

ALÜMİNANIN YAPISAL AMAÇLI UYGULAMALARI

Yard.Doç.Dr. Çetin Toy*
Dr. Tarık Baykara*

Alümina, oksit esaslı seramik ham maddeleri arasında tüketimi en fazla olan seramik ham maddesidir. Yüksek sertlik, düşük yoğunluk, ısıl kararlılık ve korozyon dayanımı gibi üstün özellikleri yanı sıra düşük birim maliyeti, alümina tüketiminin fazla olmasını teşvik edici nedenlerdendir.

Alümina, yer kürede doğal olarak en fazla bulunan minerallerden boksit içerisinde bulunur. Boksit, Bayer yöntemi uyarınca en fazla empüritesi Na_2O olarak %99,5 Al_2O_3 içerecek şekilde saflaştırılabilir. Dünya alümina üretiminin yaklaşık %90'ı alüminyum metal üretiminde kullanılırken, geriye kalan %10'luk kısım ise ısıya dirençli dolgu malzemeleri, pigment, katalist, refrakterler, aşındırıcılar ve seramik malzemelerin üretiminde kullanılırlar. Seramik sektöründe kullanılan alüminanın dünya yıllık üretiminin 4 milyon ton civarında olduğu ileri sürülmektedir(1). Bu yazının amacı, alüminanın yapısal amaçlı uygulamalarından bazılarını tanıtarak, ülkemizde bu yönde yapılmakta olan ileri teknoloji seramik malzeme üretimine dönük çalışmaların da tanıtılmasını sağlamaktır.

ALÜMİNANIN TEMEL ÖZELLİKLERİ

Bayer yöntemi neticesinde oluşan alüminyum hidroksitler, yapıdaki kristal suyunu uçurmak için yapılan kalsinasyon işlemleri sırasında birçok ara fazlardan geçtikten sonra alfa veya gamma formu olmak üzere iki kararlı nihaî kristal yapıya ulaşırlar. Yapısal amaçlı seramiklerin üretiminde kullanılan temel alümina formu, kalsine edilmiş alfa alüminadan oluşurken, katalist gibi soğurma özellikleri istenen uygulamalarda alüminanın ara geçiş fazları kullanılır. Bunun yanı sıra alüminanın beta formu, son yıllarda özellikle katı elektrolitli Na-S elektrik hücrelerinde iyonik iletken malzeme olarak kullanılması nedeni ile önem kazanmıştır.

Bilinen bütün alümina çeşitleri arasında, en kararlı ve yapısal amaçlı ileri teknoloji seramik uygulamalarında kullanılması gerekli olan kristal formu alfa alüminadır. Kristal yapısı sıkı paketlenmiş hegzagonal sistem (bakınız Şekil 1) olan alfa alüminanın ergime sıcaklığı 2053°C dir. Kristal yapı içerisinde Al iyonlarının bulunduğu koordinasyon sayısı 6 olan sıkı paket pozisyonlarının 2/3'ü, Al iyonlarının doldurulmuş ve 1/3'ü ise boş bulunmaktadır.



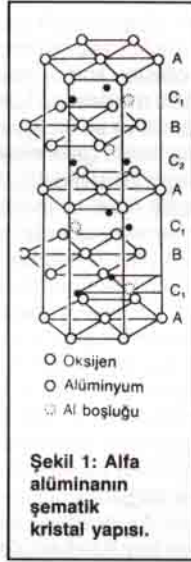
Bayer yönteminden gelen ve az miktarda kalsinasyon işlemi gören alfa alümina, yüksek miktarda ara geçiş fazları gösterdiğinden, seramik sektöründe doğrudan kullanılamaz. Böyle bir alüminanın birim yüzey alanı 50 m²/g gibi yüksek değerler vermekle birlikte, kalsinasyon işleminin tam yapılması ile birim yüzey alan değerleri 0,5 ilâ 20 m²/g seviyelerine düşebilir. Ülkemizde de Seydişehir Alüminyum İşletmeleri'nde özellikle elek altı olarak tabir edilen alümina, tam alfa yapısına dönüşmemiş olduğundan, doğrudan yapısal seramik uygulamalarında kullanılamamaktadır. Elek altı alüminanın, çeşitli kalsinasyon ve temizleme işlemleri ile yapısal seramiklerde de kullanılabilirliği TÜBİTAK-MAM, Malzeme Bölümü bünyesinde yapılan çalışmalar ile ortaya konulmuştur.

