yapılarak oksitlenme önlenmelidir. Tozlar, kurutulduktan sonra ince taneli toz haline gelinceye kadar öğütülür. Elektroliz hücresinde üretilen tozlar genellikle süngerimsi biçimlerde ve dentiritik yapılara sahiptirler. Ancak maliyetinin yüksekliği nedeni ile üretimi sınırlıdır (German, 1994).

3.3. Atomizasyon yöntemi

Atomizasyon yöntemi eritilebilen tüm metallerden toz üretmede kullanılabilen bir yöntemdir. Bu yöntemin üretim tekniği; bir sıvı metalin pota dibindeki bir delikten akması sırasında; ergimiş metalin üzerine basınçlı gaz veya sıvı gönderilmesi ile çok ince parçalara ayrılarak katılaşmasıdır (Kurt, 1992)

Dünyada üretilen tozların % 80'den fazlası atomizasyon yöntemi ile üretilmektedir. Diğer üretim tekniklerine göre; şekli, tane büyüklüğü ve dağılımın kontrolü çok kolaydır. Özellikle alaşım tozlarının üretimi için çok uygundur. Çünkü en iyi homojenliği bu yöntem sağlar. Atomizasyon yöntemi ile toz üretmede;

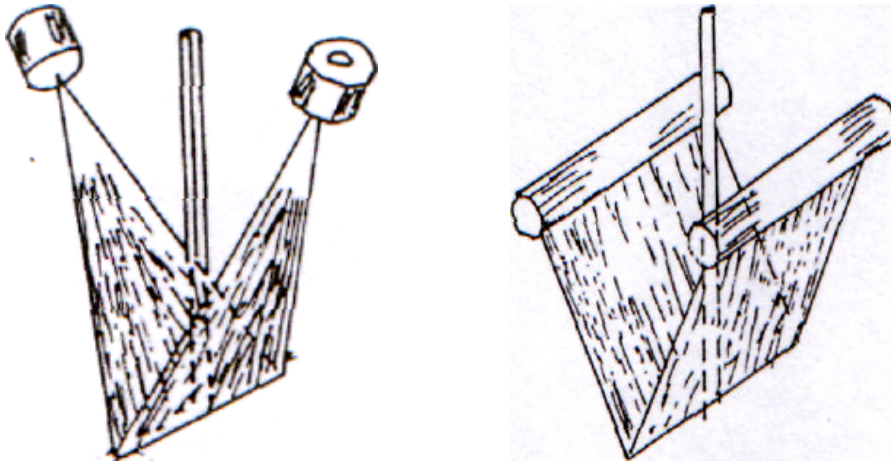
- 1) Su atomizasyonu
- 2) Gaz atomizasyonu
- 3) Döner disk atomizasyonu
- 4) Döner elektrot atomizasyonu gibi değişik teknikler kullanılır (Boz, 1999).

Şekil 3.3.'te görüldüğü gibi, geleneksel atomizasyon süreçlerinde atomize edilecek olan metal ergitme potasından (tandişten) sıvı, huzmeler halinde akarken tank içerisinde bu huzmeye belirli bir açı ve hızla çarpan gaz veya su jetlerinin etkisiyle atomizasyon gerçekleşir. Ergitme işlemi ayrı bir potada olabileceği gibi, tandiş etrafına sarılan indüksiyon bobinler ile de gerçekleştirilebilir (Roll, 1984).

3.3.1. Su Atomizasyonu

Su ile atomizasyon, sağladığı yüksek soğuma hızları sayesinde kitlesel endüstriyel üretime uygun olmasına karşın üretilen tozlar düzensiz şekildedir ve önemli miktarlarda oksit içerirler. Su ile atomizasyon 1600 °C' nin altında eriyen metallere elementel veya alaşım tozları üretmek için yaygın olarak kullanılır.

Atomizasyonla üretilen metal tozlarının % 30'i sıvı metali su jeti ile keserek elde edilir. Şekil 3.2. yaygın şekilde kullanılan iki jet sistemini göstermektedir. Bu iki sisteme yassı huzmeli V-jetleri adı verilir (Fiat stream V-jets). Biri iki tarafında iki ağızlıktan, dar açıyla ayrılan yassı huzmeli; diğeri ise iki tarafı perdeli yassı huzmeli jetlerdir. Yassı huzmeli V-jetleri, demir ve paslanmaz çelikten (su ile) nikel ve kobalt alaşımlarına (gaz ile) kadar yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

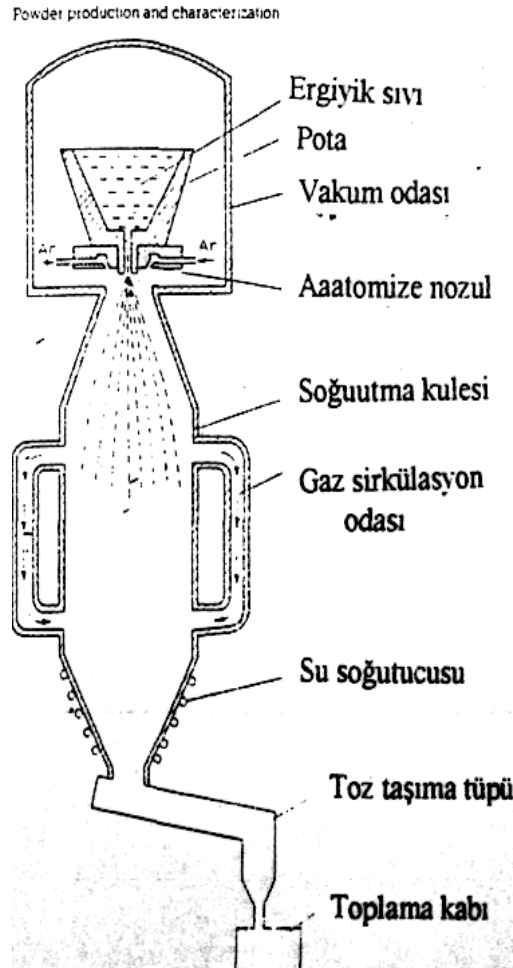


Şekil 3.2. Yassı huzmeli V jetleri

Serbest düşüşle akmakta olan sıvı metalin V'den dışarı sıçramasını ve saçılmasını önlemek gerekir. Sıvı metal dağınıma uğrayana kadar cep içinde kalmalıdır. Bu sebeple eşdeğer bir enerji verimliliği için açık V jetleri, kapalı veya dörtlü jetlere oranla daha yüksek basınçlarda çalışmak zorundadır (Kurt, 1992).

3.3.2. Gaz Atomizasyonu

Gaz ile atomizasyon süreçlerinde ise, hava, azot, helyum veya argon gazları kullanılır. Bu yöntemin su ile atomizasyon yöntemine olan en önemli üstünlüğü, tozların küresel biçimlerde üretilebilmeleridir (Roll, 1984)

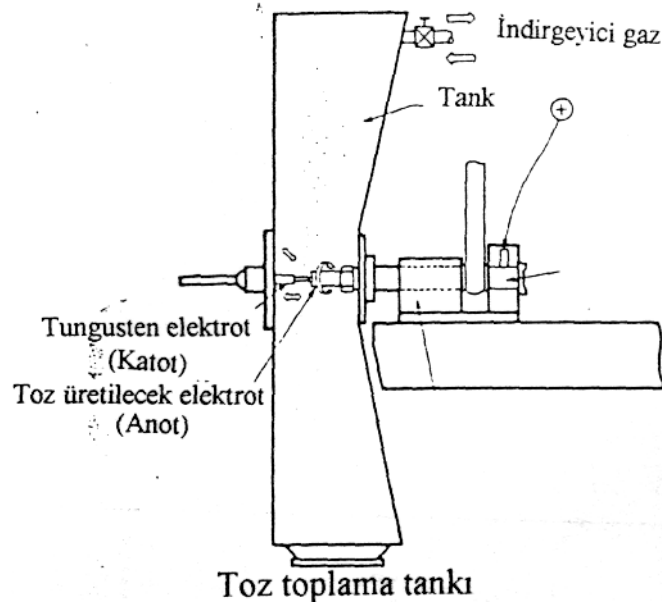


Şekil 3.3. Geleneksel su ve gaz ile atomizasyon yöntemlerinin şematik gösterimi

Bazı reaktif elementler (titanyum, zirkonyum gibi) metaller ile nikel esaslı süper alaşımların geleneksel atomizasyon süreçleriyle üretilmeleri mümkün değildir. Bu tür reaktif

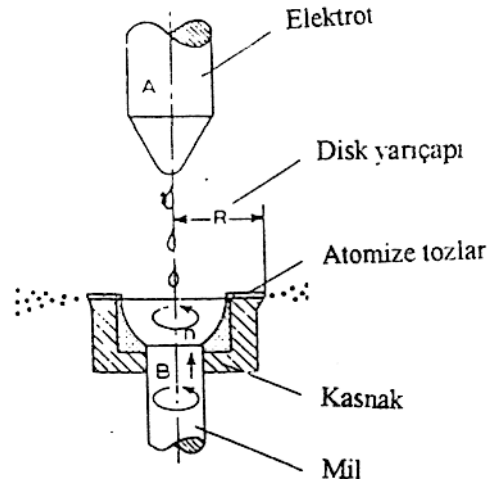
metallerin toz haline getirilmesinde Şekil 3-4'de sunulan dönen elektrot prosesi (rotating electrode process REP) adı verilen bir savurma atomizasyon yöntemi geliştirilmiştir (Öveçoğlu, 1997).

Dönen elektrot atomizasyonun da, atomize edilecek olan metal çubuğu yatay eksen etrafında dönerken, kullanılan volfram katot malzemesi bu çubuk üzerinde ark oluşturur. Bu ark sonucu kısmi ergitme gerçekleşir ve metal çubuktan savrulan damlacıklar atomize olur. Volfram katot çubuğu veya plazma üreten uç kullanılarak gerçekleşen ark sayesinde metalik çubuktan küçük parçalar ergitilerek savrulur (Boz, 1999).



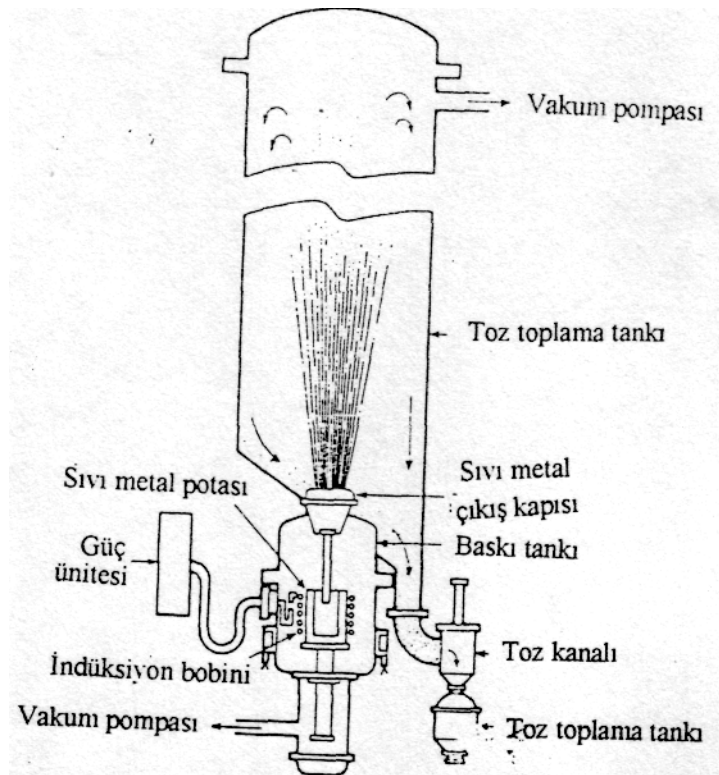
Şekil 3.4. Dönen elektrot süreçleriyle savurma atomizasyonu

Şekil 3-5'te görülen dönen disk yönteminde ise, ergimiş metal bir potadan dönen bir disk üzerine dökülür. Ergimiş damlacıklar merkezkaç kuvvetinin etkisi ile dağılarak, asal bir gazla doldurulan bir odacıkta toplanır. Tane büyüklüğü 30-500 mikron arasında değişir ve taneler oldukça küreseldir (Boz, 1999).



Şekil 3.5. Döner disk atomizasyon yönteminin şematik gösterimi

Bir başka atomizasyon yöntemi de vakum şartlarında gerçekleşen, atomizasyon süreçleriyle gerçekleştirilir. Bu yöntem ile oksidasyona karşı duyarlı nikel, kobalt, demir ve alüminyum alaşımları için geliştirilmiş olup vakum ve hidrojen gazı altında atomizasyon gerçekleştirilir. Şekil 3.6'da gösterilen vakum atomizasyonu cihazında metal indüksiyon ocağında ergitilir ve üretilen vakum sonucu ergiyik içerisine daldırılan bir seramik tüp vasıtasıyla atomizasyon kazanına iletilir. Bu iletim sonucu ani olarak genişleyen sıvı metal önce damlacıklara ayrılır, daha sonra bu damlacıklar ani ve aşırı soğuyarak toz haline geçerler (Öveçoğlu, 1997).



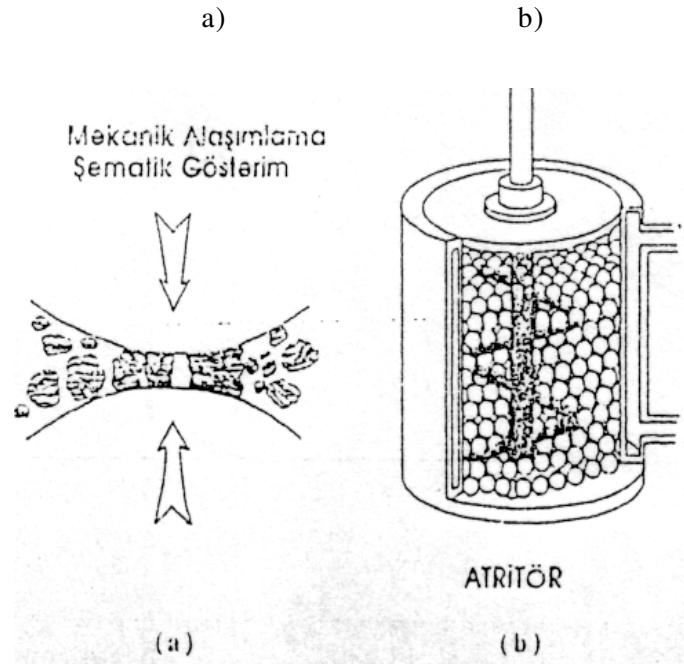
Şekil 3.6. Vakum atomizasyon yönteminin şematik gösterimi

3.4. Mekanik Öğütme

Mekanik yöntemle ekonomik olarak toz imali için, kimyasal bağları zayıf olan ve kayma sistemi az olan karışık kristalli yapılarda malzemeler ile, çok sert ve gevrek olan metal alaşımları ve seramikler kullanılır. Sünek malzemeler pul şeklinde tozların elde edilmesine neden olacağından, genellikle kolay parçalanan kırılgan, sert ve gevrek malzemeler bu metot için uygundur (Ekşi, 1996).

Bu şekilde üretilen başlıca metal tozları Al, Cu, ve pirinçtir. Bunlardan başka, Sn, Pb, Mn, Co, Si, Zn, Fe, Fe-esaslı ve Cu- esaslı tozlarda üretilir. Mekanik öğütme sırasında üretilen tozun yapısına ve özelliklerine etki eden en önemli parametreler, öğütmede kullanılan toplam toz ağırlık oranı, öğütme süresi ve öğütmede kullanılan sıvı ya da öğütme atmosferidir. Öğütme işlemi sırasında, toz parçacığının üzerine darbe, aşındırma, kesme ve basma olmak üzere dört tür kuvvet etki eder. Darbe, öğütme ortamında kullanılan bilyelerin ya da diğer tozların herhangi bir toz parçacığı üzerine anlık çarpmasıdır. Aşınma bilye/toz etkileşimi ile olabileceği gibi, toz / toz etkileşimleri sonucu da oluşabilir (Boz, 1999).

Klasik öğütme süreçleri ile mümkün olmayan katı alaşımlama işlemi, yüksek enerjili öğütme ortamı sağlayan atritör, gezegen bilye değinileni, bazı titreşimli değirmenler ile laboratuvar ölçekli spex değirmenlerinde mekanik alaşımlama (MA) ile gerçekleştirilir. Şekil 3.7’de MA işlemi sırasında bilya/toz etkileşimi ile MA işleminin gerçekleştirildiği atritör cihazının şematik gösterimi sunulmuştur (Öveçoğlu, 1997).



Şekil 3.7. Mekanik alaşımlama işleminin şematik gösterimi

a) Bilya/toz etkileşiminin şematik görünümü

b) Kullanılan öğütme ortamlarından biri olan atritörün şematik görünümü

4. TOZ METAL PARÇA ÜRETİM SÜRECİ

4.1. Tozların Karıştırılması

Tozların karıştırılması çift konili karıştırıcılarda yapılmaktadır. Karıştırma üniform bir toz elde etmek amacı ile belli sürede; tane boyu ve şekline göre birikimleri önleme amacı ile yapılmaktadır. Karıştırma süresinin uzun tutulması; toz taneciklerinin kırılarak küreselleşmesine neden olabileceğinden sıkıştırma özelliğini azaltacaktır.

4.1.1. Yağlayıcılar

Şekillendirmede meydana gelen enerji kayıplarını gidermek veya azaltmak amacı ile tozlara belli yüzdelerde yağlayıcılar ilave edilmektedir. Tozlara yağlayıcı olarak toz grafit, MoS, çinko stearat, stearik asit, lityum stearat, acrawax katılırlar, Yağlayıcılardan stearik asit ve metal stearitler ergime noktası düşük organik bileşiklerdir. Yağlayıcıların yoğunlukları düşük olduğundan ağırlıkça az miktar ilave edildiğinde hacim olarak büyük yer işgal eder. Grafit tozu metal tozlara yağlayıcı olarak % 1-1.5 miktarında katılır ve iyi neticeler verir.

Şekillendirme basıncı ve buna bağlı olarak yoğunluk arttıkça sıyırma basıncı da o nispette artar. Sıyırma basıncı denilen şekillendirilmiş parçanın kalıptan çıkarılmasını gerektiren basınç yağlayıcının özelliğine bağlıdır. Sıyırma basıncını düşük tutan yağlayıcı iyi bir yağlayıcıdır. Kalıp malzemesinin bileşimi, sertliği ve yüzey özellikleri de sıyırma basıncını olumlu veya olumsuz yönde etkileyebilir.

Yağlayıcılar metal tozlarına katıldığında homojen bir karışım temin etmek için yağlayıcı ile tozun yeterli derecede karıştırılması gerekir. Az karıştırma yağlayıcıdan beklenen özelliği vermediği gibi; fazla karıştırma ile de düşük ergime derecesine sahip yağlayıcının ısınarak yapışkan bir hal almasına yol açılabilir. Bütün bu olumsuzluklar için karıştırma süresi önem arz eder.

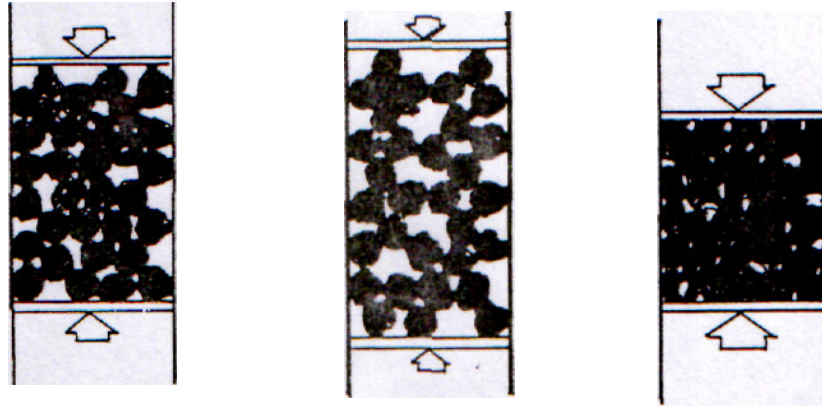
Metal tozlara ilave edilen yağlayıcılar yapıştırıcı vazifesi görüp parça mukavemetini artırdığı gibi bazı yağlayıcılarda (ergime derecesi düşük olanlar) sinterleme işlemi sırasında yanarak yapıda gözenekler oluşturabileceğinden sinterleme sonrası mukavemet ve yoğunluk artması gerektiği halde bazı durumlarda azalması sözü edilen yağlayıcının yanmasından oluştuğu kabul edilebilir (Kurt, 1992).

4.2. Metal Tozlarının Sıkıştırılması

Yağlayıcı ile karıştırılan metal tozları üretilecek parçanın şekline ve ölçüsüne göre hazırlanmış kalıplar içinde preslerle sıkıştırılırlar. Sıkıştırma- metal tozlarına üretimi istenen parçanın şeklini

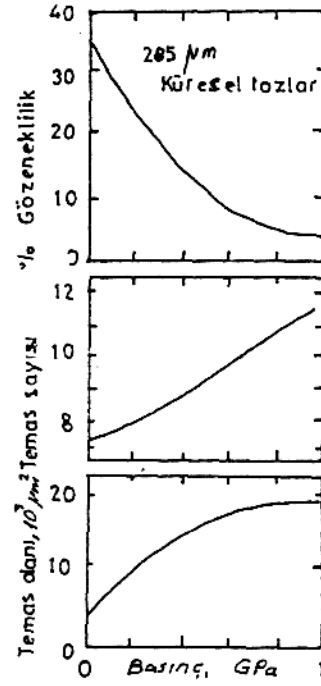
vermek, istenen oranda gözeneklilik sağlamak gibi amaçlar için yapılır. Tozların sıkıştırılmasında kullanılan kalıp ve zımbalar kusursuz olmalıdır. Kalıp ve maça pimi tungsten karbürden alt ve üst zımbalar yüksek kaliteli takım çeliğinden yapılmalıdır.

Şekillendirme sırasında hem toza şekil vermek ve hem de daha yüksek yoğunluk elde etmek için dışardan bir basınç uygulamak gerekir. Şekil 4.1' de gösterilen toz sıkıştırmanın şematığı sıkıştırma basamaklarını tanımlamak için bir fikir vermektedir. Basınç uygulamada ilk geçişme gevşek tanecik düzeninden daha sıkı bir paketlenme yönündedir. Uygulanan basıncın artmasıyla tanecikler arası nokta teması bozulur (Kurt, 1992).



