



İleri seramiklerin özellikleri ve kullanım alanları

Heydar Dehghanpour

Özet

Bu çalışmada ileri seramiklerin özellikleri ve kullanım alanı araştırılmıştır. Seramikler genellikle çok sert malzemelerdir bu yüzden aşınma ve korozyona dayanıklılıkları yüksektir, ve metal ve metal alaşımlarının arzu edilen aşınma ve korozyon dayanımı gibi özelliklerini sağlamak amacıyla malzeme yüzeylerine çeşitli yöntemlerle ince seramik kaplamalar uygulanır. Bu söz konusu olan seramikler birçok oksitler, karbürler ve nitrürler gibi inorganik kristal yapılı malzemelerdir, ki bu çalışmada birkaç tane önemlilerinden (Al_2O_3 , ZrO_2 , SiO_2 , TiO_2 , MgO , ZnO , SiC , B_4C , TiC , Si_3N_4 , TiN , ZrN) araştırılmıştır.

1.Giriş

Bir seramik malzeme, metal ve metal olmayan inorganik bir bileşik tanımlanabilir. Seramik malzemeler, kırılğan ve sert, güçlü bir malzemelerdir. İleri seramik malzemeler hem aşınma ve korozyonkarşı korucu olarak yüzey alanlara kaplama halinde uygulanabilir, hemde nano parçacık, visker, fiber veya levha şeklinde polimer veya metal malzemeler ile kompozit halinde kullanabilir. Kaplama nedir? Genel olarak kaplama kalınlığı esas malzemeden daha düşük olan bir levhadır ki bu levha esas malzemeden arzu edilen özellikler amacıyla her hangi bir yöntem ile esas malzeme üzerine kaplanır. Sertliği yüksek olan bir malzemeni yumuşak bir malzeme üzerine kaplanması ile yumuşak malzemenin sertliği bu malzemenin ağırlığı artmadan oldukça artır, dolayısıyla hafif bir malzeme elde edilir. Örneğin metallerin korozyon ve aşınma direncisini kaplamalar ile mümkündür. O kaplamalarda ki kullanılan malzeme boyutları nano metre boyutundadır nano kaplamalar adlanır. Nano kaplamalar ile genel kaplamalar arasındaki fark bu kaplamaların mekaniksel özellikleri ve korozyona karşı dayanımıdır, nedeni nano boyutunda olurken parçacıkların yüksek alana sahip olmalarıdır. Metal ve metal alaşımlarının arzu edilen aşınma ve korozyon dayanımı gibi özelliklerini sağlamak amacıyla malzeme yüzeylerine çeşitli yöntemlerle ince seramik kaplamalar uygulanır. bu yöntemlerin uygulamalarda en

görülebilirleri plazma püskürtme yöntemi, HVOF yöntemi ve Arc spray yöntemidir.

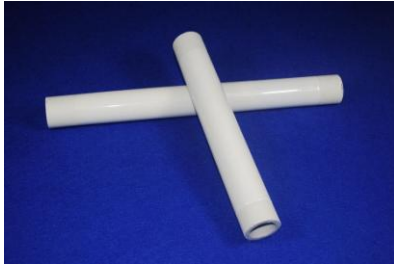
Günümüzde seramik kaplamaları çeşitli alanlarda kullanılır, örneğin uzay araçları, sporculuk, gıda kapları ve oyerlerde ki aşınma ve korozyon gibi faktörlerin engellenmesi söz konusudur kullanılabilir. termal direnci ve sertlik gibi özelliklerinden dolayı ileri seramikler araba ve kamyonların motorlarında kullanılır.

