

ULTRA YÜKSEK SICAKLIĞA DAYANIKLI SERAMİK MALZEMELER: TANTALYUM KARBÜR (TaC)

Ekrem ALTUNCU*

Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme
Mühendisliği
altuncu@sakarya.edu.tr

Sevim Gökçe ESEN

Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme
Mühendisliği
sgokce.esen@gmail.com

Geliş Tarihi: 28 Ağustos 2014, Kabul Tarihi: 31 Ocak 2015

ÖZET

Ultra yüksek sıcaklık seramikleri(UHTC); sahip oldukları yüksek sertlik, aşınma direnci yanında çok yüksek sıcaklıklarda çalışma atmosferine olan dayanımları nedeniyle özellikle uzay ve havacılık sektörlerinde kullanım potansiyeli yüksek olan ileri teknolojik seramik esaslı malzeme sınıfıdır. UHTC genel olarak 4. ve 5. grup metal (M:Ta, Ti, Hf gibi) elementlerinin karbürü(MC), nitrürlü(MN), oksitli (MO) ve borürlü (MB) bileşiklerinden oluşmaktadır. Tantalum Karbür (TaC) esaslı seramikler, hem yüksek sıcaklık dirençleri ve kararlılıkları hem de yüksek sıcaklıklarda üstün mekanik özellikleri nedeniyle en fazla ilgiyi üzerine çeken refrakter asıllı bir seramik malzemelerden bir tanesidir. Bu çalışmada, Tantalum Karbür esaslı seramik malzemelerin yüksek sıcaklık koşullarında faz ve kristal yapısı, Ta/C bileşim oranına bağlı olarak mekanik, elektriksel ve termal özelliklerinin değişimi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. TaC esaslı seramiklerin uygulama potansiyeli araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ultra Yüksek Sıcaklık Seramikleri(UHTC), Tantalum Karbür, Termo-fiziksel Özellikler, Yüksek Sıcaklık Mekanik Özellikler.

ULTRA HIGH TEMPERATURE CERAMICS: TANTALUM CARBIDE (TaC)

ABSTRACT

Ultra high temperature ceramics (UHTC) are advanced technologic materials class which are used in many application branches especially space and aviation due their specific characteristics such as high hardness, high thermal resistance and corrosion resistance at elevated temperatures. UHTC are generally compounded forms of 4th and 5th group metals with carbide, nitride, oxide and boride. Tantalum Carbide is the refractory ceramic material because of its both high temperature behavior and mechanic characteristics. In this review, researches are encountered in literature are discussed such as crystal structure, Ta/C phase diagram, Ta/C compound ratio based mechanic characteristics changes, electrical and thermal properties of Tantalum Carbide which is the new material of space technology which is being evaluated.

Keywords: Ultra High Temperature Ceramics(UHTC), Tantalum Carbide, Thermo-Physical Properties, High Temperature Mechanical Properties.

1. UHTC GENEL TANIM

Yüksek sıcaklık mühendisliği uygulamalarında (uzay ve havacılık, reaktör, itki sistemleri vb.) sıcaklığa bağlı olarak değişen mekanik ve mikroyapısal özellikler malzeme performansını sınırlayıcı bir faktördür. Ultra yüksek sıcaklık seramikleri (UHTC, Ultra High Temperature Ceramics); çok yüksek sıcaklık, agresif çalışma atmosferi ve yüksek termal gerilme koşullarında kullanılan yüksek maliyetli

spesifik, ileri teknoloji bir seramik malzeme sınıfıdır[1]. Bu malzemelerin genel ortak özelliği ergime sıcaklıklarının 2000 °C'nin üzerinde olması ve yüksek sıcaklıklarda kararlı bir yapıya sahip olmalarıdır. Bu nedenle uzay ve havacılık malzemelerinin seçiminde ve tasarımı sıcaklık-zaman çevrimine bağlı olarak çalışma ortam koşullarında oksidasyon ve sıcak korozyon davranışı, termal şok direnci, termal yorulma dayanımı, termal çevrim ömrü yanında malzemenin termo fiziksel

* Sorumlu Yazar

özellikleri: ısıl iletkenlik, ısıl genleşme, difüzyon hızı, reaksiyon kinetiği gibi faktörlerin üzerinde hassas çalışmaların yapılması zorunludur. Bunun yanında uygulamalarda kullanılacak parçanın performansı ve dayanımı yanında üretim ve şekillendirme kabiliyeti ile maliyetleri malzeme tasarımcılarının göz önünde bulundurması zorunlu kriterler arasındadır [2]. NASA her yıl milyonlarca dolar bu malzemelerin geliştirilmesi ve performanslarının artırılmasına yönelik araştırmalar için fon ayırmaktadır. 1960'lı yıllardan günümüze kadar yoğun ilgi kaynağı olan UHTC, yüksek sıcaklık uygulamalarında, çoğunlukla uzay ve havacılık araçlarında (Şekil 1) füze ve roketlerde, yüksek irtifa araçlarında, roket başlıklarında, hipersonik füzelerde, ters itme kanatlarında, stabilizatör kapaklarında, burun konisinde tercih edilen malzemelerdir [3].



