

WC-Co Esaslı Çizici Kalem Karakterizasyonu ve Mekaniksel Özellikleri

Muzaffer ERDOĞAN¹, Ayhan EROL¹, Ahmet YÖNETKEN²

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Afyonkarahisar/Türkiye, merdogan@aku.edu.tr, aerol@aku.edu.tr

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Afyonkarahisar/Türkiye, yonetken@aku.edu.tr

Geliş Tarihi: 16.05.2013; Kabul Tarihi: 02.10.2013

Özet

Tungsten karbür üstün sertlik özelliği ve aşınmaya karşı direnci ile bilinen karbürü seramiklerdendir. Bu üstün özellikleri sayesinde Karbürler kesici-çizici takımlarında ve aşınmaya karşı direnç istenilen durumlarda endüstride geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu çalışmada, WC seramik malzemesinin Co esaslı malzemeden kompozit numuneler üretilmiştir. Yani seramik ve metal tozları, toz metalurjisi tekniği ile kompozit malzemeler üretmek ve mekaniksel özelliklerinin araştırmasını kapsamaktadır. WC tozlarının (%80) 2 µm ve 10 µm tane boyutundaki seramik esaslı malzeme ile metal esaslı 2 µm tane boyutundaki Co (%20) kompozitler elde edilmiştir. Karışımı yapılacak olan tozlar çeşitli kompozisyon bileşimlerinde tartılarak kap içerisinde mekanik karıştırıcılarla homojen bir şekilde 24 saat karıştırılmıştır. Numuneler (yaklaşık 5 gram) silindirik kalıp içerisinde kapsül şeklinde preslenmiştir. Preslenen sinterlenmemiş numuneler 15 mm çapında ve 2-5 mm yüksekliğinde üretilmiştir. Sinterleme işlemleri ise %90N+%10H₂ gazı atmosferinde (1200-1300-1400)°C sıcaklıklarında sinterlenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen analiz sonuçları literatür verileri doğrultusunda incelenmiştir. Ayrıca, bu yöntemle elde edilen kompozit malzemelerin üretimine yeni bir bakış açısı sağlamıştır. Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar; mikrodalga sinterleme tekniği ile üretilen WC-Co'lu kompozit malzemelerin kalitesinin artırılması sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler

Toz Metalurjisi,
Seramik-Metal
Kompozitler, Presleme,
Mikrodalga Toz
Sinterleme, Çizici
Kalem.

Characterization and Mechanical Properties of WC-Co Based Scratch Tips

Abstract

Tungsten carbide is known to have excellent high hardness and wear resistance carbide ceramics feature. Thanks to its superior properties and wear resistance carbide cutting-plotter teams, if desired, the industry has a wide application area. In this study, the WC-based material, ceramic material Co. To produce composite samples. In other words, ceramic and metal powders, with powder metallurgy technique, of mechanical properties and composite materials to produce the survey covers. WC powders (80%) 2 µm and 10 µm grain size grain size of ceramic-based material with a metal-based 2 µm Co(20%) composites were produced. Mixture of powders of various composition, the composition of which will be weighed and mixed in 24-hour cap in the mechanical stirrers in a homogeneous way. Samples (approximately 5 grams) in the form of capsules, pressed in a cylindrical mold. 15 mm in diameter and 2-5 mm high, made of extruded samples. 90N% + 10H₂% gas atmosphere in the sintering process (1200-1300-1400)°C sintered between temperatures. Experimental studies were examined in accordance with literature data obtained by analyzing the results. In addition, the production of composite materials obtained by this method has provided a new perspective. The results obtained with this study, produced by microwave sintering technique WC-Co greatly improved the quality of composite materials.

Key words

Powder Metallurgy,
Ceramic-Metal
Composites, Press,
Microwave Powder
Sintering, Scratch Tips.

1. Giriş

Tungsten karbür yüksek sertliği ve aşınma direnci fakat zayıf tokluğu ile uzun zamandır bilinir. Kobalt ve nikel gibi sünek metal matrisler tokluğu iyileştirebilir. Kobalt metal matris içerisine gömülmüş semente karbürler (genellikle WC-Co) aşınma ile başa çıkabilecek yeterli sertlik ve tokluk sergiler böylece kesme ve işleme sırasında oluşan titreşime dayanabilir. Şimdiye kadar tungsten karbür kesme takımlarında ve aşınmaya karşı direnç istenilen durumlarda genişçe kullanılmıştır. Pek çok ticari semente tungsten karbürler %3-%30 Co konsantrasyonuna sahip toz üretimi, toz konsolidasyonu, sıvı faz sinterlemesi ve ileri sinterleme operasyonlarını içeren toz metalürjisi yöntemi ile üretilir (Li et al. 2006).

Tungsten karbür - kobalt (WC-Co) seramik metaller yüksek sertlik ve aşınmaya karşı üstün özellikleri ile geniş bir kullanım alanına sahiptir (Xiong ve ark. 2008, Nassaj ve Mirhosseini 2003, Upadhaya and Bhaumik 1998)]. Bu yüzden imalat endüstrisinin çeşitli dallarında kullanılmaktadır. WC-Co sermetin sert metal üretim uygulamalarında (Co'nun kompozisyon ağırlığı: %3-%30 arası) yüksek sertlik, mükemmel aşınma ve korozyon direnç özellikleri ile geniş bir alanda kullanılır. Kesici aletler, kalıplar, delici uçlarda, aşınan direnç uçların üretimine ait birkaç uygulama örneği verilebilir (Xiong ve ark. 2008, Koc ve Kodambake 2000). Halen WC-Co kompozitleri çeşitli sinterleme teknikleri ile üretilmektedir (Max ve Ji 1996). Geleneksel içerikli toz metalürjisi üretimi çeşitli termokimyasal tekniklerle üretim devam etmektedir (McCandlish and Kear 1992).

WC-Co kompozitlerinin sinterleme yöntemlerindeki termodinamik reaksiyon özellikleri WO_3 , Co_3O_4 ve C ile orijinal reaksiyonlar geliştirilmiştir (Liu ve ark. 2008). WC taneleri mikro ve nano boyutta üretildiği zaman sementit karbidlerin fiziksel ve mekaniksel özellikleri iyileştirilmiştir (Zhang et al. 1999). WC-Co kompozitlerinin sinterlenmesi için bir çok metod geliştirilmiştir. Bu üretime spray dönüşüm işlemleri, çökeltileri ve seri kimyasal reaksiyonları örnek verebiliriz (McCandlish and Kear 1992, McCandlish and Kear 1993).

Nano boyuttaki WC-Co kompozit tozları kimyasal vakumlu ortamda sentezlenip üretilebilir (Ryu et al. 2008).