Al_2O_3

Beyaz toz halinde olan alüminyum oksit doğada çok bulunduğu için ve iyi özelliklere sahip olduğundan dolayı en önemli seramik malzemelerdendir, ve birçok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Bu seramiğin birçok özellikleri arasında, mekaniksel ve fiziksel özelliklerinden örneğin; yüksek sertlik ve yüksek ergime noktası göxlenmektedir, bu özelliklerin sayesinde Al_2O_3 korozyona dayanıklı boru ve kanallar, pompa ve vafferler gibi birçok endüstri parçaların yüzeyine kaplanır. yüksek ergime noktasına sahip olduğundan dolayı metallerin kesici aleti olarak kullanılır. Ayrıca bu seramiğin aşınma direnci yüksek olduğundan dolayı aşındırıcı madde de olarak kullanılır.



Şek1;Al₂O₃ tozu



Şek2;Al₂O₃ den yapılmış boru

SiO₂

Silika, silikon dioksittir, yani yer kabuğunu ve bildiğimiz kaya türlerinin yüzde 95'ini oluşturan maddedir ve SiO₂ olarak gösterilir. Silikanın kuvars, tridimit, ve kristobalit olmak üzere üç ana kristalin çeşidi vardır. Şekilsiz (amorft) silikanın, kristalin olmayıp camsı bir çeşidi olan lekatolierit isimli bir madde vardır. Bu şekilsiz silika öğütüldüğünde elde edilen maddeye silika unu denir. Silika tozu ile silika unu genellikle birbirine karıştırılır. Silika mineralleri topraktan çıkarıldıktan sonra, kullanılacakları amaçlara uygun olarak ezilir ve çok ince toz haline getirilir. Bu toz paketlenerek piyasaya sürülür ve genellikle inşaat malzemeleri ve de çimento vs yapımında katkı maddesi olarak kullanılır.

Siliko, kristalin silikanın (toz silika) neden olduğu ciddi, sakat bırakan hatta zaman zaman ölümcül bile olabilen bir ciğer hastalığının adı. Bu hastalık ciğerlerde geri dönüşü olmayan hasar bırakıyor. Hastalığın tedavisi yok ancak kristalin silika ile çalışılırken hastalığa yakalanmamak için yüzde yüz koruyucu önlem alınabiliyor. Yani hastalık yapıcı ve çevreye zarar veren silika tozudur. Silika unu ise solunum yoluyla vücudumuza

girse bile çok az zarar veren bir maddedir. Silika tozu fabrika ve çevresinde ciddi hava kirliliğine neden olur.



Şek3;silika



Şek4;Silikadan yapılmış cam

TiO₂

Titanyumdioksit, oksijenle tepkimeye girmiş titanyum elementidir. Bu bileşiğin en önemli kullanım alanı güneş pilleridir. Nano teknolojik boyalar özelliğini titanyumdioksitten almaktadır. UVA ve UVB ışınlarını önler. Ayrıca değerli bir maddedir.

Titanyum dioksit yapı olarak beyaz ve tebeşirimsi bir görüntüye sahip. Her ne kadar UV ışınlarını yansıtsa da, bazen yüksek oranda titanyum dioksit içeren ürünleri kullandığınızda beyaz, tebeşirimsi bir sonuç elde edebilirsiniz.

Bilimsel çalışmalar Titanyum Dioksidin ciltten içeriye geçmediğini, transdermal emilme olmadığını gösteriyor. Buna ek olarak, her ne kadar Titanium Dioksit komedojenik olmayan, yani sivilce yapmayan madde olarak tanımlansa da, bazı hassas yapılı veya akneye yatkın ciltler yüksek oranda Titanium Dioksit içeren ürünlere (porların tıkanması, sivilce vb.) reaksiyon gösterebilirler. Yüksek düzeyde güneş koruma faktörü SPF 'e ulaşmak için çok yüksek miktarda Titanium Dioksit

kullanıldığında ürünün yapısı ağır ve kalın olabiliyor.

Titanyum dioksit'in fotokatalitik etkisi ışıkla bir araya geldiğinde temas ettiği organikleri parçalama şeklinde olmaktadır. Bu durum pozitif anlamda kullanıldığında çevremizdeki havada, suda ve çeşitli yüzeylerin üzerindeki istenmeyen organiklerin (kir, mikrop, bakteri, koku ve zararlı organik kimyasallar) yok edilmesi anlamını taşımaktadır.