Şekil 1. UHTC kullanım alanları [1,4].

Tablo 1'de sergilendiği üzere ergime sıcaklığı 2000 °C ve üzeri olan 300 civarında ileri teknoloji seramiği mevcuttur. Bunlar refrakter metallerin (M: Hf, Ti, Ta, Zr, W, Ir, Re, Nb); karbür (MC), borür (MB), nitrür(MN) ve oksitli (MO) bileşikleri şeklindedir.

Tablo 1. UHTC'lerin ergime noktaları [3].

Malzeme	Kristal Yapısı	Yoğunluk (g/cm ³)	Erimе sıcaklığı (°C)
HfB ₂	Hegzagonal	11.2	3380
HfC	YMK	12.76	3900
HfN	YMK0	13.9	3385
ZrB ₂	Hegzagonal	6.1	3245
ZrC	YMK	6.56	3400
ZrN	YMK	7.29	2950
TiB ₂	Hegzagonal	4.52	3225
TiC	Kübik	4.94	3100
TiN	YMK	5.39	2950
TaB ₂	Hegzagonal	12.54	3040
TaC	Kübik	14.50	3800
TaN	Kübik	14.30	2700

1.1. UHTC Malzemelerin Karşılaştırılması

Seramik borürler (M_xB_y); yüksek elektrik iletkenliği (~ 10⁷ S/m), termal iletkenliği (60-120 W/m.K), yüksek ergime sıcaklığı (>3000 °C), esneklik katsayısı (~ 500 GPa), ve sertliği (>20 GPa) dahil olmak üzere metallere benzer alışılmadık bir özellik kombinasyonu sunmaktadırlar. Karbürü bileşikler, borürlü bileşikler ile karşılaştırıldığında daha yüksek ergime sıcaklığına sahip olmalarına rağmen ısıl ve elektriksel iletkenlikleri nispeten daha düşüktür (ZrC- 10⁶ S/m). Özellikle TaC'ün erime noktası >3800 °C olup, diğer seramikler arasında en yüksek ergime sıcaklığına sahiptir.

Seramik borürler mükemmel oksidasyon dirençlerine sahip iken seramik karbürler CO gazı çıkarma eğiliminde olduklarından daha düşük oksidasyon direncine sahiptirler[2]. Çoğu zaman sertlik, oksidasyon direncini ve yüksek sıcaklık kararlılığını artırmak amacıyla SiC ve MoSi₂ gibi refrakterler ile birlikte kullanılırlar. Kullanım amacına, çalışma ortam özelliklerine ve çalışma sıcaklık rejimine bağlı olarak UHTC malzeme seçimi ve tasarımı yapılmaktadır. İlerleyen bölümlerde kompozisyona ve sıcaklığa bağlı olarak karşılaştırmalı özellikler sunulmaktadır.

1.2. UHTC Malzemelerin Üretim Yöntemleri ve Farklılıkları

UHTC için geliştirilen birçok üretim yöntemi mevcut olup, bu yöntemler arasında: termal plazma sentezi, sol-jel yöntemi, mikrodalga plazma, mekanik alaşımlama, hidrometalurjik sentez, yanma sentezi ve karbotermal indirgeme nitrürleme yöntemleriyle üretim yapabilmek mümkündür. Genel olarak tüm UHTC'lerin endüstriyel üretimlerinde karbotermal indirgeme ve nitrürleme yöntemi kullanılmaktadır. Laboratuvar ölçekli çalışmalarda ise çoğunlukla SHS (kendiliğinden yüksek sıcaklıkta yanma reak.) ve sol-jel yöntemleri tercih edilmektedir. Bu yöntemlerin endüstriyel boyutlu çalışmalarda kullanılmamasının başlıca sebepleri arasında zararlı emisyon gazların kullanımı ve atık gaz çıkışları, sıcaklık kontrolünün yapılamaması ya da stokiometrik oranların ayarlanmasında karşılaşılan sıkıntılar bulunmaktadır. Karbotermal indirgeme ve nitrürleme yönteminin sahip olduğu başlıca dezavantaj ise, diğer yöntemlerde de karşılaşılan çok yüksek sıcaklıklarda çok uzun sürelerde sentezlenmesi sorunudur. Bu dezavantajların ortadan kaldırılması ya da daha ekonomik ve yüksek verimli yöntemlerin geliştirilmesi konusunda çalışmalar devam etmektedir [4].

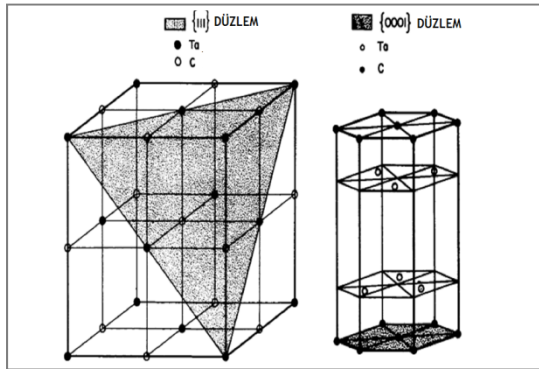
Bu çalışmada UHTC seramikleri arasından Tantalum Karbür (TaC) bileşiğinin kimyasal ve kristalin yapısı, yüksek sıcaklık özellikleri, faz yapısı ve mekanik dayanım özellikleri farklı bileşiklerle karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve irdelenmiştir. TaC esaslı bileşiklerin olası uygulama potansiyeli araştırılmıştır.