Sert alaşımlar ve refrakter karbürler, WC sementidi yüksek sertlik ve çok iyi aşınma direncinin dışında yüksek basınç ve sıcaklıklardaki korozyon direnci ile madencilik endüstrisinde, metallerin işlenmesi ve delinmesi gibi geniş uygulama alanlarında kullanılır. Bununla birlikte bu alaşımlar düşük tokluk direnci ve gevrekliğe sahiptir. Alaşıma Co ilavesi ile alaşımın mikroyapısını yani WC tanelerinin bağıni oluşturarak tokluk direnci geliştirilmiştir. Üretilen kompozitin mikroyapı ve mekaniksel özellikleri WC'in tane ölçüsüne ve Co içeriğine bağlıdır (Upadhaya 1998, Zhu and Manthiram 1996).

Semente karbür kesme takımlarının teknik özellikleri için WC tane boyutu önemlidir (Mannesson ve ark. 2008). Sonuç olarak nano yapıli WC-Co tozlarının kaplama ve büyük kütleli bileşenlere uygulanabilirliği, konvansiyonel iri taneli uygulamalarla kıyaslanabilir veya daha iyi olduğu gösterilmiştir (Ban and Shaw 2002).

Tungsten karbürler, yüksek mukavemet, sertlik ve aşınma direnci ile birçok kullanım alanına sahiptir. Genellikle; makine, petrol, metal ve kalıp işleme endüstrisinde kullanılır. Tungsten karbürli kompozit malzemeleri, tokluk mukavemeti ve yüzey gerilimi yüksek, abrasiv aşınmaya karşı dirençlidir[Wang et al. 2013, Pana ve ark. 2011]. Bu karakteristik özellikler, kompozit içindeki Co bağlayıcı fazın miktarı ile ters orantılıdır[Wang et al. 2013]. Genellikle nano boyutta veya küçük parçacıklar şeklinde kullanılan WC-Co sert kompozit malzemelerin üstün performans ve yüksek aşınma direnci gösterirler. Bu durum, standart deney testleri yapılarak ispatlanmıştır [Krakhamlev ve ark. 2007]. Son zamanlarda WC-Co sert kompozitlerin; yüksek hızda çalışabilme ve düşük aşınma özelliğine sahip yani iyi bir tribolojik ve termal özellik gösteren yerlerde kullanılırlar[Saito et al. 2006].

2. Materyal ve Metot

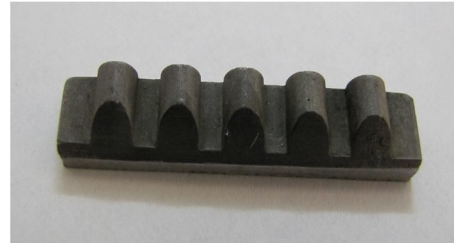
Bu çalışmada, Tungsten Karbür tozların Co bağlayıcısı ile değişik oranlardaki karışım oranları incelenmiştir. Teorik yoğunluk hesabı, kullanılan elementlerin karışım kuralı uygulanmıştır. WC-Co seramik metal kompozit tozları değişik kompozisyonlarda 15 mm çapında ve 3 mm kalınlığında preslenmiştir. Presleme soğuk olarak hidrolik preste, 300 bar (9000 kg) altında yapılmıştır.

Ayrıca %80WC+%20Co kompozisyonlarının (2-10) μ WC tozlarının yüksek sıcaklık rejimlerinde mikrodalga sinterleme işlemlerine tabi tutulmuştur. Uygulanan sinterleme sıcaklığı (1200-1300-1400) $^{\circ}$ C ve mikrodalga fırında bekletme süresi 2 saattir. Sıcaklık artış hızı 20 $^{\circ}$ C/dak.'dır.

Sinterleme türü katı faz sinterlemesi ve fırın ortamı %90N+%10H₂ gazı ile korunmuştur. Mikrodalga fırın kullanıldığı için numunelerin kesiti boyunca sinterlenme hacimsel olarak başlar ve sona erer.



a) Üçgen dişli numune



b) Yuvarlak dişli numune

Şekil 1. Üretilen çizici kalemler

3. Bulgular

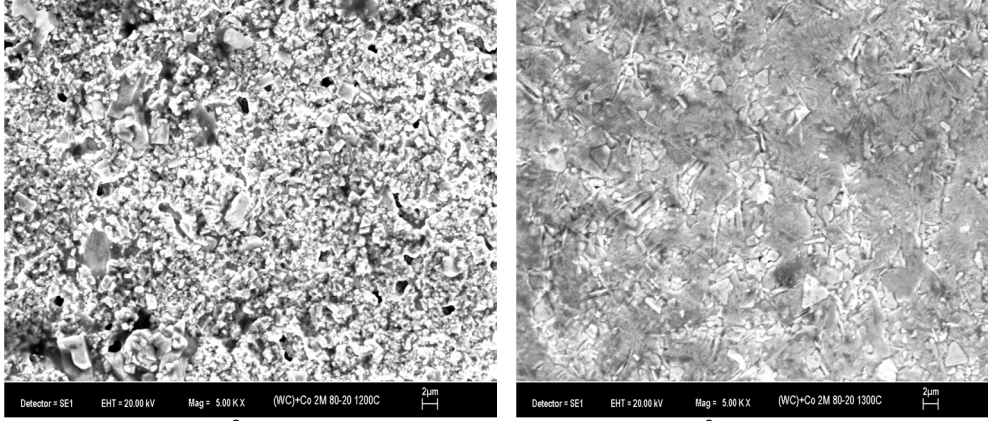
3.1. Metalografik Analiz

Şekil 2 ve Şekil 3'de çeşitli tane boyutlarına sahip %80(WC)+%20Co kompozit malzemelerin SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi toz boyutu küçüldükçe sinterleme sırasındaki ıslanma ile (a)'da boyunlar oluşarak homojen yapılı gözenekler azalmıştır. Üretilen kompozit numunede yüksek sıcaklıkta sinterleme ile tozlar arası tam ıslanma sağlanarak gözeneklik durumu ortadan kalkmıştır (b). 2 μ m tane boyutuna sahip %80(WC)+%20Co kompozit malzemesinde homojen bir iç yapı görüntüsü elde edilmiştir. Böylece küçük tane boyutu kompozit malzemesinin

Mikrodalga sinterleme sonrası numuneler aşınma testine tabi tutulmuştur. Pin-on-Disc tipi aşınma deneyi öncesi tüm numunelerin yüzeyleri aynı yüzey zımparalama ve parlatma işlemlerine tabi tutulmuş ve hekzan (C₆H₁₄) kullanılarak yağ ve kirlerden temizlenmiştir.