Şek5;TiO2 kaplanan yüzeylerin kendi kendine temizlenmesi



Şek6;TiO2 den yapılmış güneş pili

MgO

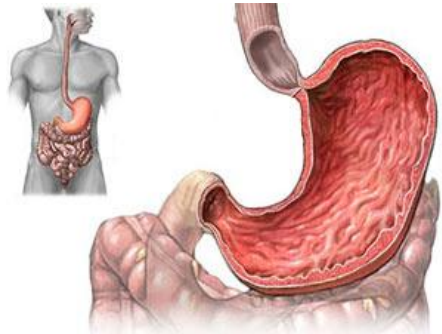
Magnezyum oksit, magnezyum karbonat ya da magnezyum hidroksit kalsinasyonu ile ya da ısının, ardından kireç ile magnezyum klorür muamelesi ile üretilmektedir. Bir refrakter malzeme, yüksek sıcaklıklarda, fiziksel ve kimyasal olarak kararlı olan bir bileşendir. "Bugüne kadar dünyada magnezyum en büyük tüketici, 2004 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde magnezyum yaklaşık% 56 tüketilen refrakter sanayi olduğunu, geri kalan% 44 tarım, kimya, inşaat, çevre, ve diğer endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. MgO, kuru işlem tesislerinde Portland çimento yapmak için ham malzemelerden biridir. Çok fazla MgO ilave edilirse, çimentonun yoğunluğu düşebilir.Serpantin ve atık Karbon dioksit kullanılarak MgO esaslı çimento üretimi CO2 salımlarının azaltılabilir. Tıpta,

magnezyum oksit, bir antasit magnezyum takviyesi olarak ve kısa vadeli bir laksatif olarak, mide ve boğaz tedavisi için kullanılır. Ayrıca hazımsızlık belirtileri iyileştirmek için kullanılır. Magnezyum oksit yan etkiler arasında bulantı ve kramp içerebilir.Bir müşil etkisi elde etmek için yeterli miktarda, uzun süreli kullanımda yan etkileri bağırsak tıkanması sonucu enteroliths içerir.

Magnezyum oksit kolayca toz elde edilir, parlak bir ışık altında okside magnezyum şeridi yanma ile yapılır. Ancak, parlak alevle söndürmek çok zordur ve UV ışık zararlı yoğunluğunu yayar. Magnezyum oksit dumanlarının solunması metal dumanı ateşe neden olabilir.



Şek7;MgO din inşaatta kullanılması



Şek8;MgO din mide ve boğaz tedavisi için kullanılması

ZnO

Çinko oksit, formül ZnO ile bir inorganik bileşiktir. ZnO suda çözünmez beyaz bir tozdur ve yaygın olarak lastikler, plastik, seramik, cam, çimento, yağlayıcılar, boyalar, merhemler, yapıştırıcılar, sızdırmazlık maddeleri, pigmentler, gıdalar, piller de dahil olmak üzere çok sayıda madde ve ürünlerin bir katkı maddesi olarak kullanılır , ferritler, yangın geciktiriciler, ve ilk yardım bantlar. Bu mineral zincite gibi doğal olarak ortaya çıkar ancak çoğu çinko oksit sentetik olarak üretilir.

Çinko oksit tozu içeren boyalar uzun metaller için antikorozif kaplama olarak kullanılmıştır. Bunlar, galvanizli demir için özellikle etkilidir. Demir, organik kaplamalar ile tepkime kırılganlık ve yapışma eksikliğine yol açar, çünkü koruma için zordur. Çinko oksit boyalar uzun yıllardır bu tür yüzeyler üzerinde esneklik ve bağlılığı korur. ZnO Al, Ga, In veya katkılı yüksek n-tipi şeffaf ve iletken. ZnO: Al kaplamaları enerji tasarrufu veya ısı koruyucu pencereler için kullanılır.