2. TANTALYUM KARBÜR VE BİLEŞİKLERİ

Tantalum Karbür bileşiğinin kimyasal formülü TaC_x ($0,4 < x < 1$) olan Tantal (Ta) ve Karbon (C) ikili kimyasal bileşiklerinin oluşturduğu bir ailedir. Son derece sert, gevrek, metal gibi elektrik iletkenliğine sahip refrakter esaslı bir seramiktir. Bilinen en yüksek ergime sıcaklığına ($3800\text{ }^\circ\text{C}$) sahiptir. TaC /Hf veya W takviyesiyle üçlü alaşım kompozisyonunun ergime sıcaklığını $4215\text{ }^\circ\text{C}$ seviyesine çıkarmak mümkündür [5].

2.1. Kristal Yapısı ve İkili Denge Diyagramı

TaC_x kimyasal bileşiği $x = 0,7-1,0$ aralığında kübik kristal yapısındadır ve latis parametresi x değeri artışıyla artar. Şekil 2'den görüleceği üzere $TaC_{0,5}$ 'in simetrik iki temel kristal formu vardır[2,3]. Aynı stokiometrik yapılar için kristal yapıda değişimler söz konusudur (Tablo 2). TaC üstün özellikleri nedeniyle Ta_2C' 'ye göre daha yüksek performans sergilemektedir. TaC, sıkı paket yüzey merkezli kübik yapıda kristalleşen bir bileşiktir. Ta ve C arasında elektronegativite yüksektir. C atomları oktahedral veya tetrahedral boşluklara yerleşmesi nedeniyle mono-karbürdür[6].

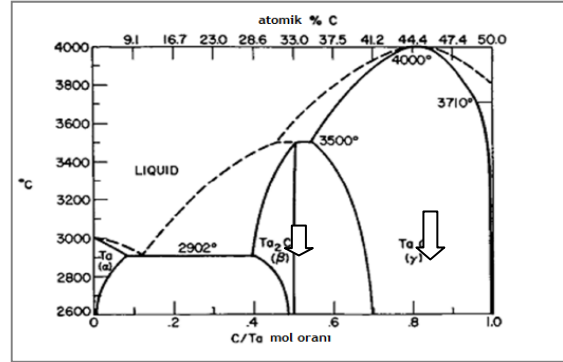


Şekil 2.(a) TaC ve (b) Ta_2C' 'nin kristal yapıları [6].

Tablo 2. TaC stokiometriye göre kristal yapısı, ρ latis parametrelerinden hesaplanan yoğunluğu [6].

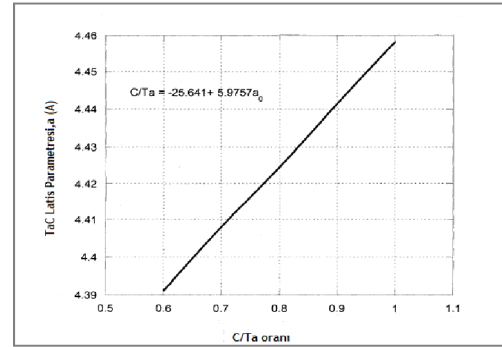
Formül	Simetri	Tipi	Z	ρ (g/cm^3)	a (nm)	c (nm)
TaC	Kübik	NaCl	4	14.6	0.4427	-
$TaC_{0,75}$	Trigonal		12	15.01	0.3116	3
$TaC_{0,5}$	Trigonal	Anti- CdI_2	1	15.08	0.3103	0.4938
$TaC_{0,5}$	Hegzagonal		2	15.03	0.3105	0.4935

Ta-C ikili denge diyagramında (Şekil 3) kararlı iki faz (Ta_2C ve TaC) bulunmaktadır. $2902\text{ }^\circ\text{C}$ 'de ötektik reaksiyon mevcuttur [7].



Şekil 3. Ta-C ikili denge diyagramı [7].

Şekil 4'de TaC için C/Ta oranı değişimine bağlı latis parametrelerinin değişimi sergilenmektedir. C oranı artışı latis parametresinin artışına etki etmektedir.



Şekil 4. C/Ta oranına bağlı latis parametresi değişimi

2.2. TaC 'ün Termofiziksel Özellikleri

TaC ve Ta_2C bileşikleri arasında stokiometri farkı nedeniyle ergime sıcaklıkları arasında belirgin bir fark vardır (Tablo 3). TaC bileşiği kristal yapısı nedeniyle daha kararlı olduğu için ergime sıcaklığı Ta_2C 'den daha yüksektir [6].

Tablo 3. 5. Grup elementleri karbürlerinin yoğunluk ve ergime sıcaklıklarının karşılaştırılması[6].