Bu aşamada yüksek mekanik özellikleri veren %80WC+%20Co kompozisyonlarda ve sinterleme şartlarından seçilen numunelerden birer örnek imal etmek (üçgen dişli ve yuvarlak dişli referans çizici kalemlerin üretimi) için 8620 sementasyon çeliğinden erkek ve dişli kalıp yaptırılmıştır. Üretilmiş olan kalıplarda preslenmiş olan ham kompozitler seçilmiş olan kompozisyonlarda ve sinterleme şartlarında sinterlenerek Şekil 1'de görülen çizici kalemler üretilmiştir.

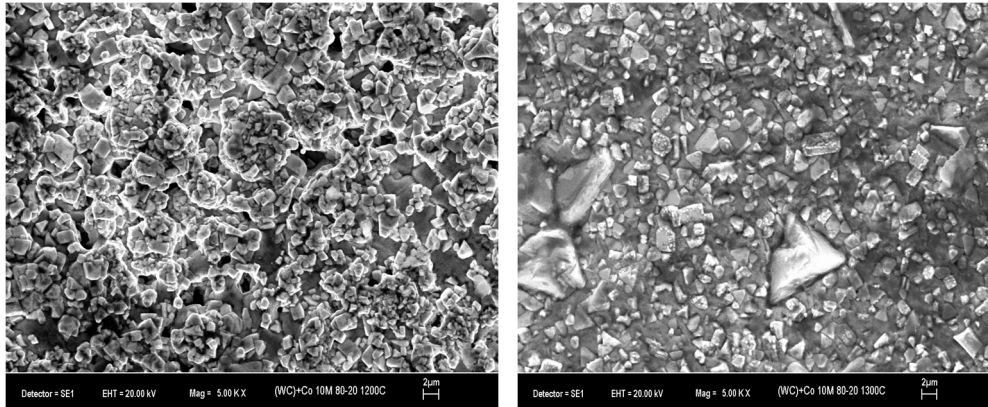
mekaniksel özelliklerini artmıştır. Toz metalurjisinde küçük tane boyutlu kompozitlerin daha iyi preslendiği ve sinterlendiğini söyleyebiliriz. Küçük tane partiküllerinin preslenme sırasında koordinasyon sayıları ve sinterleme sırasında yüzey enerjileri artacağından dolayı daha iyi ıslanmayla daha yoğun kompozitler üretilebilir. Büyük tanelerin preslenmesi yüzey enerjileri azaldığından dolayı sinterlenmeleri kolay değildir. Bu yüzden Şekil 3'de toz boyutu arttıkça boyun oluşumu azalmış ve gözenekli yapının oluşmasına neden olmuştur. Bu nedenle üretilen kompozitin basma mukavemet (Şekil 7) ve Brinell sertlik (Şekil 8) değerlerinin düşmesine neden olduğu gözlenmektedir.



a) 1200°C, 2 µm, 5KX

b) 1300°C, 2 µm, 5KX

Şekil 2. %80(WC)+%20Co kompozitinin SEM görüntüsü,



a) 1200°C, 10 µm, 5KX

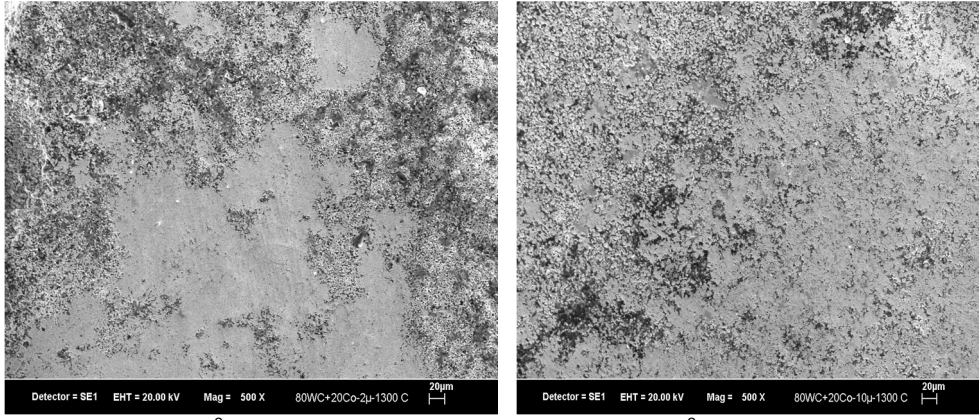
b) 1300°C, 10 µm, 5KX

Şekil 3. %80(WC)+%20Co kompozitinin SEM görüntüsü,

3.2. Aşınma Analizi

Şekil 4'de %80(WC)+%20Co seramik-metal kompozit malzemesine ait aşınma görüntüleri verilmiştir. Resimdeki görüntülere bakıldığı zaman 2 µm ve 10 µm tane boyutlarına sahip kompozit numunesinin (a/b) aşınma sonucu yaklaşık malzeme kaybı 0,007 g olarak ölçülmüştür.

Şekil 3/b'de tane boyutu küçüldükçe gözeneklilik oranı azalmış ayrıca iyi bir sinterleme özelliği gösterdiğinden taneler arası bağ oluşumu artarak aşınma direncinin yüksek çıkmasına neden olmuştur. %80(WC)+%20Co bileşimindeki kompozit numunesinin tane boyutunun artmasına rağmen (Şekil 3) kompozit malzemenin aşınma direncinin düşmediği gözlenmiştir. Şekil 4'deki SEM görüntüsünde görüldüğü gibi %80(WC)+%20Co bileşimindeki numune yüzeyindeki aşınan malzeme miktarları eşit ölçülmüştür.