Seramik sanayi seramik glaze ve frit bileşimlerinde, özellikle çinko oksit, önemli miktarda tüketir. Genişleme katsayısı nispeten düşük olduğundan dolayı, ZnO, nispeten yüksek ısı kapasiteli, termal iletkenlik ve yüksek sıcaklık kararlılığı seramik üretiminde arzu edilen özelliklerdir. ZnO'din erime noktası ve glazeliği, emaye ve seramik formülasyonlar optik özelliklerini etkiler. Çinko oksit nanorod sensörleri nedeniyle gaz moleküllerinin adsorpsiyonu için çinko oksit nanotellerin üzerinden geçen elektrik akımı değişiklikleri tespit cihazlardır. Hidrojen gazına seçicilik nanorod yüzeyinde Pd kümeleri püskürtülmesi ile elde edilmiştir. Pd ek sensör cihazın hassasiyetini arttırarak, atomik hidrojenin içine hidrojen moleküllerinin katalitik ayrışma etkili olduğu görülmektedir. Oksijene yanıt gelmemesi ise sensör, aşağı oda sıcaklığında milyonda 10 kısım hidrojen konsantrasyonları algılar.

Seramik ve cam sanayinde ısı ve mekanik şoklara karşı direncini ve malzemenin parlaklığını arttırır. Camın optik özelliklerini geliştirir. Metal kaplama sanayinde, çeşitli metal yüzeylerin kaplamasında ve korozyona karşı korunmasında ayrıca elektriksel direnci arttırdığı için elektrikli ev aletlerinin yüzey kaplamasında kullanılır.



Şek9;ZnO din lastiklerde kullanılması



Şek10;ZnO din plastiklerde kullanılması

SiC

Zımpara olarak bilinen silikon karbür (SiC), silikon ve kimyasal formülü SiC olarak karbon içeren bir bileşiktir. Bu son derece nadir mineral moissanite gibi doğada oluşur. Silisyum karbür toz aşındırıcı olarak kullanılmak üzere 1893 yılından bu yana kitlesel üretilen olmuştur. Silisyum karbür Grains, araba fren, araba kavramalar ve kurşun geçirmez yelekler seramik plakalar olarak yaygın olarak yüksek dayanıklılık gerektiren uygulamalarda kullanılan çok sert seramik oluşturmak için sinterleme ile birbirine bağlanabilir. Erken radyolar ışık yayan diyotlar ve dedektörler olarak silisyum karbür elektronik uygulamaları ilk kez 1907'de gösterildi ve bugün SiC yaygın high-temperature/high-voltage yarı iletken elektronik kullanılır. Silisyum karbür büyük tek kristalleri Lely yöntemi ile yetiştirilebilir, bunlar sentetik moissanite olarak bilinen taşlar halinde kesilebilir.

Saf silisyum karbür SiC tozu 2500 ° C de silisyum, karbon, silikon dicarbide (SiC₂) ve bir argon gazı ortam içinde disilicon karbür (Si₂C) yüksek sıcaklık türlerine süblime edildiği sözde Lely işlemi ile yapılabilir C ve pul gibi tek kristaller halinde yeniden birikmekte, biraz daha soğuk yüzeyde, 2 × 2 cm kadar büyüklükte. Bu süreç çoğunlukla 6H-SiC faz yüksek kaliteli tek kristalleri, verir. Grafit potalar indüksiyon ısıtma içeren değiştirilmiş bir lely işlem olup, geleneksel Lely işleme kıyasla 81 kat daha büyük bir kesite sahip olan, çapı 4 inç (10 cm) daha büyük, tek kristaller elde edilir. Kübik SiC genellikle, kimyasal buhar biriktirme (CVD) daha pahalı

