



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MEKANİK ALAŞIMLAMA YÖNTEMİ İLE
NANOKRİSTAL YAPILI METAL ALAŞIMLARININ
ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

Mustafa TEKİN

DOKTORA SEMİNERİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs-2019
KONYA

ÖZET

Tarih boyunca bilinen taş devri, bronz devri ve demir devri gibi devirler hep insanlar tarafından kullanılan malzemelere göre adlandırılmıştır. Daha sonra devirler ilerledikçe kullanılan malzemeler ve özellikleri gelişmeye başlamıştır. İlerleyen zamanlarda mühendislik malzemeleri olarak bilinen ve kullanılan malzemeler genellikle metaller olmakla beraber bunun yanında seramik, refrakter, kauçuk gibi malzemeler de kullanılmaya başlanmış ve eski zamanlarda pazar payı çok olmamasına rağmen zaman geçtikçe yaygınlaşmıştır.

Günümüzde ise kullanım yerleri ve amaçlarına bağlı olarak tek bir malzeme döneminden ziyade çok geniş yelpazede kullanılan malzemeler bulunmaktadır. İstenilen özellikler ve kullanım alanları göz önünde bulundurulduğunda malzemelerin neredeyse bir sınırının olmadığı söylenebilir. Bu sebeptendir ki mühendisler ve bilim insanları sürekli araştırma geliştirme çalışmalarında bulunmakta ve yoğun bir çaba içerisinde bulunarak yeni özellikteki malzemeleri üretmeyi hedeflemektedir.

Geliştirilmiş malzeme elde edilebilmesi için her geçen gün ayrılan bütçeler ve araştırma geliştirme çalışmaları için olanaklar artmaktadır. Gerçekleştirilmiş birçok çalışma sayesinde mekanik özellikleri iyileştirilmiş malzemeler literatürde yerlerini almıştır. Bu malzemelerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi için uygulanan işlemler geniş bir yelpazede olmakla beraber malzeme tane boyutu küçültme yöntemi de en etkin ve yaygın mekanik özellik iyileştirici yöntemlerden birisi olarak bilinmektedir ve üretilen malzeme nanokristal malzeme olarak adlandırılmaktadır. Tane boyutu küçültme işlemi bazı mekanik ve ısı işlemlerle sağlanabilmektedir. Tane boyutu küçülmesi ile malzemedeki tane sınırı sayısı artmakta, artan tane sınırları dislokasyon hareketini engelleyerek malzemelerin mukavemetini artırmaktadır. Tane boyutu küçülmesi ile özellikle tane sınırlarında meydana gelen aşırı enerji malzemenin tane boyutunu büyütürken iç enerjisinin azalmasına meyil etmesine sebep olur. Özellikle yüksek sıcaklıklarda bu tane büyümesinin gözlemlenmesi beklenmektedir. Fakat bazı malzemelerde yüksek sıcaklıklarda bile tane büyümesini engellendiği ve mekanik özelliklerin kötüye gitmediği görülmektedir ve bu durum da termal kararlılık olarak adlandırılmıştır.

Son yıllarda özellikle otomotiv, havacılık, biyomalzeme gibi çalışma alanlarında mühendisler çeşitli avantajlarından dolayı hafif malzemeler kullanmaya başlamışlardır. Alüminyum, Magnezyum ve Titanyum gibi düşük yoğunluklu malzemeler bu alanlarda kullanılmak için öne çıkan en belirgin 3 metaldir. Bu hafif metaller ve bu metaller ile üretilen farklı alaşımlar çok değişken alanlarda üstün mekanik özellikleri ile tercih sebebi olmaya devam etmektedir.

Bu çalışmada, tane boyutu küçültme yöntemlerinden birisi olan mekanik alaşımlama yöntemi kullanılarak, hafif mühendislik alaşımları üretilmesi ve karakterizasyon işlemlerinin yapılması planlanmaktadır. Literatür taraması yapılarak en uygun alaşım ya da alaşımlar belirlenerek, üstün mekanik özelliklere sahip malzeme mekanik alaşımlama yöntemi ile gerekli endüstriyel ve akademik çalışmalar yapılacaktır.

Anahtar kelimeler: Nanokristal, mekanik alaşımlama, termal kararlılık, hafif mühendislik alaşımları.

SEMİNER BİLDİRİMİ

Bu seminerdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this seminar document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Mustafa TEKİN

Tarih:

ÖNSÖZ

Bu çalışma esnasında danışmanlığı ile bana yol gösteren Doç. Dr. Hasan KOTAN hocama en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca Arş. Gör. olarak görev aldığım KTO Karatay Üniversitesi'nde bana yardımcı olan başta hocalarım olmak üzere tüm çalışma arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Özel bir teşekkürü de hayatımın her anında bana maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme sunmak istiyorum.

Son ve en özel olarak da çok sevgili eşime bugüne kadar bana verdiği sevgisi, desteği ve sabrı için minnetlerimi sunarım.

Mustafa TEKİN
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-----|
| ÖZET | iii |
| ÖNSÖZ | iv |
| İÇİNDEKİLER | v |
| SİMGELER VE KISALTMALAR | vi |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. NANOKRİSTAL MALZEMELER | 2 |
| 2.1. Nanokristal Malzemelerin Termal Stabilizasyonu | 3 |
| 2.2. Mekanik Alaşımlama Yöntemi ile Nanokristal Yapılı Malzeme Üretimi | 4 |
| 3. HAFİF MÜHENDİSLİK ALAŞIMLARI..... | 8 |
| 4. LİTERATÜR TARAMASI..... | 10 |
| 5. HEDEFLENEN ÇALIŞMALAR..... | 13 |
| KAYNAKLAR | 14 |
| ÖZGEÇMİŞ | 17 |

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

σ_y : Akma mukavemeti
 σ_0 : Başlangıç mukavemeti
d: Tane boyutu
k: Malzeme sabiti

Kısaltmalar

Cu: Bakır
Fe: Demir
NK: Nanokristal
Pd: Paladyum
Zr: Zirkonyum

1. GİRİŞ

Günümüz tek bir malzeme devri değildir, çok sayıda farklı özellikte malzeme geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Bu bakımdan malzemelerin neredeyse sınırı olmadığı bile söylenebilir. Dolayısıyla kullanım alanlarında mühendislerin tercih edebileceği nitelikte çok geniş bir yelpazeye dağılmış farklı malzemeler bulunmaktadır. Bu hızlı gelişime ayak uydurabilmek için bilim insanları ve mühendisler sürekli bir çaba içindedir ve yaptıkları çalışmalarla bu sürekli gelişime destek olmaktadır.