a) 1300°C, 2 µm, 500X

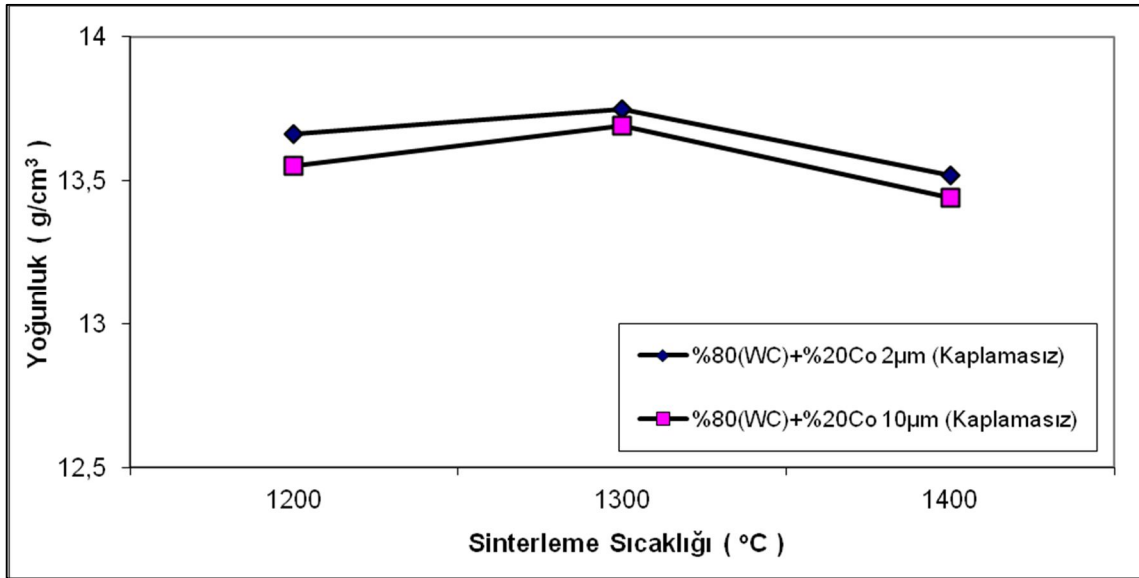
b) 1300°C, 10 µm, 500X

Şekil 4. 1300°C'de %90N+%10H₂ gazı atmosferinde sinterlenmiş %80(WC)+%20Co kompozitinin aşınma SEM görüntüsü,

3.3. Yoğunluk Analizi

Şekil 5'de %80(WC)+%20Co seramik esaslı kompozitlerin sinterleme sıcaklığı yoğunluk grafiği verilmiştir. Mikrodalga sinterleme sonrası yoğunluğun sıcaklığa bağlı olarak değişim gösterdiği görülmektedir. Üretilen kompozit malzemelerin en yüksek yoğunluk değeri küçük tane boyutuna sahip %80(WC)+%20Co sisteminde 1300°C'de yaklaşık 13,70 g/cm³ ölçülmüştür. Aynı kompozit

malzemesinin teorik yoğunluğu ise 14.17 g/cm³ hesaplanmıştır. 10 µm tane boyutuna sahip %80(WC)+%20Co kompozitinde 1300°C'de 13,60 g/cm³ civarında ölçülmüştür. Tane boyutu küçüldükçe üretilen kompozit numunelerin yoğunluk değerleri artırmakta ve mekaniksel özelliklerin yükselmesine sebep olmaktadır. Şekildeki yoğunluk grafiğinden anlaşılacağı gibi tane boyutu ile yoğunluk arasında yakın bir ilişki vardır.



Şekil 5. %80(WC)+%20Co kompozitinin yoğunluk – sinterleme sıcaklık grafiği

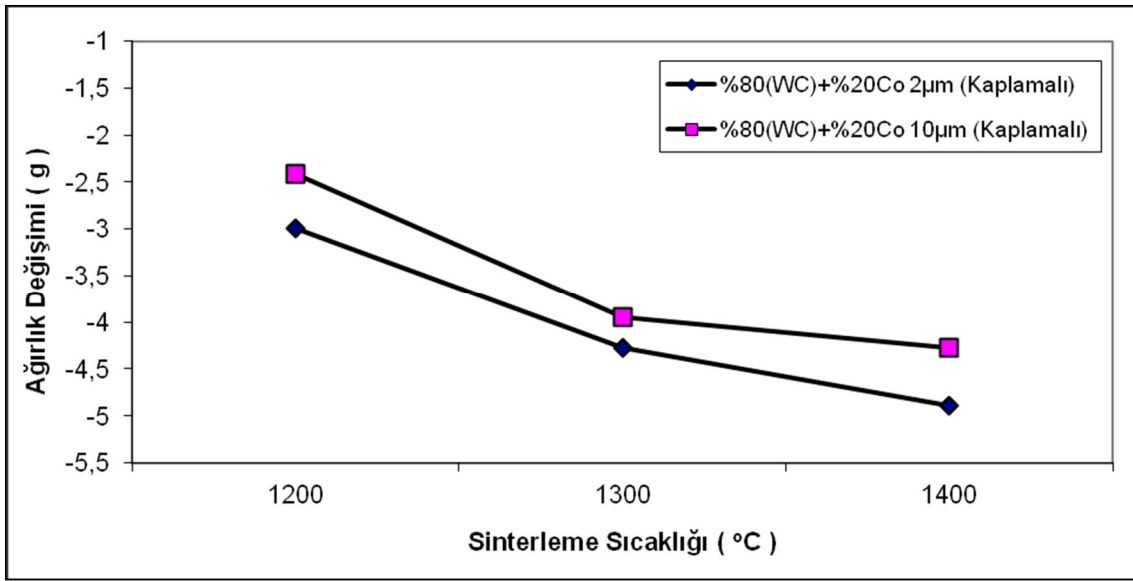
3.4. Ağırlık Kaybı Analizi

Şekil 6'da çeşitli boyutlardaki %80(WC)+%20Co kompozit malzemelerin sinterleme sıcaklığı ağırlık değişimi grafiği verilmiştir. Mikrodalga fırınında

sinterleme sıcaklığı yükseldikçe ağırlık kaybının arttığı görülmektedir. Bu durumun ise küçük tane boyutuna sahip sermetlerin sinterlenebilme özelliğinin iyi olduğunu göstermektedir.

%80(WC)+%20Co kompozit sisteminde 1200°C'de 2 µm tane boyutuna sahip WC'lü seramik esaslı kompozitte 2,90 g civarında ağırlık kaybı olurken, aynı sıcaklıkta 10 µm tane boyutuna sahip kompozitte ise yaklaşık 2,30 g ağırlık kaybı hesaplanmıştır. 1300°C'de küçük tane boyutundaki %80(WC)+%20Co kompozit malzemesinde 4,10 g, büyük tane boyutuna sahip seramik metal kompozitinde ise yaklaşık 3,80 g ağırlık kaybı gözlenmiştir. WC seramik esaslı kompozitin tane boyutu arttıkça sinterleme sıcaklığına bağlı olarak hem yoğunluğun (Şekil 5) hem de ağırlık kaybının

(Şekil 6) azalmasına neden olmuştur. Sinterleme sırasında küçük tane boyutunun yüzey alanı ve komşu tanelerle olan koordinasyon sayısı artacağından dolayı sinterleme kolaylığı sağlar. Böylece üretilen küçük tane boyutuna sahip sinterlenmiş karbürlerin, üretilen iri taneli kompozit malzemelere göre daha iyi yoğunluk gösterirler. Bu nedenle 2 µm tane boyutuna sahip kompozit malzemesinin basma mukavemet (Şekil 7) ve sertlik değerlerini (Şekil 8) arttırdığı görülmektedir.