bir süreç ile yetiştirilir. Homoepitaxial ve heteroepitaxial SiC katmanları gaz ve sıvı faz yaklaşımları hem de istihdam yetiştirilebilir. Saf silikon karbid düşük ısılarda da inert bir atmosfer altında, bir polimer, poli termal ayrışma ile hazırlanabilir. Polimer önce termalizasyon için seramik içine çeşitli şekillerde oluşturulabilir, çünkü CVD işlemi ile karşılaştırıldığında, piroliz yöntemi avantajlıdır. Silisyum karbür 250 kristal halinde biçimlerinde mevcuttur. SiC polimorfizmi politipine adlandırılan benzer kristal yapıların büyük bir aile ile karakterize edilir. Böylece, belirli bir sırayla istiflenmiş katmanları olarak görüntülenebilir.

Alpha silisyum karbür (SiC α -), en sık karşılaşılan polimorfudur, bu yüzden 1700 ° C'den daha yüksek sıcaklıklarda oluşan bir altıgen kristal yapıya sahiptir. Beta modifikasyonu (β -SiC), (elmas benzeri) bir çinko blend kristal yapıya sahip olan, 1700 ° C'nin altındaki sıcaklıklarda oluşturulur. Artık alfa formu ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir yüzey alanı nedeniyle, heterojen katalizörler için bir destek olarak kullanımı giderek artan bir ilgi, ancak Yakın zamana kadar, beta formu, göreceli olarak az sayıda piyasada kullanılabilirler.



Şek11;SiC ün kurşun geçmez yeleklerde kullanılması

B4C

Bor karbür (kimyasal formülü yaklaşık B₄C) tankı zırh, kurşun geçirmez yelek ve çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılan son derece sert bir bor-karbon seramik malzemedir. Yaklaşık 9,497 bir Mohs sertliği ile, kübik bor nitrür ve elmas arkasında, bilinen en sert malzemelerden biridir. Uzun

ömürlü radyonüklidleri oluşturan olmadan nötronları absorbe etmek için bor karbür yeteneği nükleer santrallerde ortaya çıkan nötron radyasyonu için bir emici olarak cazip kılmaktadır. Bor karbür Nükleer uygulamaları koruma, kontrol çubuğu ve pelet kapatıldı içerir. Kontrol çubukları içinde, bor karbür, genellikle yüzey alanını arttırmak için, toz halinde elde edilir.

Bor karbür, yüksek sertlik, nötronların (nötronların karşı yani iyi koruma özellikleri) emilmesi için yüksek enine kesite, iyonlaştırıcı radyasyona stabilize ve birçok kimyasal maddeye sahip olan bir sağlam bir madde olarak bilinir. Onun Vickers sertlik (38 GPa), Elastik Modülü (460 GPa) ve kırılma tokluğu (3.5 MPa · m^{1/2}) elmas için ilgili değerleri 115 GPa ve 5.3 MPa · m^{1/2}.



Şek12;B4C ün roketlerde kullanılması

TiC

Ticari olarak araç bit kullanılır, ve esas olarak NaCl-tipi gibi yüzey merkezli kübik kristal yapıya sahip siyah toz görünümündedir. Bu malzeme esas olarak sık sık yüksek kesme hızında makine çelik malzeme için kullanılan sermetlerin, hazırlanmasında kullanılır.

Tungsten karbür-kobalt malzemenin oksidasyonu ile aşınma ve korozyona karşı direnç , artırılabilir. Bu, orijinal malzemeden daha kırılğan ve kırılmaya karşı duyarlı olan bir katı çözelti oluşturur. Tungsten içerik olmadan Alet bitleri kesme hızı, hassasiyet ve iş parçasının düzgünlüğünü arttırmak, nikel-kobalt matris sermet titanyum karbür yapılabilir. Bu materyal bazen yüksek teknoloji seramik denir ve uzay atmosferik iniş için bir ısı kalkanı olarak kullanılmaktadır. Madde ayrıca cilalı ve çizilmeye dayanıklı saatler kullanılabilir.