Malzeme biliminde son yıllarda yaşanan gelişmeler bilim ve mühendislik alanlarında ciddi şekilde ilgi çekici konular haline gelmiştir. Nanobilim ve nanoteknoloji de multidisipliner çalışma alanları olarak bilim, teknoloji ve mühendislik alanlarındaki bu gelişmelerde öncülük yapmaktadır. Nano, teknik ölçü birimi olarak kullanılır ve bir birimin milyarda biri manasına gelmektedir. Dolayısı ile bir nanometre metrik birimde metrenin milyarda bir birimine tekabül etmektedir. Nanoteknolojinin temel manası ise çapın biriminin nanometre boyutlarına düşürülmesi olarak açıklanabilmektedir (Koch ve ark., 2007; Han ve ark., 2005).

2. NANOKRİSTAL MALZEMELER

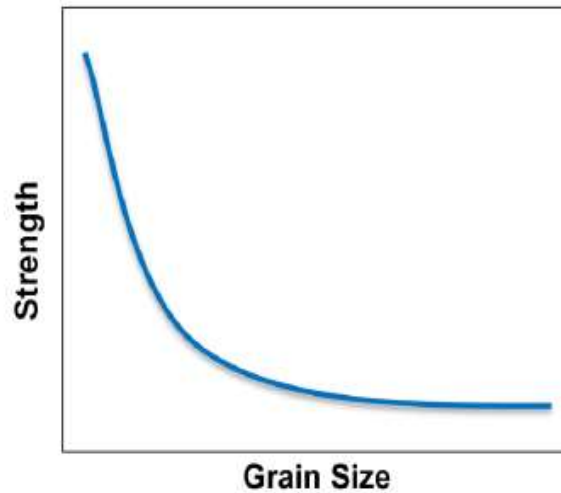
Boyutları 1 ila 100 nm arasında olan yapısal elemanlara sahip malzemeler nanoyapılı malzemeler olarak tanımlanabilir. Nanokristal ya da ultra-ince tane boyutlu malzemeler ilgi çekici bazı mekanik özellikler sunmaktadır. Bu gelişmiş mekanik özelliklerden başlıcaları tokluk ve sertlik olarak belirtilebilir. Gelişmiş mekanik özelliklere sahip bu nanokristal yapıları malzemeler akademik ve endüstriyel alanlarda her geçen gün daha fazla yer almaktadır (Koch ve ark., 2007; Han ve ark., 2005; Moriarty, 2000).

Literatürde metal ve metal alaşımlarının tane boyutu küçültme yöntemi nanokristal sınırlarına yaklaşıldıkça sertlik değerlerinde artış elde edildiğini gösteren bir çok çalışma yer almaktadır (Koch ve ark., 2007; Mishra ve ark., 2004; Jia ve ark., 2003). Tane küçülmesi ile malzeme sertliğinin artmasını açıklayan tane boyutu-akma mukavemeti arasındaki denklem aşağıda gösterilmiştir. Tane boyutu ile sertlik arasındaki ters ilişki Hall-Petch denklemi olarak belirtilmektedir (1.1).

$$\sigma_y = \sigma_0 + kd^{-1/2} \quad (1.1)$$

Yukarıdaki denklemde belirtilen σ_y malzemenin akma mukavemetini, σ_0 başlangıç akma mukavemetini, d tane çapını ve k da malzeme sabitini göstermektedir. Denklemden anlaşılacağı üzere tane çapındaki azalma malzemenin akma mukavemetinde artışa sebep olmaktadır. Hall-Petch denkleminin kilit mekanizması dislokasyon hareketleri ile alakalıdır ve tane sınırlarında dislokasyon çarpışması olarak değerlendirilebilir. Bu sebeptendir ki, tane boyutu küçülmesi ile artan tane sınırları dislokasyon hareketlerini engeller ve böylece malzemenin akma mukavemetinde artış meydana gelir (Wang ve ark., 1995; Kumar ve ark., 2003; Choksi ve ark., 1989; Kotan ve ark., 2013).

Şekil 1 malzeme mukavemeti ile tane boyutu arasındaki ilişkiyi göstermektedir ve şekilden anlaşılacağı üzere yüksek malzeme mukavemeti en düşük tane boyutu değerleri ile elde edilmektedir.



Şekil 1. Mukavemetin tane boyutuna bağlı değişimi (Kotan ve ark., 2013).

Nanokristal yapılı malzemelerin büyük bir bölümü yüksek mukavemet değerlerine sahip olmakla beraber çok az bir süneklik özelliği sergilemektedir. Tane boyutu değerleri 25 nm'den küçük olan nanokristal malzemeler genellikle %2'den daha az uzama davranışı göstermektedir. Dolayısı ile geçmişte ve günümüzde, kabul edilebilir süneklik davranışı ile beraber yüksek mukavemet değerlerine sahip malzeme üretimi önemli bir konu olarak yer almaktadır (Meyers ve ark., 2006; Koch, 2003).

Yapılan çalışmalarda yüksek mukavemet değerlerine çıkmak hiçbir zaman problem olmamıştır fakat bu çalışmalarda karşılaşılan ana problem nanokristal malzemelerin kararsız olmalarıdır. Bu da şöyle açıklanabilir; tane sınırları sistemin iç enerji kaynaklarıdır ve küçük tane boyutları sistemin toplam serbest enerjisinde artışa sebep olur. Bu da kararsız malzeme elde edilmesine neden olur ve özellikle konsolidasyon işlemlerinde ya da malzemelerin yüksek sıcaklıklarda kullanılmasında problemlere sebep olur (Kotan ve ark., 2013; Darling, 2009; Trelewicz ve Schuh, 2009).