Malzeme	Yoğunluk (g/cm^3)	Ergime sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)
VC	5.65	2830
NbC	7.79	3600
TaC	14.5	3950
Ta_2C	14.8	3330

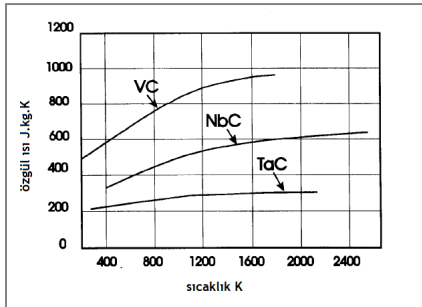
TaC'ün termal özellikleri diğer mono karbürlerle kıyaslandığında, özgül ısısının oda sıcaklığında VC'den yüksek NbC'den düşük olduğu görülmektedir. Ancak Şekil 5.(a)'da sıcaklık değişkenine bağlı olarak özgül ısıları kıyaslandığında

sıcaklık artışıyla TaC'ün özgül ısısındaki değişimin VC ve NbC'den daha az olduğu ve yaklaşık 1000 K'de hemen hemen kararlılığa ulaştığı görülmektedir. **Tablo 4**'den görüleceği üzere 20 °C'de termal iletkenliği ise VC ve NbC'ün arasında bir değerdedir ve termal genişmesi diğerlerine göre daha düşüktür. 5. Grup elementlerinin monokarbür yapılarının termal iletkenlikleri 4. Grup metal karbürlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür ve artan sıcaklıkla bu değerler artmaktadır.

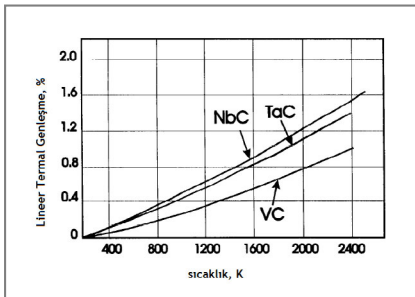
Tablo 4. Farklı karbürlerin termal özelliklerinin karşılaştırılması [6].

Malzeme	Özgül ısı (298 K'de) (J/mol.K)	Termal iletkenlik (20 °C'de) (W/m.K)	Termal genleşme (20 °C) (*10 ⁻⁶ °C)	Bağ enerjisi E ₀ , eV
VC	32.3	38.9	7.2	14.63
NbC	36.8	14.2	6.6	16.62
TaC	36.4	22.1	6.3	16.92

Özgül ısı değerlerinin sıcaklığın bir fonksiyonu olarak değişimi, **Şekil 5.(a)**'da gösterilmektedir [6]. **Şekil 5.(b)**'de sıcaklık artışıyla termal genişmelerindeki değişim sergilenmektedir. 20 °C'de elde edilen termal genişleme sonuçlarına ek, sıcaklık artışıyla VC ve NbC gibi TaC'ün de termal genişme özellikleri artmaktadır. TaC'ün 2400 K sıcaklıkta termal genişmesinin %1.4 arttığı görülmektedir. 5. Grup metal karbürlerin bağ enerjileri ve termal genişme özellikleri **Tablo 6**'da verilmiştir.



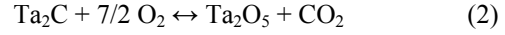
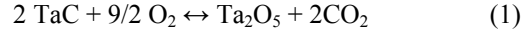
(a)



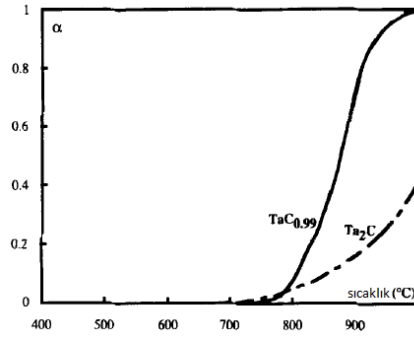
(b)

Şekil 5. Farklı karbürlerin (a) ve (b) özgül ısılarının ve termal genişme oranlarının sıcaklığa bağlı değişimi [5].

Tantalum karbürün oksidasyon davranışını inceleyen Desmaison-Brut ve ark.[7], deneylerini 750-850 °C'de oksijen ortamında gerçekleştirmişlerdir. TaC ve Ta₂C'ün oksitlenme davranışı aşağıdaki reaksiyonlara göre gerçekleşmektedir:

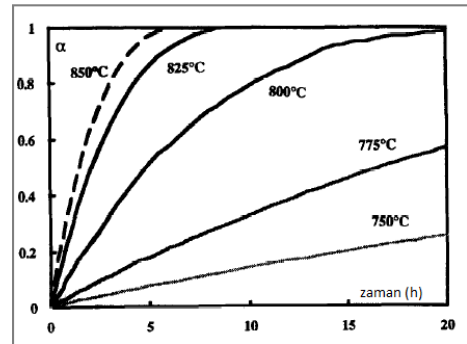


Hemikarbür ve monokarbür malzemeler için izotermal olmayan oksidasyon eğrilerinin sıcaklıkla değişimi **Şekil 6**'da sergilenmektedir. Grafikten anlaşıldığı üzere hemikarbür malzemenin oksidasyon direnci monokarbüre göre daha fazladır.