Si3N4

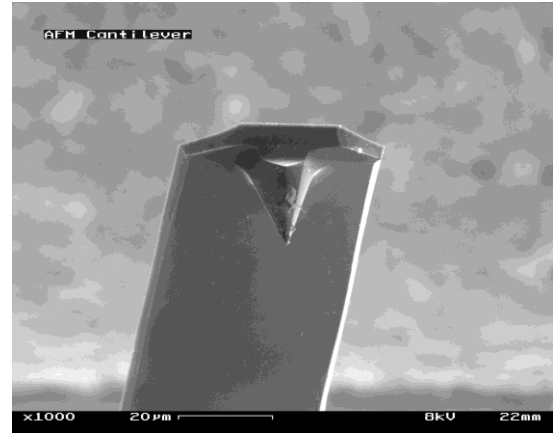
Silisyum nitrür Formül Si_3N_4 Formül ile , silikon ve nitrojen elemanlardan oluşan bir kimyasal bileşiktir. Bu seyreltik HF ve sıcak H_2SO_4 ile saldırıya uğrayan, nispeten kimyasal inert bir katı, beyaz, yüksek erime noktası sahiptir. Silikon nitrit termo dinamik olarak en kararlı malzemedir. Bu yüzden, Si_3N_4 , silikon nitrit ticari açısından en önemli olan ve genel olarak kullanılan malzemedir. Sinterlenmiş silisyum nitrür en önemli uygulamalarından biri motor parçaları için bir malzeme olarak bir otomobil sektöründe yer almaktadır. Daha düşük emisyon değerleri için Ön yanma (girdap odaları), hızlı start-up ve düşük gürültü; düşük motor lag ve emisyonları için turbo olanlar, Dizel motorlarda, hızlı start-up için glowplugs içerir. Kıvılcım ateşlemeli motorlarda, silisyum nitrür düşük aşınma, düşük atalet için turboşarj ve daha az motor lag için külbütör pedleri için kullanılır ve artan ivme için egzoz gazı kontrol valfleri. Üretim seviyelerinin örnekleri olarak, her yıl tahminen 300.000'den fazla sinterlenmiş silisyum nitrür turbo yapılır. Silisyum nitrür rulmanlar her ikisi de tam seramik rulmanlar ve çelik seramik ve yarışlarda topları ile hibrid seramiklerdir. Silisyum nitrür uzun yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılmaktadır. Özel olarak, bu ağır termal şok ve hidrojen / oksijen roket motorları üretilen termal gradyanlar hayatta kalma yeteneğine sahip birkaç yekpare seramik malzeme olarak tespit edilmiştir. Karmaşık bir yapılandırma bu yeteneği göstermek için, NASA bilim adamları bir-inç çapında, tek parça yanma odası / nozul (pervanesi) bileşeni imal ileri hızlı prototipleme teknolojisi kullanılır.

Silisyum nitrür genellikle elektriksel olarak izole etmek ya da farklı yapılara gövde mikroişleme bir aşındırma maskesi olarak, entegre devreler üretiminde bir yalıtkan ve kimyasal bir bariyer olarak kullanılır. Bu, su molekülleri ve sodyum iyonları, mikroelektronik korozyon ve istikrarsızlık iki ana kaynaklarına karşı belirgin bir şekilde daha iyi bir difüzyon bariyeri olarak mikroçip için bir pasifleştirme tabakası olarak, silikon dioksit üstündür. Ayrıca, analog chips kapasitörlerde polisilikon tabakaları arasında bir dielektrik

olarak kullanılır. Silisyum nitrürün iyi elastik özelliklerinden dolayı, Atomik kuvvet mikroskobu algılamalarında kullanılmaktadır.