2.1. Nanokristal Malzemelerin Termal Stabilizasyonu

Nanokristal malzemeler tek ya da çok fazlı tane boyutu 100 nm'den küçük kristal malzemeler olarak tanımlanmaktadır (Peng ve ark., 1996; Klement ve ark., 1995). NK malzemelerin temel ana problemi nano boyuttaki tane boyutuna bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Tane sınırları ve ara yüzeyleri, malzeme tane boyutunun nano boyutta olmasından kaynaklı olarak yüksek yoğunlukta olmaktadır. Bu enerji fazlalığından kurtulmak adına nanokristal malzemeler genellikle tane boyutunu büyütüp tane sınırı sayısını azaltmaya yüksek eğilim göstermektedirler. Birçok saf nanokristal malzeme de oda sıcaklığı gibi düşük sıcaklıklarda bile tane büyümesi meydana

gelmektedir (Kotan ve ark., 2013). NK malzemelerin tane büyümesine karşı olan eğilimleri bu malzemelerin potansiyel yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanım alanlarını kısıtlamakta hatta engellemektedir. Önek olarak, aşağıdan yukarıya yöntemlerle (mekanik alaşımlama, kimyasal sentez gibi) üretilen malzemelerde ısı işlem basamakları yer aldığı için, malzemelerin termal kararlılıkları hayati önem taşımaktadır. Bu sebeptendir ki, malzemelerin yüksek sıcaklıklarda tane büyümesinin engellenmesi olayı termal kararlılık olarak tanımlanmaktadır (Peng ve ark., 1996).

Nanokristal tane boyutları bir çok metal ve alaşımda kararlı değerlerdir fakat bazı malzemelerin yüksek sıcaklıklarda bile kararlı oldukları kabul edilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda malzemelerde kararlılığın sağlanması farklı mekanizmalarla meydana gelmektedir. Bunlar kinetik kararlılık ve termodinamik kararlılık olarak 2'ye ayrılır. Kinetik kararlılık (tane sınırı hareketliliği), tane büyümesi hızını tane büyümesi prosesi sırasında yavaşlatır. Önek olarak, tane sınırı hareketliliği tane sınırlarında meydana gelen çözünmüş bir engel ya da çökelmiş ikincil faz (Zener pinning) tane sınırı hareketini engelleyerek kinetik kararlılığı geliştirir. Termodinamik kararlılık ise (tane sınırı enerjisi azaltılması), tane sınırlarında tercihli olarak çözünen malzeme oluşturulması ile meydana gelen enerji fazlalığının azaltılmasıdır. Termodinamik kararlılık sistemin enerjisinin düşmesine sebep olan tane sınırı-çözünen etkileşimi var ise meydana gelmektedir (Kotan ve ark., 2013; Leeuwen ve ark., 2010; Krill ve ark., 2005; Weissmuller, 1993).

Nanokristal malzemelerin termal kararlılık konusuyla ilgili literatürde birçok çalışma yer almaktadır. Fe, Cu, W, Pd gibi elementleri içeren çeşitli ikili sistemlerin yüksek sıcaklıklarda konsolidasyon ya da tavlamalarına bağlı olarak nano boyutta stabilizasyon durumları rapor edilmiştir. Önek olarak, bilyeli öğütme yöntemi ile üretilen Pd-Zr alaşımında, Zr'nin tane sınırlarında çökmesinden dolayı olağanüstü tane boyutu stabilizasyonu olduğu görülmektedir (Darling ve ark., 2010; Atwater ve ark., 2012; Chookajorn ve ark., 2012).

Bu sebepten dolayı da bilyeli öğütme işlemiyle elde edilen nanokristal yapı malzemeler ilgi çekici bir çalışma alanı oluşturmuştur.

2.2. Mekanik Alaşımlama Yöntemi ile Nanokristal Yapılı Malzeme Üretimi

Nanokristal yapı malzeme üretimi için bir çok sistem ve yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları inert gaz yoğunlaştırması, kimyasal buhar biriktirme ve bilyeli öğütmedir (Indris ve ark., 2000; Gusev ve Kurlov, 2008).

Bilyeli öğütme yöntemi uygulama kolaylığı, etkin sonuç alınabilmesi, tane boyutunun yaklaşık 20 nm seviyelerine indirebilmesinin yanısıra süper iletken seramikler, süper sert kesici malzemeler, nano kompozitler ve süper plastik malzemelerin üretiminde kullanılabilir (Indris ve ark., 2000; Gusev ve Kurlov, 2008).

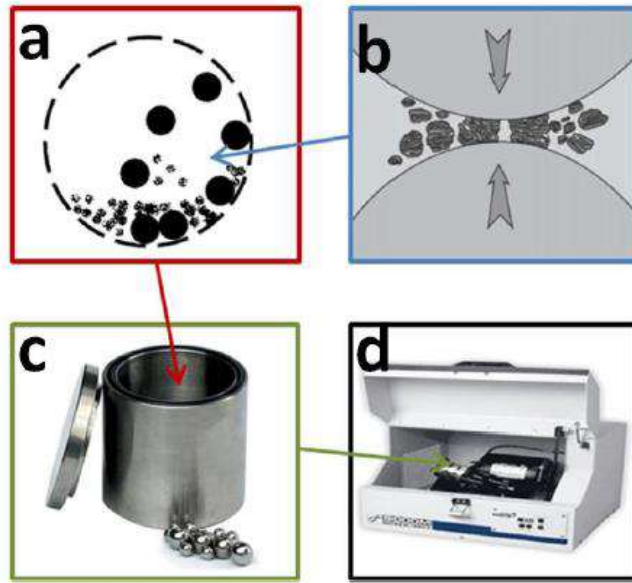
Bilyeli öğütme işleminin de bazı dezavantajları vardır. Bunlardan en bilineni ve tehlikeli olanı öğütme işleminin yapıldığı ortamdan ya da havadan dolayı meydana gelebilecek olan kirliliktir (Koch, 1997).