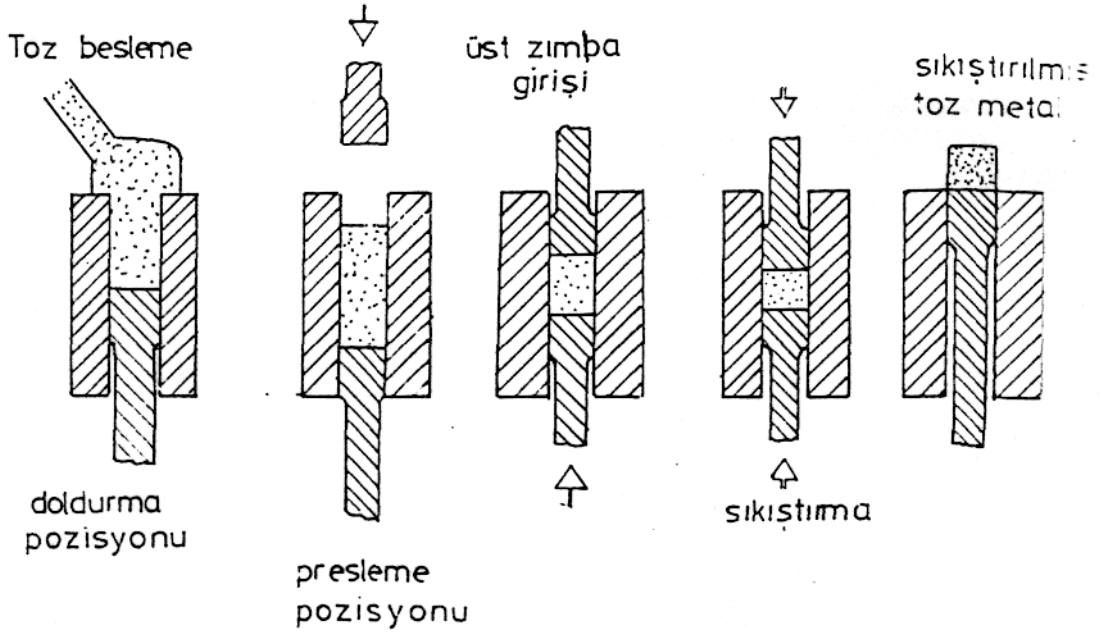
Şekil 4.1. Toz metal sıkıştırma safhalarının basitleştirilmiş görünüşü

Başlangıçta toz, yaklaşık olarak görünür yoğunluğa eşit bir yoğunluğa sahiptir. Bu durumda tanecikler arasında boşluklar mevcuttur. Uygulanan basıncın artmasıyla gözeneklilik azalır. Şekil 4.2' de küresel bronz tozuna ait basınç gözeneklilik ilişkisi ile tanecikler arası temas alanı ile temas sayısı da görülmektedir. Başlangıç olarak temas sayıları; tanecik yeniden düzenlenip kayma meydana gelince büyür. Artan basınçlarda plastik deformasyon sayesinde temas genişlemesi ile yoğunluk artar. Böylece basınç, temaslarda lokalleşmiş deformasyona sebep olur. Tanecikler arası mesafe azaldığından yeni temasların oluşma imkanı çıkar ve gerilme sertleşmesi sağlar. Deformasyon esnasında tanecikler arası temaslarda soğuk kaynak katı içindeki kuvvetin artmasına katkıda bulunur. Preslemeden sonraki mukavemet ham mukavemet olarak adlandırılır. Sıkıştırma basıncı arttıkça plastik deformasyona uğrayan tanecik miktarı artar. Yeterli sıkıştırma basıncında gözeneklilik miktarı azaldığından bütün tanecik sertleştirilmiş (iç gerilme) hale geçer.



Şekil 4.2. Küresel bronz tozunun kalıpta sıkıştırılması için bilgi

En üst şekil, basınçla gözenekliliğin azaldığını, ortadaki yeniden paketlenen tanecik başına ortalama temas sayısını en alttaki de temas alanını gösterir.



Şekil 4.3. Toz sıkıştırma esnasında işlem sırası

Genellikle toz sıkıştırma, Şekil 4.3'de görülen safhalarda sert kalıp içinde yapılır. Çoğu zaman sıkıştırma, hem üst, hem de alt zımbalar kullanılarak yapılır. Üst zımba, tozu doldurma esnasında geri çekilir toz girişi sırasında alt zımba pozisyonuna dolu pozisyon denir. Bu önceden belirlenmiş toz miktarının dolmasına müsaade eder. Toz kalıp içinde bir besleme ile titreştirilerek akıtılır. Doldurmadan sonra alt zımba presleme pozisyonuna düşer ve üst zımba kalıp içine gömülür. Her iki zımba arasında toz sıkıştırılır. İstenen basınç uygulandıktan sonra üst zımba kaldırılır ve alt zımba sıkıştırılmış parçayı çıkarmak için yukarı hareket eder. İşlem böylece tekrarlanarak devam eder.

4.2.1. Sıkıştırma Teorisi

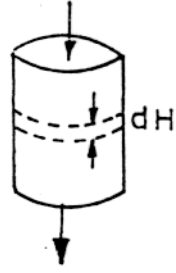
Şekillendirme sırasında kütle hareketi tozların daha yoğun bir hal almasına neden olur. Sıkışma genellikle uygulanan sıkıştırma kuvveti doğrultusunda meydana gelirken sıkışma sırasında birbiri önüne yığılan tozların zorlamasıyla kalıp yanlarına doğru da bir hareket meydana gelir. Düşük yoğunluklu tozlarda tanecikler arası temas azdır. Bu nedenle taneciklerin hareket edeceği hacim fazla olacağından toz kütle hareketi daha kolay olur.

Sıkıştırma sırasında taneciklerin plastik deformasyona uğraması ile şekillendirilen parçadaki gözenek miktarı azalır, yoğunluk artışı görülür. Şekillendirmede değişik basınçlarda preslenen parçaların mikrosertliklerindeki artan değerler plastik deformasyondan kaynaklanan sertleşmenin bir sonucudur. Yoğunluktaki bu artış hava ile dolu boşlukların yerini sıkıştırma sonucu metalin almasından ileri gelir. Boşlukların yerini tozların alması da ancak havanın yapıyı terk etmesi ile mümkündür. Artan sıkıştırma basınçlarında havanın bir kısmı yapıyı terk edemeyerek gözenekler arasında hapis olur. Gözenekler arasında hapis edilen hava yüksek sıkıştırma basınçlarında malzemenin iç yapılarında hasara yol açar. Bu nedenle yoğunluk arttıkça mukavemetinde artması gerekirken % 86'nın üzerindeki yoğunluklarda çekme mukavemetinin azalmasını Berristord havanın izole gözeneklerde hapsedilmesiyle izah etmiştir. Toz sıkıştırmada, önemli bir problem toz ile kalıp duvarı sürtünmesidir. Bu sürtünme uygulanan basıncın tozun kalıp içindeki derinlik mesafesiyle azalmasına sebep olur. Şekil 4.4'de çapı D ve yüksekliği H olan silindirik bir katı toz metalin sıkıştırılmasında yüksekliğin ince bir kesitini incelemek elemanın tepedeki P basıncı ile elemanın tabanı içine iletilen Pb basıncının sürtünmeye karşı etki eden dikey kuvvet ile farklılaşacağını gösterir. Kuvvetler dengesi aşağıdaki gibi ifade edilir (Kurt, 1992).

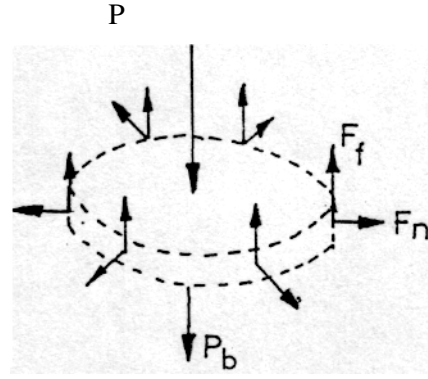
$$\sum F = 0 = A (P - P_b) + U.F_n$$

Burada; F_n , normal (dikey) kuvvettir, U ise toz ve kalıp duvarı arasındaki sürtünme katsayısı ve A, kesit alanıdır.

uygulanan basınç



iletilelen basınç



Şekil 4.4. Kalıp duvarındaki sürtünme kuvvetlerinden doğan uygulanan ve iletilen basınçlar arasındaki fark, sıkıştırma esnasında kuvvetleri dengeler.

4.3. Sıkıştırma Yöntemleri

Tozların sıkıştırılmasında uygulanan şekillendirme metodları şu şekilde sınıflandırılabilir.

Kalıpta sıkıştırma,

İzostatik sıkıştırma,

Yüksek enerjili sıkıştırma,

Ekstrüzyonla sıkıştırma,

Titreşimle sıkıştırma.

4.3.1. Kalıpta Şekillendirme

Kalıpta şekillendirme en çok kullanılan bir şekillendirme metodudur. Bu şekillendirmede basınç olarak 10 MPa (10 tsi) ile 150-200 MPa (tsi) arasında basınç kullanılır. Tespit edilen basınç şekillendirilecek kalıp içindeki toz kütlesinin tek ve çift tarafından dikey doğrultuda uygulanır. Basınç uygulama şekline göre;

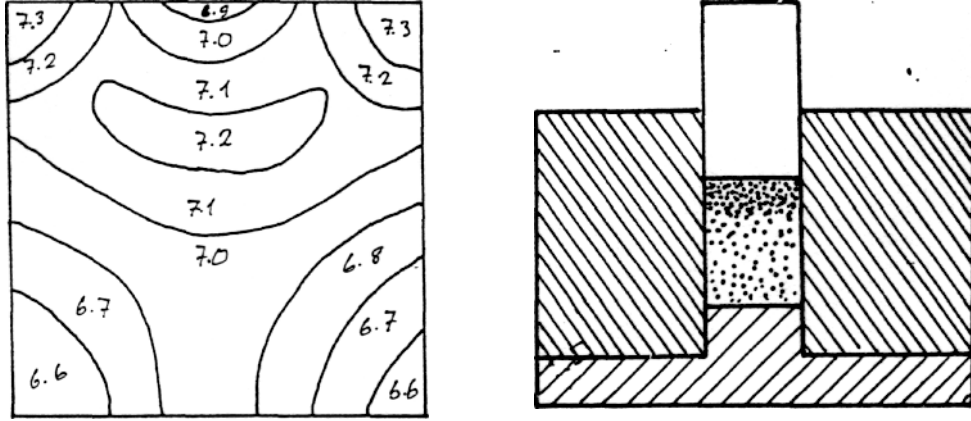
A. Tek yönlü sıkıştırma

B. Çift yönlü sıkıştırma diye ikiye ayrılır

4.3.1.1. Tek Yönlü Sıkıştırma

Bu sıkıştırma yönteminde pres tek yönlü kuvvet uygular. Üst zımba kalıp boşluğuna girerek sıkıştırılacak tozu sabit olan alt zımbaya kalıp boşluğunda sıkıştırır. Tek yönlü sıkıştırmada tozlar arası ve tozlarla kalıp yüzeyi arasında oluşan sürtünme düzensiz bir basınç dağılımına neden olur. Uygulanan sıkıştırma kuvveti kalıp boyunca düzenli olarak uygulanamadığında

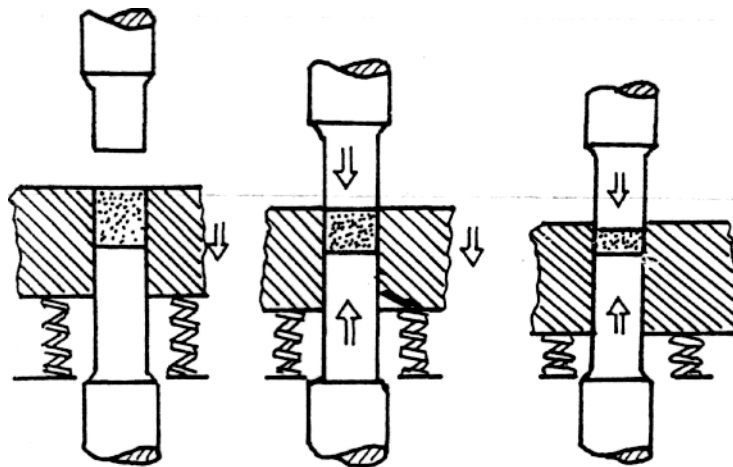
sıkıştırılan parçadaki yoğunluk homojen bir dağılım göstermemektedir. Yoğunluk hareketli zımbaya yakın bölgelerde daha yoğun, sabit zımbaya doğru giderek azalmaktadır (Şekil 4.5.)



Şekil 4.5. Tek yönlü sıkıştırmada yoğunluk dağılımı

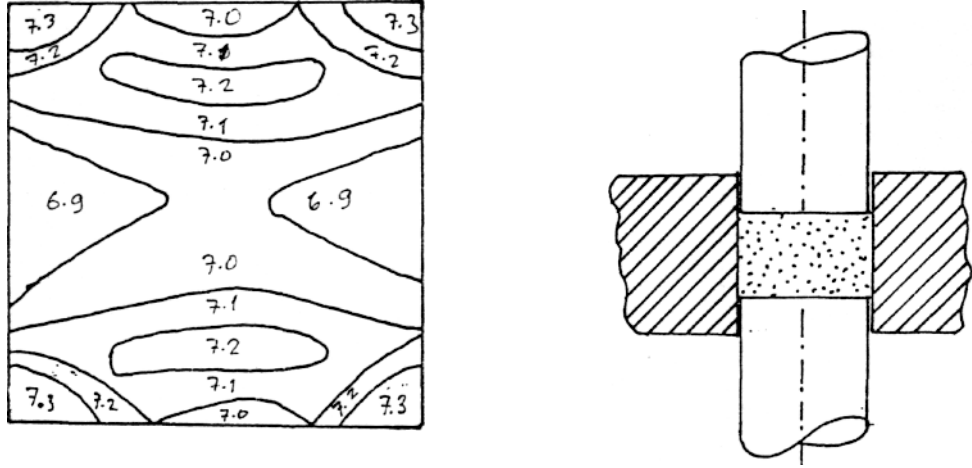
4.3.1.2. Çift Yönlü Sıkıştırma

Çift yönlü sıkıştırmada toz alt ve üst zımba tarafından aynı anda sıkıştırılmaktadır. Alt ve üst zımba tarafından eşit veya farklı basınç uygulanabilir (Rapport ve diğ., 2002). Çift yönlü sıkıştırma yönteminde üst zımbanın toza uyguladığı basınç sonucu kalıp yüzeyleri ile toz arasındaki sürtünme kuvveti kalıbı destekleyen (yay vb) kuvvetleri geçtiğinde kalıp aşağı hareket ederek sanki alt zımba yukarı hareket ediyormuş görünümü verir. Gerekli basınç uygulanıp sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra iş parçası alt zımbanın yukarı hareketi ile kalıptan çıkarılır. (Şekil 4.6.)



Şekil 4.6. Çift yönlü sıkıştırma

Çift yönlü sıkıştırmada sıkıştırılan parçaların yoğunluk dağılımı, tek yönlü sıkıştırma yöntemi ile elde edilen parçaların yoğunluk dağılımından daha homojendir. Şekil 4.7’de çift yönlü sıkıştırma ile preslenmiş toz metalin yoğunluk dağılımı görülmektedir.



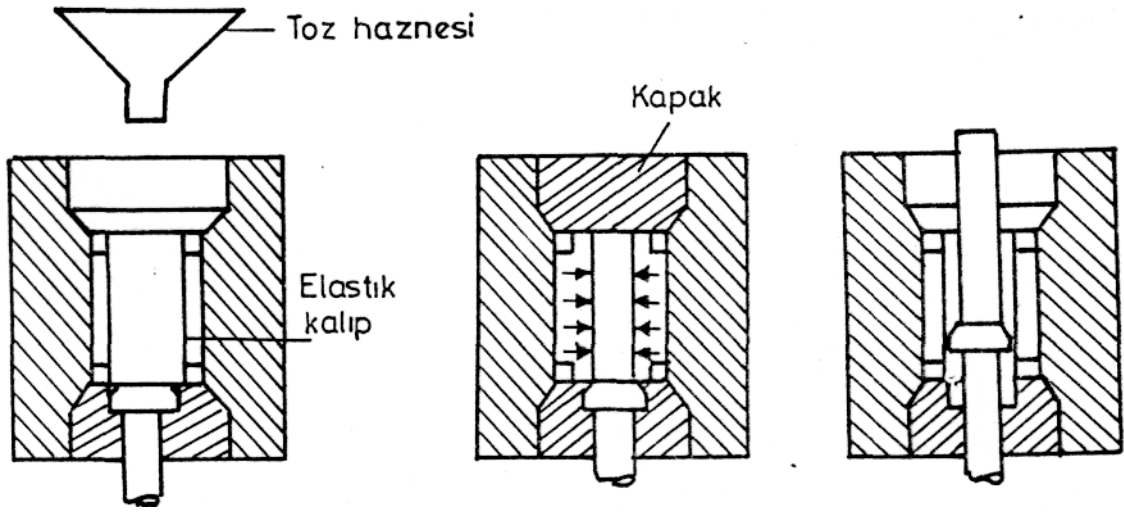
Şekil 4.7. Çift yönlü sıkıştırmada yoğunluk dağılımı.

4.3.2. İzostatik Sıkıştırma

Toz metal parçalarda homojen yoğunluk elde etmek ancak izostatik sıkıştırma ile mümkündür. Boy/çap oranı fazla olan parçalar bu yöntemle sıkıştırılabilirler. Sıkıştırma basıncı bir gaz/sıvı yardımıyla parçaya her yönden ve eşit olarak uygulanır. Akışkanların bilinen özelliğinden faydalanılarak herhangi bir noktaya uygulanan basınç bütün yönlerde aynı değerde etki yapar. Bundan dolayı sıkıştırılan parçanın yoğunluğu her noktada aynı değerde olur. İzostatik sıkıştırma kuru kalıp ve yaş kalıp olmak üzere iki şekilde yapılır.

a) Kuru Kalıp

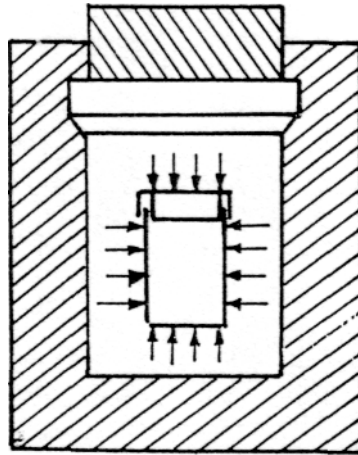
Elastik toz kalıbı değişmez. Bir kalıpla birden çok parça sıkıştırılabilir. Sıkıştırma kalıbı basınç hücrelerine yerleştirilerek metal tozu kalıba doldurulur. Sonra kalıp kapağı kapatılarak gerekli sıkıştırma basıncı uygulanarak sıkıştırma tamamlanır. Sonra basınç düşürülerek kalıbın kapağı açılır ve parça kalıptan alt zımbanın yukarı hareketi ile çıkarılır (Şekil 4.8.).



Şekil 4.8. Kuru kalıp ile izostatik sıkıştırma

b) Yaş Kalıp

Metal tozları kalıp görevi yapan elastik bir kaba doldurularak sıkıca kapatılır. Kalıp basınç hücresinin içine konarak basınç uygulanır. Gerekli basınç uygulandıktan sonra basınç düşürülerek kalıp çıkarılır. Sıkışan toz metal parçanın üzerinden kalıp sıyrılarak çıkarılır. Yaş kalıplamada kalıp bir defa kullanılır, bir daha kullanılmaz. (Şekil 4.9.).



Şekil 4.9. Yaş kalıp ile izostatik sıkıştırma

4.3.3. Yüksek Enerjili Sıkıştırma (HERF)

Pinomatik, mekanik ve patlayıcı gibi sıkıştırmada basınç uygulama teknikleri geliştirilmiştir. Bu yöntem çok yüksek bir basıncın kısa sürede uygulandığı bir yöntemdir. Basınç süresi 50 µs ile 50 ms arasındadır. Bu kısa basınç süresinde malzemeye $10-15 \times 10^{-3}$ psi değerinde basınç uygulanır.

4.3.4. Ekstrüzyon Yöntemi ile Sıkıştırma

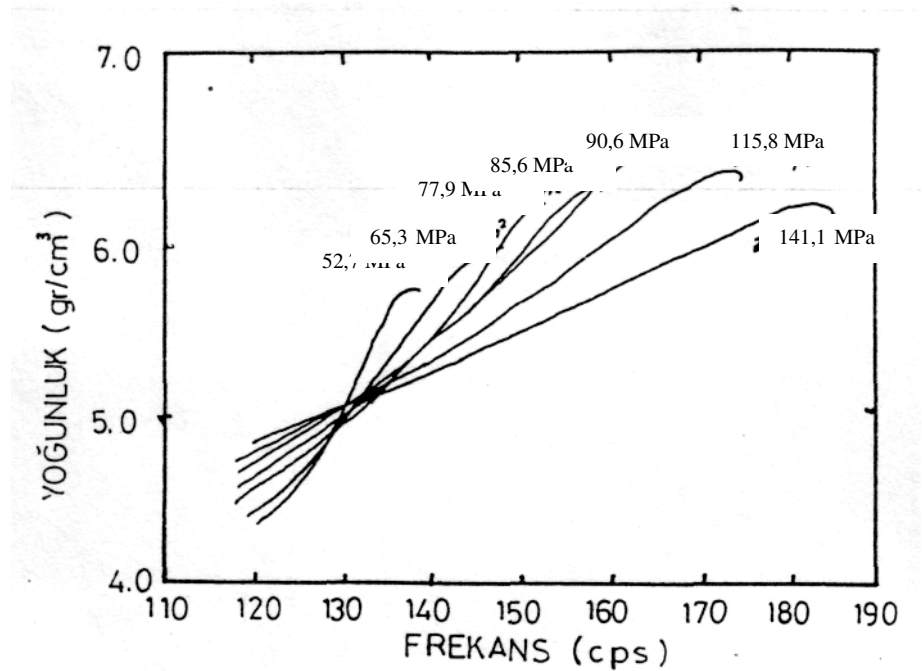
Metal tozlarının şekillendirilmesinde sınırlı ölçüde kullanılan ekstrüzyon yönteminde tozlar kapalı bir kap içine doldurulduktan sonra kabın içerisindeki havası vakumla alınır. Kap içerisinde tozlar ısıtılarak ekstrüzyon yoluyla parça üretimi gerçekleştirilir. Ekstrüzyon yöntemi ile üretilen parçalarda yüksek yoğunluk elde edilir. Ekstrüzyon öncesi tozlar ısıtılmış ise ayrıca sinterlemeye gerek yoktur.