AŞINMAYA KARŞI DİRENÇ GEREKTİREN UYGULAMALAR

Alüminanın yüksek sertliği ve mekaniksel dayanımı, çalışma esnasında aşınmaya maruz kalan makine elemanları ve mühendislik malzemeleri şeklinde olan kullanımını ön plana çıkarmıştır. Yapısal amaçlı mühendislik uygulamalarının başında korozif olan ve olmayan pompa salmastraları, musluk ve vana contaları, tekstil sektöründe kullanılan iplik kılavuzları, madencilik ve çimento sektöründe kullanılan aşınmaya dirençli plaka kaplamaları, metalleri taşlamada kullanılan seramik taşlama diskleri ve bıçak gibi kesici metalleri keskinleştirmede kullanılan taşlama elemanları sayılabilir. Bu örneklerin oluşturulmasında kullanılan üretim yöntemleri, geleneksel yöntemlere göre daha zorlu ve özen gösterilmesini gerektiren bazı değişikliklerin geleneksel yöntemlere uyarlanmasını zorunlu kılmıştır. Enjeksiyonla kalıplama, ekstrüz yonla çekme, kuru presleme ve asıltı döküm gibi silikat esaslı geleneksel seramiklere rahatlıkla uygulanan üretim yöntemlerinin, gerek ham madde ve gerekse üretim yöntemi ile katkılarda yapılacak bazı değişikliklerle kontrollü şartlar altında alümina seramiklerine de uygulanması, resimlerde gösterilen karmaşık şekilli parçaların başarılı olarak üretilmesi mümkün kılmıştır.

* TÜBİTAK-MAM, Malzeme Bölümü, Gebze-KOCAELİ

Ülkemizde, tekstil iplik kılavuzları gibi aşınmaya direnç gösteren seramik parçalar, porselen esaslı olarak ticarî anlamda üretilmekte ve pazar bulmakla birlikte, son yıllarda alüminadan iplik rehberlerinin üretimi de pazar gündemine girmiştir. TÜBİTAK-MAM, Malzeme Bölümü son iki yıldır konu ile ilgili çalışmalarını teknolojiyi endüstriye aktaracak seviyeye getirmiş, ülkemizde ilk defa saf ve kompozit alüminadan iplik rehberleri yapımını gerçekleştirmiştir. Şekil 2'de gösterilen iplik rehberleri ile pompa salmastra ve vana conta larının çoğunun üretimi tamamen laboratuvarlarımızda gerçekleştirilebilmektedir.



ASKERİ AMAÇLI UYGULAMALAR

Gösterdikleri üstün özellikleri nedeni ile seramik malzemelerin askerî alanlarda da kullanımının olduğunu görmek, pek şaşırtıcı değildir. Alümina seramiklerinin en iyi bilinen askerî uygulaması, hafif balistik panel yüzeylerinin balistik dayanımı artırmak için seramik plakalarla kaplanmasıdır. Özellikle Amerika Birleşik Devletleri-Vietnam savaşı sırasında geliştirilen bu uygulama, 1960'lı yılların başına kadar gitmektedir(2). Şekil 3'te balistik amaçlı kullanılan değişik alümina plakaları ve balistik plastikte desteklenmiş bir zırh plakasının kesiti gösterilmektedir. Balistik amaçlı kullanımlar için değişik seramik malzemeler önerilmekle birlikte, alümina, fiyatının uygunluğu nedeni ile balistik amaçlı malzemeler arasında en fazla tüketilen teknik seramik malzemesidir. Plakaların şekillendirilmesinde kuru ve/veya izostatik presleme yöntemleri kullanılır. Seramik ile kaplı balistik sistemin çalışma prensibi, süper-sonik hızlarla gelen mermilerin sivri delici kısımlarının sert seramik tarafından parçalanarak kırılması veya ufalanması, daha sonra da ufalanmış bu parçacıkların polimer esaslı balistik altlık ile durdurulması esasına dayanır. Farklı tehdit seviyelerine göre, seramik ve altlık malzeme kalınlıklarının kombinasyonu ile birçok zırh delici mermi çeşidi durdurulabilir. Bu konuya dönük olarak, Marmara Araştırma Merkezi Seramik Laboratuvarları'nda, Seydişehir elek altı alüminasının değerlendirilmesi ile balistik plaka yapım çalışmaları bir yıldır devam etmektedir. Yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen ilk sinterlenmiş balistik plakalardan bazıları da Şekil 3'te görülmektedir.