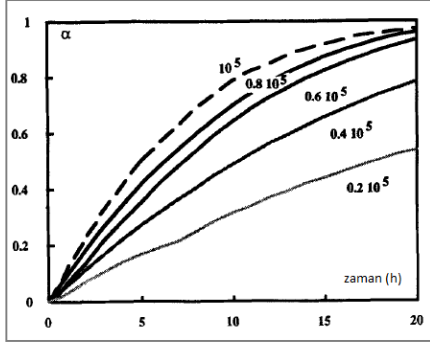
Şekil 6. TaC için izotermal olmayan oksidasyon eğrilerinin sıcaklıkla değişimi (1 atm) [7].

Atmosferik basınç altında 750-850 °C'de izotermal oksidasyon eğrilerinin zamana göre değişimi **Şekil 7**'de verilmektedir. Eğrilerin şekli düşük sıcaklıklarda yarı-doğrusal olmakla birlikte yüksek sıcaklıklarda bir yavaşlama sergilemektedir. Test numunelerinin, 850 °C'de 5 saat tutulduktan sonra tamamen oksitlendiği görülmüştür [7].

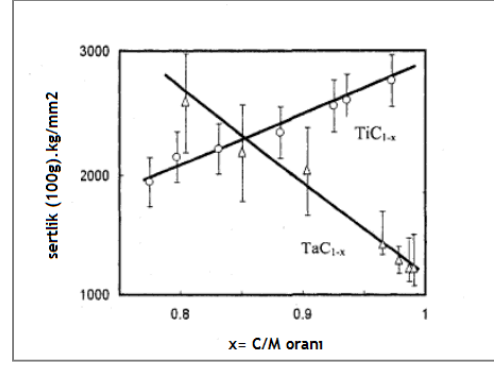


Şekil 7. TaC için izotermal oksidasyon eğrilerinin zamanla değişimi (1 atm basınç ve 750-850 °C) [7].

Aynı çalışmada izobarik oksidasyon eğrilerine basıncın etkisini gösteren grafik **Şekil 8**'de ki gibidir. 800 °C'de 0.2x10⁵-1x10⁵ Pa basınç aralığında malzemenin davranışı verilmiştir.



Şekil 8. TaC (kütlesel halde) için 800 °C'de $(0.2-1) \times 10^5$ Pa basınç değişiminde izobarik oksidasyon eğrilerinin zamanla değişimi [7].



Şekil 9. C/M oranının fonksiyonu olarak TiC_{1-x} ve TaC_{1-x} sertlik değişimleri [10].

2.3. TaC'ün Mekanik Özellikleri

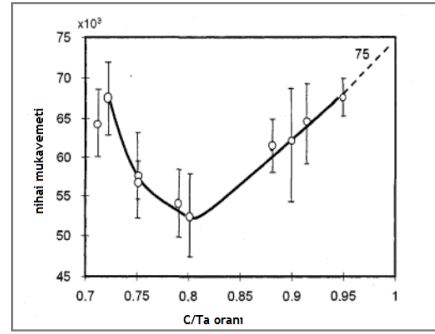
Literatürde bilinen ortalama değerlere göre 5. Grup metal karbürlerinin mekanik özellikleri **Tablo 8'**de verilmiştir. Verilen değerlerden anlaşılacağı gibi 5. Grup metal karbürler yüksek sertliğe sahip malzemelerdir. 5. Grup metal nitür ve borürlerinden daha sert olduğu görülmektedir. Aynı şekilde 6. Grup metal karbürlerinden de sert olmalarına rağmen 4. Grup metal karbürlerinin sertliği daha fazladır. Bu durumun M-C bağlarının gücünün bir sonucu olduğu düşünülmektedir[6]. TaC bileşiminde, tantal ve karbon arasında iyonik, metalik ve kovalent bağlardan oluşan karışık bir bağ vardır. Bu kuvvetli bağ sayesinde TaC ekstrem sertliğe sahip gevrek bir malzemedir. Örneğin TaC'ün mikrosertliği 1600-2000 kg/mm², elastik modülü 285 GPa iken Tantal için bu değerler 110 kg/mm² ve 186 GPa'dır. TaC_x içindeki Karbon içeriğinin artışıyla sertlik ve kesme gerilimi de artmaktadır[8,9]. Ayrıca literatürde TaC'ün eğme mukavemeti 590 MPa, basma dayanımı 2700 MPa ve sürtünme katsayısı 0.07 olarak geçmektedir[10].

Tablo 5. 5. Grup metal karbürlerin 20 °C'de mekanik özellikleri[6].