Ekstrüzyon genellikle daha önce izostatik presleme ile yoğunlaştırılmış metal tozlarına uygulanır. Bu yöntem en çok takım çeliklerinin üretiminde kullanılır.

4.3.5. Titreşimle Sıkıştırma

Titreşimle sıkıştırma yönteminde sert bir kalıp içerisindeki toza basınç uygulanırken bir yandan da titreştirilir. Bu titreşimler yardımıyla daha az basınçla kalıpta şekillendirmeye eşdeğer bir yoğunluk elde edilir.

Titreşim uygulamada frekans ve genlik önemli iki değişkendir. Herhangi bir basınca karşılık en uygun bir genlik ve frekans vardır. Şekil 4.10' da bakır için yoğunluğun basınç ve frekansa göre değişimi görülmektedir .



Şekil 4.10. Değişen frekanslarda (genlik 6.3×10^{-3}) basıncın bakır yoğunluğuna etkisi.

4.5. Sıkıştırma Hataları

Sıkıştırılmış toz metal parçaların yapısındaki hatalar parça mukavemetini hata nispetinde azaltır. Sıkıştırma sırasında genellikle iki tür hata ile karşılaşılır. Bunlardan birisi sıkıştırma sırasında parçadaki düzlemsel çatlaklar şeklinde kendini gösteren ve katmanlaşma dediğimiz hata, diğeri parçanın kalıptan çıkarılması sırasında genleşme ile meydana gelen geri yaylanma denilen hatalardır.

4.5.1. Katmanlaşma

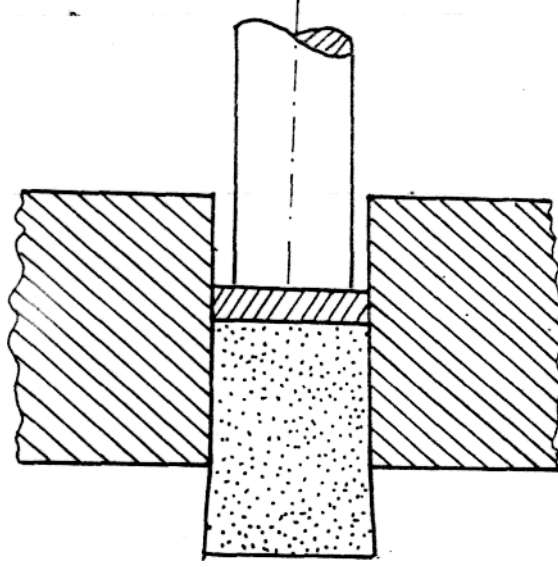
Katmanlaşma parça içerisinde sıkıştırma yönüne dik yatay çatlakların meydana gelmesi şeklinde görülür. Katmanlaşma genellikle şu nedenlerle oluşur.

Sıkıştırılan parça içindeki yoğunluk farkından genellikle gözenek miktarının fazla olduğu ve hızlı yoğunluk değişiminin görüldüğü parçanın alt bölgelerinde, kötü kalıp tasarımından; parça kalıpta ken yük kaldırıldığında kalıptaki elastik genleşmeden dolayı parçanın dışındaki gerilmeler kırılmaya neden olur. Uygulanan sıkıştırma basıncı ile gözeneklerde hapis kalan hava parçada yırtılmalara neden olabilir. Katmanlaşmayı önlemek için yukarıdaki hataların meydana geliş nedenleri giderilmelidir.

4.5.2. Geri Yaylanma

Kalıpta sıkıştırılan parça kalıptan çıkarıldığında parçanın boyutlarında bir miktar artma olur. Boyutlardaki bu artışa geri yaylanma veya elastik genleşme denir. Bu normal bir olay olmakla birlikte boyutlardaki artış miktarı fazla olursa parça içerisinde çatlamlar olacaktır.

Geri yaylanmayı azaltmak için kalıba hafif bir koniklik verilmeli veya iki parçalı kalıp kullanılmalıdır. Böylece kalıp içindeki parçanın genleşmesi yavaş olacağından geri yaylanma azalmış olacaktır. Şekil 4.11 'de kalıptan çıkarma sırasında parçadaki geri yaylanma hatası gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Geri yaylanma hatası

4.3. Sinterleme

Sinterleme, dayanımı artırma amacı ile toza veya sıkıştırılmış kütleye esas bileşenin ergime noktası altındaki bir sıcaklıkta uygulanan ısı işlemidir. Tek bileşenli sistemlerde sinterleme sıcaklığı genellikle metalin ergime sıcaklığının $2/3$ veya $4/5$ 'i alınarak tespit edilirken, birden fazla bileşenli (çok bileşenli) sistemlerde ise ergime derecesi düşük olan metalin ergime sıcaklığının üzerinde, ergime sıcaklığı yüksek olan metalin ergime sıcaklığının altında yapılır. Demir grubu metal alaşımları $1000-1300\text{ }^{\circ}\text{C}$, sert alaşımlar $1400-1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında, refrakter metaller (molibden, tantal, wolfram) $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $2900\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında sinterlenirler. Gözenekli bronzlar ve bronz alaşımları $600^{\circ} - 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında sinterlenirler . Sinterlenme süresi kullanılan malzemeye göre değişir. Sinterleme süresi ile Sinterleme sıcaklığı arasında ilişki mevcuttur. Sinterleme sıcaklığı yükseldikçe sinterleme süresi kısalır. Sinterleme süresi uzun tutulduğunda sıcaklığı düşük tutmak gerekir (Kurt, 1992).

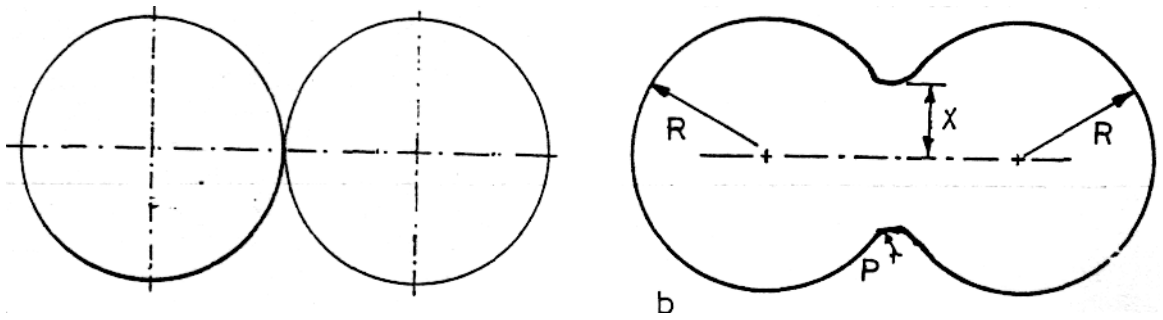
4.3.1. Sinterleme Öncesi İşlemler

Sinterleme için bir toz kütlenin hazırlanması normalde birbirlerine komşu parçacıkları sıkı şekilde temas ettirerek yüzey filimlerini yırtarak sıkılaştırmak gerekir. Bu sıkıştırma tekniği kullanılan tozun üretim tekniği biçimi ve sıkıştırılabilirlik özellikleri ile doğrudan ilgilidir. Tozların bu özelliklerine göre sıkıştırma yöntemleri bölüm 4.3. de anlatılmıştır. Bu yöntemlerden biri ile sıkıştırılan toz metal kütle bir takım özellikleri iyileştirmek amacıyla sinterlenir.

Bazı durumlarda ise gevşek toz kütle, sıkıştırılmadan doğrudan sinterlenir. Bu gibi gevşek toz sinterlemesi genelde büyük gözenekli filtre vb. malzeme üretimi için arzu edilir.

4.3.2. Sinterleme Teorisi

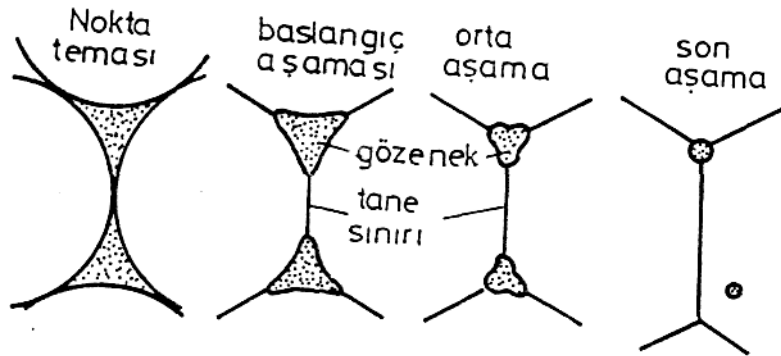
İki küresel parça şekil 4.12 'de görüldüğü gibi temas halinde olduğu kabul edilir. Sinterleme sırasında parçacıklarda önce bir boyun büyümesi ilerleyen sinterleme zamanı ile gözeneklerde büzülme olur. Gözenek kanalları kapanarak gözenekler kapalı gözenek şekline dönüşürler. Gözenek küreselleşirken gözenekler tane sınırları tarafından yerleştirilirler.



Şekil 4.12. a) Sinterleme başlangıcında temas halinde parçacıklar

b) X yarıçapında bir boyun ile iki küresel parçacık sinterleme kesiti.

Parçacıklar arasında bağ büyürken mikroyapı Şekil 4.13' de gösterildiği gibi değişir. Sıkıştırılan tozların sinterlenmesinde oluşan boyundaki boyun yarıçapının, parçacık çapına (X/R) oranının 0.3'den az olduğu kısım sinterlemenin ilk aşaması olarak tanımlanır (Kurt, 1992).



Şekil 4.13. Bir nokta teması başlangıcı ile sinterleme esnasındaki parçacıklar arası bağların gelişimi.

Orta kademede gözenekler ilk kademeye göre daha düzgün şekillidir ve birbirlerine bağlı silindirik bir yapıya sahiptirler. Orta kademede (sıkıştırma özelliklerinin) yüzey ve tane bağları enerjisinin her ikisini de kapsayan ara yüzey enerjisinden dolayı sıkıştırma özelliklerinin gelişimi görülür. Ara kademenin sonraki oranlarında tane büyümesinin yaygın olması sonucu gözenekler birbirinden ayrılabilir.

Yüksek bir sinterleme oranı elde etmede tane sınırları önemlidir. Bu nedenle tane büyümesi ve gözenek ayrılması istenmeyen bir durumdur. Gözenek yapılarının çekilmesi ile yaklaşık % 8 gözeneklilikte kararlı olmayan silindirler oluşur. Bu noktada silindirik gözenekler yavaş tane büyümesinde etkili olmayan küresel gözenek şekline dönüşür. Bir çok durumda da tane sınırlarından ayrılmış gözeneklerin mevcut olduğu mikroyapı oluşur. Tane içerisindeki gözeneklerin ayrışması sertlik artışına neden olur. Gözeneklerdeki küresel görünüm, ayrılmış gözenekler sinterlemenin son aşamasının başlangıç göstergesidir. Sinterlemenin son aşamasında hareketler çok yavaştır. Buna sebep katı gözenek ara yüzeyinin giderilmesidir. Gözenekler içindeki hapsedilen gazlar son yoğunlaşma kademesinin miktarını sınırlar.

Genellikle ilk kademe geniş eğim açılı bir mikroyapıya benzer. Boyun büyüme oranları ve büzülme küçük ve tane büyüklüğü toz büyüklüğünden daha azdır. Orta kademede gözenekler daha pürüzsüzdür, fakat bu kademede hala birbiri arasında tam bağ vardır. Teorik yoğunluk % 92 den daha azdır ve tane büyümesi ara kademede daha sonradan oluşabilir. Son sinterleme kademesinde gözenekler küreselleşir ve kapanır. Son kademede % 92' yi geçen teorik yoğunluk ve tane büyümesi görülür.

5. T/M MALZEMELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

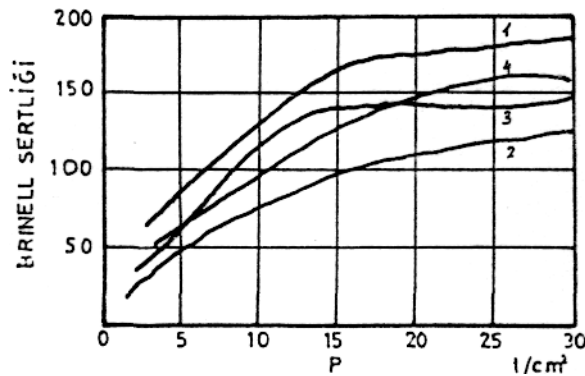
T/M malzemelerin mekanik mukavemetleri şekillendirme sonrası uygulanan ısıtma işlemiyle kazanılır. Oda sıcaklığında sıkıştırılan T/M parçalarında mekanik bağlar oluşur. Sonradan uygulanan ısıtma işlemi mekanik bağlar kimyasal bağlara dönüştürülerek mekanik özellikler iyileştirilir.

T/M parçaları ile ergitilerek elde edilmiş parçalar arasındaki en önemli fark T/M, parçaların gözenekli yapıya sahip olmalarıdır. Gözeneklilik sinterleme sıcaklığına ve atmosferine, presleme basıncına, tane büyüklüğüne bağlı olarak değiştiğinden T/M parçaların özellikleri ergitilerek elde edilen metallerin özelliklerine göre daha büyük özellikler gösterir.

5.1. T/M Parçaların Sertlik Özelliği

T/M parçalarında sertlik ölçümleri genellikle Brinell sertlik ölçme metodu ile yapılır. Ergime ile elde edilmiş metallerde sertlik ile çekme mukavemeti arasında doğrusal ilişki T/M parçaları için söz konusu değildir. T/M parçaları gözenekli yapıya sahip olmaları nedeniyle sertlik değerinin ölçümünde ölçüm noktasının yerine dikkat etmek gerekir. Eğer ölçüm noktası gözenek üzerinde veya yakınında olursa iz büyük olacağından sertlik değerinde yanlış netice alınır (Kurt, 1992).

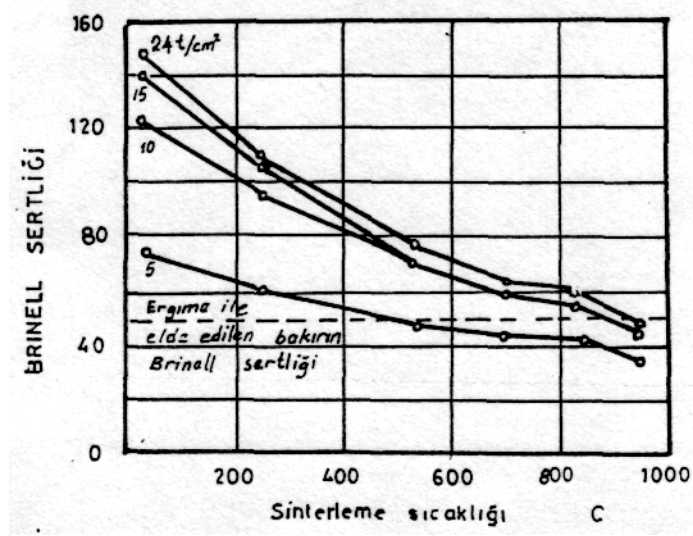
T/M parçaların sertlik değeri parçanın sıkıştırma basıncına göre de değişir. Altın ve bakır tozlarının sıkıştırma basıncıyla sertlik değişimi Şekil 5.1 'de verilmiştir. Ergime ile üretilen bakırın sertliği 40-60 kg/mm² olduğu halde, bakır tozlarının T/M yöntemiyle sıkıştırılması ile sertliğin % 100 artırılması mümkündür. Sertliğin bu kadar yüksek olması tozun soğuk şekillendirme ile mekanik mukavemetinin çok artması ile izah edilebilir. Şekil 5.1 Goetzel ve Kiefferin bakır ve altının sıkıştırma basıncı ile sertlik değişimi arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 5.1. Altın ve bakırın sıkıştırma basıncına bağlı sertlik değerinin değişimi

Bakır tozlarının değişik basınçlar altında preslenmesiyle elde edilen T/M parçalarının artan sinterleme sıcaklıkları sonucu sertlik değeri Şekil 5.2’de verilmiştir. Yüksek sinterleme sıcaklığında T/M parçalar, ergitilerek üretilen parçaların sertliğine yakın sertlik değeri gösterirler. Farklı tane boyutlarındaki bakır tozları üzerinde yapılan deney sonuçları Çizelge 5.1’ de verilmiştir.

800°C'nin üzerindeki sinterleme sıcaklığında sertlik değerinin düşüşü tane büyümesinden ve yüzey pürüzlülüğü neticesidir. 700 °C'nin altındaki sinterleme sıcaklığında sertliğin en az olduğu parçaların kaba tozlardan üretildiği Çizelge 5.1’den anlaşılmaktadır.



Şekil 5.2. Sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişik basınçlar altında sıkıştırıldıktan sonra sinterlenen kaba bakır tozu numunelerinin sertlik değişimi.

Çizelge 5.1. Farklı tane büyüklüğü ve farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş bakır tozunun sertlikleri.

Tane Büyüklüğü mm	Brinell Sertliği					
	Sıkıştırma mm	Sinterleme Sıcaklığı °C				
		260	530	700	840	920
0.08	152.4	120.5	78.4	64.0	50.9	43.5
0.10	141.5	104.5	75.4	64.6	50.7	43.3
0.15	131.6	98.2	70.5	59.7	50.5	44.0
0.30	116.9	90.5	65.2	56.4	50.1	45.3

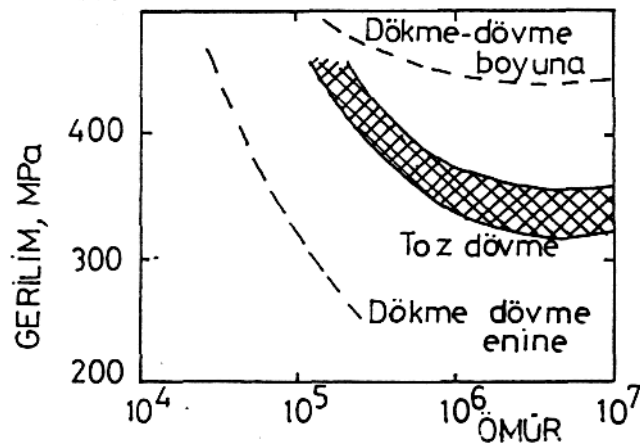
5.2. T/M Parçaların Çekme, Yorulma ve Darbe Mukavemetleri

T/M parçalarının gözenekli yapıya sahip olmaları bu parçaların çekme mukavemetini olumsuz yönde etkiler. Çekme deneyi sırasında parçada önemli bir uzama olmadan kopma meydana gelir. T/M parçalarının çekme mukavemetleri ergitilerek üretilen parçaların çekme mukavemetlerinin ölçülmesine benzer şekilde tespit edilir. T/M parçaların mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde sıcak dövme yoluyla dökme-dövme malzemelere eşit bazen de üstün özellikler sağlanır. Çizelge 5.2' de bazı T/M parçaların çekme ve darbe mukavemetleri verilmiştir.

Çizelge 5.2. Hadde ve T/M Çeliklerin Özelliklerinin Mukayesesi (Kurt, 1992).

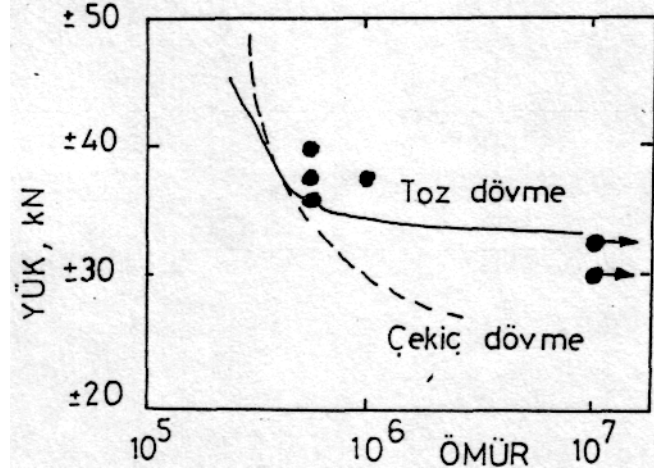
MALZEME		Çekme Dayanımı MPa	Uzama %	Kesit Daralması	Darbe Enerjisi
M n-Mo Hadde	Hadde yönü	920-980	17-19	60-62	100
	dik yön	910-950	5-12	6-24	10
T/M Ni-Mo		900-930	13-15	40-50	27

T/M parçaların yüzey kalitelerinden dolayı, özellikle, T/M çeliklerin yük taşıma kabiliyetleri bazen hadde çeliklerinden bile üstündür. Şekil 5.3 'de T/M parçaların yorulma mukavemetleri hadde parçalarla mukayese edilmiştir.