Mekanik alaşım normalde kuru, yüksek enerjili bir bilyalı öğütme tekniğidir ve ticari olarak faydalı ve bilimsel açıdan ilginç bir tür materyal oluşturmak için kullanılmıştır. 1981'de bir Y-Co intermetalik bileşiğinin mekanik olarak öğütülmesi ve 1983'te harmanlanmış elemental Ni-Nb karışım tozunun öğütülmesiyle amorf bir fazın üretilmesi, MA'nın potansiyel bir denge dışı işleme tekniği olduğu kabulünü getirmiştir. 1980'lerin ortasından itibaren, süper doygun katı çözeltiler, kristalimsi ve kuasikristalik ara fazlar ve amorf alaşımlar içeren çeşitli kararlı ve yarı-kararlı fazlar oluşturmak için birçok araştırma yapılmıştır (Suryanarayana, 2001).

Öğütme işlemi, daha kalın malzemelerin veya parçacıkların nihai incelik halinde parçalanması olarak gerçekleştirilir. Bu yöntemle partikül büyüklüğü mikro aralığa kadar küçültülebilir. Bilyeli öğütme olarak da bilinen mekanik alaşımlama işlemi, ortam sıcaklığında difüzyon çiftleri arasında meydana gelen indüklenmiş bir katı hal reaksiyonudur. Daha önce belirtildiği gibi, bu işlem sırasında kaynak ve kırılma mekanizmaları meydana gelir. Alaşımlaşmanın erken aşamalarında, tozlar daha yumuşaktır ve daha büyük parçacıklara kaynak yapma eğilimindedir (El-Eskandarany, 2015).

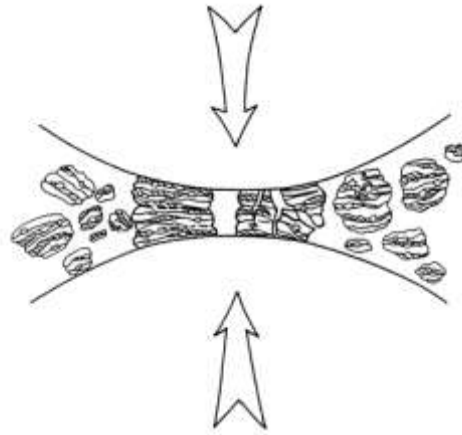
İşlem devam ettikçe, bazı parçacıkların orijinal parçacıklara göre çapı iki ya da üç kat büyür. Deformasyona direnç zamanla azalır ve ortalama parçacık büyüklüğü azalır. Daha büyük parçacıklar, çelik bilyalar arasına sıkışıp kaldıklarında, kusurları birleştirme ve işlem sırasında sökme eğilimindedir.

Buna karşılık, daha küçük parçacıklar kaynakla daha büyük parçacıklar olma eğilimindedir. Kırılma ve kaynak mekanizmaları zamanla dengeye gelir. Bu denge koşulunda, parçacıkların büyüklüğü bir aralık içinde neredeyse sabit değerlere sahiptir (Koch ve ark., 2007).



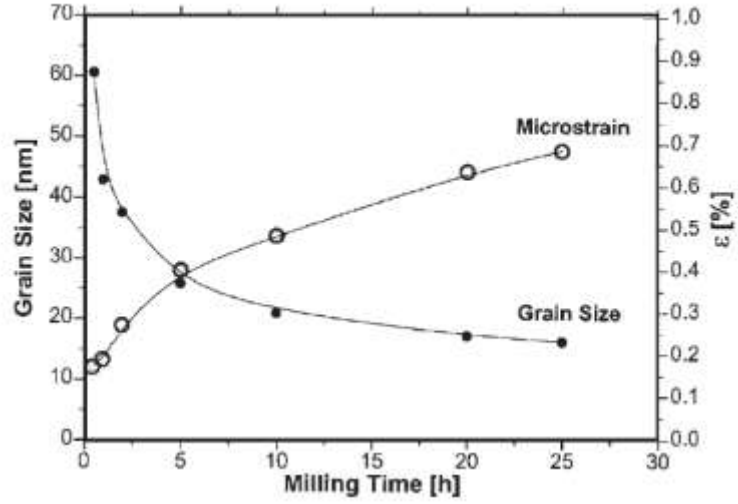
Şekil 2. Mekanik alaşımlama, a) öğütme esnasında bilye-toz durumu, b) bilye-toz etkileşimi, c) öğütme ortamı (kabı), bilyeler, d) SPEX 8000 öğütme cihazı (Kotan ve ark., 2013).

Bilyeli öğütücüler ile mekanik alaşımlama işlemi için şematik gösterim Şekil 2’de gösterilmiştir. Mekanik alaşımlama yöntemi, tozların kaynama, kırılma ve yeniden kaynaması olmak üzere 3 ana mekanizma ile meydana gelmektedir.



Şekil 3. Mekanik alaşımlama esnasında bilye-toz-bilye öğütme durumu (Suryanarayana, 2001).

Arttırılmış öğütme sürelerinin ardından ortalama tane büyüklüğü birkaç nanometreye düşürülerek yüksek zorlanma oranlarında parçacıklar ile plastik deformasyon gerçekleştirilebilir. Metal tozlarının mekanik yıpranma işleminin şematik çizimi Şekil 3’de görülebilir.



Şekil 4. Öğütme süresinin bir fonksiyonu olarak ortalama tane büyüklüğü ve mikro gerilmeler (Kotan ve ark., 2013).

Öğütmenin plastik deformasyonu ile ortaya çıkan kusur / dislokasyon yapısı arasındaki denge sağlandığında minimum tane büyüklüğü elde edilebilir. Tane büyüklüğü azaltılır ve kafes gerginliği, Şekil 4' görülebileceği gibi öğütme süresi ile arttırılır.

