



**Toz Enjeksiyon Kalıplama Yöntemiyle B₄C Esaslı
Kumlama Nozüllerinin Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin
Geliştirilmesi**

Program Kodu: 1003

Proje No: 213M196

**Proje Yürütücüsü:
Prof. Dr. H.Özkan GÜLSOY**

Araştırmacılar:

Prof.Dr. Serdar SALMAN
Prof.Dr.Sunullah ÖZBEK
Prof.Dr. Ahmet TOPUZ
Doç.Dr. Yahya BOZKURT
Yrd.Doç.Dr. M.Kemal BİLİCİ
Yrd.Doç.Dr. Zeynep TAŞLIÇUKUR
Ali Selçuk KESKİNKILIÇ

Danışmanlar:

Bursiyerler:

Selim HARTOMACIOĞLU
Sezer BİLKETAY

Mart 2016
ANKARA

Prof.Dr. H. Özkan GÜLSOY
Gülser

Önsöz

Mühendislik uygulamalarındaki en büyük problemlerden birisi aşınma ve aşınma kayıplarıdır. Aşınma ilk bakışta basit ve çözümlenmesi kolay bir problem olarak görülse de, son teknolojik gelişmeler dahi mevcut aşınma kayıplarını ortadan kaldıramamış ancak minimize edebilmiştir. Bu tip minimizasyon işlemlerinde genellikle aşınmaya çalışan ürünlerin veya ürün yüzeylerinin modifikasyonu gerçekleştirilir. Özellikle aşınma ortamlarında bulunan ürünlerin yüksek sertlikte olması istenir. Bu amaçla, birçok yüksek sertliğe sahip malzeme kullanılsa da yüksek sertlik ve düşük aşınma kayıplarına sahip seramikler emsalsizdir. Seramik malzemeler içerisinde yüksek sertlik, orta düzeyde kırılma tokluğu ve düşük aşınma kayıplarından dolayı Borkarbür (B_4C) tipi ürünler sıklıkla aşınma uygulamalarında tercih edilirler. B_4C tipi ürünlerin önündeki en önemli engel maliyet ve proses şartlarının zor olmasıdır.

Endüstriyel uygulamalarda, ürünlerin servise sunulmadan önce yüzey özelliklerinin geliştirilmesi için farklı işlemler uygulanır. Bu işlemler, yüzey topografyasının servis şartlarına göre geliştirilmesi, yüzey kaplamalar öncesi yüzeylerin hazırlanması ve yüzey son işlemleridir. Hangi tip yüzey hazırlama işlemi kullanılırsa kullanılsın, yüzeylerin sert parçacıkların hızlandırılması ile hazırlanması (kuvlama) vazgeçilmez temel bir işlemdir. Kuvlama işlemlerinde yüksek hızlarda şartlandırılan sert seramik veya metal parçacıklar, ürün yüzeylerine çarptırılarak yüzeylerin temizlenmesi ve belirli pürüzlülük değerlerine ulaştırılması hedeflenir. Hızlandırılmış parçacıkların yüksek aşınma kayıpları oluşturmaması için yüksek sertlik ve düşük aşınma kayıpları sergileyen B_4C den üretilmiş püskürtme nozülleri (blast nozül) kullanılır. B_4C nozüllerin alternatifi yeni nozüller üretilse de B_4C nozüller bu tip uygulamalarda vazgeçilmezdir.

Bu projenin kapsamı, ileri toz metalurji tekniklerinden birisi olan Düşük Basıncılı Toz Enjeksiyon Kalıplama (DBTEK) tekniğini kullanarak B_4C nozüllerin üretilmesidir. DBTEK tekniği kullanılarak yeni ve ekonomik bir üretim gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, başlangıç aşamasında toz malzemeler içerisine katılacak bazı ilavelerle sinterleme sıcaklıkları konvansiyonel sinterleme sıcaklıklarının aşağısına düşürülürken, ürünlerin mühendislik özelliklerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