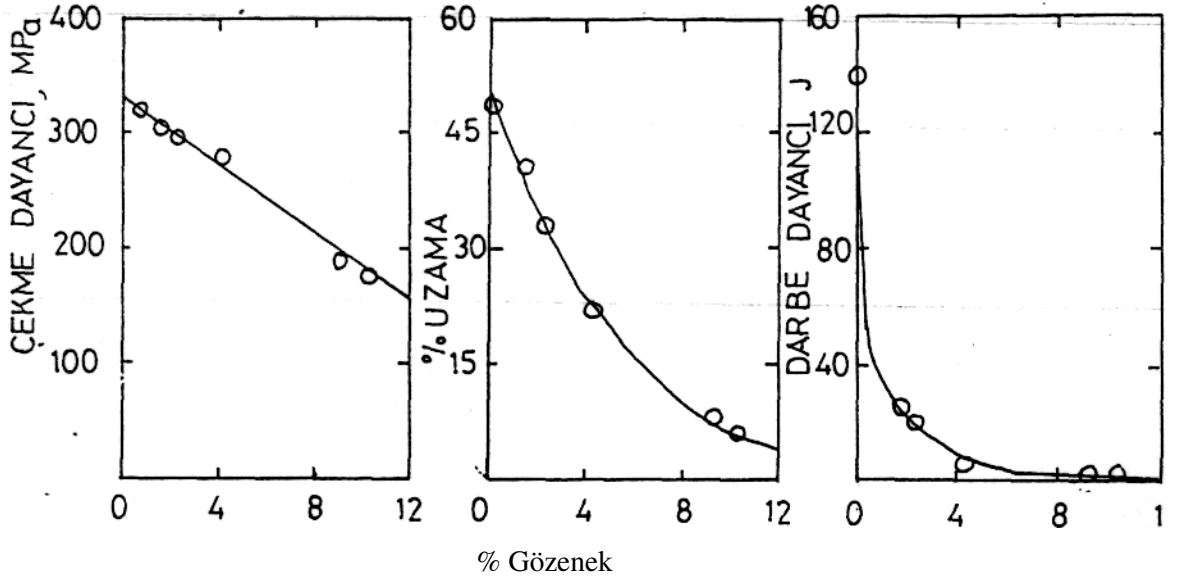
Şekil 5.3. Hadde ve T/M çeliklerinin yorulma özelliklerinin mukayesesi.

Şekil 5.4 'de motor silindirin de ki şartlara benzer şekilde yapılan yorulma deneyi sonunda, çekiç dövme ve T/M biyel kolları yorulmaya karşı mukayese edilmiştir.



Şekil 5.4. Çekiçle dövme ve T/M biyel kollarının yorulma özelliklerinin mukayesesi.

T/M parçalarda kalıcı gözenek mekanik özelliklere tesir eder. Çekme mukavemeti ve mıknatıslık kalıcı gözenek ile yavaş değişmektedir. Süneklik ise çok süratli değişmekte. Şekil 5.5 'de kalıcı gözenneğin mekanik özelliklere etkisi görülmektedir.



Şekil 5.5. Kalıcı gözenneğin mekanik özelliklere etkisi.

T/M parçaların mekanik özelliklerine kalıcı gözeneklerden başka oksijen miktarının da etkisi vardır. Süneklik, darbe mukavemeti darbe tokluğu ve yorulma mukavemeti oksijen miktarı ile önemli oranda değişmektedir. Çatlak genellikle kalıcı gözenekleri ve toz yüzeyi oksitlerini takip etmektedir (Kurt, 1992).

6. TOZ METALURJİSİ UYGULAMA ALANLARI

Çağın ekonomik dengeleri enformasyon, yeni malzeme, biyoteknoloji, nükleer, uzay ve havacılık teknolojileri olmak üzere beş teknoloji üzerine kurulmuştur. Yeni veya ileri malzeme teknolojisi, aslında diğer teknolojilerin de temelidir. Çünkü bütün teknolojilerin gelişmesi, yeni üretilen malzemelerin özellikleri ve performansı üzerine kurulmuştur. Diğer teknolojilerle de iç içe olan malzeme teknolojisindeki başlıca atılım, doğal kaynaklarla rekabet eden sentetik malzeme kaynaklarının bulunmuş olmasıdır. Maddenin moleküler yapıda kontrolü sayesinde yeni özellikleri olan malzemeler gündeme gelmektedir. Yeni veya ileri malzeme teknolojisinin de temeli toz metalurjisidir. Çünkü pek çok özelliklere sahip sentetik malzeme üretimi ancak metal tozlarının karışım teknolojisi ile mümkün olmaktadır (Tanberk, 1997).

T/M yöntemi ile üretilen parçaların özellikle 1900'lü yılların başından itibaren kullanım alanları gün geçtikçe artmaktadır. T/M yöntemi artık endüstrinin önemli bir kısmında uygulanır olmuştur.

T/M parçaları otomobillerin hareket sistemleri, çamaşır makineleri, güç makineleri, spor malzemeleri, fotokopi makineleri, yol ekipmanları, av malzemeleri, hidrolik sistemler, x ışınlarının korunma sistemleri, petrol ve gaz kuyularının kapama sistemleri ve kaset çalar gibi pek çok yerde kullanılmaktadır. İmalat endüstrisinde kullanılan T/M parçaları büyük ölçüde demir, çelik ve alaşımları, bakır ve bakır esaslı alaşımlar (pirinç, tunç ve nikel, gümüş), alüminyum, paslanmaz çelik, nikel ve kalay esaslı tozlardan elde edilen alaşımlardır (Boz, 1999).

Çizelge 5.3. T/M' nin otomotiv sektöründe uygulama alanları

Dinamo regülatörü kontaklar	Pt-alaşımları, Fe
Yataklar	Cu, Pb, Sn, Fe, Al. grafit, tunç
Fren balataları	Fe, grafit, Cu, Zn, Sn
ABS fren sistemi sensör halkaları	Fe,P
Debriyaj ve fren balataları	Fe, grafit, Cu, Zn, Sn, Pb
Elektrik kontakları	W, Cu, Ag
Amortisör	Fe, Cu, takım çeliği
Buji	Fe, Zn, seramik esaslı tozlar
Vites kutusu parçaları	Fe, Cu, çelik

Dünya çapında üretilen tüm metalik tozlardan imal edilen sinler parçaların pazar paylarından en büyük kısmı. % 86 ile demir-çelik esaslı sinter parçalar almaktadır, ikinci sırada % 11 pazar payı toplamı ile bakır ve bakır esaslı sinter parçalar, üçüncü sırada % 0.6 ile alüminyum takip eder (Öveçoğlu, 1997). T/M' nin otomotiv sektöründe önemli uygulamaları Çizelge 5.3'de sunulmuştur T/M yöntemi ile üretilen parçaların özellikle 1900'lü yılların başından itibaren kullanım alanları gün geçtikçe artmaktadır. T/M yöntemi artık endüstrinin önemli bir kısmında uygulanır olmuştur. Uygulama alanları;

Sert metaller, diş dolguları, elektrik ve magnetik malzemeler, elmas diskler, gözenekli yataklar ve diğerleri olarak sayılabilir.

6.1. Sert Metaller

T/M yöntemi ile üretilen sert metaller değişik uygulama alanlarında kullanılırlar. Bunların % 70'i kesici takımlarda, % 10' u delici aletlerde, %10' u tel çekme ve haddelerde, %10' u ise aşınmaya dayanıklı takımlarda kullanılır.

Çizelge 6.1. Bazı Alman sert metallerin mekanik özellikleri (Kurt, 1992).

Kalite	H1	G1	G2	S1	S2	S3	F1
Terkip	WC	WC	WC	WC	WC	WC	WC
%	% 6 Co	% 6 Co	% 12Co	% 6 Co % 15TiC	% 9 Co % 15 TiC	% 9 Co % 5 Ti	% 6 Co % 25TiC
Vickers							
sertliği kg/mm ²	1600	1600	1400	1600	1550	1500	1650
Yoğunluk gr/cm ²	14.7	14.7	14.0	11.1	11.2	13.3	9.9
Eğme							
kg/mm ²	150	165	185	115	135	150	90
Isı geçirgenliği							
Cal/cm sn °C	0.19	0.19	0.16	0.09	0.12	0.15	0.05
Genleşme katsayısı x 10 ⁻⁶	5	5	5.5	6	6	5.5	-
Elektrik direnci							
Ωmm ² /m	0.20	0.20	0.18	0.43	0.29	0.29	0.65

Sert metaller aşınmaya, ısıya karşı mukavemetli oluşu, yüksek sertlik ve yeterli çekme mukavemetine sahip oluşu nedeniyle kesici takımlarda başarı ile kullanılırlar. Farklı metallerin değişik şartlarda işlenir olmaları sert metallerinde bir çok özelliklere sahip olmasını gerektirir.

Bu özellikleri, volfram karbür-kobalt ve volfram karbür- titan, karbür-kobalt alaşımlarında kobalt ve titan karbür miktarı değiştirilerek sağlanır. Titan karbür miktarının artması eğme mukavemetini düşürürken sertliği artırır.

Sert metaller aşınmaya karşı yüksek dayanım gösterdikleri için delicilerde, maden ve petrol aramalarında başarı ile kullanılmaktadır. Ayrıca tel çekme haddelerinde de elmasın pahalı olması nedeniyle sert alaşımlar kullanılmaktadır.

6.2. Elektrik ve Magnetik Malzemeler

Bu gruba direnç kaynağı elektrotları, tungsten ve molibden flamanlar, elektrik kontak malzemeleri, metal-grafit fırçalar, süper iletkenler ve çeşitli mıknatıslar girer. Çeşitli gümüş alaşımları her tip elektrik kontaklarında kullanılırlar. En çok % 85 Ag - %15 Ni alaşımları, kullanılır. Çeşitli elektrik kontak malzemelerinin özellikleri Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Elektrik kontak malzemelerinin özellikleri (Kurt, 1992).

Malzeme	Yoğunluk gr/cm	Sertlik (HV)	Elektrik iletkenliği % IACS
Gümüş	10.5	26	106
Gümüş-CdO	9.8-10.0	58	75-82
Gümüş-grafit	8.7-9.7	30-40	55-86
Gümüş-molibden	10.4	170	50
Gümüş- Tungsten	12.5-15.6	110-120	36-61
Gümüş-Nikel	10.0	60	75
Gümüş-Tungstenkarbür	12.5-13.2	110-200	36-57
Bakır	8.9	35	100
Bakır-Tungsten	12.8-15.2	140-240	28-41
Tungsten	19.3	290	31

Metal olarak bakır veya gümüş kullanılan, metal grafit karışımı fırçalar elektrik motorlarının çok önemli parçalarını teşkil ederler. Çizelge 6.3'de verilen değerlerden anlaşılabacağı gibi bu metal-grafit fırçalardaki metal miktarı % 20 ile % 99 arasında değişmektedir.

Ayrıca tungsten ampul flamanlarının üretim yöntemi de sadece T/M teknikleri ile mümkündür. Flaman ömrünü uzatmak için yapıya toryum oksit ve potasyum tozları katılır. Bu katkı maddeleri tane büyümesini önler.

Çizelge 6.3. Çeşitli Metal-Grafit Fırçalarının Özellikleri

Kodu	Bileşim (%)	Yoğunluk gr / cm ³	Özgül Direnç m	Max.-Akım Yoğunluğu A /m ²	Tipik Voltaj	Sclerascop Sertliği
261C	21Cu-79C	2.2	0.024	125.600	72	28
261D	35Cu-65C	2.5	0.016	125.000	72	28
FQ	50Cu-50C	2.75	0.006	130.000	36	28
179P	65Cu-35C	3.5	0.0016	190.000	18	20
179V	75Cu-60C	4.0	0.0008	235.000	15	18
22A-S	40Ag-60C	2.7	0.008	150.000	36	30
246	65Ag-35C	3.8	0.001	190.000	18	20
2-S	80Ag-20C	4.6	0.0008	235.000	9	23
1-S	93Ag-7C	7.0	0.0001	270.000	6	10

Süper iletkenlik enerji tasarrufu için ideal olarak görüldüğünden son yılların ilgi çeken araştırma konuları içindedir. Nb₃Sn intermetalik bileşiğinde keşfedilen süper iletkenlikten dolayı bu alanda hızlı bir araştırma sürdürülmektedir.

T/M yöntemi ile üretilen parçalarda son şekle, herhangi bir talaş kaldırma işlemine gerek olmadan ulaşıldığı için birçok alanda olduğu gibi yumuşak magnetik malzemelerin ve daimi mıknatısların üretiminde de büyük ekonomi sağlanır. Kutup parçaları, role göbekleri, bilgisayar yazıcıları gibi yumuşak magnetik malzemeler demir, demir-silisyum, demir-fosfor ve demir-nikel alaşımları tozlarından üretilmektedir .

Genellikle karbonil tozlarından T/M teknikleri ile hazırlanan demir-nikel alaşımlarının magnetik özellikleri aynı oranlarda Ni ihtiva eden ve döküm yöntemi ile üretilen magnetik alaşımların özelliklerinden daha iyi sonuç sağlamıştır. Çizelge 6.4 'de sinterlenmiş mıknatıslarla döküm mıknatısların özellikleri karşılaştırılmıştır (Kurt, 1992).

Çizelge 6.4. Aynı terkipte olan dökme mıknatısların magnetik özelliklerinin sinterlenmiş mıknatıslarinkiyle karşılaştırılması

Alaşım İmal yöntemi	Endüksiyon Şiddeti Değerler Br		Koerzitif alan HC Gauss	B.H.Max xoersted 10 gauss	B. H. Max Br HC Yoğunluk ^ gr/cm	
28 % Al	Max	6500	560	1.3	0.39	6.8
14 % Si	Orta	6000/55000	480/530	1.10/0.95	3.36/0.33	6.6
(Al,Nİ	Max	7000	560	1.36	0.40	7.0
120)	Orta	6300/58000	480/530	1.20/1.05	0.37/0.34	6.9
22 % Ni	Max	7800	360	1.25	0.48	6.8
12 % Al	Orta	7700/7300	280/330	1.10/0.85	0.44/0.422	6.7
(Al, Ni 90)	Max	7900	350	1.2.5	0.46	7.0 6.9
Dökme	Orta	£800/7400	180/250	1,00/0,75	0.44/0.42	

6.3. Diş Dolguları

Altın, gümüş, kalay, bakır veya alaşımların tozları civa ile karıştırılarak dişçilikte diş dolgusu olarak kullanılmaktadır. Hazırlanmaları sırasında plastik olmaları ve çabuk katılaşması nedeniyle bu dolgular en küçük boşluklara dahi girerek herhangi bir boşluk bırakılmadan doldurulur.

6.4. Elmas Diskler

Elmas, bilindiğı gibi mevcut malzemeler arasında en yüksek sertliğe sahip bir malzemedir. Bu özelliğinden dolayı kesici ve delici takımların imalinde önemli bir kullanım alanına sahiptir. Elmas tozları, bazı metal tozlarıyla karıştırılarak bu karışım preslenip, sinterlenerek T/M elmas yapılar elde edilir, îmal edilen elmas yapılar; zımpara taşları yapımında, matkap uçlarında, işleme tezgahlarının kesici çakılarında kullanılır.

6.5. Yatak Malzemeleri

Kütle üretiminin otomotiv endüstrisine geçmesi büyük tonajlarda demir ve bakır tozlarının ve modern toz metalurjisinin teknolojik birçok avantajının doğmasına neden olmuştur. 1940'lı yılların başlarına kadar otomotiv endüstrisinde kullanılan bakır tozu kendinden yağlamalı yataklar, toz metalurjisinin temel ürünleri olmuştur. Özellikle uzay ve nükleer teknolojinin gelişyle reaktif ve refrakter metallerin toz metalurjisi yöntemi yaygın hale gelmiştir (Şahin, 2000).

Toz metalurjisinin en önemli uygulama alanlarından birisine yataklar alanında rastlanır. T/M ile üretilmiş çeşitli tipteki yataklar toplam yatak kullanımının önemli bir yerini teşkil eder. T/M ile üretilen yatak tiplerinin en önemlisi olan gözenekli yatakların üretiminde kullanılan metal

tozlarının tonajı, herhangi bir başka tipteki sinterlenmiş bileşen için kullanılanlardan çok daha fazladır. 1961 dünya üretimi günde 10.000.000 dan daha fazla olabildiği halde İngiltere'de yıllık 100.000.000'ün üzerinde gözenekli yatak üretilmiştir (Kurt, 1992).

6.6. Diğer Uygulamalar

Gün geçtikçe artan uygulama alanları ile endüstride önemli bir yer dolduran T/M parçalarının diğer uygulama alanları arasında, ziraat aletleri, motorlu vasıtaların muhtelif parçaları, kimya endüstrisi, çamaşır makineleri, elektrikli süpürge gibi ev aletleri, hidrolik pompalar, metal filtreler, sürtünme elemanları, sermetler, takım çelikleri ve makine elemanları bulunmaktadır.

Gözenekli metallerin en geniş uygulama alanını filtreler oluşturur. Toz metal filtreler geniş sıcaklık aralığında çalışmalarının yanı sıra, organik filtrelerin kolay şekil değiştirmeleri ve kağıt filtrelerin zayıf olmalarından dolayı bunlara tercih edilirler.

Filtre imalatında tane büyüklüğü 600 µm-1000 µm arası tozlarla, tane şekli küresel tozlar kullanılır. Filtrelerde gözenek miktarı % 40 - % 50 arasında tutulur. Çizelge 6.5'de çeşitli toz metal filtrelerin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 6.5. T/M Filtrelerin Özellikleri

Tipi	Süzme Büyüklüğü mikron	Geçirgenlik Darcy x 10 ⁻⁶	Çekme Mukavemeti MPa	Bükülme Açısı °	Minimum Kalınlık mm
Bronz	3	1.8	25	50	1.60
	5	3.0	24	47	1.60
	12	15.0	20	40	2.40
	25	45.0	18	35	2.40
	37	75.0	16	30	3.00
Paslanmaz çelik	10	0.65	75	180	1.25
	20	2.40	60	80	1.25
	40	6.50	40	50	2.50
Paslanmaz çelik tel örme	10	1.14	110	180	0.750
	20	7.96	95	180	0.90
	40	15.30	80	180	1.00

Ağır hizmet makinelerinin fren ve debriyaj balatalarında sürtünme elemanları olarak T/M parçalar başarıyla kullanılmaktadır. Sürtünme elemanlarında kullanılan toz metal parçalarda bakır ve kalay ısıyı iletici toz olarak, alümina ve silisyum karbür ise sürtünme sağlayan toz olarak kullanılır. T/M sürtünme elemanlarında sürtünme katsayısını kontrol etmek mümkündür. Kurşun, inko ve grafit tozları ilavesiyle sürtünme katsayısı istenen değere ayarlanabilir.

Sermet, seramik ve metal kelimelerinden türetilen bir isimdir. Seramik tozları bir metal bağlayıcı ile bağlanır. Hacimce % 15 ile 85 arasında seramik tozu kullanılır. Seramik taneciklerin büyüklüğü sisteme bağlı olarak değişir. Nükleer yakıt elamanı olan uranyum için 50 µm-100 µm olduğu gibi ince taneli karbür için 1-2 µm de olabilmektedir. Sermetlerde, uranyum oksit, uranyum karbür, zirkonyum-borür, silisyum karbür, silisyum oksit, alüminyum oksit; titanyum karbür, grafit veya elmas seramik faz olarak kullanılırken; nikel, kobalt, molibden, krom, tungsten, paslanmaz elik vb. de metal bağlayıcı faz olarak kullanılır.

Metal tozlarının pul şeklinde tane yapısına sahip olanları metalik boya olarak boya sanayinde kullanılır. Pul şeklindeki metalik tozlar taşıyıcı sıvı yapışkan ile karıştırılıp boyanacak yzeyeye püskürtüldüğünde yzeyeye paralel olarak yerleşir ve kaplama yapar.

Gıda sanayinde demir tozları gıda zenginleştirici olarak kullanılmaktadır. Demir sülfat, saf demir ve çeşitli demir tozları gıdaya doğrudan eklenir. Amerika'da yılda 500 ton saf demir tozu gıda zenginleştirici olarak kullanılmaktadır (Kurt, 1992).

7. TOZ METALURJİSİNİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

T/M üretim tekniği bütün dünya ülkelerinde hızla yayılmaktadır. ABD' de Japonya'da, Avrupa ve Avustralya'da T/M üretiminin sürekli olarak arttığı rapor edilmektedir. Bunun en büyük nedeni, daha ekonomik bir üretim tekniği olması ve diğer tekniklere kıyasla daha az enerji tüketilmesidir (Uygur, 1996).

T/M, demir ve demir dışı parçaların üretiminde kullanılan, son derece gelişmiş bir yöntemdir. Elementel veya alaşım tozları karıştırılır ve bir kalıp içerisinde preslenerek sinterlenir veya ısıtılarak partiküller arasında metalurjik bağın oluşması sağlanır. Esası talaşsız metal işleme metodudur. T/M nihai parçada başlangıçtaki ham maddenin % 97' sinden fazlasını kullanmaktadır. Bundan dolayı, T/M bir enerji ve malzeme tasarruf metodudur.

Daha önce döküm, talaşlı üretim, dövme gibi tekniklerle üretildikleri halde ekonomik sebeplerle T/M tekniğine değiştirilen sayısız parça vardır. T/M' nin diğer tekniklerle karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmaktadır (Boz, 1999).

7.1. T/M'nin Avantajları;

- a) İşlemeyi (talaş kaldırma) elimine veya minimize eder.
- b) Yakın toleranslar ve düzgün yüzeyler elde edilir.
- c) Yoğunluk ve ergime noktalarındaki farklılıklardan ötürü başka yollarla imkansız olan alaşım ve karışımların veya kompleks parçaların üretimi mümkündür.
- d) Metal olmayan malzemeler, metal asıllı ürünlerin içinde ince ve homojen şekilde dağıtılabilir.
- e) Isıl işleme mukavemeti veya aşınma direnci yükseltilebilen malzemeler sağlanabilir (gözeneklere arzu edilen yağlayıcı maddeler emdirilebilir (Boz, 1999).

7.2. T/M' nin Dezavantajları;

- a) İlk yatırım (takımlar, presler ve sinter teçhizatı) oldukça pahalıdır. Seri üretim yapılmazsa amortisman değerleri yüksektir.
- b) Metal tozların maliyeti, ingot halinde üretilen malzemelerden daha yüksektir.
- c) Toleranslar talaşlı işlemlere göre daha kabadır.
- d) Tozların kalıp içinde akışkanlığı sınırlıdır. Dolayısı ile yapılacak parçanın şekli kısıtlayıcı bir faktör olabilir (Boz, 1999).

8. DENEYSEL AŞAMALAR

Bu çalışma toz metalurjisi ile üretilmiş farklı oranlardaki bakır, ferrokrom ve ferromangan alaşımlarının mekanik ve mikro yapı özelliklerinin incelenmesi amacı ile yapılmıştır. Çalışmada ticari saflıktaki bakır tozuna farklı oranlarda ferrokrom ve ferromangan tozları karıştırılarak sabit basınç altında preslenmiştir. Numuneler değişik sıcaklıklarda ve sürelerde sinterlenmiştir. Elde edilen numunelerin mekanik özelliklere etkisi ve mikro yapıları test edilmiştir.