3. HAFİF MÜHENDİSLİK ALAŞIMLARI

Hafif mühendislik alaşımları, temel anlamıyla düşük yoğunluklu metalik malzemelerin tanımı olarak bilinmektedir. Çeşitli sektörlerde kullanılan malzemelerin farklı üretim yöntemlerine bağlı olarak, yoğunluğu kendisinden daha düşük olan başka bir malzeme ile değiştirilerek hafifletilip, aynı hatta geliştirilmiş mekanik özelliklere sahip olması son yıllarda yapılan çalışmalarda kendine önemli bir yer edinmiştir.

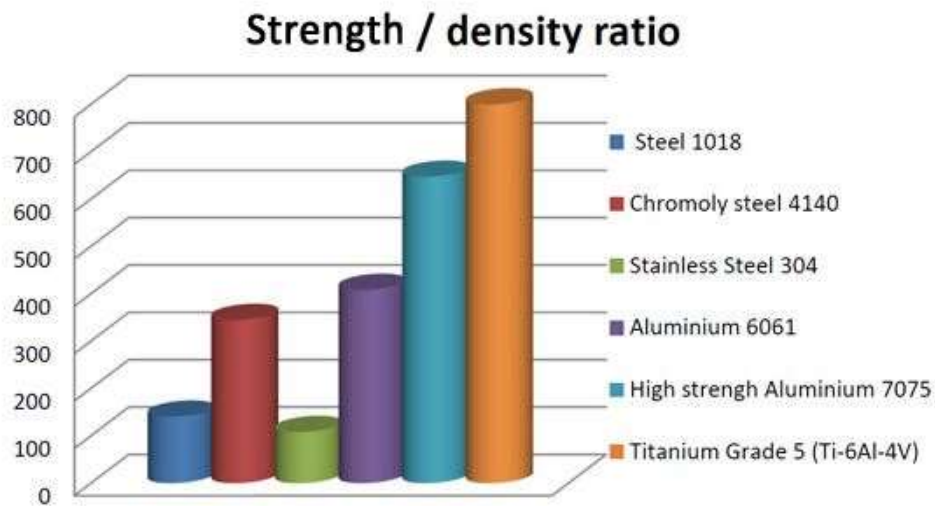
Bu bağlamda hafif mühendislik alaşımları, özellikle yapı ve taşımacılık sektöründe mühendisler için önemli bir konuma gelmiştir. Daha önceleri kullanılan nispeten yüksek yoğunluklu ağır metallerin yerine, yoğunluğu düşük olan alüminyum ($d= 2.7 \text{ g/cm}^3$), magnezyum (1.7 g/cm^3) ve titanyum (4.5 g/cm^3) gibi metaller sektörde kendine yer bulmaktadır (Hirsch ve Al-Samman, 2013; Pater ve Tomczak, 2012).

Alüminyum, düşük yoğunluk ve çelikten sonra gösterdiği iyi mekanik özellikleri sebebiyle özellikle otomotiv endüstrisinde çok yaygın şekilde kullanılmaktadır. Daha az yakıt tüketecek, çevre-dostu bir otomobil daha hafif olmalıdır. Çünkü, alüminyum alaşımları ilavesi ile üretilen taşıt toplam ağırlığındaki her % 10'luk azalma % 5-10 oranında yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Alüminyumun diğer kullanım alanları olarak inşaat, ambalaj, elektrik/elektronik ve dekorasyon ürünleri sektörleri sayılabilir (Hirsch ve Al-Samman, 2013; Miller ve ark., 2000).

Magnezyum, alüminyumdan %35, çelikten ise 4 kat daha hafif bir malzemedir. Sahip oldukları hafiflik ve yüksek özgül mukavemet (mukavemet/yoğunluk) değerlerinden dolayı magnezyum alaşımları savunma sanayi ve taşımacılık sektöründe özel bir öneme sahiptir. Otomotiv endüstrisinde magnezyumu ilk kullanan firma Volkswagen firmasıdır ve Beetle model araçlarında kullanmıştır. Çeşitli kaplama teknikleriyle magnezyum alaşımlarının korozyona karşı gösterdiği düşük direnç özelliğinden kurtulularak, kullanım alanı genişletilmektedir. Otomotiv ve savunma sanayi alanlarının yanında, magnezyum, iyi işlenebilme, yüksek ısı iletkenlik, iyi elektromanyetik koruma, yüksek sönümlenme, ve kolay geri dönüşüm özelliklerine sahip olmasından dolayı, mobil telefonlar, bilgisayar, havacılık, spor malzemeleri gibi alanlarda da kullanılmaktadır (Külekcı, 2008; Potzies ve Kainer, 2004; Öztürk ve Kaçar, 2012).

Titanyum ve alaşımlarının gösterdiği yüksek mekanik özelliklerden dolayı kullanım alanları oldukça geniştir. Sahip olduğu süneklik, mükemmel korozyon direnci ve yüksek spesifik sertlik (sertlik/yoğunluk) özellikleri sayesinde magnezyum alaşımları uzay ve havacılık, biyomalzemeler, denizcilik, tıp, petrokimya, spor gereçleri, vana

gövdeleri, boya, cila sanayilerinde renk verici madde, kağıt sanayisinde astar yapımında ve savunma sanayisinde kullanılır. Titanyumun en büyük dezavantajı ise pahalı bir metal olmasıdır (Pater ve Tomczak, 2012; Fujii ve ark., 2003).



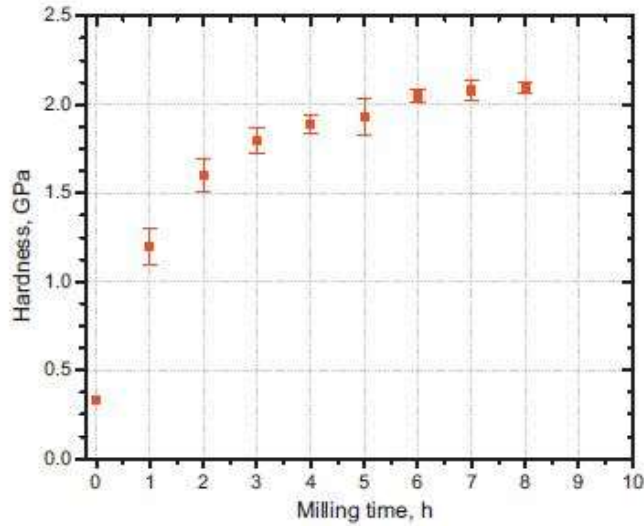
Şekil 5. Bazı malzemelerin sertlik/yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması (Anonymous).