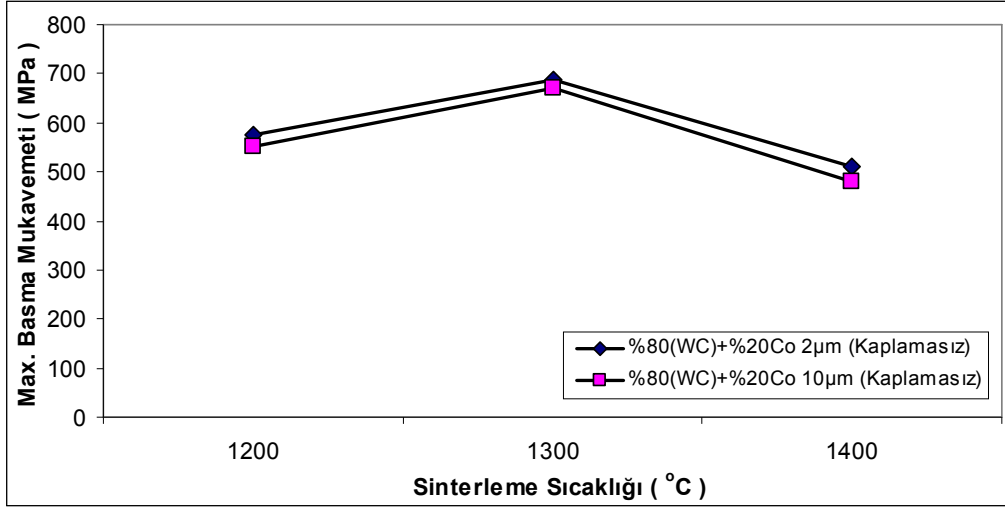


Şekil 6. %80(WC)+%20Co kompozitinin ağırlık değişimi – sinterleme sıcaklık grafiği

3.5. Basma Mukavemet Analizi

Şekil 7'de %80(WC)+%20Co kompozit malzemelerin sinterleme sıcaklığına bağlı basma mukavemet grafiği verilmiştir. Mikrodalga sinterleme ile üretilmiş kompozit numunelerin 2 µm tane boyutuna sahip %80(WC)+%20Co kompozit numunesinde 1200°C'de yaklaşık 590 MPa, 1300°C'de ise 700 MPa civarında ölçülmüştür. Basma mukavemetinin artmasına sebep olan Şekil 9'da görülen XRD eğrisinde tespit

edilen WC, W₂C ve Co₃W₃C/Co₆W₆C fazlardır. 10 µm boyutuna sahip olan WC'lü seramiğinin oluşturduğu %80(WC)+%20Co kompozit malzemesinin basma dayanımı 1300°C'de yaklaşık 690 MPa olarak tespit edilmiştir. Basma mukavemetinin düşmesine neden olan Şekil 10'daki XRD eğrisinde görüldüğü gibi WC, W₂C ve Co₃W₃C/Co₆W₆C fazlarının miktarca azlığından kaynaklanmaktadır.

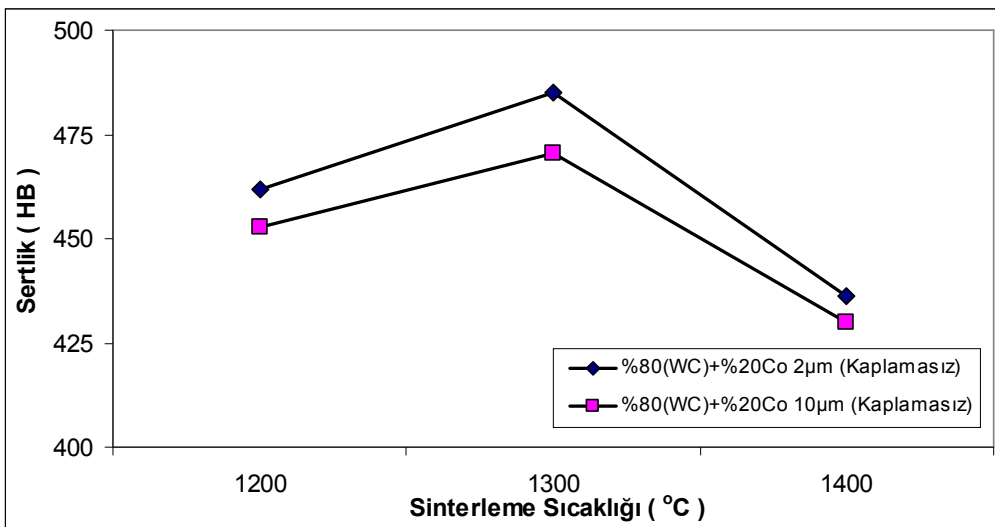


Şekil 7. %80(WC)+%20Co kompozitinin basma mukavemeti – sinterleme sıcaklık grafiği

3.6. Sertlik Analizi

Şekil 8'de 1200-1400°C sıcaklıkları arası sinterlenmiş %80(WC)+%20Co seramik-metal kompozitlerin Brinell sertlikleri ölçülmüştür. 2 µm tane boyutuna sahip kompozit numunenin 1300°C'deki sertlik değeri yaklaşık 490 HB tespit edilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi tane boyutu küçüldükçe gözenek oranının azaldığı ve mekaniksel özelliklerin artmasına neden olmuştur. Böylece Şekil 8'deki yoğunluk eğrisinde de görüleceği üzere tane boyutu arttıkça yoğunluk azalmıştır. 1400°C'de ölçülen numunelerin sertlik değerlerinin düşmesine (yaklaşık 435 HB) sebep ise ergime ve üniform yapıya sahip olmasıdır.

%80(WC)+%20Co kompozit numunelerin ideal mikrodalga sinterleme sıcaklığının 1300°C olduğu tespit edilmiştir. Çünkü bu sıcaklıktaki mekaniksel özelliklerin yükselmesine neden olan WC ve W₂C fazların (Şekil 9) varlığının ve miktarının arttığı gözlenmiştir. 10 µm tane boyutundaki %80(WC)+%20Co kompozit malzemesinin 1300°C'deki Brinell sertlik değeri yaklaşık 465 HB civarında ölçülmüştür. Kompozit malzemenin içerisinde sinterleme sonucu mevcut olan WC ve W₂C fazlarının oluşum pik şiddetleri düşüktür (Şekil 10). Bundan dolayı üretilen kompozitin basma dayanımını (Şekil 7) ve Brinell sertlik (Şekil 8) değerlerini düşürdüğü gözlenmektedir.