Şek13;Si3N4 den yapılmış motor parçaları



Şek14; Si3N4 din AFM tipinde kullanılması

TiN

Titanyum nitrit (TiN) genellikle substratın yüzey özellikleri geliştirmek için titanyum alaşımları, çelik, karbür ve alüminyum bileşenleri üzerinde bir kaplama olarak kullanılan son derece sert seramik malzemedir. İnce kaplama olarak uygulanır, TiN yüzeyleri sertleştirmek ve kesme ve kayma iyileştirici amacıyla, ve tıbbi implantlar için toksik olmayan bir dış olarak korumak için kullanılır. Bir çok uygulamada, en az 5 mikrometre bir kaplama uygulanır. TiN , normal atmosferde $800^\circ C$ 'de oksitlenir. Oda sıcaklığında kimyasal olarak kararlı olan ve sıcak konsantre edildi asitlerle saldırıya uğrar. TiN kaplama kullanımının nedeni genellikle üç veya daha fazla faktörü ile kendi ömrünü iyileştirilmesi gibi delici uçlar ve freze bıçakları gibi kenar tutma ve makine parça işlemede korozyon korucu olarak kullanılabilir.

ZrN

Zirkonyum nitrür (ZrN) kendi özellikleri nedeniyle çeşitli şekillerde kullanılan bir inorganik bileşiktir. ZrN kaplama işlemi elementel altın benzer bir açık altın renginde olan fiziksel buhar çöktürme (PVD) ile uygulanır. Zirkonyum nitrid, titanyum nitrid gibi bir sert seramik malzemedir ve bir çimentoya benzer bir ateşe dayanıklı bir maddedir. Böylece refrakterler, sermetlerin ve laboratuvar potalar için kullanılır. Genel olarak tıbbi cihaz, sanayi parçaları (özellikle matkap), otomotiv ve havacılık bileşenleri ve yüksek aşınma ve korozyona ihtiyaç duyan alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca Zirkonyum Nitrür roket ve uçaklar için bir astar olarak önerilir.



Şekil15; ZrN din tıbbi cihazlarda kullanılması

Kaynaklar

- [1] Guanghua Liu, Quansheng Wang , Jiangtao Li, Yixiang Chen, Bin He. Preparation of Al₂O₃-ZrO₂-SiO₂ ceramic composites by high-gravity combustion synthesis- Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials 41 (2013) 622–626
- [2] Guolong Zhao, Chuazhen Huang, Hanlian Liu, Bin Zou, Hongtao Zhu, Jun Wang. Preparation of in-situ growth TaC whiskers toughening Al₂O₃ ceramic matrix composite-Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials 36 (2013) 122–125
- [3] Qinggang Li, Haijun Zhou, Shaoming Dong , Zhen Wang , Ping He, Jinshan Yang , Bin Wua, Jianbao Hu. Fabrication of a ZrC-SiC matrix for ceramic matrix composites and its properties. Ceramics International 38 (2012) 4379–4384
- [4] P. Istomin, A. Nadutkin, V. Grass. Fabrication of Ti₃SiC₂-based ceramic matrix composites by a powder-free SHS technique. Ceramics International 39 (2013) 3663–3667
- [5] Xingzhong Guo, Hui Yang, Xiaoyi Zhu and Lingjie Zhang. Preparation and properties of nano-SiC-based ceramic composites containing nano-TiN. Scripta Materialia 68 (2013) 281–284
- [6] M.B. Ruggles-Wrenn , T.P. Jones. Tension-compression fatigue of a SiC/SiC ceramic matrix composite at 1200 °C in air and in steam. International Journal of Fatigue 47 (2013) 154–160
- [7] http://biltek.tubitak.gov.tr/merak_ettikleriniz/index.php?kategori_id=6&soru_id=735
- [8] http://tr.wikipedia.org/wiki/Titanyum_dioksit
- [9] <http://www.lilakutu.com/lilasirlar/titanyum-dioksit-nedir>
- [10] [http://en.wikipedia.org/wiki/Al₂O₃](http://en.wikipedia.org/wiki/Al2O3)