Bileşik	Vickers sertliği (GPa)	Young modülü (GPa)	Shear modülü (GPa)
VC	27.2	430	-
NbC	19.6	338-580	214
TaC	16.7	285-560	214

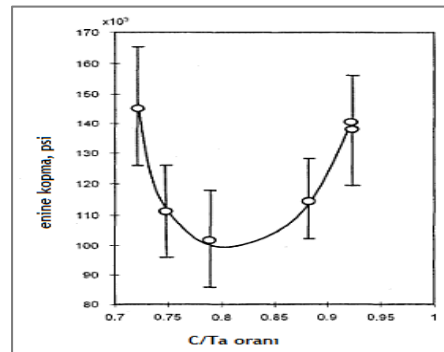
Steinitz[10], metal karbürlerin mekanik özelliklerini incelediği çalışmalar sonucunda, mekanik özelliklerin C/metal oranına bağlı olduğunu saptamıştır. **Şekil 9'**da görülmektedir ki TiC_{1-x} için C/M oranıyla birlikte sertlikte artış gözlenirken, TaC_{1-x} 'de azalma olmaktadır. Aynı grafikten elde edilen bilgilere göre, TaC maksimum sertlik değerini C/Ta oranının %0.8 olduğu aralıktadır.

Şekil 10'den görülmektedir ki en düşük mukavemet değerleri $TaC_{0.8}$ de elde edilmiştir. Minimum çekme dayanımı $TaC_{0.8}$ 'de 358 MPa iken $TaC_{1.0}$ da 517 MPa değerlerine sahiptir.



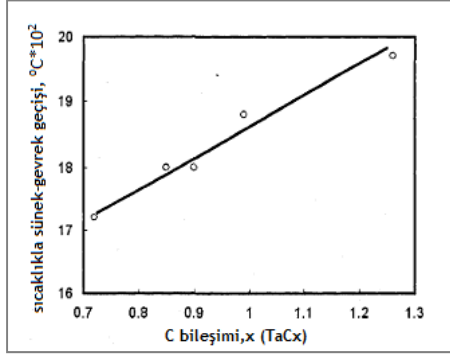
Şekil 10. C/Ta oranının bir fonksiyonu olarak nihai çekme dayanımı [10].

Santoro [11], çalışmaları sonucunda bulduğu eğme mukavemet değerleri **Şekil 11'**de sergilenmektedir. Çalışmada elementlerin direk reaksiyonuyla elde edilmiş TaC tozlarının, vakum altında ağırlıkça %4 Co ile birlikte 2000 °C'de sıcak preslenmesiyle elde edilen numuneler kullanılmıştır. Minimum eğme mukavemeti değeri $TaC_{0.81}$ molar oranında elde edilen 690 MPa değeridir. Bu değer literatürde bulunan en yüksek değer olarak kabul edilmektedir.



Şekil 11. C/Ta oranına göre enine kopma mukavemeti [11].

Şekil 12'de sünek-gevrek geçiş sıcaklığının bileşikteki C miktarıyla değişimi sergilenmektedir. Şekilden görüldüğü üzere C molar oranının artışıyla geçiş sıcaklığı lineer olarak artış göstermektedir. C oranının düşük olduğu bileşimlerde kafeste bulunan boşluklar nedeniyle dislokasyon hareketi kolaydır. C molar oranı azaltılarak malzemenin gevrek karakterini de kontrol etmek mümkündür. Bu davranış aynı zamanda bileşiğin deformasyon davranışını anlamamıza da yardımcı olmaktadır [12].



Şekil 12. TaC bileşiğindeki C miktarının, sıcaklıkla sünek-gevrek geçişine etkisi [12].

2.4. Elektriksel Özellikleri

Seramik malzemeler iyonik ve kovalent bağlarından dolayı genellikle elektriksel yalıtkan malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Ancak 5. Grup metal karbürler metalik bağ da içeren karışık atom bağları nedeniyle elektriksel olarak iletkenliğe sahiptir [13]. **Tablo 6'**da 5. Grup metal karbürlerin elektriksel özellikleri verilmektedir.

Tablo 6. 5. Grup metal karbürlerin elektriksel özellikleri[6].

Bileşik	20 °C'deki elektriksel özdirenci (mΩ.cm)	20 °C'deki Hall sabiti (10 ⁻⁴ .cm ³ /A.s)	Manyetik duyarlılık 10 ⁻⁶ emu/mol
VC	60	-0.48	+35
NbC	35	-1.3	+20
TaC	25	-1.1	+12

Tablo 6'dan da anlaşılacağı gibi metal-karbürlerin elektriksel özdirençleri bu karbürleri oluşturan metallere biraz daha yüksektir. Bunun nedeni ise metal atomlarında bulunan kuvvetli metalik bağlardır. 5. Grup metal karbürler, 5. Grup metal nitritlere göre daha yüksek dirence sahip olmalarına rağmen, 5. Grup metal borürlerden daha düşük direnç göstermektedir. Hall sabiti 4. Grup metal karbürlerine benzer şekilde negatif değerler almıştır[6].

3. KULLANIM ALANLARI

TaC karakteristik özellikleri sayesinde birçok kullanım alanına sahiptir [15].

Difüzyon bariyeri, dielektrik: İletken ve düşük çözünürlükte bileşikler olmaları nedeniyle, metallere difüzyon bariyeri uygulamalarında kullanılırlar. Örneğin Si ve Cu arasına kaplanması durumunda elektrik iletkenliği sağlarken, Cu ve Si'un birbirine difüzyonunu engellemektedir[16].

Tane boyut kontrolü: WC esaslı bileşiklerde ve Sermetlerde tane büyümesini engeller ve sertlik artışına neden olur [17].