İçindekiler

1. Literatür İncelemesi
2. Deneysel Çalışma Planı
3. Deneysel Malzemeler ve Deney Düzenekleri
4. Deneysel Malzemelerin Hazırlanması
 - 4.1. Tozların Karıştırılması ve Kodlanması
 - 4.2. Besleme Stoğunun Hazırlanması ve Reolojik Özellikler
 - 4.3. Numunelerin Kalıplanması
 - 4.4. Bağlayıcı Giderme İşlemleri
 - 4.5. Sinterleme İşlemleri
5. Karakterizasyon İşlemleri
 - 5.1. Yoğunluk Ölçümleri
 - 5.2. XRD Analizleri ve Mikroyapısal İncelemeler
 - 5.3. Sem İncelemeleri
 - 5.4. Mikrosertlik İncelemeleri
 - 5.5. Aşınma Testleri
 - 5.6. Kuşlama Kabini Testleri
6. Genel Sonuçların İrdelenmesi ve Tartışılması

Tablo ve Şekil Listeleri

- Tablo 1.** Başlangıç tozları ve özellikleri
Tablo 2. Bağlayıcı ve yüzey aktifleyicilere ait teknik özellikler
Tablo 3. Bağlayıcı karışım oranları
Tablo 4. Numune içerikleri
Tablo 5. Farklı katı yükleme oranları ve farklı sıcaklıklar için akış indeksi (n)
Tablo 6. Sinterleme sonrasında yapılan yoğunluk ölçümü genel sonuçları (numunelere ait kısmi yoğunluk değerleri parantez içerisinde verilmiştir)
Tablo 7. Numunelerin mikrosertlik değerleri
Tablo 8. Aşınma mesafesine bağlı olarak numunelerdeki ağırlık kayıpları
Tablo 9. Aşınma mesafesine bağlı olarak numunelerdeki aşınma oranı
Tablo 10. Aşınma mesafesine bağlı olarak numunelerdeki aşınma direnci

Şekil 1. B₄C kumlama nozüllerinin DBTEK ile üretilmesi için deneysel algoritma

Şekil 2. Deneysel çalışma planı

Şekil 3. B₄C tozlarına ait ortalama toz tane boyut dağılımı

Şekil 4. B₄C tozları ve bazı ilave tozlara ait SEM görüntüleri (a) B₄C, (b) CrB₂ (c) TiB₂ (d) Al₂O₃

Şekil 5. Toz-bağlayıcı karıştırma cihazının (a) genel görünüşü ve (b) teknik özellikleri

Şekil 6. DBTEK cihazının (a) genel görünüşü ve (b) teknik özellikleri

Şekil 7. Genel amaçlı kalıp teknik görünüşü

Şekil 8. Nozül üretimi için tasarlanan kalıbın teknik görünüşü

Şekil 9. Bağlayıcı giderme fırını genel görünüşü

Şekil 10. Besleme stoğuna ait farklı sıcaklıktaki viskozite değişimleri a) 170 °C, b) 175 °C ve c) 180 °C

Şekil 11. Kalıplanmış B₄C numunelerine ait genel görünüş

Şekil 12. Kalıplanmış numunelerin kırık yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri

Şekil 13. Kumlama nozülleri için kalıplama esnasında kullanılacak olan nozül dizaynı

Şekil 14. Kalıplanmış nozüllere ait genel görünüş

Şekil 15. Solvent bağlayıcı giderme işlemi sonrasında alınan SEM görüntüleri

Şekil 16. Kalıplanmış nozüllere ait genel görünüş

Şekil 17. Bağlayıcıların ısıl bozunma eğrileri

Şekil 18. Isıl bağlayıcı giderme çevrimi

Şekil 19. Isıl bağlayıcı giderme işlemleri öncesinde nozüllerin altlık üzerine yerleştirilmesi

Şekil 20. Solvent ve ısıtıcı bağlayıcı giderme işlemlerinde geçirilmiş numunelere ait genel görünüş (solda solvent bağlayıcı giderme işlemi sonrasında, sağda ısıtıcı bağlayıcı giderme işlemi sonrasında)

Şekil 21. Sinterleme çevrimi

Şekil 22. Kalıplanmış ve sinterlenmiş numunelere ait genel görünüş (solda solvent bağlayıcı giderme işlemi sonrasında, sağda sinterleme işlemi sonrasında)