Şekil 5, bazı malzemelerin spesifik sertlik değerlerini göstermektedir. Bu grafik göstermektedir ki, örnek olarak alınan Ti-6Al-4V alaşımı diğer alaşımlar ile kıyaslandığı zaman spesifik sertlik değeri açısından en yüksek değere sahiptir. Hemen arkasından bazı alüminyum alaşımları gelmektedir.

4. LİTERATÜR TARAMASI

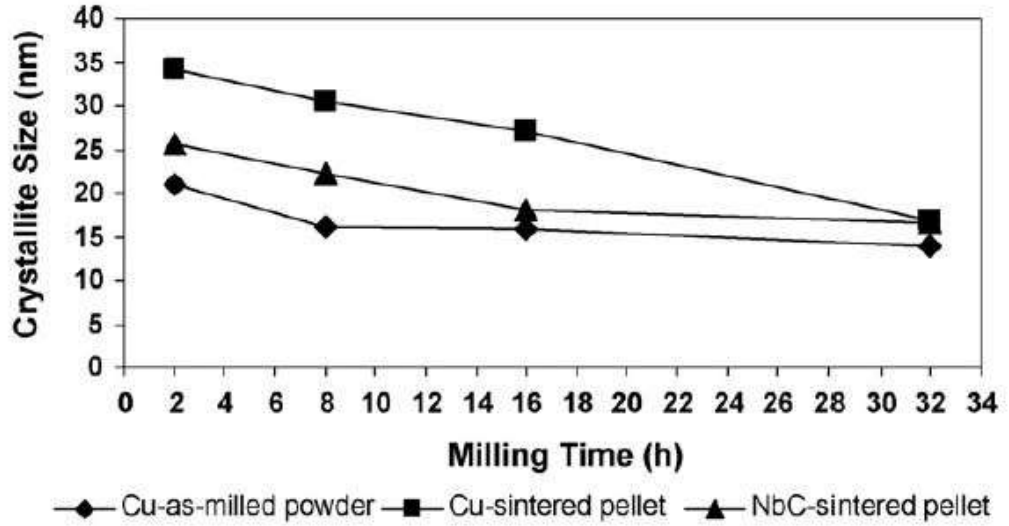
Hafif mühendislik alaşımları ile ilgili literatürde birçok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmalar gerek üretim yöntemi, gerek malzeme seçimi, gerekse çeşitli prosesler uygulayarak malzemelerin mekanik özelliklerinin artırılması üzerine yapılmıştır.

Örneğin “High hardness in a nanocrystalline $Mg_{97}Y_2Zn_1$ alloy” isimli çalışmada K.M. Youssef ve ark. (2011) mekanik alaşımlama yöntemi ile $Mg_{97}Y_2Zn_1$ alaşımının üretimini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada üretim cihazı olarak SPEX 8000 öğütücü cihazı kullanılmıştır. Ayrıca üretim prosesi oda sıcaklığında ve argon atmosferinde gerçekleştirilerek malzemenin üretim esnasında oksidasyona uğramasına engel olunmuştur. Mekanik alaşımlama sonucunda üretilen malzemenin ortalama tane boyutu ise 21 nm olarak ölçülmüştür. Ayrıca öğütme zamanına bağlı olarak malzeme sertliği artmaktadır ve bu sertlik değerleri bu çalışma yapılarına kadar kristalin Mg esaslı (>%95 Mg) malzemeler için elde edilen en yüksek değerler olarak raporlanmıştır.



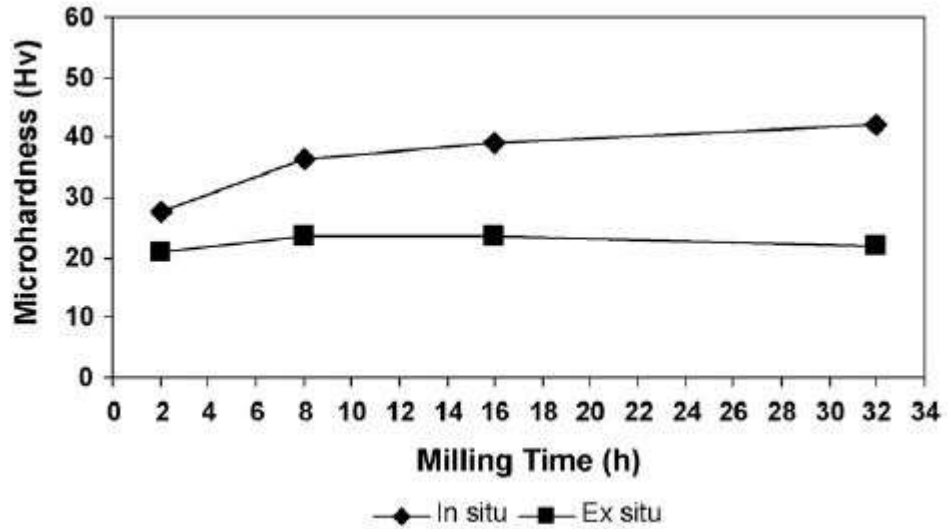
Şekil 6. $Mg_{97}Y_2Zn_1$ alaşımının öğütme süresine bağlı sertlik değişimi (Youssef ve ark., 2011).

Bir başka çalışmada ise H. Zuhailawati ve Y. Mahani (2009), öğütme süresinin sertlik ve elektriksel iletkenlik özelliklerine üzerine etkisinin araştırıldığı “Effects of milling time on hardness and electrical conductivity of in situ Cu–NbC composite produced by mechanical alloying” isimli çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada da farklı bir malzeme olan Cu-NbC alaşımı farklı bir bilyalı değirmen kullanılarak mekanik alaşımla yöntemi ile üretilmiştir. Öğütme süresinin kristal boyutu ve mikrosertlik değerleri üzerine etkisini Şekil 7 ve Şekil 8 göstermektedir.