Termal şok direnci: Roket nozullarında ve uzay uygulamalarında termal yöntemlerle kaplanarak nozulun termal şok direncini artırmada kullanılır. Düşük termal özellikleri sayesinde, kaplamalar yüksek sıcaklıklarda yüzeye rahatça tutunabilmektedir [17].

Oksidasyon direnci: Karbon-karbon kompozitlere uyumludur ve üstlerinin kaplanması halinde oksidasyon direncini artırır [18].

Tribolojik özellikler: Yüksek sıcaklıklarda yapılarını korumaları, termal şok dirençleri ve inert özellikleri sayesinde aşınmaya karşı kullanılabilirler. Sürtünme katsayısı düşük olduğu için çelik veya alüminyum yüzeylere kaplanarak ana malzemeyi koruduğu belirtilmiştir [18].

Kesici takımlarda kaplama olarak: Takım çeliklerinin yüzeylerine kaplanmasıyla tribolojik özelliklerinde artış sağlanmıştır [17].

Uzay ve havacılık uygulamalarında: Yüksek sıcaklık oksidasyon direnci, termal şok direnci, faz stabilitesi açısından TaC_x avantaj sağlamaktadır.

4. SONUÇ

Ultra yüksek sıcaklık seramikleri uzay ve havacılık sektörünün yoğun ilgisini çeken ileri teknoloji, yüksek ergime noktalı ve yüksek sıcaklık koşullarına dirençli ileri teknoloji seramik malzeme grubunu oluşturmaktadır. Bu seramikler arasında karbürü (TiC, TaC), borürlü (TiB, ZrB₂) ve nitritli (HfN, TiN, ZrN) bileşikler bulunmaktadır. Bunlar arasında Tantalyum hem karbürü, hem borürlü hemde nitritli bileşik yapma kabiliyetine sahip refrakter esaslı bir seramiktir. Özellikle tantalyumun karbürü bileşikleri hem yüksek sıcaklık performansı hemde aşınma ve mekanik dayanım özellikleri ile ilgi çekmektedir[19]. Tantalyum karbür bileşikleri: TaC, Ta₂C bileşikleri kararlı bileşik özellikleri sergilemektedir. İçeriğinde ki Karbon miktarıyla TaC'un mekanik özellikleri büyük değişkenlik göstermektedir. En düşük sertlik değerlerinin TaC_{0.080} bileşiminde elde edildiği görülmüştür. Ekstrem sertlik özellikleri nedeniyle

birçok kaplama uygulamasında da kullanılmakta olan TaC, literatürde daha çok metal matrisli kompozit malzemelerde takviye karbür bileşeni halinde incelenmektedir.

TaB₂ bileşiğine göre TaC'ün düşük oksidasyon direncine sahip olması nedeniyle daha çok üçlü bileşikler yapılarak oksidasyon direnci artırılmaya çalışılmaktadır. Bunun yanında TaC'ün ekstrem ergime sıcaklığı, bilinen malzemeler arasında en yüksek ergime sıcaklığı olmakla birlikte, Ta-Hf-C üçlü bileşiklerinin ergime sıcaklığı 4215 °C'leri bulunmaktadır.

Üretim yöntemleri diğer ileri teknoloji seramiklerinin olduğu gibi birçok farklı şekilde üretimi görülebilen, endüstriyel boyutlarda üretim yapmak için karbotermal indirgeme yöntemleri daha yüksek verimlilikle kullanılmaktadır.

TaC'ün 20 °C'de termal iletkenliği, diğer 5. Grup metal karbürlerine göre ortalama bir değerdedir ve termal genişmesi diğerlerine göre daha düşüktür. 5. Grup elementlerinin monokarbür yapılarının termal iletkenlikleri 4. Grup metal karbürlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür ve artan sıcaklıkla bu değerler artmaktadır. TaC'ün 2400 K sıcaklıkta termal genişmesinin arttığı görülmüştür.

TaC_x'in manyetik özellikleri $x \leq 0.9$ olduğu durumlarda diamanyetik iken x 'in daha büyük değerleri için paramanyetikdir. İletken ve düşük çözünürlükte bileşikler olmaları nedeniyle, metallerde difüzyon bariyeri uygulamalarında kullanılırlar.