Çalışmada kullanılan bakır tozu, FeCr ve FeMn tozları ise Marmara Metal A.Ş. den elde edilmiş olup. FeCr ve FeMn tozları Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metalurji Eğitimi Bölümünde bulunan toz eleklerinden geçirilerek 50 µm boyutundaki tozlar kullanılmıştır.

Kullanılan tozlar ve blok numunelerin tartı işlemleri Sartorius marka 0.1 mg hassasiyetindeki terazide yapılmıştır. Karıştırma işlemleri için yatay konumda çalışan döner değirmen kullanılmış, karıştırma süresi ortalama olarak her bir numune tozu için 1 saat olarak tutulmuştur. Numunelerin kalıpta preslenmesi işlemi Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Eğitimi Bölümünde bulunan 600 kg/cm²'lik hidrolik preste yapılmış, sinterleme işlemleri için atmosfer kontrollü tüp fırın kullanılmış ve koruyucu gaz olarak argon seçilmiştir. Blok numunelerin çapraz kırılma testleri; Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü Laboratuvarı'nda bulunan ELE marka hidrolik preste gerçekleştirilmiştir. Kırık yüzey incelemeleri için; Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü Laboratuvarı'nda bulunan SEM cihazında, mikroyapı incelemeleri ise yine aynı laboratuvardaki optik mikroskopta yapılmıştır.

8.1. Kullanılan Toz Malzemelerin Hazırlanması

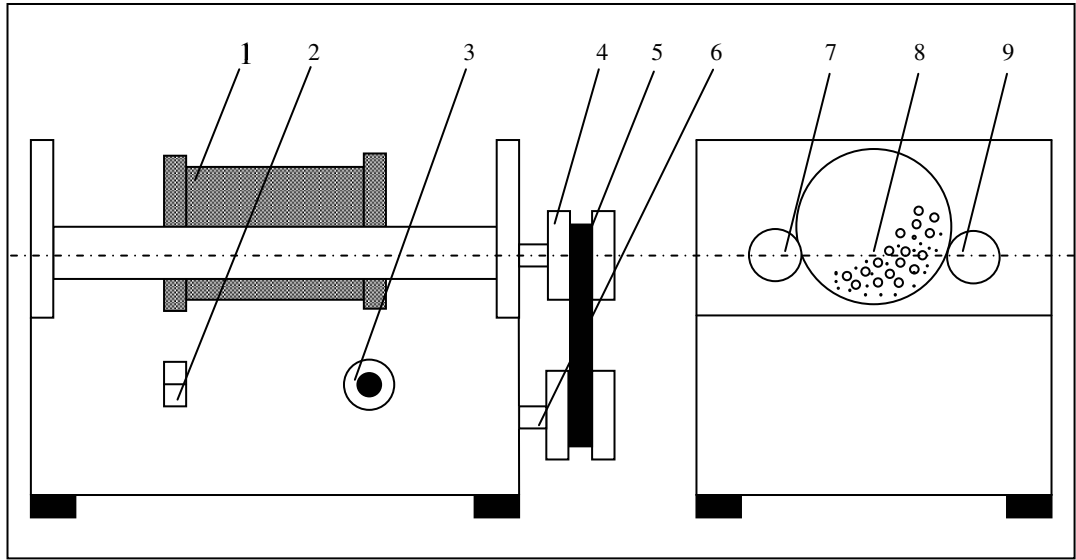
Çizelge 8.1. Cu-FeCr ve Cu-FeMn oranlarını gösteren Çizelge

Numune Numarası	Cu oranı (%)	FeCr Oranı (%)	FeMn Oranı (%)
02	97	-	3
04	94	6	-
11	97	3	-
12	97	-	3
13	97	1,5	1,5
14	94	6	-
15	94	-	6
16	94	3	3
17	90	10	-
18	90	-	10
19	90	5	5
22	97	-	3
24	94	6	-

Toz malzeme olarak aşağıdaki çizelgede verilen 35 µm boyutlarında bakır tozu, 50 µm boyutlarında ferrokrom ve ferromangan tozları kullanılmıştır. Bu tozlar harmanlama presleme ve sinterleme işlemlerine tabi tutulmuştur.

8.1.1. Tozların Harmanlanması

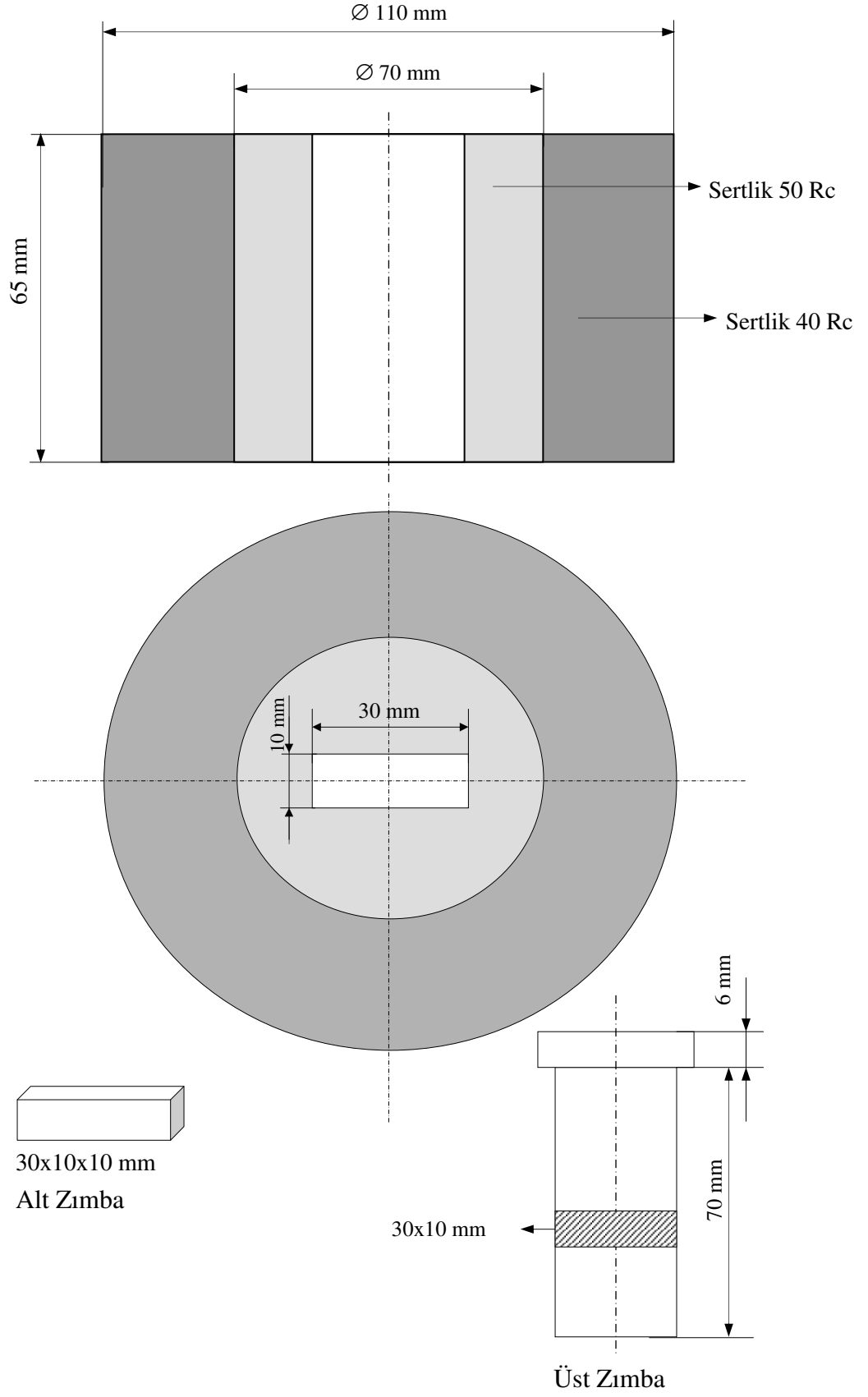
35 µm boyutundaki bakır ve 50 µm boyutundaki FeCr ve FeMn tozları homojen bir karışım elde edebilmek için şekil 8.1.'de şematik olarak gösterilen döner değirmende 1 saat süre ile karıştırılmıştır. Her karıştırma işlemi için silindir bir kap içine toplam 100 gr karışım toz kullanılmıştır.



Şekil 8.1. Karıştırma değirmeninin şematik gösterimi, 1- Döner silindir, 2- Açma- kapama şalteri, 3- Devir ayar düğmesi, 4- Kasnak, 5- Kayış, 6- Motor mili, 7- Serbest mil, 8- Karışım tozları, 9- Hareketli mil

8.2. Presleme

Şekil 8.2.' de gösterilen 30×10×10 mm ebatlarındaki metalik kalıp içersine yerleştirilen karışım halindeki tozlar hidrolik pres yardımı ile 15 ton basınç altında tek yönlü soğuk presleme yöntemi ile preslenmiştir.



Şekil 8.2. Soğuk presleme numune kalıbı

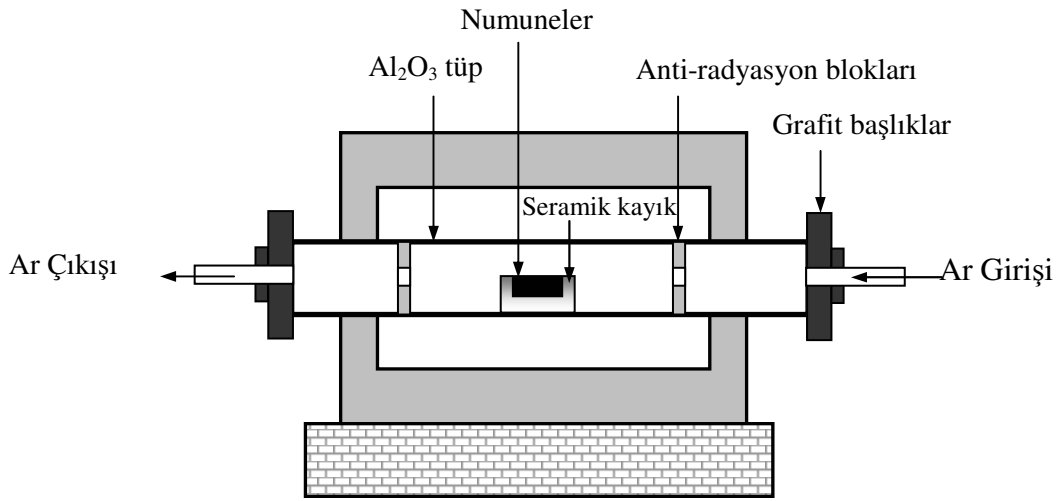
Presleme işlemi kalıpta tek eksenli olarak, metal toz kalıba döküldükten sonra, üst baskı plakası yardımı ile kapatılmış ve dikey yönde basılmıştır. Kalıp duvarlarının aşınma problemini ve sürtünmeyi azaltmak için kalıp yüzeyleri alkolle sıvılaştırılmış çinko asetat ile yağlanmıştır.

8.3. Sinterleme

Preslenmiş numunelerde toz parçacıklarının yüksek yüzey enerjilerinin ortadan kaldırılarak parçacıklar arasında tam ve mükemmel bağlar oluşturulması amacı ile sinterleme işlemi yapılmıştır.

Numuneler 750-800-850 °C sıcaklıklarda 1' er saat süre ile sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Böylece değişen sıcaklıkların sinterlemeye olan etkisi de incelenmiştir.

Sinterleme işlemi şekil 8.3. de şematik olarak gösterilen daire kesitli atmosfer korumalı tüp fırında gerçekleştirilmiştir. Fırına indirgeyici gaz olarak argon gazı verilmiş ve oksijen girişini engellemek amacı ile fırın kapakları sıvı conta ile sıvanmıştır.



Şekil 8.3. Sinterleme de kullanılan tüp fırının şematik gösterimi

Sinterleme işleminin yapıldığı fırın üç farklı sıcaklık bölgesinden oluşmaktadır. Bunlar ön sinterleme, sinterleme ve soğuma bölgeleridir. Sinterleme işlemi her bir numune için 6 saat sürmüştür. Ön sinterleme bölgesinde fırın ilk sıcaklık olan 750 °C sıcaklığa 2 saat 30 dakikada ikinci sıcaklık olan 800 °C'ta 2 saat 45 dakikada ve üçüncü sıcaklık olan 850 °C' ta 3 saatte çıkmıştır. Sinterleme bölgesinde sıcaklık 750-800-850 °C sıcaklıklarda 1 saat süre ile kalmıştır.

Soğuma bölgesinde ise sıcaklık 40 °C' ta birinci grup numune için 2 saat 15 dakikada ikinci grup numune için 2 saat 30 dakikada üçüncü grup numune için 2saat 45 dakikada düşmüştür.

8.4. Hazırlanan Numunelerin Karakterizasyonu

Karıştırma, presleme ve sinterleme işlemlerinden geçerek hazırlanan numunelerin karakterizasyonunu belirleme amacı ile sertlik ölçümleri yapılmıştır.

8.4.1. Sertlik Ölçüm Deneyleri

Deney numunelerinin yüzey sertlikleri performans deneyi öncesi ve sonrasında dijital ekran sertlik ölçüm cihazında yapılmıştır. Sertlik ölçümleri HV2 cinsinden Struers marka Duramin A300 model mikro sertlik ölçme cihazında yapılmıştır.

8.5. Performans Deneyleri

Toz metalurjisi ile üretilmiş Cu-FeCr ve Cu-FeMn numuneleri çapraz kırılma deneyine tabi tutulmuştur.

8.5.1. Çapraz Kırılma Deneyleri

Numunelerin yüzeyleri zımpara ile temizlenerek yüzeyde mevcut olan oksit ve benzeri kalıntılar giderilerek numunelerde düzgün ve temiz yüzeyler elde edilmiştir. Daha sonra bu numuneler standart çapraz kırılma aparatında çapraz kırılma deneyine tabi tutulmuşlardır. Uygulamada kullanılan çapraz kırılma aparatı Şekil 8.4.'de şematik olarak verilmiştir.

$$\text{Ç.K.M.} = \frac{3.P.I}{2.b.h^2} = (\text{MPa})$$

Burada;

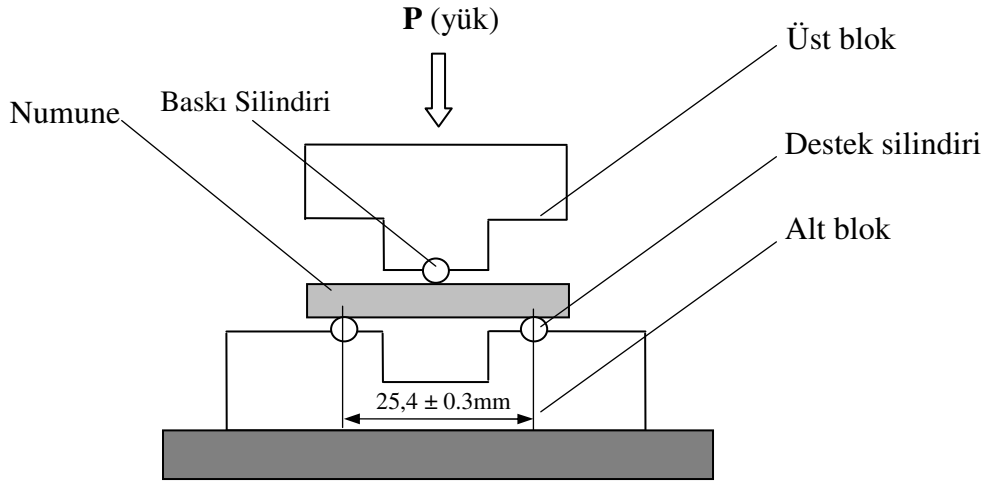
Ç.K.M.: Çapraz kırılma mukavemeti (MPa),

P: Deney parçasının kırıldığı anda ölçülen yük (N),

I: Destekler arası uzaklık (25,4 ± 3 mm),

b: Deney parçasının genişliği (12,70 mm),

h: Deney parçasının yüksekliği (6,35 mm)' dir.



Şekil 8.4. Çapraz kırılma test düzeneği

8.5.2. Sertlik Ölçme Deneyleri

Sinterleme sonrasında malzemede oluşan yapıların mekanik özelliklere etkisini görmek amacıyla sertlik ölçme deneyleri yapılmıştır. Sertlik ölçme işlemlerinde Sincan Organize Sanayinde bulunan Emek Boru A.Ş. şirketine bağlı tahribatlı muayene laboratuvarında bulunan Struers marka Duramin A300 model mikro sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır.

8.6. Metalografik Muayene

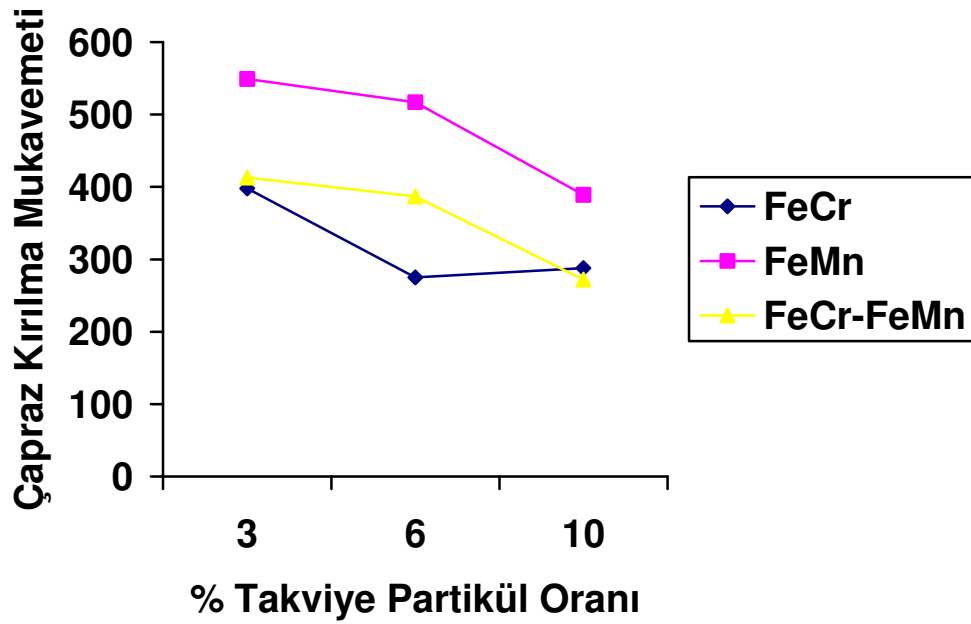
Sinterleme sonrası blok numunelerdeki sinterleşmeyi ve faz dönüşümünü görebilmek için bazı numunelerin optik mikroskop çalışmaları yapılmıştır. Numuneler öncelikle sırasıyla 400-600-800-1000-1200 numara aralığında zımpara ile zımparalanmış daha sonrada parlatma keçesinde $3\text{ }\mu\text{m}$ elmas pasta ile parlatılmıştır. Daha sonra hazırlanan numune yüzeyleri % 8 amonyum hidroksit ve % 8'lik bakır klorür ile yaklaşık olarak 20 saniye süreyle dağlanmışır. Numuneler üzerindeki optik mikroskop çalışmaları Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, metalografi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

9. DENEY SONUÇLARI

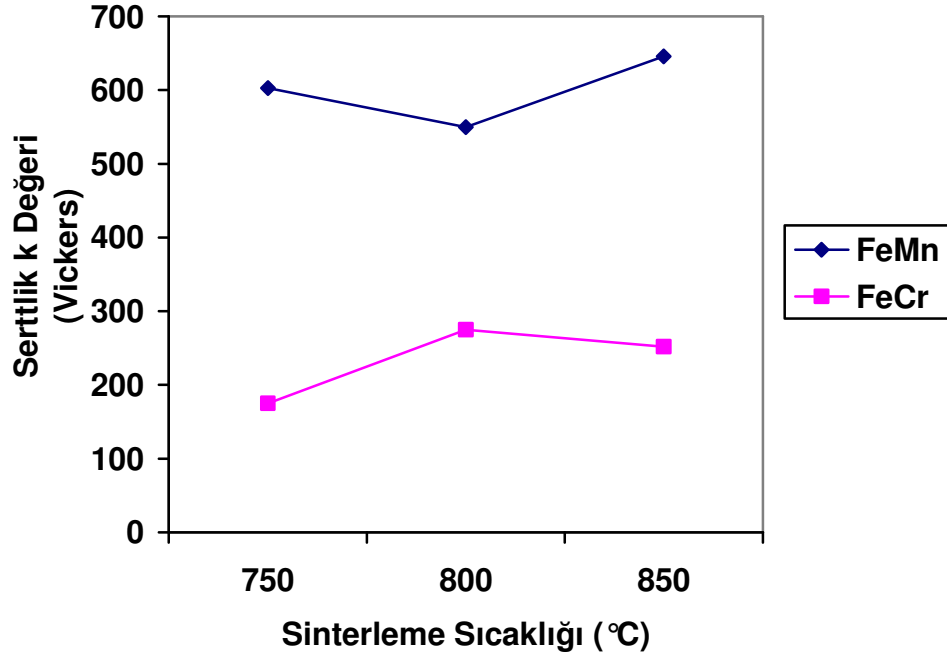
Çapraz kırılma deneyi sonucunda numunelerin kırılma enerjileri aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

Çizelge 9.1. Çapraz kırılma deneyi kırılma enerjileri tablosu

Numune Numarası	Cu oranı (%)	FeCr Oranı (%)	FeMn Oranı (%)	Kırılma Enerjisi (KN)
11 (800 °C)	97	3	-	4,210
12 (800 °C)	97	-	3	5,816
13 (800 °C)	97	1,5	1,5	4,377
14 (800 °C)	94	6	-	2,907
15 (800 °C)	94	-	6	5,473
16 (800 °C)	94	3	3	4,092
17 (800 °C)	90	10	-	3,049
18 (800 °C)	90	-	10	4,122
19 (800 °C)	90	5	5	2,875
02 (750 °C)	97	-	3	6,383
04 (750 °C)	94	6	-	1,855
22 (850 °C)	97	-	3	6,841
24 (850 °C)	94	6	-	2,674