Şekil 23. Sinterlenmiş numunelere ait XRD grafikleri (numune içerikleri ve sinterleme sıcaklıkları grafikler üzerinde verilmiştir)

Şekil 24. 2200°C de 1 saat sinterlenen %27,9 CrB₂ içerikli numunelerden alınan mikroyapı fotoğrafları

Şekil 25. 2200°C de 1 saat sinterlenmiş ilavesiz B₄C numunesine ait mikroyapı fotoğrafı

Şekil 26. 2200 C de 1 saat sinterlenmiş numunelere ait mikroyapı SEM görüntüleri, a,b) %27,9 CrB₂ ilaveli, c,d) %8 SiC ilaveli, e,f) %16 Y₂O₃ ilaveli

Şekil 27. Kennametal Co. firmasının ürünü olan HIP metodu ile üretilen ilavesiz B₄C numunelerinden alınan SEM mikroyapı görüntüleri, a,b) farklı büyütme oranları.

Şekil 28. 2200 C de 1 saat sinterlenmiş numunelere ait kırık yüzey SEM görüntüleri, a,b) %27,9 CrB₂ ilaveli, c,d) %8 SiC ilaveli, e,f) %16 Y₂O₃ ilaveli

Şekil 29. Kennametal Co. firmasının ürünü olan HIP metodu ile üretilen ilavesiz B₄C numunelerinden alınan kırık yüzey SEM, a,b) farklı büyütme oranları.

Şekil 30. Aşınma test cihazının şematik olarak gösterilişi.

Şekil 31. Aşınma mesafesine bağlı olarak numunelerdeki ağırlık kayıpları

Şekil 32. Aşınma mesafesine bağlı olarak numunelerdeki aşınma oranları

Şekil 33. Aşınma mesafesine bağlı olarak numunelerdeki aşınma direnci değişimi

Şekil 34. Kumlama test kabini

Şekil 35. Kumlama test düzeneği

Şekil 36. Aşınma süresine göre toplam ağırlık kaybının değişimi: a) Kennametal Co. firmasının ürünü olan HIP metodu ile üretilen ilavesiz B₄C numune, b) Basıncısız sinterleme ile üretilen %27,9 CrB₂ ilaveli B₄C nozül

Şekil 37. Kumlama testinde kullanılan ürünler : a) ön görünüş, b) alından görünüş, c) iki farklı nozülün genel görünüşü, d) iki farklı nozülün alından görünüşü

Şekil 38. Kumlama testinde kullanılan Kennametal Co. ürünlerine ait kumlama nozüllerinin iki farklı büyütme oranında çekilmiş aşınma yüzeyi SEM fotoğrafları

Şekil 39. Proje kapsamında üretilen %27,9 CrB₂ ilaveli kumlama nozüllerine ait iki farklı büyütme oranında çekilmiş aşınma yüzeyi SEM fotoğrafları

Özet

Bu projenin kapsamı, ileri toz metalurji tekniklerinden birisi olan Düşük Basıncılı Toz Enjeksiyon Kalıplama (DBTEK) tekniğini kullanarak B₄C nozüllerin üretilmesidir. Bununla beraber yapı içerisine ilave edilecek bazı ilavelerle proses şartlarını uygun hale getirerek, geliştirilmiş özelliklere sahip ekonomik ürün elde edilmesini de kapsamaktadır. Özellikle TEK tekniğinin kullanılmasının ötesinde, DBTEK tekniği kullanılarak yeni ve ekonomik bir üretim gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, başlangıç aşamasında toz malzemeler içerisine katılacak bazı ilavelerle sinterleme sıcaklıkları konvansiyonel sinterleme sıcaklıklarının aşağısına düşürülürken, ürünlerin mühendislik özelliklerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir.



Abstract

The scope of the Project is to produce the B_4C nozzles via Low Pressure Powder Injection Molding (LPPIM) which is one of the advanced powder metallurgy techniques. At the same time, processing parameters are optimized with addition the additive powders on the main powder, also the scope of the project is to obtained economical product with advanced features. Especially beyond using the PIM technique, a new and economical production is being carried using LPPIM method. Furthermore, while sintering temperatures is reduced with addition some additive on main powder at the initial stage according to conventional sintering temperature, it aimed to develop the engineering features of the products.