Al_2O_3 ün diğer bir askerî uygulaması ise, roket ve uçakların uç kısımlarında kullanılan radar dalgala-

rına geçiren "radome"lar şeklinde kendisini gösterir. "Radome"lar, alt çapları 35 cm ve yükseklikleri 100 cm kadar olabilen içi boş konik şekilli seramik parçalar(3). Özellikle süper-sonik hızlar ile uçan roket ve uçakların radar sistemlerinin muhafazasında rol oynarlar. Tipik bir yüzeyden-yüze ve havaya atılabilecek rokette kullanılması gereken radome'da aranması gereken malzeme özellikleri, sıcaklıkla kararlı kalabilen düşük dielektrik sabiti, düşük yoğunluk, iyi termal şok direnci ve yağmur gibi atmosferik şartlar altında iyi erozyon ve darbe dayanımları göstermesidir. Bu özellikleri verecek birçok yapısal seramik malzeme çeşidi olmakla beraber, uygulama amacına bağlı olarak minimum % 97'lik alümina, radome olarak kullanılabilir(3). Yapılan hesaplamalar(4) sıcak preslenmiş alümina veya alümina tek kristalinden yapılmış 3,2 mm kesit kalınlığındaki radome'ların 11800 km/saat hız ile giden roketlere takılması halinde, 2 mm çapındaki yağmur damlacıklarının darbe etkisine karşı koyabileceğini ortaya koymuştur. Radome'ların üretilmesinde kullanılan yöntemler geleneksel asılı döküm olabildiği gibi, malzeme boyutlarının artması ile diğer yöntemler de kullanılabilir. Alüminanın termal ve plazma yöntemleri ile kaplanması, alternatif üretim şekilleri olarak ileri sürülmüşse de, boyutların istenen toleranslar içerisinde tutulmaması, izostatik şekillendirme yönteminin geliştirilmesini gerekli kılmıştır. Bu yöntemle yapılan üretimlerde bile boyutların istenen toleranslar içerisinde tutulabilmesi için, radome üzerinde nihaî mekanik işlemler yapılmaktadır.

BİYOLOJİK AMAÇLI UYGULAMALAR

Alümina esaslı yapısal seramiklerin tıbbî alanda uygulamaları, son 20 yıldan beri üzerinde çalışılmakta olan bir konudur. Günümüzde alümina, kemiğin yerine ve ağızda dişin yerini alabilecek şekilde oldukça emniyetli bir biçimde kullanılabilir. Bunun nedenleri, seramik malzemelerin genel olarak basma yükleri altında üstün mekanik dayanımlar göstermesi ve vücut şartlarında hareketsiz kalarak yaşayan kısımlarla herhangi bir kimyasal etkileşime girmemesidir. Kalça

Tablo 1: Tek ve çok kristalli alfa alüminanın özellikleri

Özellik	Tek Kristalli	Çok Kristalli
Yoğunluk (g/cc)	3,97	3,9
Sertlik (GPa)	22,5	15-22
Young Modülü (GPa)	470	250-380
Eğme Mukavemeti (MPa)	686	150-350
Basma Mukavemeti (MPa)	2940	2100-2500
Isısai Genleşme Katsayı.	$5, 3 \times 10^{-6}$ (C ekseninde)	$7, 8 \times 10^{-6}$
Isısai İletkenlik (W/mK)	41,9	17-29