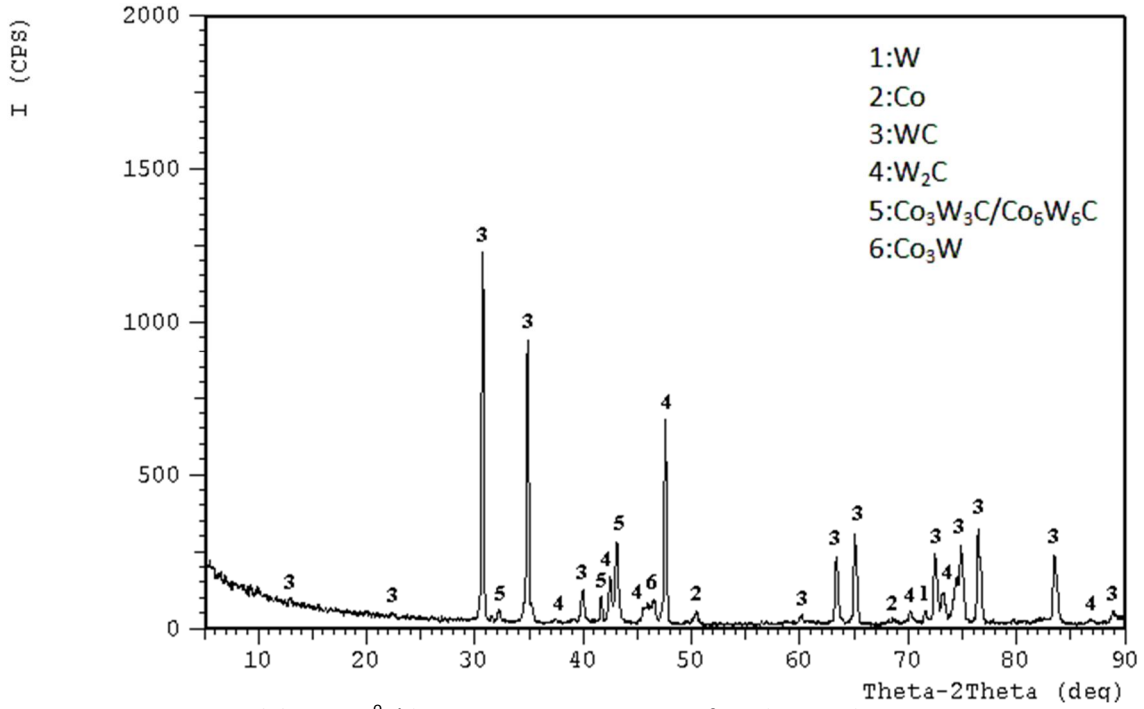


Şekil 8. %80(WC)+%20Co kompozitinin sertlik – sinterleme sıcaklık grafiği

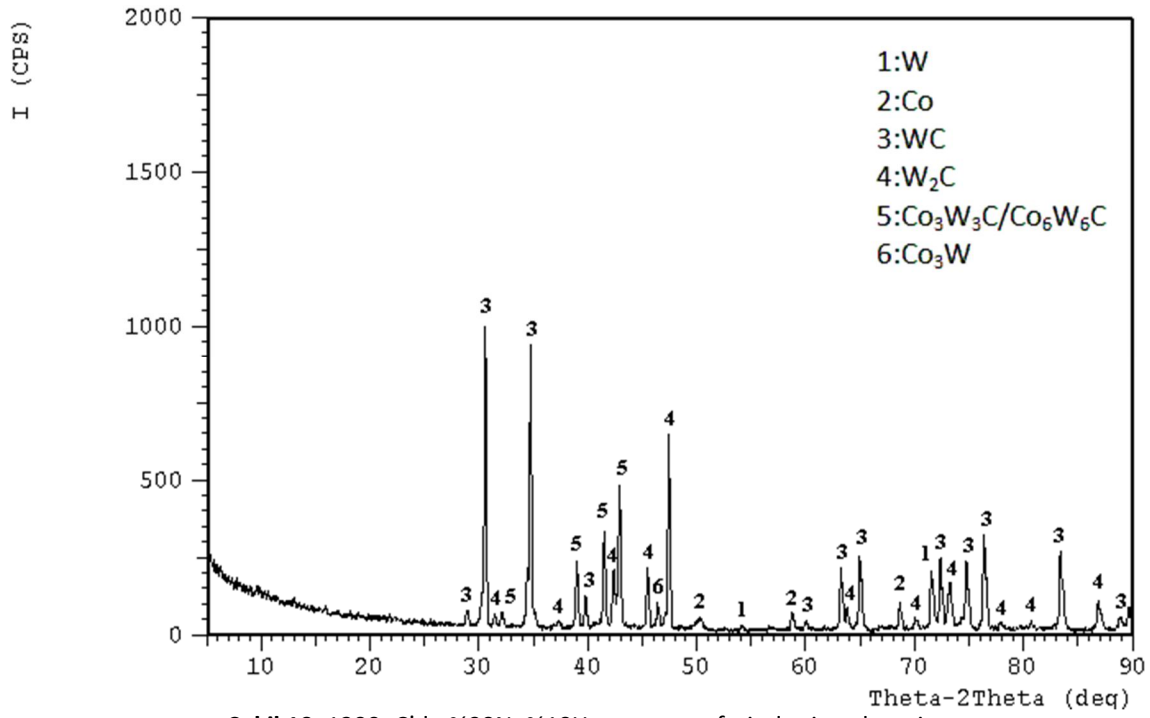
3.7. XRD Analizi

Şekil 9 ve Şekil 10'da çeşitli tane büyüklüklerine sahip WC seramik esaslı %80(WC)+%20Co kompozit malzemelerine ait XRD analiz sonuçları verilmiştir. (WC)+Co sisteminde mekanik özellikleri olumlu etkileyen, üretilen kompozitin iç yapısında sinterleme ile oluşan WC ve W₂C fazlardır. 2 µm tane boyutuna sahip %80(WC)+%20Co kompozit numunesinde WC ve W₂C fazlarının miktarca fazlalığını Şekil 9'daki XRD eğrisinde piklerin vermiş olduğu şiddet derecesinden anlamaktayız. Seramik metal kompozit numunesinde mevcut olan WC ve W₂C

fazları, basma dayanımını (Şekil 7) ve Brinell sertlik (Şekil 8) değerlerini arttırmıştır. 10 µm tane büyüklüğündeki %80(WC)+%20Co kompozit malzemesinin XRD (Şekil 10) grafiğinde diğer kompozit grubunda (Şekil 9) oluşan WC ve W₂C fazlarının şiddetinden daha küçük pik şiddeti oluşturmuşlardır. Bu durumda sermet esaslı kompozit numunesinde oluşan intermetalik fazların miktarının düşüklüğü ve çok az oranlarda mevcut olan Co₃W₃C/Co₆W₆C ve Co₃W fazlarından dolayı sertlik ve basma mukavemetlerinin düşük çıkmasına neden olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7, Şekil 8).