5. KAYNAKLAR

- [1] Fahrenholtz W. G., Hilmas G. E., *Ultra High Temperature Ceramics-An Introduction to Ultra High Temperature Ceramics*, Materials Thought Leaders Series, (2010).
- [2] Wuchina E., Opila E., Opeka M., Fahrenholtz W., Talmy I., *UHTCs: Ultra-High Temperature Ceramic Materials for Extreme Environment Applications*, The Electrochemical Society Interface, 30-36, (2007).
- [3] Cottan J., *Ultra High Temperature Ceramics, Advanced Materials and Processes*, 26-28, (2010).
- [4] Türker E. B., *Dinamik Karbotermal İndirgeme-Nitrürleme Yöntemiyle TiC Seramik Tozu Üretimi*, (Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Üniversitesi, (2013).
- [5] Schultz B. C., *Processing and Characterization of Tantalum-Hafnium Carbide*, (Yüksek Lisans Tezi), The University of Alabama, (2011).
- [6] Hugh O. Pierson, *Handbook Of Refractory Carbides and Nitrides*, Noyes Publication, (1996).
- [7] Desmison-Brut M., Alexandre N., Desmison J., *Comparison of the Oxidation Behaviour of Two Dense Hot Isostatically Pressed Tantalum Carbide Materials*, Journal of European Ceramic Society, 1325-1334, (1997).
- [8] Pierrat B., *Oxidation of an Ultra High Temperature Ceramics*, (Yüksek Lisans Tezi), Lulea University of Technology, (2010).
- [9] Torre L. L., Winkler B., Schreuer J., Knorr K., Borja M. A., *Elastic Properties of Tantalum Carbide*, Solid State Communications, 134, 245-250, (2005).
- [10] S.H. Jhi, S.G. Louie, M.L. Cohen, J. Ihm, *Vacancy hardening and softening in transition metal carbides and nitrides*, Phys. Rev. Lett. 86 (15) (2001) 3348-3351.
- [11] Steinitz R., *Mechanical Properties of Refractory Carbides at High Temperature, 75-100*, in Nuclear Applications of Nonfissile Ceramics, Hinsdale, IL, (1966).
- [12] Santoro G., Dollof R. T., *Hall coefficient of Tantalum Carbide as a Function of Carbon Content and Temperature*, Journal of Applied Physics, 39-5, (1968).
- [13] Zhang X., *Densification and Mechanical Properties of Tantalum Carbide and Tantalum Diboride Ceramics*, Missouri University of Science and Technology, UMI Microform 3340629, (2008).
- [14] Toplan H. Ö., *İleri Teknoloji Seramikleri*, SAÜ/ Müh. Fak./ Lisans Ders Notları, (2014).
- [15] Keskin B., *Sıcak Filaman Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemiyle TaC Üretimi ve Karakterizasyonu*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, (2011).
- [16] Imahori J., Oku T., Murakami M., *Diffusion barrier properties of TaC between Si and Cu*, Elsevier, Thin Solid Films, Volume 301, Issues 1-2, 1 June 1997, pp 142-148.
- [17] Podgornik B., Hogmark S., Sandberg O., *Influence of surface roughness and coating type on the galling properties of coated forming tool steel*, Surface and Coatings Technology, Volume 184, Issues 2-3, 22 June 2004, pp 338-348
- [18] Dong a Z.J., Li X.K., Yuan G.M., Cong Y., Li N., Hu Z.J., Jiang Z.Y., Westwood A., *Fabrication of protective tantalum carbide coatings on carbon fibers using a molten salt method*, Elsevier, Applied Surface Science, Volume 254, Issue 18, 15 July 2008, pp 5936-5940.

[19] Altuncu E. *Yüksek Sıcaklık Alaşımları ve Kaplamalar*; SAÜ, FBE, Y.lisans, Ders Notları, (2014).

ÖZGEÇMİŞLER

Sevim Gökçe ESEN

1 Mart 1989 yılında Ankara’da doğdu. İlköğretim ve Lise eğitimlerine Aydın’ın Söke ilçesinde devam etti. 2008 yılında Giresun Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümüne yerleşti ve 2012 yılında bölümünü birincilikle bitirdi. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Bu süre içinde ileri teknoloji seramikleri ve üretim yöntemleri konusunda farklı projelerde yer aldı. Aralık 2014 tarihlerinde Sakarya Üniversitesi Termal Sprey Teknolojileri Araştırma ve Uygulama Laboratuvarında yürütülmekte olan San-Tez projesinde proje asistanlığına başladı. Devam etmekte olan SanTez projesinin tez öğrencisi olup laboratuvar çalışmalarına devam etmektedir.

Yrd. Doç. Dr. Ekrem ALTUNCU

Lisans derecesini Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde Metalurji Mühendisliği bölümünden (2001); Yüksek lisans derecesi, Kocaeli Üniversitesi FBE. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği ABD. ‘dan, Doktora derecesini Sakarya Üniversitesi FBE. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Malzeme ABD’den almıştır. 2004-2013 yılları arasında Kocaeli Üniversitesinde Ar. Gör ve Öğretim Görevlisi olarak çalışmış, Malzeme bilimi, Isıl işlem, Yüzey İşlem Tahribatlı ve Tahribatsız Muayene derslerini vermiştir. Aynı zaman zarfı içerisinde Sakarya Üniversitesi Termal Sprey Teknolojileri Araştırma Merkezinde araştırmalarını sürdürmüştür. 2013 yılından beri Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde Öğretim Üyesi olarak çalışmakta ve Malzeme bilimi, Yüzey kaplamalar, Metalografi derslerini yürütmektedir. Uzmanlık alanı yüzey mühendisliği, yüksek sıcaklığa dirençli uzay ve havacılık malzemeleri, termal sprej kaplama teknolojileridir. Konusunda yurt içi ve yurt dışı bildiri ve makaleleri bulunmaktadır. Endüstriyel ve akademik proje çalışmalarına devam etmekte olup sektörde danışmanlık hizmeti vermektedir.