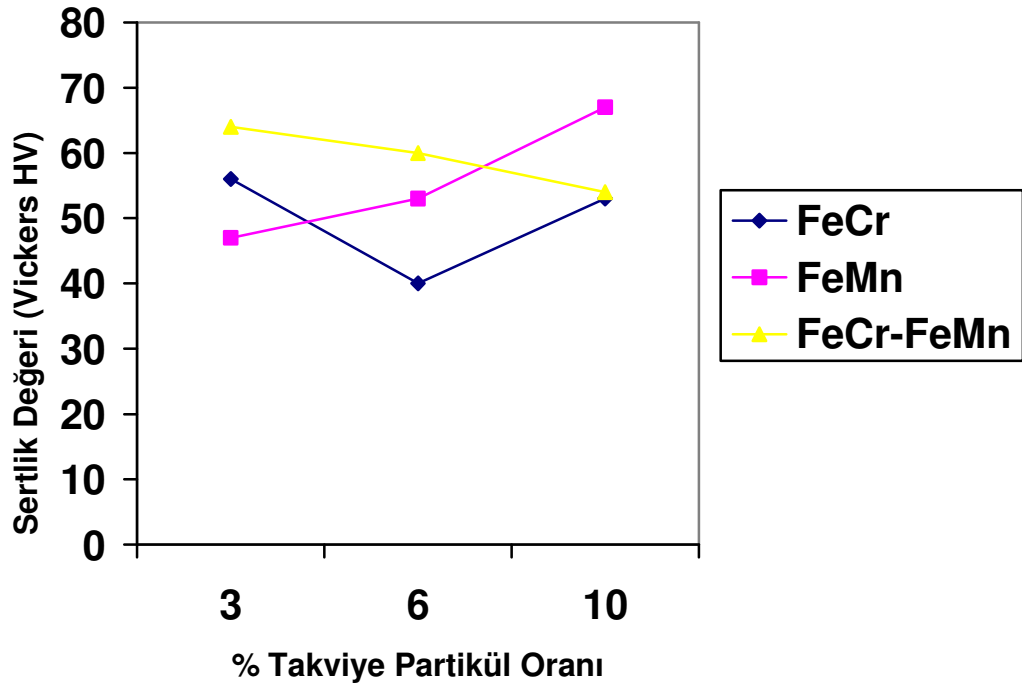
Şekil 9.1. Takviye partikülü miktarına bağlı çapraz kırılma mukavemeti eğrisi



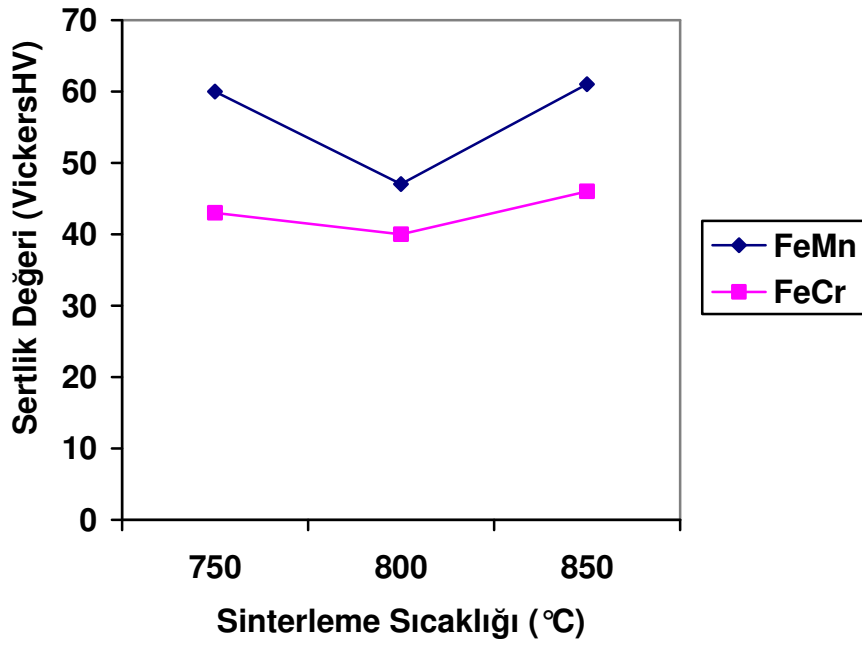
Şekil 9.2. En düşük ve en yüksek kırılma mukavemetlerini gösteren numunelere ait grafik

Çizelge 9.2. Sertlik değerleri tablosu

Numune Numarası	Cu oranı (%)	FeCr Oranı (%)	FeMn Oranı (%)	Sertlik (Vickers)
11 (800 °C)	97	3	-	56
12 (800 °C)	97	-	3	47
13 (800 °C)	97	1,5	1,5	64
14 (800 °C)	94	6	-	40
15 (800 °C)	94	-	6	53
16 (800 °C)	94	3	3	60
17 (800 °C)	90	10	-	53
18 (800 °C)	90	-	10	67
19 (800 °C)	90	5	5	54
02 (750 °C)	97	-	3	60
04 (750 °C)	94	6	-	43
22 (850 °C)	97	-	3	61
24 (850 °C)	94	6	-	46



Şekil 9.3. Takviye partikülü oranına bağlı sertlik değişimi grafiği



Şekil 9.4. FeCr ve FeMn miktarına bağlı sertlik değerleri tablosu

750 °C sıcaklık altında 1 saat süreyle sinterlenen numunelerin gösterdikleri sertlik değerleri numune sinterleme sıcaklığı 800 °C dereceye çıktığında düşmektedir. Sinterleme sıcaklığı 850 °C derece de ise numune sertlik değeri ilk değerleri de geçerek artmıştır.

9.1. Numunelerin İncelenmesi

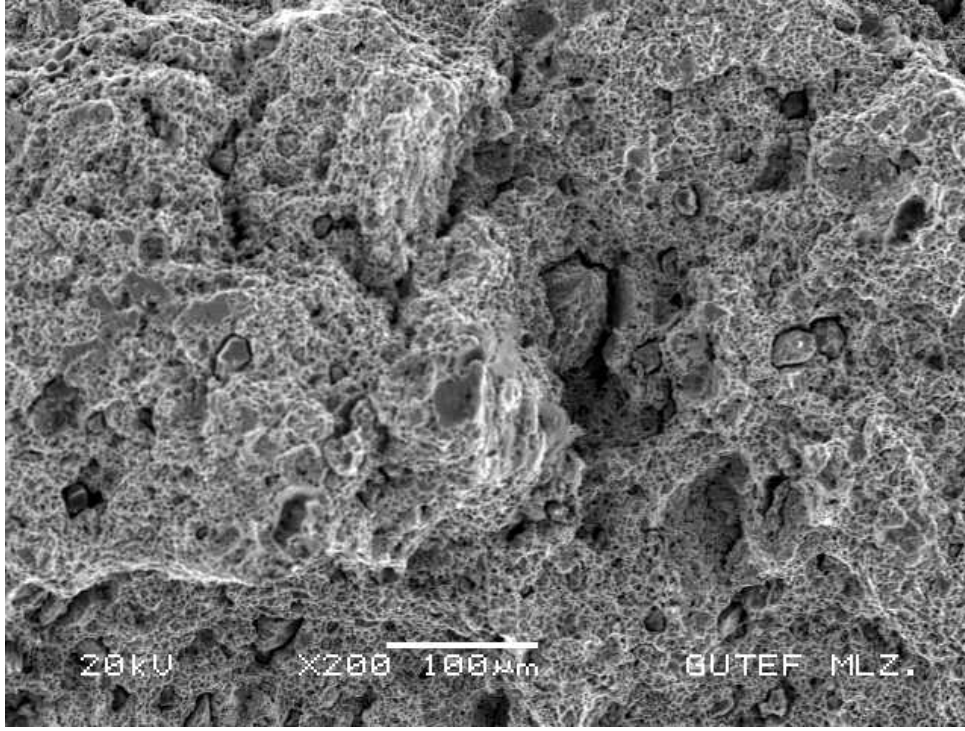
9.1.1. Ferromanganlı Numuneler

Ferromangan ilavesi yapılmış numuneler incelendiğinde FeMn oranı arttıkça kırılma enerjisinin düştüğü açıkça görülmektedir. Bu grup içinde FeMn oranları % 3-6-10 olarak alınmış ve içerikteki ferromangan oranına göre en iyi sonucu % 3 ferromangan oranına sahip numunenin verdiği belirlenmiştir (Çizelge 9.1).

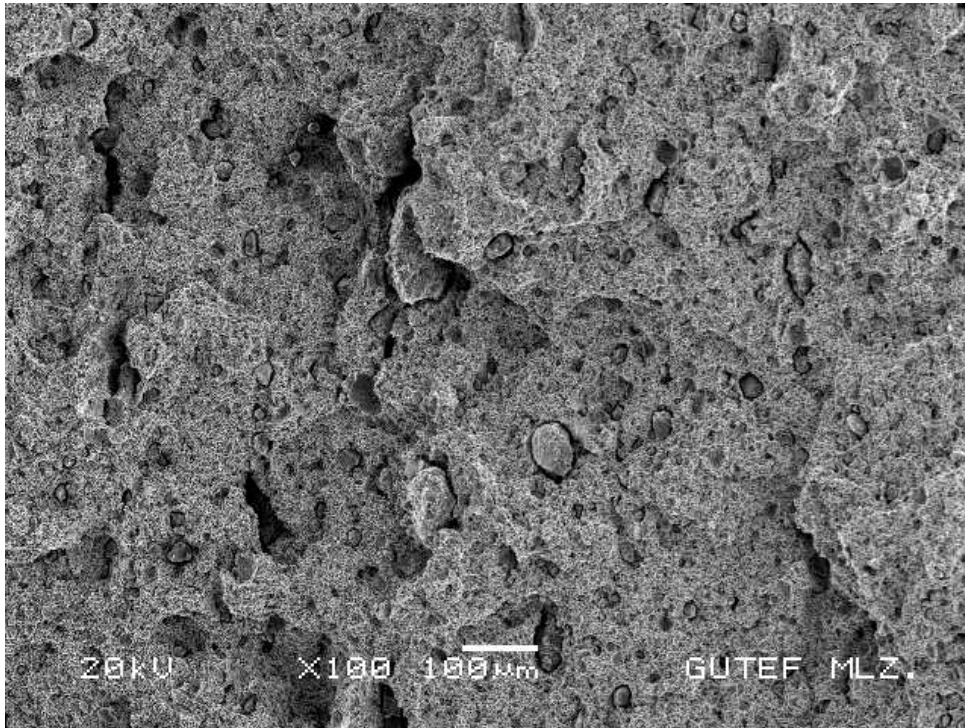
Kırılma enerjisi, sabit ferromangan ilaveli numuneler için kendi aralarında değerlendirildiğinde 750-800-850 °C sıcaklıklarda sinterlenmiş numuneler karşılaştırılacak olursa, Çizelge 9.1 de görüldüğü gibi, kırılma enerjisi en yüksek değer olarak 850 °C derecede sinterlenmiş numune karşımıza çıkmaktadır.

Bu sonuçlar kırık yüzeylerin (SEM) yapılarına bakıldığında da açıkça belli olmaktadır. FeMn oranı % 3 olup, sinterleme sıcaklığının 750 °C olduğu numunede gevrek kırılma davranışı olduğu kırılma yüzeyinin çatlak veya lamel kırılma gösterdiği Şekil 9.5.'de açıkça görülmektedir.

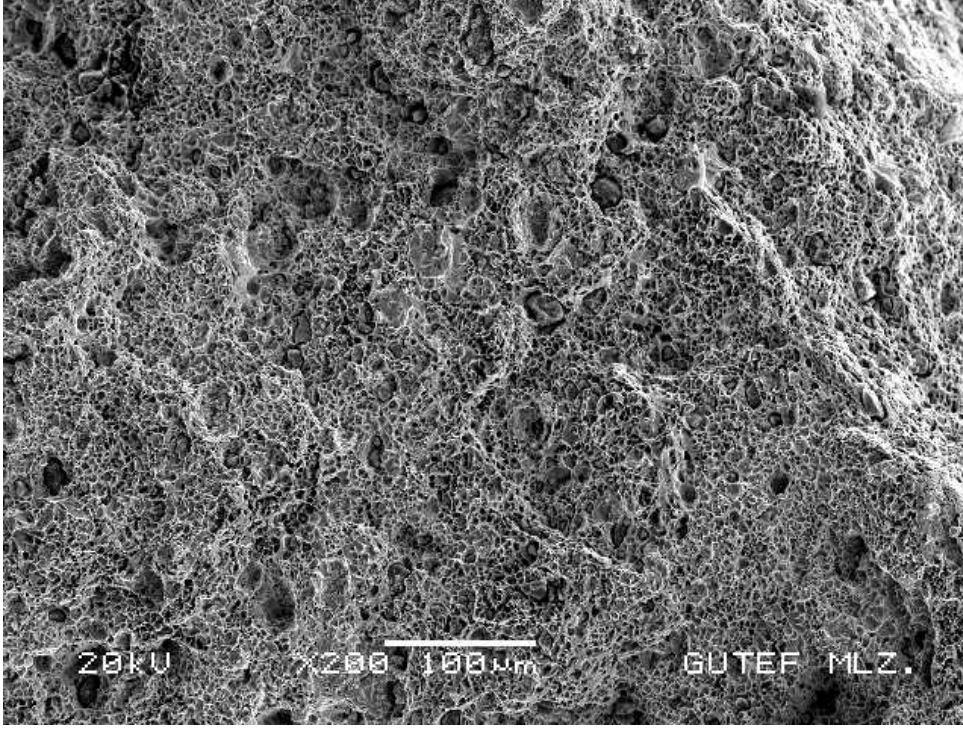
850 °C sıcaklıkta sinterlenen numunenin yapısı incelendiğinde yüzeyde çatlak bulunmadığı ve daha sünek bir yapıya sahip olduğu ve daha sünek bir kırılma gösterdiği Şekil 9.7' de açıkça görülmektedir.



Şekil 9.5. % 3 FeMn oranına sahip 750 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin SEM kırık yüzey görüntüsü



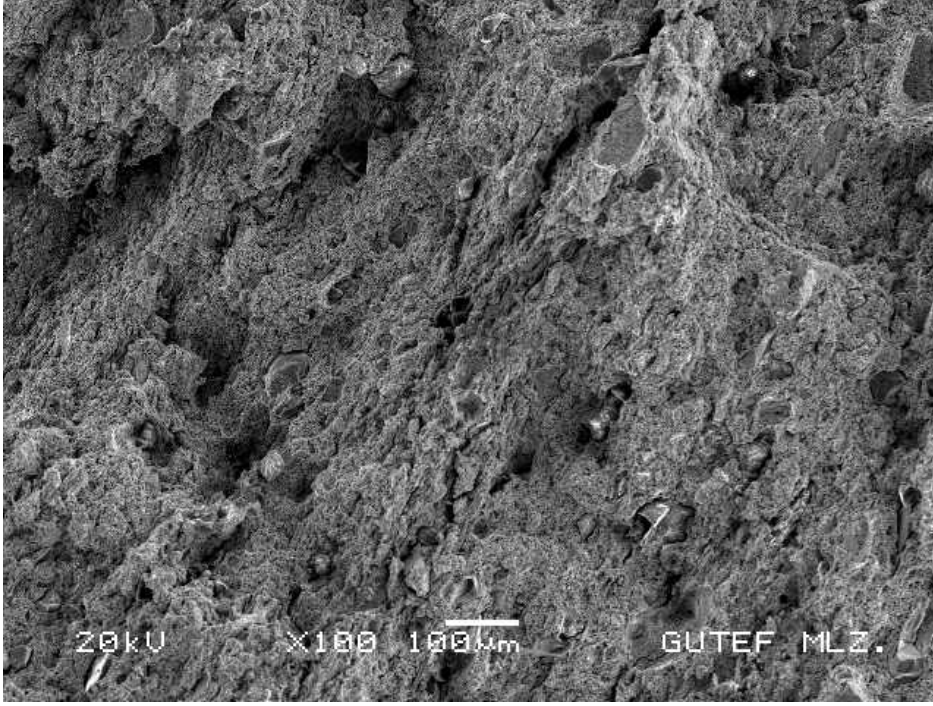
Şekil 9.6. % 3 FeMn oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin SEM kırık yüzey görüntüsü



Şekil 9.7. % 3 FeMn oranına sahip 850 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin SEM kırık yüzey (SEM) görüntüsü

9.1.2. Ferrokromlu Numuneler

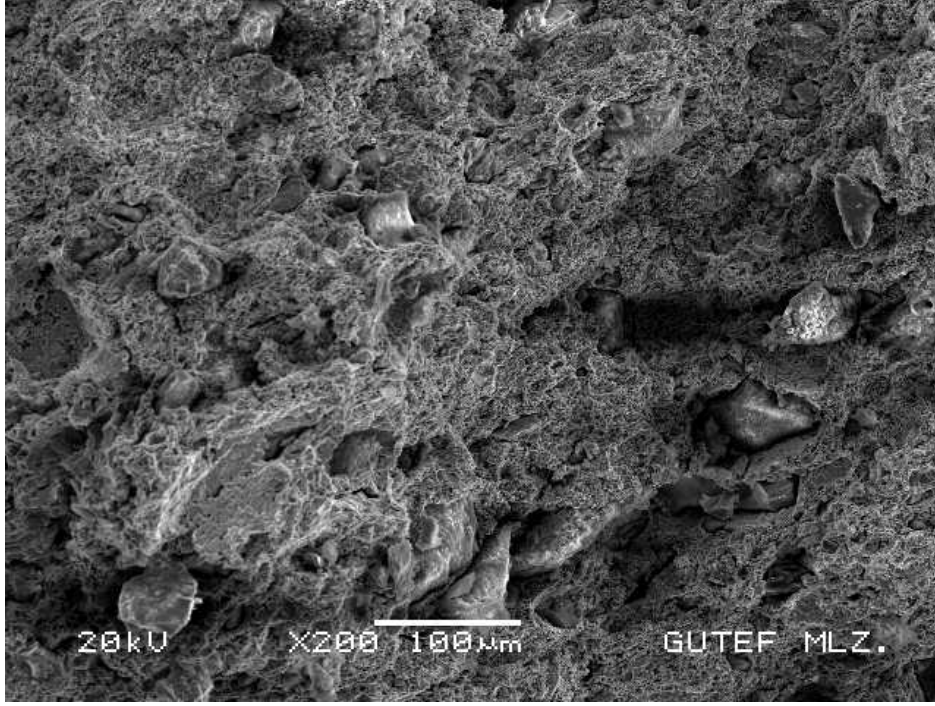
Ferrokrom ilavesinin artışına bağlı olarak kırılma enerjisinin düştüğü Çizelge 9.1’ de görülmektedir. Şekil 9.8’ de verilen ferrokrom ilavesinin % 3 olduğu numunenin kırık yüzey fotoğrafına bakıldığında diğer numunelerle karşılaştırıldığında daha sünek bir kırılma gösterdiği anlaşılmaktadır. Sinterleme sıcaklığı ile kırılma enerjisi incelendiğinde sinterleme sıcaklığı arttıkça kırılma enerjisi yükselmektedir.



Şekil 9.8. % 3 FeCr % 97 Cu oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin kırık yüzey (SEM) görüntüsü



Şekil 9.9. % 6 FeCr oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin kırık yüzey fotoğrafı

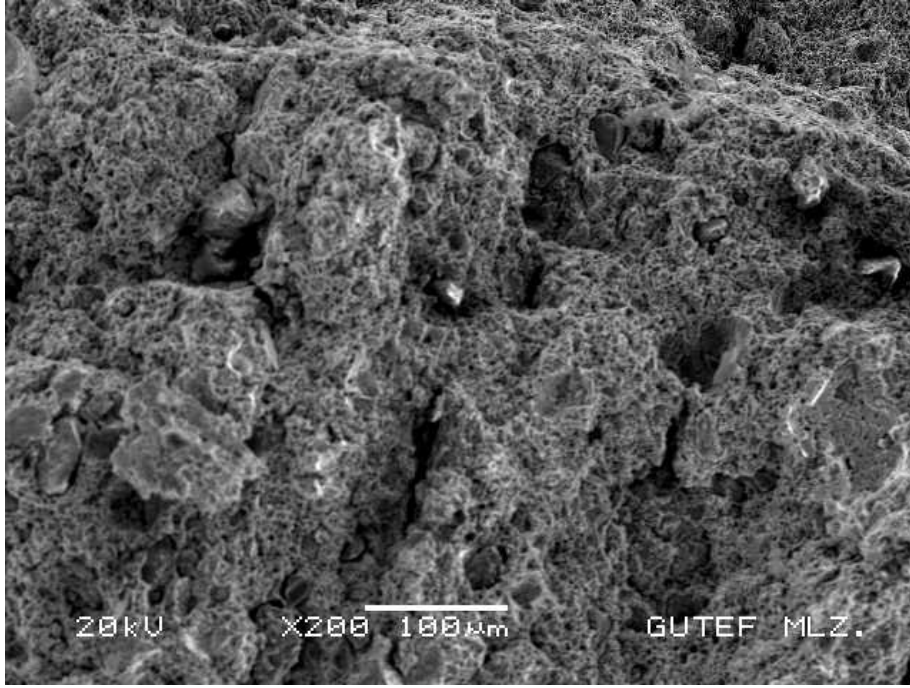


Şekil 9.10. % 10 FeCr oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin kırık yüzey (SEM) görüntüsü

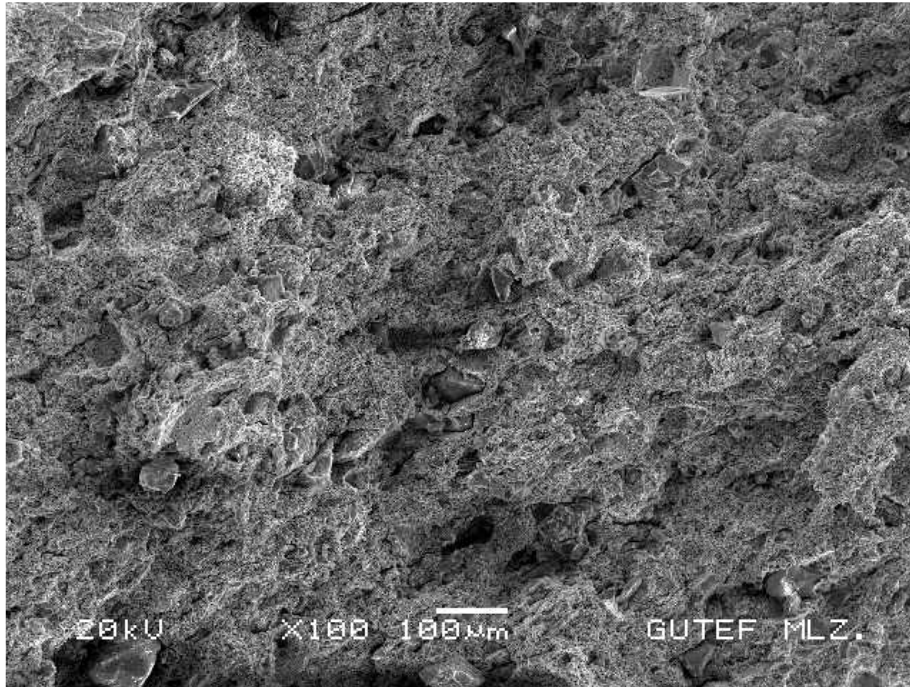
FeCr oranı % 6 olan numuneler arasındaki değerlendirilmede sinterleme sıcaklığı ile kırılma enerjisi arasındaki değişim daha açık görülmektedir. 750 °C' ta sinterlenmiş numunenin kırık yüzeyi 850 °C' ta sinterlenmiş numuneye göre daha gevrek kırılma gösterdiği ve kırık yüzeyde çatlak ve boşlukların daha fazla olduğu açıkça görülmektedir.