Şekil 9. 1300°C'de %90N+%10H₂ gazı atmosferinde sinterlenmiş %80(WC)(2 µm)+%20Co(2 µm) kompozitinin XRD grafiği



Şekil 10. 1300oC'de %90N+%10H₂ gazı atmosferinde sinterlenmiş %80(WC)(10 µm)+%20Co(2 µm) kompozitinin XRD grafiği

4. Tartışma ve Sonuç

WC-Co kompozit üretimi esnasında tozların tane boyut farklılıkları dikkate alınarak çeşitli kompozisyonlar üzerinde çalışılmıştır. Bu amaçla iki farklı tane boyuta sahip 2 µm ve 10 µm boyutunda WC ve Co tozları kullanılmıştır. Amacımız tane boyutundaki farklılıkların sinterleme sonrası kompozite etkileri ve mikroyapıdaki farklılıklar ortaya konulmuştur.

Görüldüğü gibi WC-Co sisteminde üretilen seramik metal kompozit malzemelerin iyi mekaniksel özellikler sergilediği görülmektedir. %80(WC)+%20Co kompozit malzemelerinin özel karışım gaz atmosferinde (%90N+%10H₂) sinterlenen 2 µm tane boyutuna sahip kompozit numunelerinin mekanik özellik değerleri, 10 µm tane boyutundaki kompozit numune değerlerinden yüksek çıkmıştır. Aynı kompozit malzemesinin teorik yoğunluğu ise 13,71 g/cm³ hesaplanmıştır. 2 µm boyutundaki WC seramik esaslı kompozit numunesinin sinterleme sonrası yoğunluğu 13,82 g/cm³, sertliği yaklaşık 461 HB ve basma dayanımı 671 MPa civarında ölçülmüştür. 10 µm tane boyutundaki kompozit malzemesinin mikrodalga sinterleme sonrası yoğunluğu 13,71 g/cm³, Brinell

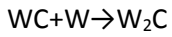
sertliği 457 HB civarında ve basma mukavemet değeri yaklaşık 646 MPa olarak elde edilmiştir. %80(WC)+%20Co sisteminin teorik yoğunluğu ise 14,84 g/cm³ olarak hesaplanmıştır. Kompozit numuneler mikrodalga sinterleme sonrası yaklaşık %93 yoğunlukta üretilmiştir. Kompozit numuneler mikrodalga sinterleme sonrası yaklaşık %98 yoğunlukta üretilmiştir. 2 µm boyutundaki WC seramik esaslı %80(WC)+%20Co kompozitinde ise yoğunluk 13,75 g/cm³, Brinell sertliği 485 HB ve basma dayanımı 688 MPa civarında gözlenmiştir. Aynı kompozit malzemesinin 10 µm boyutuna sahip %80(WC)+%20Co kompozitinin yoğunluğu 13,69 g/cm³ civarında, sertliği yaklaşık ise 470 HB ve basma mukavemet değeri 675 MPa olarak hesaplanmıştır. %80(WC)+%20Co sisteminin teorik yoğunluğu ise 14,17 g/cm³ olarak hesaplanmıştır. Bu gruptaki kompozit numunelerin mikrodalga sinterleme sonrası yoğunluğu yaklaşık %96 yoğunlukta üretilmiştir.

Deneysel çalışma sonucu WC-Co kompozitlerin yoğunluk değeri yaklaşık 13,80 g/cm³ ölçülmüş olup, Akhtar ve çalışma ekibi (2007) ürettiği kompozit numunelerin yoğunluğunu yaklaşık 13,70 g/cm³ ölçülmüş olup, Liu ve arkadaşları (2008) ise yoğunluğu 14,81 g/cm³ civarında hesaplamışlardır.

Bu kompozit malzemelerin sertlik değeri yaklaşık 460 HB'dir. Üretilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine etki eden bu değerlerin Liu ve arkadaşlarının (2008) ayrıca Akhtar ve çalışma ekibinin (2007) çalışmaları ile uyum içinde olduğu görülmektedir.

Deneysel bulgularda görüldüğü gibi mikrodalga sinterleme ile iç yapı karakterizasyonun homojen olduğu görülmektedir. Numunelerde oluşan metalik fazların XRD grafikleri, Liu ve arkadaşlarının (2008) çalışmaları ile uyum içindedir. Kullanılan toz boyutu küçüldükçe yoğunluğu arttırmış ve kompozit malzemelerinin mekaniksel özelliklerinin değerini yükseltmiştir.

WC'ün özellikleri açısından C/W oranının kontrolü hayati öneme sahiptir. İdeal karbon içeriğinden hafif sapmalar dahi ya grafit ya da W₂C fazlarının oluşmasına neden olur. W-Co-C sisteminin faz diyagramı esas alındığında yüksek kobalt içeriği nedeniyle eğer C/W<1 ise W₂C den çok M₆C oluşur. Çok düşük kobalt içeriği ve stokiometrik miktardan fazla W tozu bulunması durumunda aşağıdaki denklik gereği W₂C oluşur.



Bu reaksiyon 1250°C civarında gerçekleşir. Bu sıcaklığın altında W₂C, WC ve W bileşenlerine ayrışır [Rogl (1998), Greenfield and Wolfe (1998)]. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen XRD grafik (Şekil 9, Şekil 10) verilerinin literatür bilgileri ile doğrulanmaktadır.

Kullanılan tozların sıkıştırma basıncı Upadhaya ve ekibi (1998) / Zhu and Manthiram (1996) çalışmalarında Co ilavesi ile alaşımın mikroyapısını yani WC tanelerinin bağını oluşturarak tokluk direnci geliştirilmiştir. Üretilen kompozitin mikroyapı ve mekaniksel özellikleri WC'in tane ölçüsüne ve Co içeriğine bağlılığını savunmuşlardır. Düşük miktardaki Co ile WC sinterlemesinde Anormal Tane Büyümesi (AGG) gözlenebilir. C/W oranını, düşük kobalt konsantrasyonunda, düşük tutmak W₂C fazının oluşmasıyla sonuçlanır. WC-Co

sertliği W₂C fazının miktarından etkilenir ve

soğuma süresince W₂C kararlıdır. Böylece kompozitlerin mekaniksel özelliklerinin artmasına neden olur. ve boyutlarının düşük sıcaklıklardaki yoğunlukların düşük oluşu Li ve arkadaşlarının (2006) çalışmaları ile uyum içinde olduğu görülmektedir.