Şekil 2: İleri teknoloji yöntemleri kullanılarak üretilmiş bazı alümina esaslı yapısal uygulamaları olan seramikler.



a- Tekstil iplik kılavuzları.



b- Pompa salmastra ve vana contaları.



c- Aşınma plakası ve bıçak bileme seramiği.

kemiklerinden olan femur başının alümina esaslı seramiklerden yapılmış protezlerle değiştirilmesi günümüzde mümkündür. Geleneksel olarak metalik ve yüksek yoğunluklu polietilenin kullanıldığı bu uygulamada karşılaşılan aşınma problemi, alüminadan yapılmış top (femoral head) ve yuva (acetabularcup) kısımları ile minimuma indirilmiştir. Kullanım alanının getirdiği önemden dolayı, alüminanın şekillendirilmesinde kullanılan tozların oldukça saf olması ve ekonomik olarak oldukça pahalı olabilecek yüzey parlatma ve sertleştirme yöntemlerinin de üretim kademesinde uygulanması, biyolojik amaçlı ürünler için kaçınılmaz

dir. Uygulamada kullanılan femur protezlerinin top ve yuva kısımlarının hepsi alümina esaslı değildir; metal-polietilen kombinasyonu veya metal-metal çiftleri en fazla miktarlarda kullanılmakla beraber, kimyasal kararlılık ve en az aşınma özellikleri açısından alüminanın ileride geleneksel malzemelerin yerine geçeceği öngörülmektedir(5). Alüminanın bu tür sistemlere sağladığı diğer bir avantaj ise, protezin kemiğe yapıştırılmasında kullanılan çimentoya olan gereksinmesinin son yıllarda önerilen yeni yöntemlere bağlı olarak ortadan kalkmasıdır. Geleneksel olarak vücutta kullanılan polimetilmetakratin en büyük dezavantajı, zamanla yapıştırıcının bozunarak protez ile kemik arasında gevşemelere neden olmasıdır. Bağlantıda zamanla gözlenen gevşemenin ortadan kaldırılması için, alümina protezlerin kemiğe yapıştırılacak kısımlarının gözenekli dizayn edilerek dokunun bu gözenekli kısımlarda zamanla büyümesine ve mekanik doğal bir bağlanmanın oluşturulmasına çalışır. Alüminanın kemiğe yapışacak kısmında oluşturulacak 75-100 mikron boyutundaki gözeneklere organik doku ve kemik büyümesinin oluşturularak sağlam bağlanmanın gerçekleştirilebileceği, fakat kimyasal ve radyasyon terapisi gören hastalarda ise, bu büyümenin gözlenmediği, bazı araştırmacılar tarafından gösterilmiştir(6).

Alümina tek kristallerinin mekanik mukavemetleri, tane sınırları içermemeleri ve çok kristalli alüminaya göre daha az sayıda yapısal hata içermeleri nedeniyle oldukça yüksektir. Bu yüzden kalıcı nitelikteki protezlerin kemik ile mekanik olarak bağlanmasında vida olarak da kullanılırlar. Özellikle basma kuvvetlerinin önem kazandığı diş kökü uygulamalarında veya yapay diş bağlantılarının yapımında da tek kristal alüminadan mamül, çok değişik şekil ve boyutlara sahip parçalar kullanılabilir. Tek kristalli alüminadan yapılmış kök kısmı üzerine çok kristalli alüminadan yapılmış kısımların yerleştirilmesi ile daha karmaşık kompozit uygulamalara gidilebilmektedir. Bu türdeki bir uygulamaları getireceği avantaj, tek kristal alümina ile yapay diş arasındaki sertlik farkının çok kristalli alümina kullanılarak azaltılması ve kök üzerine yerleştirilecek dişin, yerine ve yandaki diğer dişlere uyum sağlamasıdır(6).



Şekil 3: Balistik amaçlı kullanılan alümina zırh seramikleri. Alümina ile kaplı balistik zırh plakasının kesiti.