9.1.3. Ferrokrom ve Ferromanganlı Numuneler

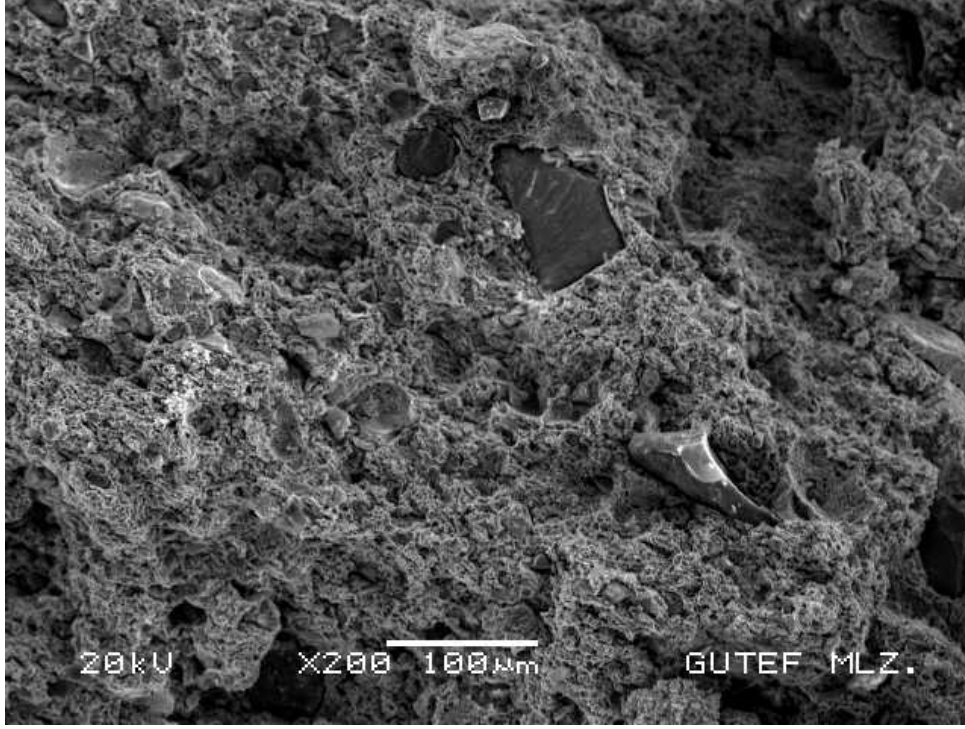
FeCr ve FeMn içeriğine bakıldığında numuneler tek başlarına ferrokrom ve ferromangan içerikleri ile kıyaslanacak olurlarsa, birlikte kullanıldıklarında yapı içindeki özelliklerini korudukları gözlenmektedir. Yüksek kırılma enerjisi değerlerine ulaşan FeMn, FeCr ile birleştiğinde Çizelge 9.1'de de görüldüğü gibi kırılma enerjileri düzeyi arada kaldığı gözlenmektedir. FeCr ve FeMn bakır matris içine % 1,5- % 3 ve % 5' er oranlarında katılmak suretiyle mekanik özelliklerine etkisi araştırılmış, bu yapılar içinde Şekil 9.11 - 9.12 ve 9.13'de verilen kırık yüzey görüntüleri ve Çizelge 9.1 çapraz kırılma enerji düzeyleri incelendiğinde en yüksek kırılma değerine % 1,5 FeCr ve % 1,5 FeMn oranına sahip numunenin ulaştığı gözlenmektedir. Ayrıca artan % FeCr ve FeMn oranına paralel olarak malzemedeki gevreklikte artmaktadır.



Şekil 9.11. % 1,5 FeCr ve % 1,5 FeMn oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin kırık yüzey (SEM) görüntüsü



Şekil 9.12. % 3 FeCr ve % 3 FeMn oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin kırık yüzey (SEM) görüntüsü



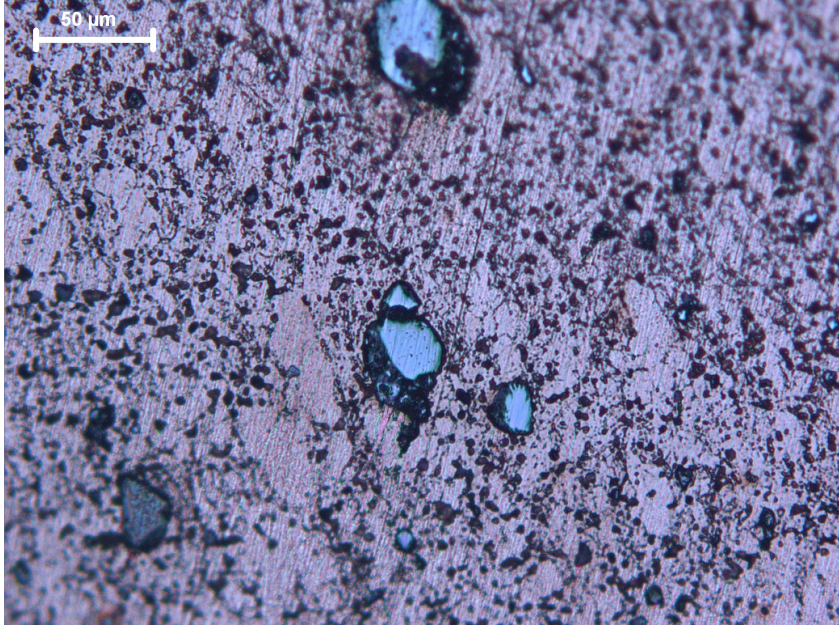
Şekil 9.13. % 5 FeCr ve % 5 FeMn oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin kırık yüzey (SEM) görüntüsü.

9.1.4. Mikroyapılar

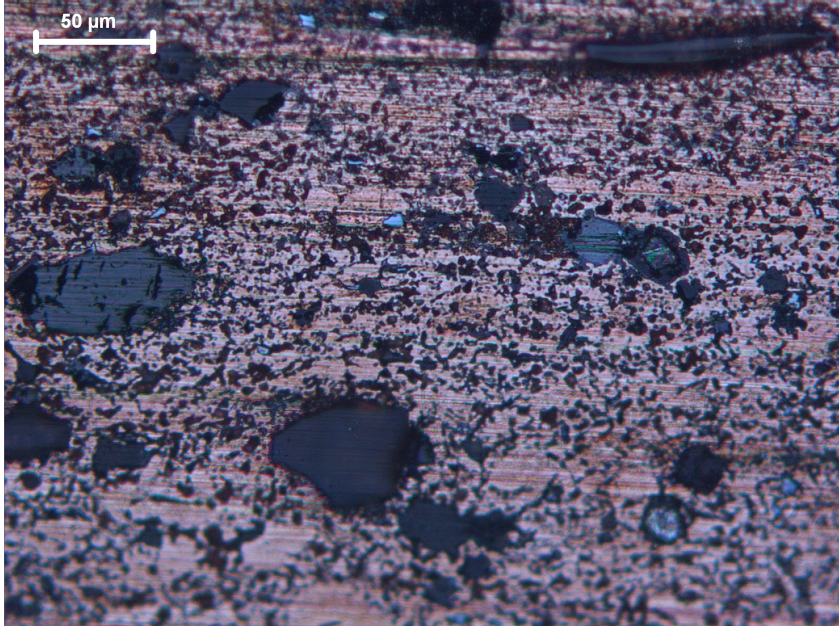
Cu matris içinde FeCr partiküllerinin homojen dağılımı gözlenmektedir. Şekil 9.14 takviye partikülü miktarının artışına bağlı olarak yapı içinde artan FeCr oranı tane sınırlarında daha geniş bir dağılım bölgesi oluşturmak suretiyle blok numunenin gevrekliğini artırmaktadır. Bu sonuç Çizelge 9.1'deki kırılma enerjileri dağılımı incelendiğinde de ortaya çıkmaktadır.

Bununla birlikte artan FeCr oranı, mikroyapı da görüldüğü üzere tane sınırlarında daha geniş yeni tane sınırları oluşturmak suretiyle bakır içindeki sünekliğin kaybına dolayısıyla daha gevrek kırılmaya neden olmuştur.

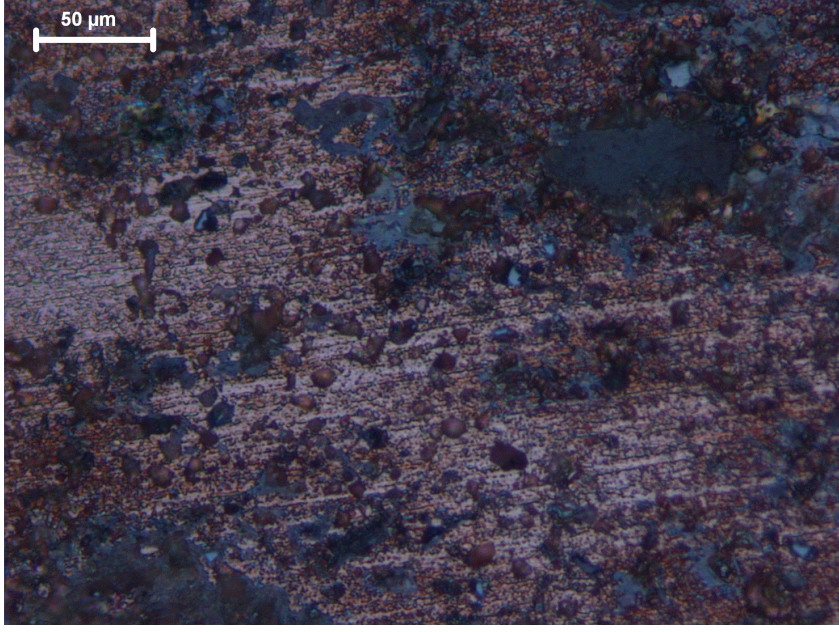
FeMn Cu matris içinde en iyi mekanik özellikleri sergileme üstünlüğü ile birlikte artan oranlarda yapıda FeCr un göstermiş olduğu etkiyi aynen göstermiş, ve artan FeMn oranıyla birlikte yapı içinde tane sınırlarında daha geniş ayrışma bölgeleri oluşturmuş dolayısıyla yapıda kırılabilirliği artırmıştır. FeMn ve FeCr birlikte kullanıldıklarında da tek başlarına gösterdikleri özellikleri aynen koruyarak arada bir mukavemet özelliği göstermişlerdir. Tüm bu sonuçlar ışığında mikroyapılar aşağıdaki gibi çıkmıştır.



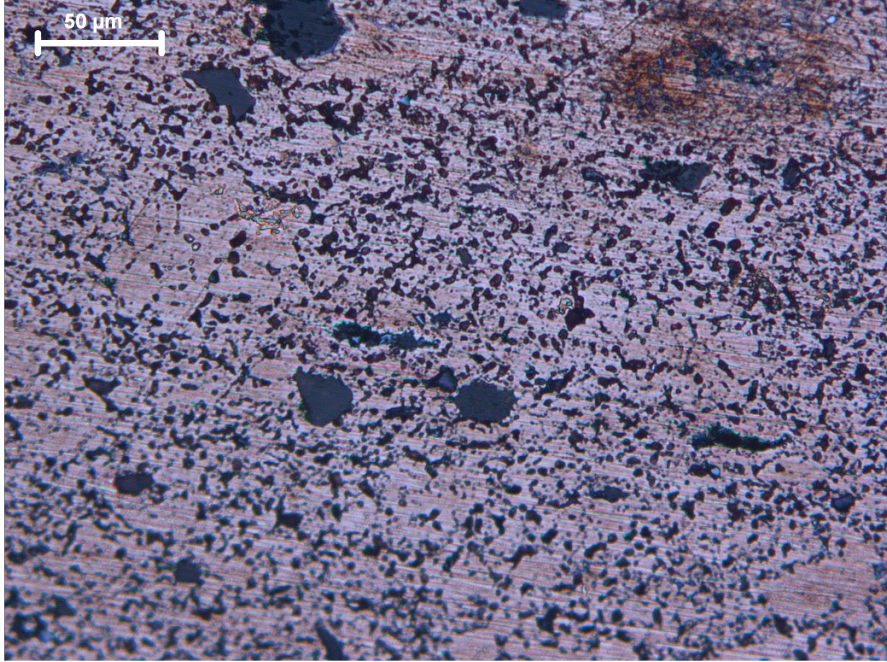
Şekil 9.14. % 3 FeCr oranına sahip 800 °C derecede sinterlenmiş numunenin mikroyapısı.



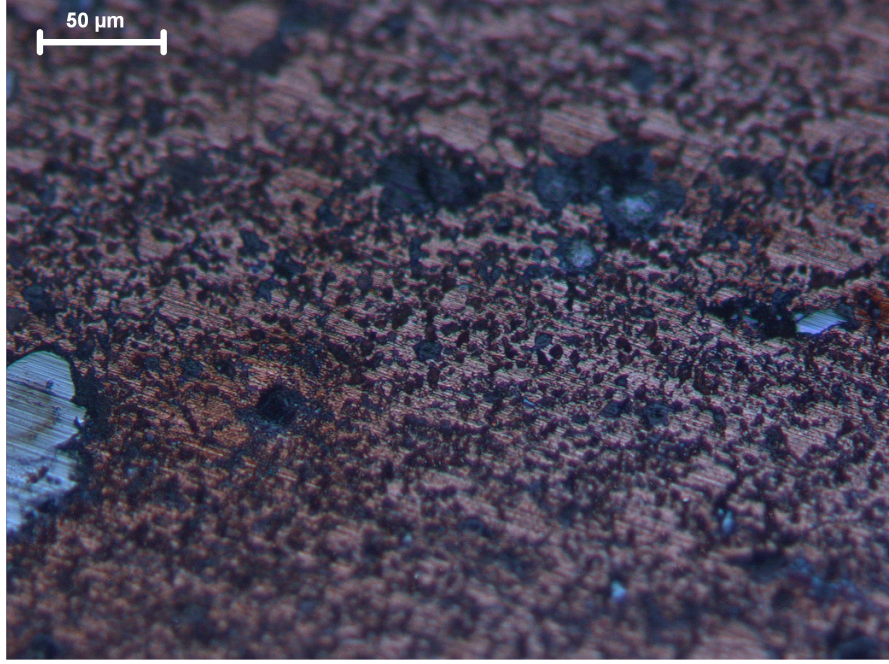
Şekil 9.15. % 6 FeCr oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin mikroyapısı.



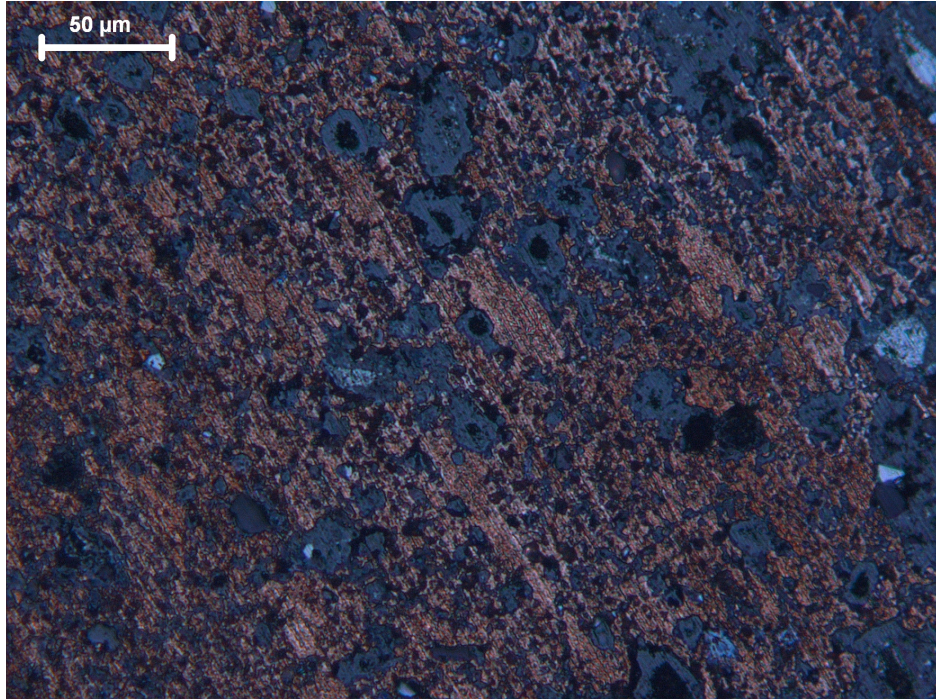
Şekil 9.16. % 10 FeCr oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin 500 büyütmedeki görüntüsü.



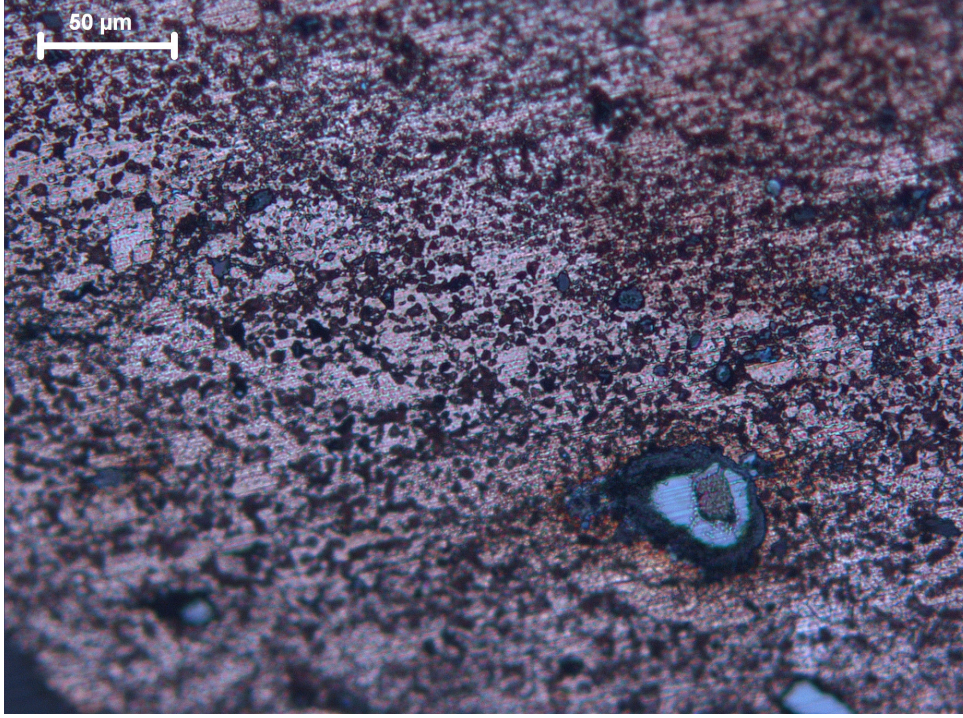
Şekil 9.17. % 3 FeMn oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin 500 büyütmedeki görüntüsü.



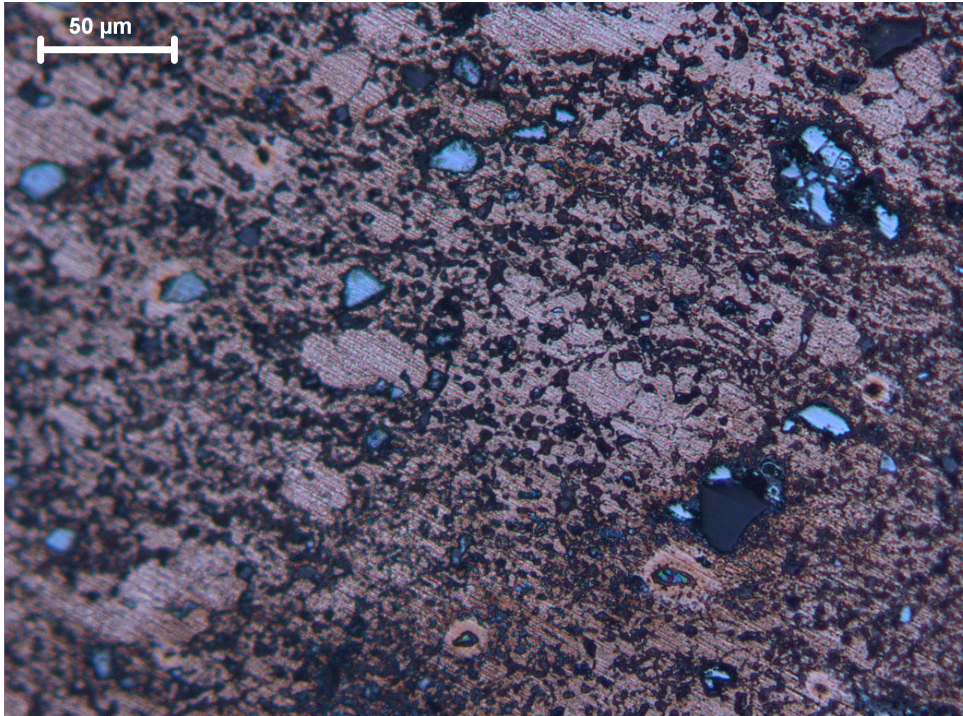
Şekil 9.18. % 6 FeMn oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin 500 büyütmedeki görüntüsü.