Şekil 7. Öğütme süresinin kristal boyutu üzerine etkisi (H. Zuhailawati ve Y. Mahani, 2009).

Öğütme süresinin artmasıyla kristal boyutlarındaki azalma grafikten açıkça görülmektedir. Örnek olarak Bakır tozlarının kristal boyutu 8 saat öğütme işleminden sonra 20 nm seviyelerinden 15 nm seviyelerine düşmüştür.



Şekil 8. Öğütme süresine bağlı olarak mikrosertlik değişimi (H. Zuhailawati ve Y. Mahani, 2009).

Şekil 8’den de görülebileceği gibi malzemelerin öğütme süreleri arttıkça sertlik değerlerinde bir artış meydana gelmektedir.

Son olarak, Z. Chen ve ark. (2017), “Microstructures and mechanical properties of Mn modified, Ti-Nb-based alloys” isimli çalışmalarında Ti-Nb esaslı alaşımlara farklı miktarlarda Mangan etkisinin mekanik ve mikroyapısal olarak etkisini incelemiştir. Bu çalışmada üretim yöntemi olarak ergitme yöntemi kullanılmıştır.

Manganın alaşımın mekanik özellikleri üzerine etkisi Şekil 9'da gösterilmektedir.

Mechanical properties of Ti-16Nb-xMn alloys: elastic modulus E , yield stress (0.2% offset) $\sigma_{0.2}$, ultimate tensile stress σ_{max} , and plastic strain ϵ_p .

| Alloys (at.%) | E (GPa) | $\sigma_{0.2}$ (MPa) | σ_{max} (MPa) | ϵ_p (%) |
|---------------|-----------|----------------------|----------------------|------------------|
| Ti-16Nb | 102 | 372 | 570 | 33 |
| Ti-16Nb-1Mn | 131 | 507 | 644 | 16 |
| Ti-16Nb-3Mn | 118 | 553 | 675 | 24 |
| Ti-16Nb-5Mn | 109 | 657 | 716 | 26 |
| Ti-16Nb-7Mn | 77 | 646 | 695 | 43 |
| Ti-16Nb-9Mn | 80 | 621 | 660 | 41 |

Şekil 9. Farklı mangan değerleri ile üretilen Ti-16Nb alaşımının mekanik özellikleri (Chen ve ark., 2017).

Şekil 9'dan da anlaşılacağı gibi, belirli bir mangan seviyesine kadar alaşımın akma ve çekme mukavemetlerinde artış gözlenirken, en büyük uzama miktarı en çok mangan değerinde elde edilmiştir. Ayrıca malzemenin elastisite modülü de düşük mangan değerlerinden yüksek seviyelerdeyken, mangan miktarı arttıkça elastisite modülü azalmıştır.

5. HEDEFLenen ÇALIŞMALAR

Çalışmalar kapsamında yapılması hedeflenen çalışmalar aşağıda belirtilmiştir:

- Hafif mühendislik alaşımları ile ilgili literatür taraması yapılarak uygun alaşım kompozisyon/ları belirlenmesi,
- Belirlenen kompozisyonlardaki metal alaşımlarının belirli ve değişken parametreler ile SPEX cihazı kullanılarak mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilmesi,
- Üretimi tamamlanan alaşımların ısıtma işlem sıcaklıklarının belirlenerek ısıtma işlemlerinin yapılması,
- Alaşımların gerekli görülerek karşılaştırılan mikroyapısal (XRD, SEM, TEM vs.) ve mekanik (sertlik, aşınma, korozyon, çekme, basma vs) karakterizasyon işlemlerinin yapılması,
- Karakterizasyon işlemlerinden elde edilen sonuç değerlendirilerek, çalışmanın literatürde yer almasını sağlayacak akademik gerekliliklerin yerine getirilmesi.

KAYNAKLAR

- Koch C., Ovid'ko I. A., Seal S., Veprek S. (2007). Structural Nanocrystalline Materials Fundamentals and Applications. *Cambridge University Press*. New York.
- Han B. Q., Lavernia E. J., Mohamed F. A. (2005). Mechanical Properties of Nanostructured Materials. *Advanced Material Science*. 9(1), 200-205.
- Moriarty P. (2000). Nanostructured Materials. *Reports on Progress in Physics*. 64(3), 297-381.
- Mishra R., Basu B., Balasubramaniam R. (2004). Effects on grain size on the tribological behavior of nanocrystalline nickel. *Materials Science and Engineering*. 373(1), 370-373.
- Jia D., Ramesh K. T., Ma E. (2003). Effects of nanocrystalline and ultrafine grains sizes on constitutive behavior and shear bands in iron. *Acta Materialia*. 51(12), 3495-3509.
- Wang N., Wang Z., Aust K. T., Erb U. (1995). Effect of grain size on mechanical properties of nanocrystalline materials. *Acta Metallurgica et Materialia*. 43(2), 519-528.
- Kumar K. S., Swygenhoven H. V., Suresh S. (2003). Mechanical behavior of nanocrystalline metals and alloys. *Acta Materialia*. 51(19), 5743-5774.
- Chokshi A. H., Rosen A., Karch J., Gleiter H. (1989). On the validity of the hall-petch relationship in nanocrystalline materials. *Scripta Metallurgica*. 23(10), 1679-1683.
- Kotan H. (2013). Thermal stabilization and mechanical properties of nanocrystalline Fe-Ni-Zr alloys. (Unpublished doctoral thesis). North Carolina State University, Raleigh, North Carolina.
- Meyers M. A., Mishra A., Benson D. J. (2006). Mechanical properties of nanocrystalline materials. *Progress in Materials Science*. 51(4), 427-556.
- Koch C. C. (2003). Optimization of strength and ductility in nanocrystalline and ultrafine grained metals. *Scripta Materialia*. 49(7), 657-662.
- Darling K. A. (2009). Thermal stability of nanocrystalline microstructures. (Unpublished doctoral thesis). North Carolina State University, Raleigh, North Carolina.
- Trelewicz J. R., Schuh C. A. (2009). Grain boundary segregation and thermodynamically stable binary nanocrystalline alloys. *Physical Review B*. 79(9).
- Peng H. R., Gong M. M., Chen Y. Z., Liu F. (1996). Thermal stability of nanocrystalline materials: thermodynamics and kinetics. *Materials Science*. 303-333.
- Klement U., Erb U., El Sherik A. M., Aust K. T. (1995) Thermal Stability of nanocrystalline Ni. *Materials Science and Engineering*. 203(1-2), 177-186.