Çeşitli tane boyutuna sahip %80(WC)+%20Co bileşimindeki kompozit numunelerindeki WC seramik partikülleri, Co metalik tozları ile mikrodalga sinterlemenin başarılı olduğu görülür. WC seramik tozlarının sinterleme sonrası kuvvetli bağ oluşturdukları mekanik testlerden anlaşılmaktadır. Üretilen kompozit malzemelerinin sertlik, basma mukavemetini ve aşınma direncini arttırdığı dolayısıyla yapı içindeki WC partikülleri gözenek oluşturmadığından mekanik özellikleri yükselttiği gözlenmiştir. Krishna ve çalışma ekibi (2002)'de WC ve W₂C fazlarına sahip kompozit malzemelerin aşınma deneyleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Araştırmalar sonucunda kompozit malzeme içinde mevcut olan W₂C fazın aşınma direnci, WC fazının aşınma direncinden yüksek çıkmıştır. Tez çalışmasında da farklı tane boyutuna sahip %80(WC)+%20Co kompozit numunelerinin iç yapısında oluşan (Şekil 9, Şekil 10) W₂C fazlarının mekaniksel özellikleri arttırdığı tespit edilmiştir. Bundan dolayı üretilen %80(WC)+%20Co kompozit malzemesinin aşınma direnç değerleri Krishna ve çalışma ekibinin (2002) literatür verileri ile benzerlik göstermektedir. Wang ve çalışma arkadaşları (2013)'nin aşınma test sonuçlarına göre aşınma oranı %2.7x10⁻³ tespit edilirken, Krakhmalev ve arkadaşları (2007) aşınma oranını %1,24x10⁻⁵ elde etmişlerdir. Çalışmamızda %80(WC)+%20Co kompozit malzemesinin aşınma oranı değeri yaklaşık %2,3x10⁻³ olarak hesaplanmıştır. Deneysel olarak analiz edilen aşınma oran değerleri; Wang ve çalışma arkadaşları (2013) ile Krakhmalev ve arkadaşları (2007)'nin literatür verileri ile doğrulandığı tespit edilmiştir.

Deneysel çalışmalardan elde edilen kompozitlerin iç yapı karakterizasyonu, basma mukavemet,

yoğunluk ve sertlik değerleri, Roberto ve arkadaşlarının (2005) yaptığı çalışmalarla uyumlu olduğu görülmektedir.

Teşekkür

Afyon Kocatepe Üniversitesi (BAPK) 09.TEF.02.nolu proje ile desteklenmiştir. Bilimsel Araştırmalar Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Xiong, Y., Lau, K., Zhou, X. and Schoenung, J. M., 2008. A streamlined life cycle assessment on the fabrication of WC-Co cermets. *Journal Of Cleaner Production*, **16**, 1118-1126.
- Ma, X. M. and Ji, G., 1996. Nanostructured WC-Co alloy prepared by mechanical alloying. *Journal Of Alloys And Compounds*, **245**, 30-32.
- McCandlish, L., Kear, B.H., Kim, B. K., 1992. Processing And Properties Of Nanostructured WC-Co. *Nanostructured Materials*, **1**, 119-124.
- Liu, W., Song, X., Zhang, J., Zhang, G. and Liu, X., 2008. Thermodynamic analysis for in situ synthesis of WC-Co composite powder from metal oxides. *Materials Chemistry And Physics*, **109**, 235-240.
- Koc R., Kodambake S. K. and Euro J., 2000. *Ceramic Materyals*, **20**, 1859.
- Zhang, Z. Y., Wahlbeg, S., Wang, M. S. and Muhammed, M., 1999. *Nanostructural Materyals*, **12** 163-168.
- McCandlish, L. E. and Kear, B. H., 1992. *Nanostructural Materyals*. **1**, 119-125.
- McCandlish, L. E. and Kear, B. H., 1993. *Nanostructural Materyals*, **3**, 19-24.
- Ryu, T., Sohn, H. Y., Han, H., Kim, Y., Hwang, K. S., Mena, M., And Fang Z. Z., 2008. Nanograined WC-Co composite powders by chemical vapor synthesis. *Metallurgical And Materials Transactions B*, **39**, 1-6.
- Upadhaya, G. S., 1998, Cemented tungsten carbide. *Noyes Publications*, New York (NY), 1-6.
- Zhu, Y. T., and Manthiram, A., 1996. *Composites, Part B, Eng.*, **27**, 407-413.
- Nassaj, E. T., and Mirhosseini, S. H., 2003. An in situ wc-ni composite fabricated by the shs method, *Journal Of Materials Processing Technology*, **142**, 422-426.
- Upadhaya, G. S., and Bhaumik, S. K., 1988. Sintering of submicron WC-10% Co hardmetals containing ni and Fe. *Materyal Sciences Engineering-A*, **249**, 105-106.
- Li, T., Li, Q., Fuha, J. Y. H., Yu, P. C., and Wu, C. C., 2006. Effects of lower cobalt binder concentrations in sintering of tungsten karbide. *Materials Science And Engineering A*, **430**, 113-119.
- Ban, Z. G., and Shaw, L. L., 2002. Synthesis and processing of nanostructured WC-Co materials. *Journal Of Materials Science*, **37**, 3397-3403.
- Mannesson, K., Elfving, M., Kusoffsky, A., Norgren, S., and Agren J., 2008. Analysis of WC grain growth during sintering using electron backscatter diffraction and image analyses. *International Journal Of Refractory Metals & Hard Materials*, **26**, 449-455.
- Akhtar, F., Humail, I. S., Askari, S. J., Tian, J., and Shiju, G., 2007. Effect of WC particle size on the microstructure, mechanical properties and fracture behavior of WC-(W,Ti,Ta)C-6%Co cemented carbides. *International Journal Of Refractory Metals And Hard Materials*, **25**, 405-410.
- Greenfield, M., and Wolfe, G., 1998. Powder metal technologies and applications of asm handbook. *ASM International*, **7**, 492-496.
- Krishna, B. V., Misra, V. N., Mukherjee, P. And S., Sharma, P., 2002. Microstructure and properties of flame sprayed tungsten carbide coatings. *International Journal Of Refractory And Hard Materials*, **20**, 355-374.
- Rogl, P., 1998. Phase diagrams of ternary Metal-Boron-Carbon systems. *ASM International; MSI, Materials Park, OH; Stuttgart, Germany*, pp 392.
- Roberto, T. F., Rodrigues, M. F., Esquef, I. A., Vargas, H., and Filgueira, M., 2005. On the thermal characterization of a HPHT sintered WC-15% wt Co hardmetal alloy. *International Journal of Refractory And Hard Materials*, **23**, 115-118.
- Wang, X., Hwang, K. S., Koopman K., Fang, Z. Z., and Zhang, I., 2013. Mechanical properties and wear resistance of functionally graded WC-Co. *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, **36**, 46-51.
- Pana, Li, D. Y., and Zhang, H., 2011. Enhancing the wear resistance of sintered WC-Co composite by adding pseudo-elastic TiNi constituent. *Wear*, **271**, 1916-1921.
- Krakhmalev, P. V., Rodil, T. A., and Bergstrom, J., 2007. Influence of microstructure on the abrasive edge wear of WC-Co hardmetals. *Wear*, **263**, 240-245.
- Saito, H., Iwabuchi, A., and Shimizu, T., 2006. Effects of Co content and WC grain size on wear of WC cemented carbide. *Wear*, **261**, 126-132.