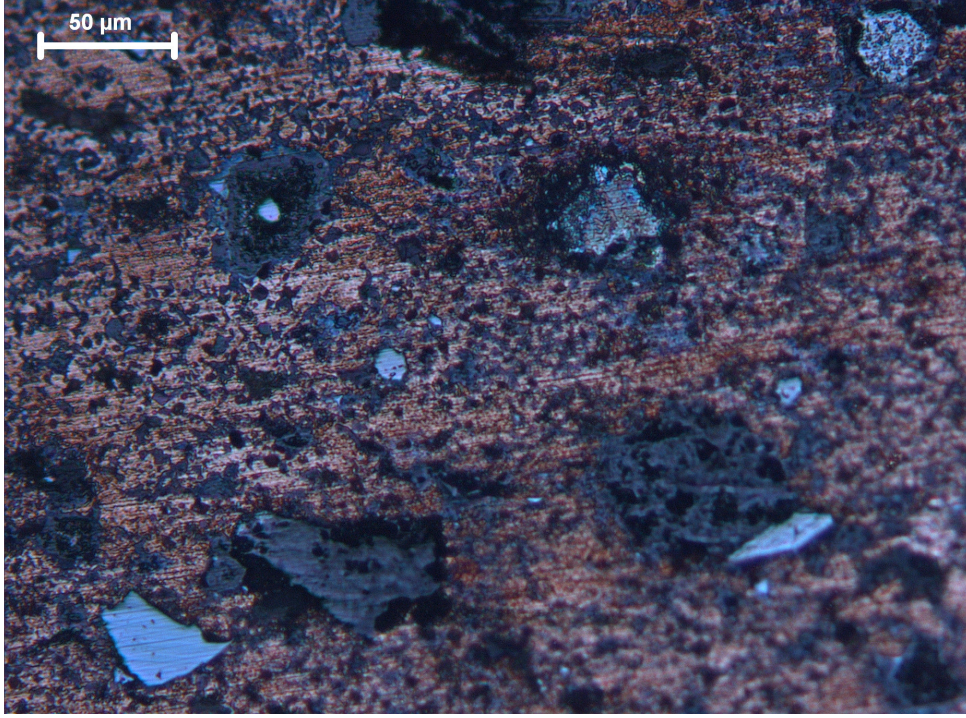
Şekil 9.19. % 10 FeMn oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin 500 büyütmedeki görüntüsü.



Şekil 9.20. % 1.5 FeCr, % 1,5 FeMn oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin 500 büyütmedeki görüntüsü.



Şekil 9.21. % 3 FeCr, % 3 FeMn oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin 500 büyütmedeki görüntüsü.



Şekil 9.22. % 5 FeCr, % 5 FeMn oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin 500 büyütmedeki görüntüsü.

10. SONUÇLAR

1. Bu çalışmada Cu matris içine katılan ağırlıkça % 3 FeMn oranlarına sahip numunelerin diğer FeMn oranlarına kıyasla daha iyi mekanik özellikler sergilediği gözlenmiştir.
2. Değişen FeCr oranları içinde FeCr oranının en düşük olduğu % 3 FeCr % 97 Cu kompozisyonuna sahip numunenin en iyi mekanik özellikleri sergilediği görülmüştür.
3. Ağırlıkça % 1,5 FeCr ve % 1,5 FeMn birlikte kullanıldığında bakır matris içinde en iyi dağılımı gösteren kompozisyon olmuştur.
4. Tüm Numuneler içinde sinterleme sıcaklığı 850 °C olan numuneler en iyi mekanik özelliklere sahip numunelerdir.
5. Sinterleme sıcaklığı arttıkça numunelerin dayanımlarının arttığı görülmektedir.

KAYNAKLAR

Boz M., 1999, **“Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilmiş Bronz Esaslı Fren Balata Malzemelerinin Sürtünme-Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”**, Yüksek Lisans Tezi , Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Ekşi, A., 1996, **“Metal Tozu Üretim Teknikleri”**, Endüstriyel Teknoloji, cilt.2, sayı 2, Gazi, Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara

Ersümer, A., 1970, **“Toz Metalurjisi Sert Metal Sinterleme”**, İstanbul Üniversitesi. İstanbul

German R. M., 1994, **“Powder Metalurgy Science”**, Metal Powder Industries Federation Princeton, 84-124

Kousaka, Y., 1997, Particle Size, **“Japan Powder Technology Handbook Second Edition** Chemical Engineering Department, Osaka Prefecture University, Sakai, Osaka, Newyork Basel, 3.

Kurt, Adem, 1992, **“Toz Metal Bronz Yatak Malzemelerinin Özellikleri”**, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-57.

Kurt, Adem, 1996, **“Toz Metalden Üretilen Bronz Yatağın Düşük Karbonlu Çeliğe Difüzyon Kaynağı İle Birleştirilmesi”**, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ

Marder James M., R. Batich, 1992, **“Beryllium”**, Metalographing techniques and Microstructures, ASM Handbook, 389-391.

Öveçoğlu, M.L. 1997, **“Toz Metalurjisi Tarihsel Gelişim, Üretim Aşamaları Ve Yeni Eğilimler”**, 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, 449-475.

Rapport L, Leschinsky V., Lvovsky M, Lapsker I., Volovik Y., Tene R., (2002), **“Load Bearing Capacity Of Bronze, Iron-Nickel Powder Composites Containing Fullernce-Like WS2 Nonoparticles”**, Tribology International, 35., 47-53.

Roll K.H., 1984, **“History of Powder Metalurgy”** Metals Handbook 9th Edition, Vol.7, ASM Metals Park, Ohio.

Schmidt R.F. , Schmidt D.G., Sahoo M., (1992) , **“Copper and Copper Alloys”**, Nonferrous casting alloys, ASM Handbook, Colonial Metals Company, Canada, 771-785.

Somunkıran , İ., **“Demir Esaslı Molibden, Nikel, Bakır Katgılı Toz Metal Alaşımının Mekanik Özelliklerine Bakır Oranının Etkisi”**, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Şahan, E., 2002, **“Toz Metalurjisi İle Üretilen Al Matrisli Al₂O₃ Takviyeli Kompozitin Sürtünme Kaynağının Araştırılması”**, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Şahin,Y., (2000), **“Kompozit Malzemelere Giriş”**, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1-77.

Tanberk, O.,1997, **“Toz Metalurjisinde Türkiye'nin Yeri”**, 9. Uluslar Arası Metalurji Ve Malzeme Kongresi, , İstanbul, 229-247.

Taner Ersan (2000) **“Toz Metalurjisi Üzerine Yeni Çalışmalar”** Mühendis ve Makina cilt 41 sayı 483, 30-32

Uygur M.E., 1996, **“Toz Metalurjisi Ekonomik Bir Üretim Tekniği”**, 1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı , Gazi Üniversitesi, Ankara.

Yıldırım S., 1999, **“Fe-Ferrokrom Tozundan Elde Edilen Kompozitin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”** Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

ÖZGEÇMİŞ

Aytekın ULUTAŞ, Aksaray’da 1979 yılında doğdu. İlk öğrenimini Bitlis’in Adilcevaz İlçesi İbrahim Karaoğlanoğlu İlköğretim okulunda başladı Gazipaşa İlköğretim Okulunda bitirdi, Lise Öğrenimini Bitlis Anadolu Lisesinde tamamladı. 1997 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi bölümünü kazanan Aytekın ULUTAŞ aynı bölümden 2001 yılında mezun oldu. 2003 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Bölümü Malzeme Anabilim Dalında Yüksek Lisans Öğrenimine başlayan Aytekın ULUTAŞ halen aynı okulda yüksek lisans öğrenimini sürdürmektedir.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca beni destekleyip yönlendiren değerli hocam Doç. Dr. Hüseyin TURHAN'a çalışmalarımın deneysel kısımlarında büyük katkısı olan ve maddi manevi desteğini esirgemeyen çok değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Behcet GÜLENÇ'e ve Prof. Dr. Adem KURT'a, çalışmalarımda desteklerini hep arkamda bulduğum tüm Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metalurji Eğitimi Bölümü çalışanlarına ve her daim yanımda olan sevgili eşim Meral ULUTAŞ'a teşekkür ederim.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DEĞİŞİK ORANLARDAKİ Cu, FeCr VE FeMn ALAŞIMLARININ TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Aytekin ULUTAŞ

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metal Eğitimi Anabilim Dalı

2006, Sayfa : 68

Toz Metalurjisi üretim yöntemleri diğer metal şekillendirme yöntemlerinden oldukça farklıdır. M.Ö. 3000 li yıllara dayanan toz metalurjisi tarihi günümüzde artık seramik teknolojisi ile birleşmiş durumdadır. Bazı özelliklerin sadece toz metalurjisi yöntemi ile elde edilebilmesi ve ekonomik olması toz metal teknolojisinin sürekli gelişmesine yardımcı olmaktadır. Bununla birlikte toz metalurjisi malzeme bilimlerinin en önemli alanlarından biri haline gelmiştir.

Bu çalışmada değişik oranlardaki toz metal malzemeler, standart toz metal üretim tekniği ile üretilmiştir. Değişik oranlarda karıştırılan tozlar sırasıyla sıkıştırma, sinterleme, işlemlerine tabi tutulmuştur. Mekanik özelliklerinden sertlik ölçme ve çapraz kırılma testlerine tabi tutulan numuneler daha sonra kırık yüzey fotoğrafları çekilmiştir. Metalografik işlemlerden sonra numunelerden mikroyapı fotoğrafları alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Toz Metalurjisi, Kompozit Malzemeler, Alaşım, Çapraz Kırılma

ABSTRACT

Master Thesis

THE PRODUCTION OF Cu, FeCr AND FeMn ALLOYS IN DIFFERENT RATION BY POWDER METALURGY METHOD AND INVESTIGATION OF THEIR MECHANICAL PROPERTIES.

Aytekin ULUTAŞ

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metatalurgy Education

2006, Page : 68

Powder metalurgy productions are different mostly from other metalurgycal shaping methods. Dated from B.C. 3000 years powder metalurgy is combined of ceramics technology nowadays. Some features can be obtained by powder metalurgy method and it is economical. This helps its continual development. However P/M is the most considerable methods of material science.

In this study the different proportions of metallic powder materials are produced by standart powder metalurgy production techniques. The powders mixed in different rations were pressed and sintered in turn. The samples were tested by strenght measure and croswise broken techniques.and the pictures of broken surfaces of them were taken. After metalographycal process, microsucture pictures of the sample were taken.

Keywords: Powder Metalurgy, Composite Materials, Alloy, Croswise Broken.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	I
ÖZET	II
ABSTRACT	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	VII
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	X
1. GİRİŞ	1
2. TOZLARIN ÖZELLİKLERİ.....	3
2.1. Kimyasal Özellikler	3
2.2. Fiziksel Özellikler.....	4
2.2.1. Parçacık Boyutu	4
2.2.2. Parçacık Şekli.....	5
2.2.3. Teorik ve Görünür Yoğunluk.....	6
2.2.4. Tozların Akış Hızı.....	7
2.2.5. Tozların Sıkıştırılabilirliği	8
2.2.6. Tozların Yanıcılık ve Zehirleyici Özelliği	8
3. METALİK TOZ ÜRETİM YÖNTEMLERİ	10
3.1. Kimyasal Tepkimelerle Toz Üretimi	10
3.1.1. Gaz Altında Katının Ayrışması (Doğrudan İndirgeme).....	10
3.1.2. Termal Ayrışma (Karbonil)	10
3.1.3. Sıvı Fazdan Çöktürme.....	11
3.1.4. Gazdan Çöktürme	11
3.2. Elektroliz yöntemi.....	11
3.3. Atomizasyon yöntemi	12
3.3.1. Su Atomizasyonu	13
3.3.2. Gaz Atomizasyonu.....	14
3.4. Mekanik Öğütme	17
4. TOZ METAL PARÇA ÜRETİM SÜRECİ	19
4.1. Tozların Karıştırılması.....	19
4.1.1. Yağlayıcılar.....	19

4.2. Metal Tozlarının Sıkıştırılması	19
4.2.1. Sıkıştırma Teorisi.....	22
4.3. Sıkıştırma Yöntemleri.....	23
4.3.1. Kalıpta Şekillendirme	23
4.3.1.1. Tek Yönlü Sıkıştırma.....	23
4.3.1.2. Çift Yönlü Sıkıştırma.....	24
4.3.2. İzostatik Sıkıştırma	25
4.3.3. Yüksek Enerjili Sıkıştırma (HERF)	26
4.3.4. Ekstrüzyon Yöntemi ile Sıkıştırma.....	27
4.3.5. Titreşimle Sıkıştırma.....	27
4.5. Sıkıştırma Hataları	28
4.5.1. Katmanlaşma.....	28
4.5.2. Geri Yaylanma.....	28
4.3. Sinterleme	29
4.3.1. Sinterleme Öncesi İşlemler	29
4.3.2. Sinterleme Teorisi.....	30
5. T/M MALZEMELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ.....	32
5.1. T/M Parçaların Sertlik Özelliği.....	32
5.2. T/M Parçaların Çekme, Yorulma ve Darbe Mukavemetleri.....	34
6. TOZ METALURJİSİ UYGULAMA ALANLARI	36
6.1. Sert Metaller.....	37
6.2. Elektrik ve Magnetik Malzemeler	38
6.3. Dış Dolguları.....	40
6.4. Elmas Diskler.....	40
6.5. Yatak Malzemeleri.....	40
6.6. Diğer Uygulamalar.....	41
7. TOZ METALURJİSİNİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI.....	43
7.1. T/M'nin Avantajları;.....	43
7.2. T/M' nin Dezavantajları;	43
8. DENEYSEL AŞAMALAR	44
8.1. Kullanılan Toz Malzemelerin Hazırlanması	44
8.1.1. Tozların Harmanlanması.....	45

8.2. Presleme	45
8.3. Sinterleme	47
8.4. Hazırlanan Numunelerin Karakterizasyonu	48
8.4.1. Sertlik Ölçüm Deneyleri	48
8.5. Performans Deneyleri	48
8.5.1. Çapraz Kırılma Deneyleri	48
8.5.2. Sertlik Ölçme Deneyleri	49
8.6. Metalografik Muayene	49
9. DENEY SONUÇLARI	50
9.1. Numunelerin İncelenmesi	53
9.1.1. Ferromanganlı Numuneler	53
9.1.2. Ferrokromlu Numuneler	55
9.1.3. Ferrokrom ve Ferromanganlı Numuneler	57
9.1.4. Mikroyapılar	59
10. SONUÇLAR	65
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	68

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2.1. Küresel ve pul şeklindeki parçacıklar.....	4
Şekil 2.2. Üretim metotlarına göre toz şekilleri.....	6
Şekil 2.3. Hall akış aparatı.....	7
Şekil 2 4. Vurgu yoğunluğu için hacim ölçeği.....	7
Şekil 3.1. Toz biriktirmede kullanılan örnek elektroliz şeması	12
Şekil 3.2. Yassı hüzmeli V jetleri.....	13
Şekil 3.3. Geleneksel su ve gaz ile atomizasyon yöntemlerinin şematik gösterimi	14
Şekil 3.4. Dönen elektrot süreçleriyle savurma atomizasyonu	15
Şekil 3.5. Döner disk atomizasyon yönteminin şematik gösterimi	16
Şekil 3.6. Vakum atomizasyon yönteminin şematik gösterimi	17
Şekil 3.7. Mekanik alaşımlama işleminin şematik gösterimi.....	18
Şekil 4.1. Toz metal sıkıştırma safhalarının basitleştirilmiş görünüşü.....	20
Şekil 4.2. Küresel bronz tozunun kalıpta sıkıştırılması için bilgi	21
Şekil 4.3. Toz sıkıştırma esnasında işlem sırası	21
Şekil 4.4. Kalıp duvarındaki sürtünme kuvvetlerinden doğan uygulanan ve iletilen basınçlar arasındaki fark, sıkıştırma esnasında kuvvetleri dengeler.	23
Şekil 4.5. Tek yönlü sıkıştırmada yoğunluk dağılımı	24
Şekil 4.6. Çift yönlü sıkıştırma	24
Şekil 4.7. Çift yönlü sıkıştırmada yoğunluk dağılımı	25
Şekil 4.8. Kuru kalıp ile izostatik sıkıştırma	26
Şekil 4.9. Yaş kalıp ile izostatik sıkıştırma	26
Şekil 4.10. Değişen frekanslarda (genlik 6.3×10^{-4} in) basıncın bakır yoğunluğuna etkisi	27
Şekil 4.11. Geri yaylanma hatası	29
Şekil 4.12. a) Sinterleme başlangıcında temas halinde parçacıklar b) X yarıçapında bir boyun ile iki küresel parçacık sinterleme kesiti.	30
Şekil 4.13. Bir nokta teması başlangıcı ile sinterleme esnasındaki parçacıklar arası bağların gelişimi	30
Şekil 5.1. Altın ve bakırın sıkıştırma basıncına bağlı sertlik değerinin değişimi	32
Şekil 5.2. Sinterleme sıcaklığına bağlı olarak değişik basınçlar altında sıkıştırıldıktan sonra sinterlenen kaba bakır tozu numunelerinin sertlik değişimi.....	33
Şekil 5.3. Hadde ve T/M çeliklerinin yorulma özelliklerinin mukayesesi	34
Şekil 5.4. Çekiçle dövme ve T/M biyel kollarının yorulma özelliklerinin mukayesesi	35
Şekil 5.5. Kalıcı gözenegin mekanik özelliklere etkisi	35

Şekil 8.1. Karıştırma değirmeninin şematik gösterimi, 1- Döner silindir, 2- Açma- kapama şalteri, 3- Devir ayar düğmesi, 4- Kasnak, 5- Kayış, 6- Motor mili, 7- Serbest mil, 8- Karışım tozları, 9- Hareketli mil	45
Şekil 8.2. Soğuk presleme numune kalıbı	46
Şekil 8.3. Sinterleme de kullanılan tüp fırının şematik gösterimi	47
Şekil 8.4. Çapraz kırılma test düzeneği	49
Şekil 9.1. Takviye Partikülü Miktarına bağlı Çapraz Kırılma mukavemeti Eğrisi	50
Şekil 9.2. En düşük ve en yüksek kırılma mukavemetlerini gösteren numunelere ait grafik	51
Şekil 9.3. Takviye partikülü oranına bağlı sertlik değişimi grafiği	52
Şekil 9.4. FeCr ve FeMn miktarına bağlı sertlik değerleri tablosu	52
Şekil 9.5. % 3 FeMn oranına sahip 750 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin SEM kırık yüzey görüntüsü.....	54
Şekil 9.6. % 3 FeMn oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin SEM kırık yüzey görüntüsü	54
Şekil 9.7. %3 FeMn oranına sahip 850 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin SEM kırık yüzey (SEM) görüntüsü	55
Şekil 9.8. % 3 FeCr % 97 Cu oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin kırık yüzey (SEM) görüntüsü	56
Şekil 9.9.-3.5. % 6 fecr oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin kırık yüzey fotoğrafı.....	56
Şekil 9.10. % 10 FeCr oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin kırık yüzey (SEM) görüntüsü.....	57
Şekil 9.11. % 1,5 FeCr ve % 1,5 FeMn oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin kırık yüzey (SEM) görüntüsü	58
Şekil 9.12. % 3 FeCr ve % 3 FeMn oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin kırık yüzey (SEM) görüntüsü	58
Şekil 9.13. % 5 FeCr ve % 5 FeMn oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin kırık yüzey (SEM) görüntüsü	59
Şekil 9.14. % 3 FeCr oranına sahip 800 °C dercede sinterlenmiş numunenin mikroyapısı	60
Şekil 9.15. % 6 FeCr oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin mikroyapısı	60
Şekil 9.16. % 10 FeCr oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin 500 büyütmedeki görüntüsü	61
Şekil 9.17. % 3 FeMn oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin 500 büyütmedeki görüntüsü.....	61

Şekil 9.18. % 6 FeMn oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin 500 büyütmedeki görüntüsü.....	62
Şekil 9.19. % 10 FeMn oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin 500 büyütmedeki görüntüsü	62
Şekil 9.20. % 1.5 FeCr, % 1,5 FeMn oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin 500 büyütmedeki görüntüsü	63
Şekil 9.21. % 3 FeCr, % 3 FeMn oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin 500 büyütmedeki görüntüsü	63
Şekil 9.22. % 5 FeCr, % 5 FeMn oranına sahip 800 °C sıcaklıkta sinterlenmiş numunenin 500 büyütmedeki görüntüsü	64

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge 1.1. T/M tarihçesinin teknikteki uygulamaları	2
Çizelge 1.2. Standart elek analiz takımı	5
Çizelge 5.1. Farklı tane büyüklüğü ve farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş bakır tozunun sertlikleri ..	33
Çizelge 5.2. Hadde ve T/M çeliklerin özelliklerinin mukayesesi	34
Çizelge 5.3. T/M' nin otomotiv sektöründe uygulama alanları	36
Çizelge 6.1 Bazı Alman sert metallerin mekanik özellikleri	37
Çizelge 6.2. Elektrik kontak malzemelerinin özellikleri	38
Çizelge 6.3. Çeşitli metal-grafit fırçalarının özellikleri	39
Çizelge 6.4. Aynı terkipte olan dökme mıknatısların magnetik özelliklerinin sinterlenmiş mıknatıslarınkiyle karşılaştırılması	39
Çizelge 6.5. T/M filtrelerin özellikleri	41
Çizelge 8.1. Cu-FeCr ve Cu-FeMn oranlarını gösteren çizelge	44
Çizelge 9.1. Çapraz kırılma deneyi kırılma enerjileri tablosu	50
Çizelge 9.2. Sertlik değerleri tablosu	51