- Leeuwen V., Darling K. A., Koch C. C., Scattergood R. O., Butler B. G. (2010). Thermal stability of nanocrystalline Pd₈₁Zr₁₉. *Acta Materialia*. 58(12), 4292-4297.
- Krill C. E., Ehrhardt H., Birringer R. (2005). Thermodynamic stabilization of nanocrystallinity. *Zeitschrift für Metallkunde*. 96(10), 1134-1141.
- Weissmuller J. (1993). Alloys effects in nanostructures. *Nanostructured Materials*. 3(1-6), 261-272.
- Darling K. A., VanLeeuwen B. K., Koch C. C., Scattergood R. O. (2010). Thermal stability of nanocrystalline Fe-Zr alloys. *Materials Science and Engineering*. 527(15), 3572-3580.
- Darling K. A., Chan R. A., Wong P. Z., Semones J. E., Scattergood R. O., Koch C. C. (2008). Grain-size stabilization in nanocrystalline FeZr alloys. *Scripta Materialia*. 59(5), 530-533.
- Atwater M. A., Roy D., Darling K. A., Butler B. G., Scattergood R.O., Koch C. C. (2012). The thermal stability of nanocrystalline copper cryogenically milled with tungsten. *Materials Science and Engineering*. 558, 226-233.
- Chookajorn T., Murdoch H. A., Schuh C. A. (2012). Design of stable nanocrystalline alloys. *Science*. 337(6097), 951-954.
- Indris S., Bork D., Heitjans P. (2000). Nanocrystalline oxide ceramics prepared by high-energy ball milling. *Journal of Materials Synthesis and Processing*. 8(3-4), 245-250.
- Gusev A. I., Kurlov A. S. (2008). Production of nanocrystalline powders by high-energy ball milling: model and experiment. *Nanotechnology*. 19(26), 1-8.
- Koch C. C. (1997). Synthesis of nanostructured materials by mechanical milling: problems and opportunities. *Nanostructured Materials*. 9(1-8), 13-22.
- Suryanarayana C. (2001). Mechanical alloying and milling. *Progress in Materials Science*. 46(1-2), 1-184.
- Hirsch, J. and T. Al-Samman. (2013). Superior light metals by texture engineering: Optimized aluminum and magnesium alloys for automotive applications. *Acta Materialia*. 61(3): p. 818-843.
- Pater, Z. and J. Tomczak. (2012). Experimental Tests for Cross Wedge Rolling of Forgings Made from Non-Ferrous Metal Alloys / Próby Doświadczalne Walcowania Poprzeczno-Klinowego Odkuwek Ze Stopów Metali Nieżelaznych. *Archives of Metallurgy and Materials*. 57(4): p. 919-928.
- Miller W.S., et al. (2000). Recent development in aluminium alloys for the automotive industry. *Materials Science and Engineering A*. 280 (2000). p. 37-49.

- Kulekci, M.K. (2007). Magnesium and its alloys applications in automotive industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 39(9-10): p. 851-865.
- Potzies, C. and K.U. Kainer. (2004) Fatigue of Magnesium Alloys. *Advanced Engineering Materials*. 6(5): p. 281-289.
- Öztürk F., Kaçar İ. (2012). MAGNEZYUM ALASIMLARI VE KULLANIM ALANLARININ İNCELENMESİ. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. Cilt 1 Sayı 1, 12-20.
- Fuji H., et al. Application of Titanium and Its Alloys for Automobile Parts. *NIPPON STEEL TECHNICAL REPORT*. 88, p. 70-75.
- <<https://www.thaitaniumperformance.com/whytitanium>>
- Youssef, K.M., et al. (2011). High hardness in a nanocrystalline Mg₉₇Y₂Zn₁ alloy. *Materials Science and Engineering: A*. 528(25-26): p. 7494-7499.
- Zuhailawati, H. and Y. Mahani. (2009). Effects of milling time on hardness and electrical conductivity of in situ Cu–NbC composite produced by mechanical alloying. *Journal of Alloys and Compounds*. 476(1-2): p. 142-146.
- Chen, Z., et al. (2017). Microstructures and mechanical properties of Mn modified, Ti-Nb-based alloys. *Journal of Alloys and Compounds*. 723: p. 1091-1097.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : MUSTAFA TEKİN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : KONYA 29/05/1989
Telefon : +90 537 625 6811
Faks : -
e-mail : tekin.mustafaa@gmail.com

EĞİTİM

| Derece | Adı, İlçe, İl | Bitirme Yılı |
|---------------|---|--------------|
| Lise | : Karatay S.D.M.P.A. Lisesi Karatay/KONYA | 2007 |
| Üniversite | : İstanbul Teknik Üniversitesi Sarıyer/İSTANBUL | 2013 |
| Yüksek Lisans | : İstanbul Teknik Üniversitesi Sarıyer/İSTANBUL | 2017 |
| Doktora | : Necmettin Erbakan Üniversitesi Meram/KONYA | - |

İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl | Kurum | Görevi |
|-------------------|--------------------------|---------------------|
| 2014 | Koneks A.Ş. | Üretim Mühendisi |
| 2015 | ING Mühendislik | Saha Mühendisi |
| 2015-devam ediyor | KTO Karatay Üniversitesi | Araştırma Görevlisi |

UZMANLIK ALANI

Mekanik Alaşım, Hafif Metaller, Malzeme Karakterizasyonu

YABANCI DİLLER

YDS (2015 – İlkbahar) – 76.25
 Proficiency (2013 – İTÜ) – 82
 Bulats (Business Language Testing System-2012) – B2

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR