

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SERAMİK TERMOSTAT İZOLATÖRLERİN ÜRETİMİ VE
KARAKTERİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Çağlar ALTUN**

Anabilim Dalı : Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Programı : Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SERAMİK TERMOSTAT İZOLATÖRLERİN ÜRETİMİ VE
KARAKTERİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Çağlar ALTUN
(506061204)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 07 Haziran 2010

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Ercan AÇMA (İTÜ)
Eş Danışman : Yrd. Doç. Dr. M. Şeref SÖNMEZ (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Alim GÜL (İTÜ)
Doç. Dr. Gülay BULUT (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. C. Bora DERİN (İTÜ)**

HAZİRAN 2010

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin yönetimini üstlenen ve benden her konuda yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. M. Ercan AÇMA ve Yrd. Doç. Dr. M. Şeref SÖNMEZ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince çok değerli katkılarıyla her zaman yanımda olan Elektrik Mühendisi Mehmet GÖKSEL'e çok teşekkür ederim.

İTÜ, Elektrik ve Elektronik Fakültesi'ndeki hocam Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ'ye, Prof. Dr. Adnan Tekin Uygulama ve Araştırma Merkezi'ndeki hocam Yrd. Doç. Dr. C. Bora DERİN'e, İTÜ, Kimya Metalurji Fakültesi'ndeki hocalarım Dr. Serdar AKTAŞ'a, Yrd. Doç. Dr. C. Fahir ARISOY'a, Araş. Gör. Erdem ŞEŞEN'e, arkadaşım-meslektaşım Met. Müh. Güntaş ZORLU'ya, arkadaşım Yük. Kimyager Hakan MORCALI'ya ve bu çalışmanın kimyasal analizlerini büyük bir titizlik ile yapan Kim. Müh. Z. İnci KOL'a, ve Yük. Kimyager Bihter ZEYTUNCU'ya çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında gösterdiği sabır ve verdiği sonsuz destek için eşim Sultan ALTUN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

HAZİRAN 2010

Çağlar ALTUN
Metalurji ve Malzeme Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
SERAMİK TERMOSTAT İZOLATÖRLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU.....	xiii
PRODUCTION AND THE CHARACTERISATION OF CERAMIC THERMOSTAT INSULATORS	xv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. TEKNİK SERAMİKLER	3
2.1 Teknik Seramiklerin Tarihçesi	3
2.2 Teknik Seramiklerin Tanımı ve Sınıflandırılması.....	5
2.2.1 Tanımlar	5
2.2.2 Malzeme grupları	7
2.2.2.1 Silika seramikler.....	7
2.2.2.2 Oksit seramikler	8
2.2.2.3 Oksit içermeyen seramikler.....	8
2.2.3 Sınıflandırma.....	9
2.2.3.1 Eski standardizasyon.....	9
2.2.4 Çeşitler	10
2.2.4.1 Silika seramikler.....	10
Teknik porselen	10
Steatit.....	11
Kordierit	13
Müllit seramikleri.....	14
2.2.4.2 Oksit seramikleri	14
Alüminyum oksit.....	14
Magnezyum oksit	18
2.3 Teknik Seramiklerin Üretimi	19
2.3.1 Hammaddeler ve katkılar	20
2.3.2 Malzeme hazırlama	21
2.3.3 Şekillendirme	22
2.3.3.1 Kuru presleme	22
2.3.3.2 İzostatik presleme.....	23
2.3.3.3 Yaş presleme	24
2.3.3.4 Ekstrüzyon	24
2.3.3.5 Enjeksiyon kalıplama.....	25
2.3.3.6 Sıyırma döküm.....	25
2.3.3.7 Bant (şerit) döküm	25
2.3.3.8 Seçim.....	26
2.3.4 Pişirme	28

2.3.4.1 Kurutma.....	28
2.3.4.2 Organikleri bünyeden uzaklaştırma (Burning out).....	28
2.3.4.3 Pişirme öncesi	29
2.3.4.4 Pişirme.....	29
2.3.5 Büzülme	31
2.3.6 Talaşlı imalat	33
2.3.6.1 Yaş işleme	34
2.3.6.2 Kuru işleme	34
2.3.6.3 Sinter sonrası işleme.....	34
2.4 Teknik Seramiklerin Özellikleri.....	37
2.4.1 Genel özellikler	37
2.4.2 Genel bakış.....	38
2.4.3 Mekanik özellikler.....	40
2.4.3.1 Yoğunluk.....	40
2.4.3.2 Porozite.....	40
2.4.3.3 Mukavemet.....	41
Eğilme mukavemeti.....	41
Basma mukavemeti	43
Çekme mukavemeti.....	43
Weibull modülü.....	43
Gerilme yoğunluk faktörü (KIC).....	45
2.4.3.4 Elastik özellikleri ve sertlik.....	46
2.4.4 Elektriksel özellikler	47
2.4.4.1 Elektriksel direnç.....	47
2.4.4.2 Elektriksel geçirgenlik.....	48
2.4.4.3 Dielektrik kayıp faktörü	48
2.5 Teknik seramiklerin uygulama alanları	48
3. TERMOSTATLAR.....	49
3.1 Termostat Nedir?.....	49
3.2 Yapısı ve Çalışması	49
3.3 Çeşitleri	49
3.3.1 Cıva tüplü termostatlar	50
3.3.2 Gazlı termostatlar	50
3.3.3 Bimetal termostatlar	51
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	53
4.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Hammaddeler	53
4.2 Deneysel Çalışmalar ve Karakterizasyonda Kullanılan Cihazlar.....	57
4.3 Deneyin Yapılışı.....	59
4.3.1 Ön hazırlıklar.....	59
4.3.2 Malzemelerin preslenmesi.....	60
4.3.3 Malzemelerin sinterlenmesi	60
5. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI VE İRDELENMESİ.....	63
5.1 Malzemelere İlave Edilen Nemlendiricilerin Pres Basıncına Bağlı Etkisi.....	63
5.2 Sinterleşme Sonrası Malzeme Özellikleri	63
5.2.1 Yoğunluk.....	63
5.2.2 Elektriksel iletkenlik	65
5.2.3 Mukavemet.....	65
5.2.4 Boyutsal değişim	67
6. GENEL SONUÇLAR	69
KAYNAKLAR.....	71

EKLER.....	75
-------------------	-----------

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	: Magnezyum silikatlar ve standardizasyonu	10
Çizelge 2.2	: Bazı silikatlarda standardizasyon	10
Çizelge 2.3	: Yüksek alümina içerikli seramikler ve standardizasyonu	10
Çizelge 2.4	: Seramik şekillendirme proseslerinin özeti	26
Çizelge 2.5	: Genel şekillendirme prosesinin avantaj ve dezavantajları	27
Çizelge 2.6	: Çeşitli seramik malzemelerin sinter sıcaklıkları	31
Çizelge 2.7	: Bazı seramik malzemelerin boyca büzülmesi	32
Çizelge 2.8	: Olası tamamlama prosesi.....	35
Çizelge 2.9	: Seramik, metal ve polimerlerin özelliklerinin karşılaştırılması	38
Çizelge 2.10	: Seramikler, gri dökme demirler ve yapı çeliğinin karşılaştırılması ...	39
Çizelge 2.11	: Parçaların ve test numunelerinin değişik mukavemet dağılımları	45
Çizelge 4.1	: Deneyleerde kullanılan malzeme karışımları (50'şer gram numune)..	55
Çizelge 4.2	: Alümina esaslı malzemeye ait elek analizi	55
Çizelge 4.3	: Alümina esaslı malzemelerin ortalama tane boyutu	55
Çizelge 4.4	: Steatit esaslı malzemeye ait elek analizi	56
Çizelge 4.5	: Steatit esaslı malzemenin ortalama tane boyutu.....	56
Çizelge 4.6	: Gerçek yoğunluk tayini	56
Çizelge 4.7	: Alümina ve steatit malzemelerde kullanılan nemlendiriciler.....	60
Çizelge 4.8	: Yeni harman denemeleri için preslenen numuneler	60
Çizelge 5.1	: Sinterlenmiş numunelerin ortalama yoğunluk değerleri (gr/cm ³).....	64
Çizelge 5.2	: Sinterlenmiş harman numuneleri ortalama yoğunluk değerleri (gr/cm ³)	64
Çizelge 5.3	: Basma deneyinde elde edilen ortalama mukavemet değerleri (kg)....	65
Çizelge 5.4	: Sinterlenmiş ürünlerin boyutsal analizleri (mm).....	67

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: 1920’lerde üretilen izolatörler	4
Şekil 2.2	: Alümina porseleni mikro yapısı SEM görüntüsü	11
Şekil 2.3	: Sinterlenmiş steatit yüzeyi.....	12
Şekil 2.4	: Gözenekli kordierit yapısı (C 520).....	13
Şekil 2.5	: Dağlanmış alüminyum oksit yüzeyi	15
Şekil 2.6	: % 99.7’lik alüminyum oksit seramiği mikro yapısı	16
Şekil 2.7	: Mikro kristalin alüminyum oksit mikro yapısı.....	16
Şekil 2.8	: İri kristalli alüminyum oksit mikroyapısı.....	17
Şekil 2.9	: Çekilmiş alüminyum oksit yüzeyi (dağlanmış).....	17
Şekil 2.10	: Gözenekli magnezyum oksit kırılma yüzeyi	18
Şekil 2.11	: Mikroyapıya etki eden faktörler	19
Şekil 2.12	: Seramik üretim prosesi	20
Şekil 2.13	: İri taneli alümina tozu.....	21
Şekil 2.14	: İnce taneli alümina tozu	21
Şekil 2.15	: Spreylenmiş alüminyum oksit granülü.....	22
Şekil 2.16	: Kuru presleme	23
Şekil 2.17	: Tek eksenli kuru presleme, tek ve çift yönlü, çeşitli sıkıştırma bölgeleri	23
Şekil 2.18	: Değişik sıkıştırma bölgeleriyle izostatik pres (gri seviyeler).....	24
Şekil 2.19	: Ekstrüzyon.....	25
Şekil 2.20	: Bant döküm şekli ve makinası.....	26
Şekil 2.21	: Sinter prosesi esnasında tane büyümesi	30
Şekil 2.22	: Sinterleme ve sinter sonrası talaşlı imalattan sonraki boyutsal toleranslar	33
Şekil 2.23	: Yaş işleme, kuru işleme ve sinter sonrası işleme	33
Şekil 2.24	: Yaş işlenen parçalar.....	34
Şekil 2.25	: Sinter sonrası işleme gereçleri; taşlama ve cilalama	35
Şekil 2.26	: Taşlanmış alüminyum nitrürde talaş kaldırma mekanizması	36
Şekil 2.27	: Gevrek, karışık ve sünek taşlanmış seramik yüzeyleri.....	36
Şekil 2.28	: Bazı malzemelerin gerilme - gerinim davranışı	39
Şekil 2.29	: Bazı malzemelerin eğilme dayanımları ve yoğunlukları.....	40
Şekil 2.30	: Metal ve seramiklerin ortalama mukavemet değerleri karşılaştırması... ..	41
Şekil 2.31	: Bazı malzemelerin eğilme mukavemetleri	42
Şekil 2.32	: Sıcaklığın eğilme mukavemeti üzerindeki etkisi.....	42
Şekil 2.33	: Parça geometrisi ve Weibull modülü – mukavemet ilişkisi.....	45
Şekil 2.34	: Teknik seramiklerin şematik çatlak büyüme diyagramı	46
Şekil 2.35	: Bazı malzemelerin sertlik ve elastikiyet modülü değerleri	47
Şekil 3.1	: Çeşitli termostat türleri	49
Şekil 3.2	: Cıva termostatın iç yapısı	50
Şekil 3.3	: Gazlı termostatın iç yapısı	50

Şekil 3.4	: Bimetal çalışma mekanizması ve bimetal termostat şeması.....	51
Şekil 4.1	: Deneyleerde kullanılan alümina esaslı malzemenin XRD analizi	54
Şekil 4.2	: Deneyleerde kullanılan steatit esaslı malzemenin XRD analizi.....	54
Şekil 4.3	: Etra marka toz sıkıştırma presi	57
Şekil 4.4	: Lenton marka tüp fırın.....	58
Şekil 4.5	: Meger test düzeneği.....	58
Şekil 4.6	: Yoğunluk ölçme cihazı.....	59
Şekil 4.7	: Alümina kayıkçık	61
Şekil 5.1	: 90 bar'da gerçek yoğunluk değerine yaklaşan yoğunluklar	64
Şekil 5.2	: Meger testinin numuneye uygulanışı.....	65
Şekil 5.3	: 1300 °C'de steatit, 1400 °C'de alüminanın mukavemet artışı.....	66
Şekil 5.4	: Alümina muhteviyatına bağlı mukavemet değerleri	66
Şekil 5.5	: Numune boyut ölçümleri.....	67
Şekil 5.6	: Sinter sıcaklığının ürün boyuna etkisi	68

SERAMİK TERMOSTAT İZOLATÖRLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Seramik malzemeler, elektrikle ilgili birçok alanda kullanılmaktadırlar. Kullanılmalarını sağlayan en önemli özellikleri de izolatör görevi görmeleridir. Seramik izolatörlerin üretimi temelde aynı proses aşamalarına dayanan, karışım hazırlama, şekillendirme ve pişirme aşamalarından oluşan, 3 aşamalı bir prosestir. Bu aşamalarda kimyasal kompozisyon, uygulanan şekillendirme basınçları ve pişirme sıcaklıklarını belli parametrelere oturtmak gerekir. Aksi takdirde elde edilen neticeler sadece zaman kaybı ve maddi kayıp olur. Kompozisyon oluşturma aşamasında istenen teknik özellikleri sağlayacak hammadde seçimi yanında, özellikle hammadde maliyetlerine de dikkat etmek gerekir. Yüksek alüminalı malzemeler izolatörler için oldukça uygun olmasına rağmen, alümina oranı düşürülüp silika oranının artırılmasıyla maliyetlerde düşüş sağlanabilir. Bunun yanında şekillendirme esnasında uygulanan sıkıştırma basıncı hem malzemenin kalıptan kolayca sıyrılmasını sağlayacak nitelikte olmalı, hem de üretilen pişirilmemiş mamülün, pişirilme anına kadar şeklini muhafaza etmesine yetecek kadar olmalıdır. Bu durumu sağlayabilmek adına en uygun basınç değerleri tayin edilmelidir. Bu şekilde aşırı basınç uygulamayarak, enerji maliyetlerinde de indirime gidilmiş olur. Son olarak pişirme aşamasında yine enerji maliyetleri önemli bir yer tuttuğu için yaş ürüne en yakın pişmiş ürün yoğunluğunu sağlayabilen ve perçinleme sırasında ihtiyaç duyulan basma mukavemetinin en yüksek sonuçları verebileceği sinter sıcaklıkları tayin edilmelidir. Bu durum tabii ki malzemenin faz dönüşümleriyle alakalıdır. Fakat bizi asıl ilgilendiren hangi fazda nasıl bir mukavemet sergilediği değil, sözkonusu fazlara ulaşmak için gerek duyulan sıcaklıklar ve bu sıcaklıklarda pişmiş ürünün verebileceği maksimum basma mukavemeti değerleridir.

Bu çalışmanın amacı, termostatlarda kullanılan seramik izolatörlerin üretiminde şekillendirme parametrelerinin tayini ve nihai ürünün karakterizasyonudur. Yapılan deneyler esnasında yukarıda ifade edilen 3 temel proseste uygun kompozisyon,

uygun basınç ve uygun sıcaklık değerlerinin elde edilmesi hedeflenmiştir. Kullanılan hammaddelerin karakterizasyonu için kimyasal analiz yöntemleri ve X-ışını difraksiyonu (XRD) teknikleri kullanılmıştır. İlk deneyler hammadde karışımının elde edilmesinden sonra uygun nem miktarını ve sözkonusu nemlendiricinin aynı zamanda uygun bir yağlayıcı görevi görmesini sağlamak amacıyla yapılmıştır. Bunun için, saf su, kerosen ve izopropil alkol olmak üzere 3 farklı malzeme kullanılmıştır. Çeşitli oranlarda yapılan denemeler sonrasında en uygun miktarlar alümina malzeme için % 3 kerosen, steatit malzeme için % 3 saf su olarak tespit edilmiştir.

Presleme aşamasında uygulanan 30, 60, 90, 120 ve 150 bar'lık pres basıncıyla birlikte, malzemeye uygulanan nemlendirme oranlarının da etkisiyle malzeme bütünlüğünü sağlayacak optimum basınç değerleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu doğrultuda 90 Bar ve üzeri değerlerde sözkonusu parça bütünlüğünün sağlanabildiği tespit edilmiş, optimum basınç değeri olarak 90 Bar belirlenmiştir.

Piştirme aşamasında 1000 – 1500 °C aralığında 100'er °C'lik değerler denenmiş, pişirilmiş numunelere uygulanan yoğunluk ölçümleri, elektriksel test (Meger) ve basma testleri sonucunda tüm numunelerin 1200 Volt değerinde akım atlaması gerçekleştirmediği, arada gayri ihtiyari yapılan numune seçimlerinde en düşük akım atlama değerinin 3000 Volt'da olduğu görülmüştür. Bunun yanında elde edilen en iyi basma değeri neticeleri steatit numuneler için 1300 °C'de pişen numunelerde, alümina numuneler için 1400 °C'de pişen numunelerde kaydedilmiştir. Her iki malzeme için de daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen piştirme işlemlerinde malzemeler arası yapışma söz konusu olduğu için, yüksek sıcaklıklar dikkate alınmamıştır. Ayrıca yapılan yoğunluk ölçümlerinde, malzemenin gerçek yoğunluğuna en yakın yoğunluk değerleri yine 1300 °C (steatit) ve 1400 °C (alümina) değerlerinde kaydedilmiştir.

PRODUCTION AND THE CHARACTERISATION OF CERAMIC THERMOSTAT INSULATORS

SUMMARY

Ceramic materials are used in many fields of electricity. The most important reason of this usage is their insulating property. The production method for ceramic insulators based on 3 steps which are powder preparation, forming and firing. In these steps chemical composition, applied shaping pressures and firing temperatures should be specified in defined parameters. Otherwise the gained results will be time and monetary loss. While preparing the powder compositions, also the price of the raw materials should be considered besides providing the required technical specifications. Since the materials with a high level of alumina are very suitable for electric insulating materials, it is possible to decrease the raw material costs with an increasing silica level, because they are also expensive. However, the pressure applied on press for compacting the powders should be both suitable for the push out of the green from the mould and also sufficient to conserve the shape of the green till firing step. For this reason, the optimum pressure values should be defined. So that there can be also an energy saving avoiding the excessive pressure. Finally, in firing step, again the energy costs are important, so the optimum values should be defined again to get the closest density to the green and best compressive strength for the clenching procedure. Perhaps this is also related with the phase transformations of the materials but our main concern is not the strength for the phases, but the required temperature levels for these phases and the strengths of the materials measured after firing at each temperature level.

The target of this study is describing the production process of ceramic insulators used for thermostats, defining the process parameters and the optimum values; characterizing the final product. With the tests, it is aimed to get the appropriate composition, pressure and temperature values for the mentioned 3 process above. Chemical analysis and X-ray diffraction (XRD) techniques used for the characterization of the raw materials. In the beginning, defining the compositions of the powders, the

appropriate humidifier level and the humidifier liquid which is also useful for mould lubrication is defined. Pure water, kerosene and isopropil alcohol are tried for moisturing and lubricating liquid. Finally, it is clarified that 3 % kerosene is appropriate for alumina material and 3 % water is appropriate for steatite material.

Optimum pressure values are defined with the applied pressures on the press which are 30, 60, 90, 120 and 150 bars, with the concern of the conservation of green shape by the help of the moisture level. In this contex, it is defined that 90 Bars and over pressures are suitable for the conservation of the green shape and optimum pressure level is defined as 90 Bars.

In firing process, the temperatures between 1000 – 1500 °C with a 100 °C of steps are tested. With the density measurements, electrical and compressive strenght tests applied on the fired products, it is clarified that under 1200V of a meger test, there is no potential short-circuit. Also the best strenght values recorded; for alumina at 1400 °C and for steatite at 1300 °C. For both materials, higher temperatures resulted in sticking behaviour so higher temperature specimens are not considered. In addition to these, the closest density values for the real densities of the powders are recorded by the specimens fired under 1300 °C (steatite) and 1400 °C (alumina).

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Seramik malzemelerin kullanımı binlerce yıl öncesine dayanmaktadır. İnsan hayatında daima önemli bir yer tutmuş olan seramik malzemeler, insanlığın gelişimiyle birlikte ilkel seramiklerden, endüstriyel seramiklere doğru bir geçiş sergilemiştir. Artık günümüzde, seramik malzemeler endüstriyel birçok alanda kullanılmaya başlanarak, birçok metalik malzemenin yerini almaya başlamış ve gelişen teknolojik uygulamalarla, insan hayatındaki vazgeçilmezliğini bir kez daha ispatlamıştır.

Endüstriyel uygulamaların önemli bölümünü oluşturan teknik seramikler içerisinde, elektriksel alanda kullanılan izolatör seramikleri özellikle 20.yy'dan beri oldukça önem kazanmıştır. Günümüzde oldukça fazla kullanılan elektrik-ısı esasına dayalı gereçlerde vazgeçilmez olan termostatik izolatörlerin üretim yöntemleri de temelde diğer seramik türlerinin üretiminden farklı değildir. Söz konusu termostatlarda kullanılan seramik izolatörler de harman hazırlama, şekillendirme ve pişirme aşamalarından ibarettir. Fakat önemli olan bu aşamalardaki parametreleri optimize edebilmektir. Çünkü günümüz piyasa koşullarında artan maliyetler dolayısıyla ancak doğru optimize edilmiş malzeme ve üretim yöntemleriyle üretilen ürünlerden kâr edilmesi mümkün olabilir.

Seramik termostat izolatörlerinin üretimi için öncelikle uygun bir harman hazırlanır ki bu harmandan beklenen, uygun kuvvetlerle şekillendirme ve uygun sıcaklıklarda pişirilme işlemi gerçekleştirildikten sonra arzu edilen yoğunluk ve boyut toleranslarında, istenen elektriksel izolasyonu sağlayabilecek bir ürün oluşturulabilsin. Harman hazırlanırken böyle bir izolatörün üretiminde en uygun olan malzeme, özellikle elektriksel özellikleri gereği alüminadır. % 60-80 seviyelerinde alümina düzeyi yeterli mukavemet ve izolasyon değerlerini sağlarken elzem olan burada alümina seviyesini düşürerek, maliyet konusunda indirim gidebilmektir. Bu sebeple % 20-40 aralığında değişebilecek bir silika seviyesi, söz konusu maliyet uygunluğunu sağlayabilecek, istenen diğer özelliklerde de negatif bir ilerleme kaydetmeyecektir.

Harman oluşumundan sonra ilave edilen nemlendirici ve yağlayıcı özelliği göstermesi beklenen sıvı, uygun maliyetler oluşturabilmek adına uygun sıvıların tercihiyle minimum düzeylere indirilebilir. Genellikle uygulanan miktarlar % 1-5 aralığında değişiklik göstermektedir.

Hammaddeden sonra enerji ihtiyacının diğer büyük adımı şekillendirme aşamasıdır. Bu aşamada kompaktlanacak malzemeye uygulanabilecek optimum basınç değeri, yaş ürünün yağlayıcı sayesinde kalıptan kusursuzca ayrılmasına ve pişme aşamasına kadar şeklini korumasına yetmelidir.

Son temel aşamada, pişirme esnasında elde edilen optimum sıcaklık değerleri, enerji kalemlerinin en büyük adımını oluşturur. Bu yüzden bu aşamanın ayrı bir önemi vardır. Farklı malzemeler için sinter sıcaklıkları bu aşamada iyi tayin edilmiş olunmalı, pişme sonrası üründen istenen performansa bu aşama sayesinde cevap verilebilmelidir.

Son 50 yıldır ülkemizde de özellikle teknik seramikler alanında iyi bir yol katedilmiştir. Fakat sözkonusu seramik termostat izolatörleri çok basit bir üretim yöntemine sahip olmasına rağmen bu konu ayrıca ele alınamamıştır. Zaten konuyla ilgili literatürde konuyla direkt alakalı, üretimini ve optimizasyonunu anlatan bir kaynak bulunmamaktadır.

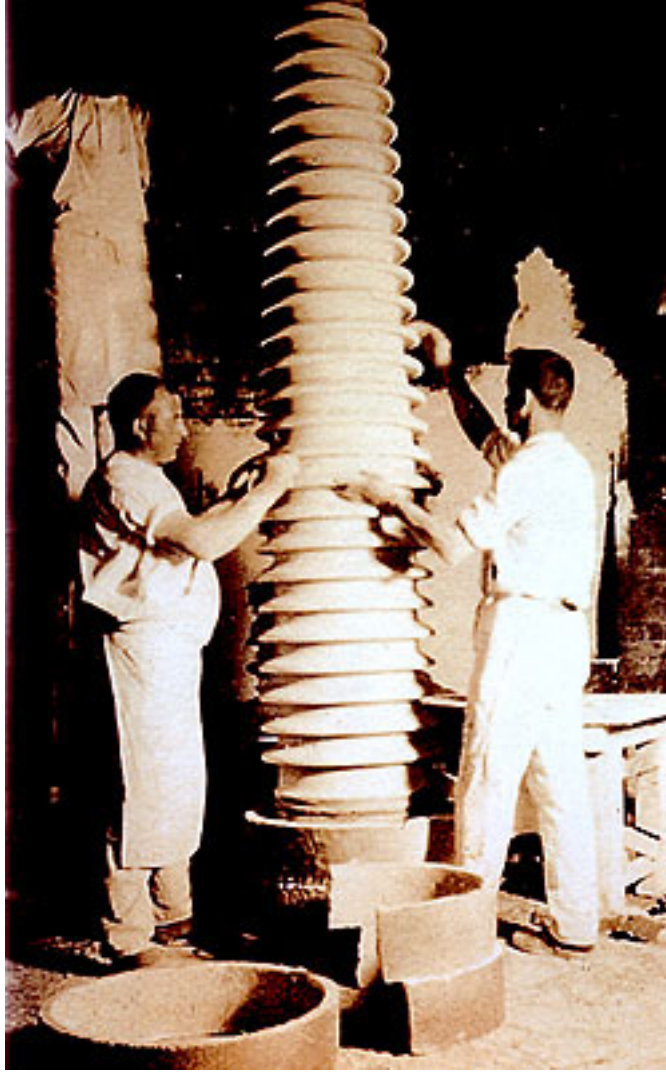
Bu çalışmanın amacı, seramik termostat izolatörlerinin üretim yöntemini açıklamak ve aşama aşama üretim parametrelerini inceleyerek optimize etmektir. Bu amaçla aşamalar incelenmiş, harman nemi, kompaktlama basıncı ve sinter sıcaklığı değerlerinin optimize edilmesine çalışılmıştır.

2. TEKNİK SERAMİKLER

2.1 Teknik Seramiklerin Tarihçesi

Seramiklerin kullanımı, insanoğlunun ilk yıllarına kadar uzanır. Güvenilir arkeolojik araştırmalar göstermiştir ki; ilk seramik şekiller 24000 yıldan daha önce, balçığımsı çamurdan yapılarak ateşte pişirilerek sertleştirilip oluşturulmuştur. Bundan hemen hemen 10000 yıl sonra, insanoğlunun koloniler kurarak yerleşik hayata geçişiyle birlikte ilk seramikler Mezopotamya ve Hindistan'da üretilmiştir. Bunun akabinde, ilk kullanışlı seramik kaplar ise 7000 ila 8000 yıl önce orta Avrupa'da üretilmiştir [1].

Orta çağ sonlarına kadar metal işlemede kullanılan ergitme ve proses fırınları kaolen bağlı kumtaşı ve silika malzemeden imal ediliyordu. Bu yolda sentetik refrakterlerin gelişimi (1550 civarında Agricola, Freiberg) endüstriyel devrimin yapıtaşlarından biriydi ve metalleri ve camı endüstriyel ölçüde ergitmek ve kömür, çimento ve seramikleri üretebilmek için gerekli koşulları yarattı. Seramik endüstrisi kimya endüstrisinin önemli bir ortağıydı. Bu günlerde yerlerini büyük ölçüde aside dayanıklı çelik ve emayelere ve ayrıca oksit, nitrür ve karbür bazlı seramiklere bırakmış olsalar da, aside dayanıklı seramik çanaklar ve porselenler uzun zaman boyunca korozyondan korunum için en önemli malzemeler oldular. 19.yy'ın ikinci yarısının başlarında elektro seramikler endüstriyel gelişim için gerekli ilerlemeyi sağladılar. Bu süre boyunca, porselene bağlı elektrik izolasyonuna dayalı temel çözümler geliştirildi. Modern, yüksek performanslı seramik malzemelerin başlangıcını kesin olarak belirlemek oldukça güçtür. Aslında 20.yy'la birlikte seramik malzemelerin gelişimi deneysel bir karakter kazanmıştır. Bu yüzyıl boyunca seramik üretiminde ilk kez bilimsel metodlar uygulanmıştır. Kuvars bakımından zenginleştirilmiş porselen kullanan üretim teknolojilerindeki gelişmeler ilk kez 100 Mpa'dan daha büyük eğilme dayanımına sahip oldu. Daha 1960'larda alümina porselendeki sistematik gelişmeler, özellikle 220 kV üzeri yüksek voltaj izolatörlerinde kayda değer mukavemet artışlarına neden olarak, izolatörlerin ağırlıklarının önemli ölçüde azaltılabilmesini sağladı.



Şekil 2.1: 1920'lerde üretilen izolatörler

1920'lerde radyo yayınının artmasıyla, yüksek frekanslı elektro manyetik alan altında ısınmayan özel seramik izolatörlerine ihtiyaç duyuldu (Şekil 2.1). Bu da forsterit ve steatitin gelişimine neden oldu ki, her ikisi de bugün hala kullanımdadır. Manyetik oksit malzemeler (yumuşak ve sert ferrit) ise 1940'larda kullanılmaya başlandı. Bu arada titanyum oksit esaslı kapasitör malzemeleri geliştirildi ve ayrıca perovskit ($BaTiO_3$) ferroelektrik ve piezoelektrik özellikleri üzerinde araştırmalar başladı. Bu araştırmalar geniş bir yelpazede malzemelerin -hatta bazılarının yarı iletkenlik özellikleriyle- sensörler, frekans ayırıştırıcı filtreler ve yüksek kapasiteli kapasitörlerin üretimine olanak tanımıştır. Bu çalışmalarda teorik gelişimler Heisenberg, Dirac, Heitler, Londas ve Froc gibilerin çalışmaları sayesinde kaydedilmiştir. Diğer bir önemli adım da 1929'da Siemens tarafından sinterlenmiş alüminadan üretilen bujiler oldu. Mikro-elektronikteki gelişmeler alüminyum oksit

ihtiyacını (altlık ve gömlek üretimi v.b.) artırdı. Bu malzemenin yüksek elektriksel dayanımı yanındaki en büyük özelliği düşük dielektrik kayıpları, yüksek ısı iletkenliği, yüksek mekanik mukavemeti ve termal şok dayanımıdır. Termal özellikler Debye'nin teorileriyle yeterli bir şekilde ele alındıktan sonra, sıra mekanik özellikleri irdelenebilmek için kırılma mekanizmasına dair bir teori geliştirmeye gelmiştir. Öncelikle alüminyum oksit ve ardından zirkonyum oksit yapı malzemeleri olarak kullanılmış, silikon esaslı kovalent bağlı malzemelerle (silisyum karbür, silisyum nitrid, SIALON v.b.) 1960'ların sonlarına doğru tanışılmış ve yayılmıştır. Tüm bu malzemelerle ilgili araştırmalar bugün hala devam etmektedir. Ayrıca kırılma mekanizması yaklaşımları yanında, mikroyapı ve modelleme özellikleri arasındaki ilişkiyi anlayabilmek için, yeni matematik modeller ve bilgisayar simülasyonları da geliştirilmiştir. Teorik gelişmelerle paralel olarak yeni proses sıralamalarından, sinterleme metoduna kadar birçok proses teknolojisi de optimize edilmiştir.

Günümüzde bilinen malzemelerle ilgili ilerlemeler kaydedilirken biryandan da yeni malzemeler geliştirilmekte ve yeni uygulamalar yapılmaktadır. Bugünkü malzemelerdeki gelişim 10 ya da 20 yıl öncesiyle kıyaslanamayacak duruma gelmiştir. Bilimsel araştırmalar malzemeler hakkındaki bilgilerimizi artırmakta, kalite, geri dönüşüm ve uygulama güvenliği konusunda yeni ve ileri üretim teknolojileri hayata geçirilmektedir [2].

2.2 Teknik Seramiklerin Tanımı ve Sınıflandırılması

2.2.1 Tanımlar

Malzeme tanımı olarak seramik, tarih boyunca çok çeşitli uygulamaların ve hammaddelerin gelişimini anlatan bir periyodu içerir. Birçok sistematik ulusal tanımlamalar, uluslararası bilimsel çalışmaların sonuçlarını temel alarak endüstriyel bir standardizasyon ve uluslararası bir iş istatistiği bulmaya çalışmaktadır. Bu bağlamda ;

Seramik malzemeler inorganiktir ve metalik değildir. Genellikle bir hacmin oda sıcaklığında kalıplanması ve yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen sinter prosesiyle nihai özelliklerine ulaştırılması halidir.

Teknik seramikler, mühendislik uygulamalarındaki seramik malzemeler olarak ifade edilir ve literatürde şu şekilde bulunurlar;

- Yüksek performans seramikleri
- Yapısal seramikler
- İnşaat seramikleri
- Endüstriyel seramikler
- Mühendislik seramikleri
- Fonksiyonel seramikler
- Elektriksel seramikler
- Kesme seramikleri
- Tıbbi seramikler

Bu sınıflandırma teknik seramiklerin özel yönlerini tanımlamaktadır. Bu bağlamda aslında bir sınıflandırma yapmak oldukça zordur çünkü birçok durumda bu tanımlar önemli ölçüde örtüşürler [2].

Yüksek performans seramikleri de DIN V ENV 12 212 standartlarında öncelikle metalik olmayan, inorganik ve fonksiyonel özelliklere sahip olan, geliştirilmiş, yüksek mukavemetli malzemeler olarak tanımlanır.

Kavram olarak yüksek performans seramikleri, öncelikle mutfak seramikleri, yapısal seramikler, duvar ve yer karoları ve inşaat mühendisliğinde diğer seramikler gibi temelde kile dayalı geleneksel seramiklerden, ileri mühendislik uygulamalarında kullanılan seramikleri ayırmak için kullanılan bir kavramdır.

Birçok malzeme mekanik mukavemet, eğilme ve basınç gibi özellikleriyle sınıflandırılıyor olmasına rağmen yapısal ve inşaat seramikleri henüz standartlaştırılmamıştır. Aslında endüstriyel ve mühendislik seramikleri kavramları da pratikte aynı anlama gelmektedirler.

Fonksiyonel seramikler malzemenin doğasında kendine özgü elektrik, manyetik, dielektrik ve optik özelliklerin olduğu yüksek performans seramikleridir.

Kesme seramikleri, üstün aşınma özellikleri ve yüksek sıcaklık dayanımları nedeniyle talaşlı imalatta kullanılan (matkap uçları, delme, tornalama) yüksek performans seramikleridir.

Tıbbi seramikler insan vücudunda, kemik veya dişlerin tamirinde kullanılan veya diğer sert dokularda kullanılan yüksek performans tıbbi uygulama seramikleridir.

2.2.2 Malzeme grupları

Teknik seramikler yukarıda anlatılan özelliklerine istinaden alt gruplara ayrılırlar. Her ne kadar bu durum net bir anlaşılmaya mahal vermese de, mineralojik ve kimyasal kompozisyona dayalı bir gruplama da yapılmaktadır.

Bu gruplama;

- Silika seramikler
- Oksit seramikler
- Oksit içermeyen seramikler

şeklinde. Burada silika ve oksit seramiklerin bir kısmıyla ilgili bilgi verilecektir.

2.2.2.1 Silika seramikler

İnce seramik ürünlerin en geniş grubu olarak ifade edilen silika seramikleri, aslında tüm seramiklerin en eski grubudur. Bu tip seramiklerin temel bileşeni silika kaynağı olarak; kil, kaolen, feldispat ve kireçtaşıdır. Bunun yanında yüksek mukavemet kazandırmak amacıyla alümina ve zirkon ilavesi de yapılabilmektedir. Sinter prosesi esnasında kristal fazı yanında, temel bileşen silisyumdioksit ile birlikte, büyük ölçüde (>% 20) cam fazı da oluşmaktadır.

Silika seramiklerine dahil olan gruplar; porselen, steatit, kordierit ve müllitdir.

Silika seramikler, nispeten düşük sinter sıcaklıkları, proses kontrol kolaylıkları, doğal ham madde tedarikindeki mevcut kolaylıklar nedeniyle oksit ve oksit içermeyen seramiklere göre çok daha ucuzdurlar.

Silika seramikleri ısı mühendislik uygulamaları, ölçüm ve kontrol mühendisliği, proses ve çevresel teknolojiler, izolatörler gibi tipik yüksek ve düşük voltaj uygulamaları, sigortalar, katalizörler ve seramik gömleklerin yanı sıra gerekli araç-

gereç endüstrisinde de birçok alanda kullanılmaktadırlar. Aynı zamanda, silika seramikleri refrakter malzemeleri olarak da kullanılmaktadırlar [3].

2.2.2.2 Oksit seramikler

Prensip olarak tekli fazdan oluşan ve tek bileşenli (> % 90) metal oksit malzemeler oksit seramikler olarak tanımlanmaktadırlar. Ham maddeleri yüksek safiyetteki sentetik ürünlerdir. Çok yüksek sinter sıcaklıklarında geliştirilmiş özelliklerine istinaden çok düzenli bir mikro yapısı oluşmaktadır. Bazı oksit seramik sistemleri şu şekildedir [3, 4];

- Tekli malzeme sistemi
 - Alüminyum oksit
 - Magnezyum oksit
 - Zirkonyum oksit
 - Titanyum dioksit (kapasitör malzemesi olarak)
- Çoklu malzeme sistemi
 - Karışık oksit seramikler
 - Alüminyum titanat
 - Çinko zirkonyum titanat (piezo-seramikler)
 - Yayılım seramikleri
 - Zirkonyum oksit takviyeli alüminyum oksit
 - (Zirkonya ile toklaştırılmış alümina – Al_2O_3/ZrO_2)

Oksit seramiklere elektrik ve elektronik endüstrisinde, genelde yapısal seramikler olarak ve elektriksel olmayan uygulamalarda rastlanılmaktadır. Bu tip uygulamalara uygun özellikler kırılma tokluğu, aşınma dayanımı, yüksek sıcaklık dayanımı ve korozyon dayanımıdır.

2.2.2.3 Oksit içermeyen seramikler

Oksit içermeyen seramikler bor, karbon, nitrojen ve silisyum bileşiklerine dayalı seramik malzemelerdir. Amorf grafitten üretilen ürünler bu gruba dahil değildir.

Oksit içermeyen bileşikler yüksek oranda kovalent bileşikler içerir. Bu onların yüksek sıcaklıklarda kullanılmasını sağlayarak çok yüksek bir elastik modülüne sahip olmalarına neden olur. Ayrıca mükemmel bir korozyon ve aşınma direnci yanında, yüksek mukavemet ve sertlik sağlar.

En önemli oksit içermeyen seramikler şunlardır ;

- Silisyum karbür
- Silisyum nitrür
- Alüminyum nitrür
- Bor karbür
- Bor nitrür

2.2.3 Sınıflandırma

2.2.3.1 Eski standardizasyon

Seramik malzemelerin standardizasyonunun en başında, uygulama mühendislerinin göz önünde bulundurması gereken iki önemli kriter vardı. Bunlar emniyet ve güvenilebilirliktir. İşte bu bağlamda, ancak bu özellikleri sağlayabilen seramik malzemeler elektrik mühendisliğinde kullanılmak üzere onaylanmıştır.

Ceramic Materials for Electronics adlı bu standart DIN IEC 40685 / VDE 0335 standardı tarafından düzenlenmiş ve hem ulusal hem de uluslararası alanda yıllardır geçerli olarak kabul edilmiştir. Daha sonra üzerinde çalışılan standart DIN EN 60672 olarak yayınlanmıştır. Burada standartlaştırılan malzemeler kategorilere ayrılmış (100, 200 v.b.) ve tip numaralarıyla (C....) tanımlanmıştır. Çizelge 2.1, Çizelge 2.2, Çizelge 2.3'de çeşitli standartlara dair örnekler verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Magnezyum silikatlar ve standardizasyonu

Magnezyum silikatlar	(C200)
Düşük voltaj steatit	C 210
Standart steatit	C 221
Steatit, düşük kayıplı	C 221
Gözenekli steatit	C 230
Forsterit, gözenekli	C 240
Forsterit, yoğun	C 250

Çizelge 2.2 : Bazı silikatlarda standardizasyon

Gözenekli alüminyum silikat ve magnezyum-alüminyum silikatlar	(C 500)
Alüminyum silikat esaslı	C 510
Magnezyum-alüminyumsilikat esaslı	C 511
Magnezyum-alüminyumsilikat esaslı	C 512
Kordierit esaslı	C 520
Alüminyumsilikat esaslı	C 530

Çizelge 2.3 : Yüksek alümina içerikli seramikler ve standardizasyonu

Yüksek alümina içerikli seramikler	(C 700)
Yüksek Al ₂ O ₃ içerikli seramikler; > % 80 - 86 Al ₂ O ₃	C 780
Yüksek Al ₂ O ₃ içerikli seramikler; > % 86 - 95 Al ₂ O ₃	C 786
Yüksek Al ₂ O ₃ içerikli seramikler; > % 95 - 99 Al ₂ O ₃	C 795
Yüksek Al ₂ O ₃ içerikli seramikler; > % 99 Al ₂ O ₃	C 799

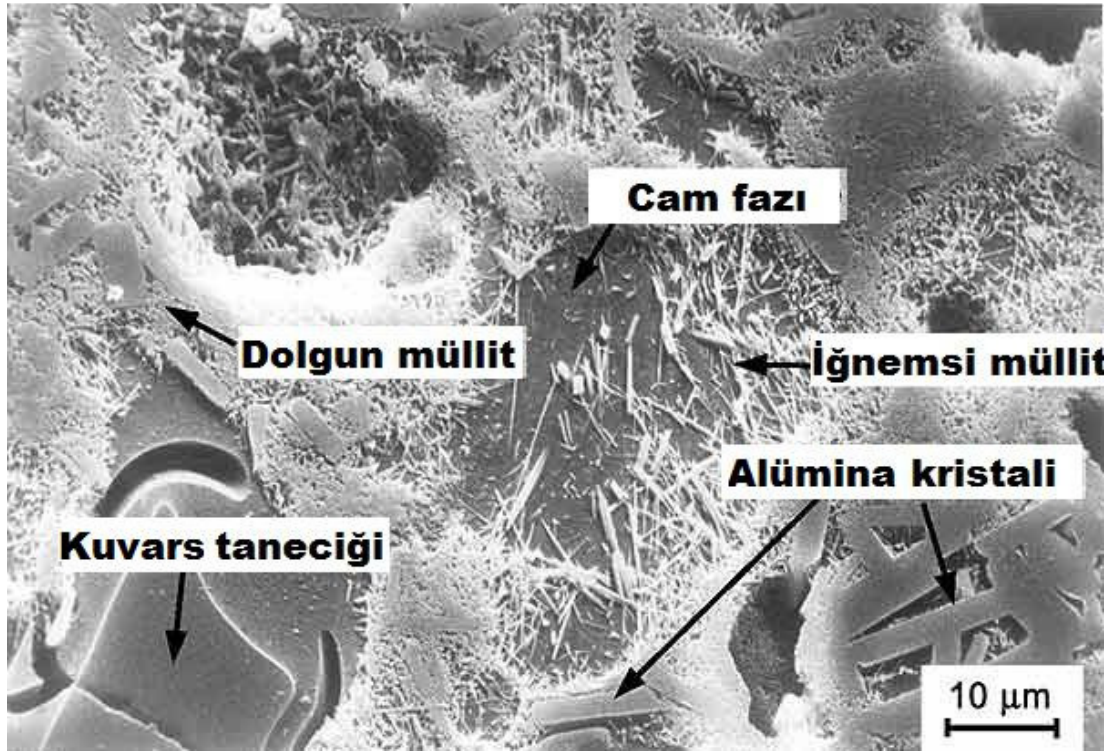
2.2.4 Çeşitler

2.2.4.1 Silika seramikler

Teknik porselen

Teknik porselenler, birçok elektronik uygulamada kullanılan alkali alümina silikat grubu malzemelerdir. Elektrik evlerde kullanılmaya başladığından beri yüksek mekanik dayanım, mükemmel elektrik izolasyonu ve kimyasal etkilere karşı oldukça

başarılı birçok çeşit porselen zaten kullanılmaktaydı. Fakat elektrik teknolojisindeki enerji tüketiminin hızla artmasıyla birlikte porselenlerin özellikleri de geliştirilerek artırılmıştır. Bu şekilde Şekil 2.2’de görüldüğü gibi, bugünün teknolojisi olan, oldukça yüksek (-50 °C den 550 °C’ye) termal gerilimlere dayanabilen ya da kısa süreli ani sıcaklık değişimlerine daha dayanıklı ve kesinlikle kuvars porcelene göre daha iyi olan alümina porcelene ulaşılmıştır. Daha sonra yapılan araştırmalarla birlikte hidrofobik yüzeylerin, dış tabakanın elektriksel özelliklerini artırdığı görülmüştür ve basit yapısal formlara izin verdiği görülmüştür. Üstelik alümina ve boksitin yer değiştirmesi de çok yeni bir buluştur. Bu yeni ve oldukça ekonomik malzeme kıyaslanabilir teknik özellikler sunmaktadır [5].



Şekil 2.2 : Alümina porceleni mikro yapısı SEM görüntüsü

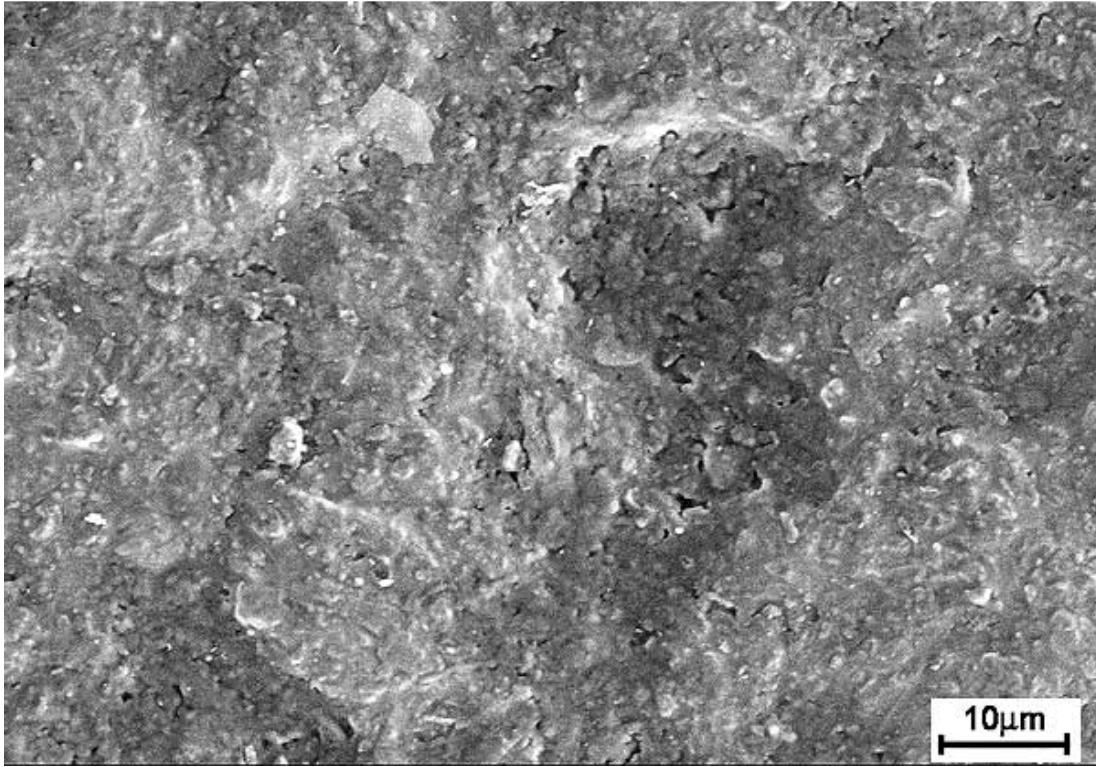
Kuvars porceleni ve alümina porceleni arasındaki fark hammaddede yatar ki, silika daha ucuz bir hammadde iken, alümina oldukça pahalı bir hammaddedir.

Steatit

Steatit temelde kil, feldispat veya baryum karbonat ilaveli doğal magnezyum silikattan oluşan, doğal hammaddelere dayalı seramik bir malzemedir. Steatit genellikle sinterlenerek yüksek bir yoğunluğa ulaşmaktadır. Kullanılan flaks

malzemeleri steatitin elektriksel özelliklerini etkilemektedir. Bu şekilde steatit; normal, özel ve yüksek frekans steatiti olarak ayrılmaktadır.

Özel steatit uluslararası standartlarda düşük kayıp faktörüyle belirtilen steatit olup sadece düşük kayıplı yüksek frekans parçalarında değil aynı zamanda mükemmel işlevselliği sayesinde ince cidarlı parçaların üretiminde de kullanılmaktadır. Bu durum termal olarak azalan mekanik mukavemetin de kontrolünü sağlamaktadır (Şekil 2.3). Bu malzeme aynı zamanda çok hassas toleranslara sahip parçaların ekonomik olarak üretilmesini de sağlar, çünkü sinter sırasında çok küçük bir daralma gözlenir. Aynı zamanda diğer seramik malzemelere göre daha az aşındırıcıdır ve bu sebeple kuru preslemeyle de üretilebilir [6].

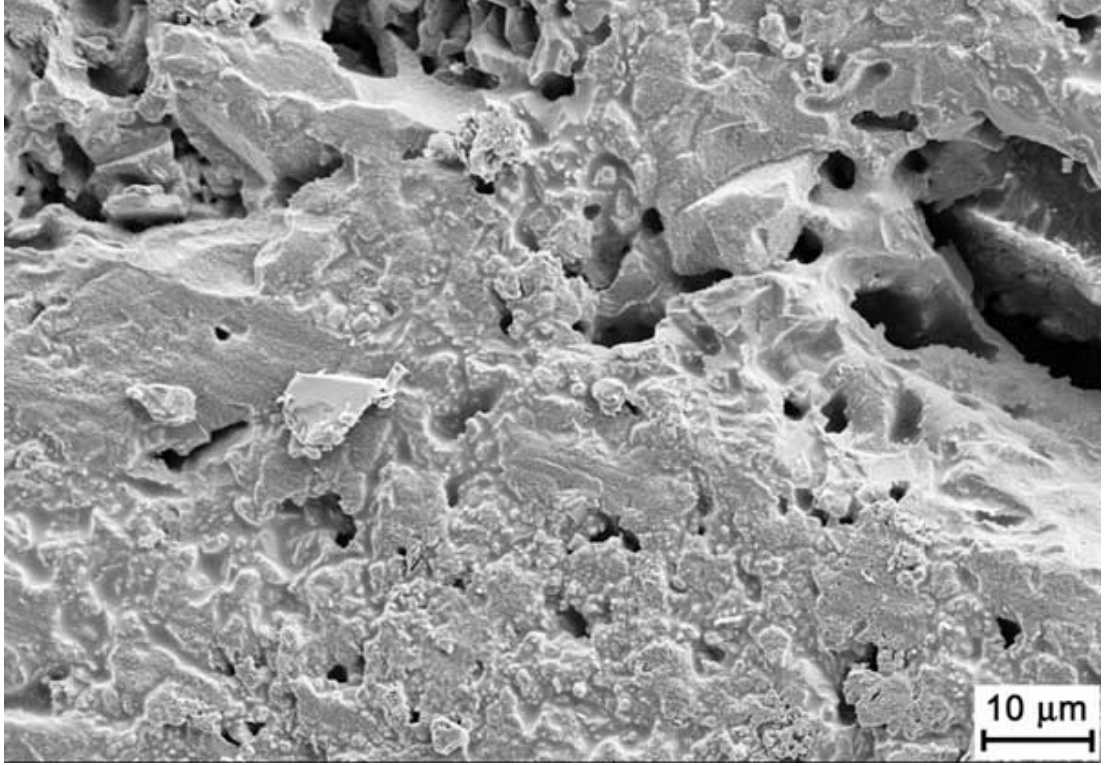


Şekil 2.3 : Sinterlenmiş steatit yüzeyi

Özel steatitin mükemmel mekanik ve dielektrik özellikleri bulunur ve 90 yılı aşkındır elektrik mühendisliği, elektronik parçalar ve ısıl mühendislik konularında birçok alanda kullanılmaktadır. Tipik uygulamaları sigortalar, izolasyon boncukları, alçak gerilim güç anahtarları ve taban plakalarıdır. Isıtma gereçleri (rezistans kılıfları) gibi özel uygulamalarda, kolay işlenebilirliği ve termal şok dayanımı nedeniyle ekseriyetle gözenekli steatit kullanılmaktadır.

Kordierit

Kordierit malzemeler ve diğer kordierit esaslılar, magnezyum silikattırlar. Sabuntaşı veya talkın kil, kaolen, korund ve müllit ilavesiyle sinterlenmesinden elde edilir. Basit bir kordierit kompozisyonu % 14 MgO, % 35 Al₂O₃ ve % 51 SiO₂ dir. Kordierit malzemeler düşük bir termal genişleme katsayısına sahiptirler. Bu da onların önemli termal şok dayanımlarının ve iyi mekanik mukavemetlerinin bir sebebidir. Kordieritler gözenekli (Şekil 2.4) ve yoğun olmak üzere ikiye ayrılırlar. Gözenekli olanın yoğun olana göre düşük bir eğilme dayanımı varken daha yüksek bir termal şok dayanımı bulunmaktadır. Çünkü termal gerilimleri gözenekli yapısında absorbe edebilmektedir.



Şekil 2.4 : Gözenekli kordierit yapısı (C 520)

Kordierit malzemeler daha çok ısı element alışmaları karşısında 1000 °C veya 1200 °C ye kadar inert davranırlar (Isıtıcı malzemeyle seramik arasında herhangi bir reaksiyon gerçekleşmez). Bu sebeple kordieritler sıklıkla elektriksel ısıtma uygulamalarında ve ısıl mühendislik uygulamalarında bulunurlar. Uygulama alanları genellikle; sürekli elektrik akımının olduğu su ısıtıcıları, ısıtma elementi tüpleri, fırınlardaki ısıtma elementi takviyeleri, dairesel ısıtıcılar, havyalardaki ısıtma kılıflarında, gazlı ısıtıcılarda, buji koruyucuları ve araçlardaki katalizör

taşıyıcılarında kullanılırlar. Özel kullanımlar için kullanılan bir malzeme de vardır ki kordierit, müllit ve yüksek oranda alümina içerir (C 530) ve bu sayede yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir [7, 8].

Müllit seramikleri

Al_2O_3 - SiO_2 sistemini kimyasal ve mineralojik olarak çeşitlendirip, müllitin özelliklerinde özel değişimlere varılabilir. Saf müllit ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) kütlece % 82.7 Al_2O_3 ve % 17.3 SiO_2 'den oluşur. Geleneksel sinter teknikleriyle müllitin yoğun olarak sinterlenmesi sağlanamamaktadır. Müllit seramiklerinin mikro yapısında mineral fazında barındırdığı müllit, korund (Al_2O_3) ve cam (SiO_2) fazları görülür.

Sinterlenmiş müllit genelde maksimum % 10 cam fazı içerir. Toplam porozite hacimsel olarak % 10 civarındadır.

Poroz müllit seramikleri nispeten daha yüksek mekanik dayanımlı, düşük termal genleşmeli ve yüksek termal şok dayanımlı cam fazı içerirler. Yüksek sıcaklıklardaki sürünme dayanımları saf alüminyum oksit seramiklerine göre daha baskındır. Kullanım alanları 1700 °C'ye kadar yüksek sıcaklıklardaki fırın parçaları (okside atmosferler dahil) ve yüksek sıcaklık fırınlarındaki taşıyıcı merdanelerdir. Düşük termal iletkenlik ve yüksek korozyon dayanımı sayesinde, poröz müllit endüstriyel refrakter malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Cam fazı malzeme miktarının artırılmasıyla (> % 10) porozite önemli ölçüde düşürülebilir. Yoğun şekilde sinterlenmesiyle müllit seramikleri yüksek dayanım, yüksek termal şok dayanımı ve yüksek sürünme dayanımı özelliklerini bünyesinde toplar. Bu özellikleriyle birlikte önemli bir kullanım alanı da termokupul koruyucu tüplerdir [1, 2].

2.2.4.2 Oksit seramikleri

Oksit seramikleri alümina, magnezya, ZrO_2 , ZTA (Zirkonya ile toklaştırılmış alümina), alüminyum titanat, titanyum dioksit, baryum titanat, kurşun çinko titanat ve sinterlenmiş füzd silika olarak tanımlanabilir. Bu bölümde ekseriyetle llümina ve magnezya üzerinde durulacaktır.

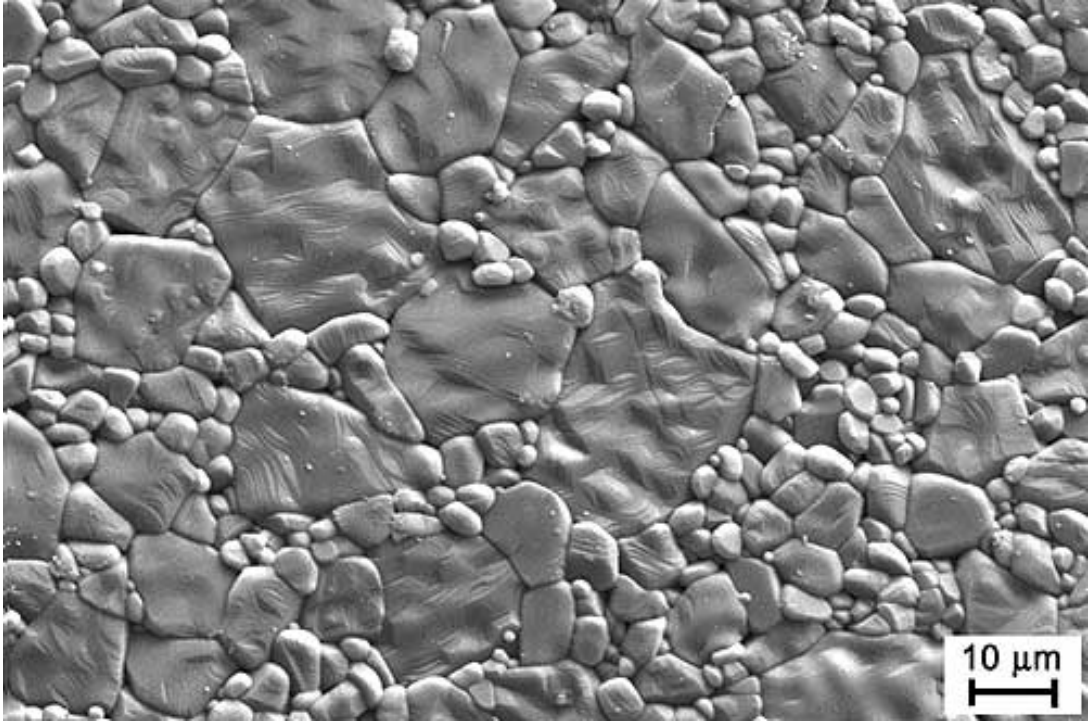
Alüminyum oksit

Alüminyum oksit (Al_2O_3) en önemli teknik seramiklerdendir ve çok geniş bir uygulama alanı bulunmaktadır. Sinterlenmiş alüminyum oksit şu şekilde karakterize edilebilir;

- yüksek mukavemet ve sertlik
- sıcaklık kararlılığı
- yüksek sıcaklıklarda yüksek aşınma ve korozyon dayanımı

Bu sentetik olarak üretilmiş malzemeler pratikte % 80'den % 90'a kadar alüminyum oksit içeriğine sahiptirler. Bu malzemenin seçimi teknik ve ekonomik kriterlere dayanır. Yüksek alüminalı bir malzeme (Şekil 2.5, Şekil 2.6) her zaman gerekli ihtiyacı en iyi şekilde karşılamaz.

Alüminyum oksit miktarları aynı olmasına rağmen, değişik üreticilerin hazırladığı toz formülleri gereği alüminyum oksitin mekanik özellikleri değişiklik gösterebilir [9].



Şekil 2.5 : Dağlanmış alüminyum oksit yüzeyi



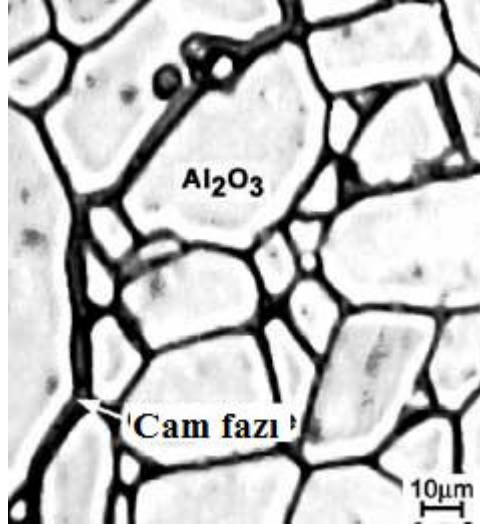
Şekil 2.6 : % 99.7'lik alüminyum oksit seramiği mikro yapısı

Alüminyum oksit malzemeler, elektrik mühendisliğinde kullanılan izolatörlere dair tüm ihtiyaçları karşılayabilmektedirler. Yüksek sıcaklıktaki eğilme ve aşınma dayanımları sayesinde mekanik uygulamalarda da kullanılabilirler.

Alüminyum oksitin mikro yapısı ve buna bağlı değişiklikler Şekil 2.7 ve Şekil 2.8'de görülmektedir.

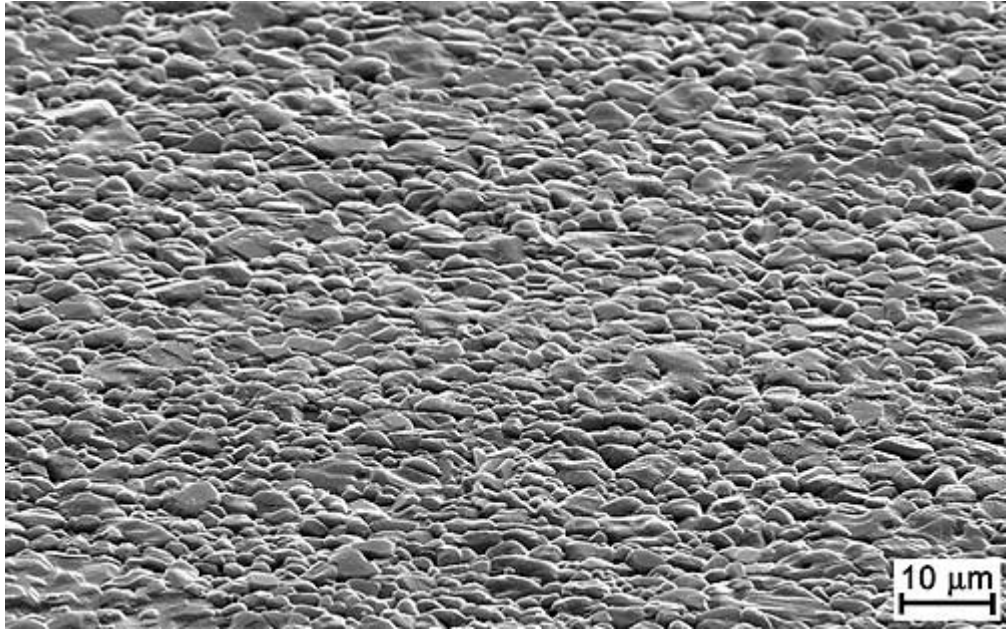


Şekil 2.7 : Mikro kristalin alüminyum oksit mikro yapısı



Şekil 2.8 : İri kristalli alüminyum oksit mikroyapısı

Maksimum büyüklükteki taşıma alanları her zaman gerekli ya da kullanışlı değildir. Mesela, salmastra plakaları % 80'lik bir malzeme oranına ihtiyaç duyarken, tekstil endüstrisinde kullanılan iplik yataklarının, çok küçük bir temas yüzeyi olup keskin bir kenarı olmamalıdır.



Şekil 2.9 : Çekilmiş alüminyum oksit yüzeyi (dağlanmış)

Fiyat/performans oranı ve genellikle faydalı özellikleri göz önünde bulundurulduğunda alüminyum oksit seramiklerinin şu alanlarda kullanıldığı görülür;

- sağlık endüstrisinde kapama-mühürleme elemanı olarak,

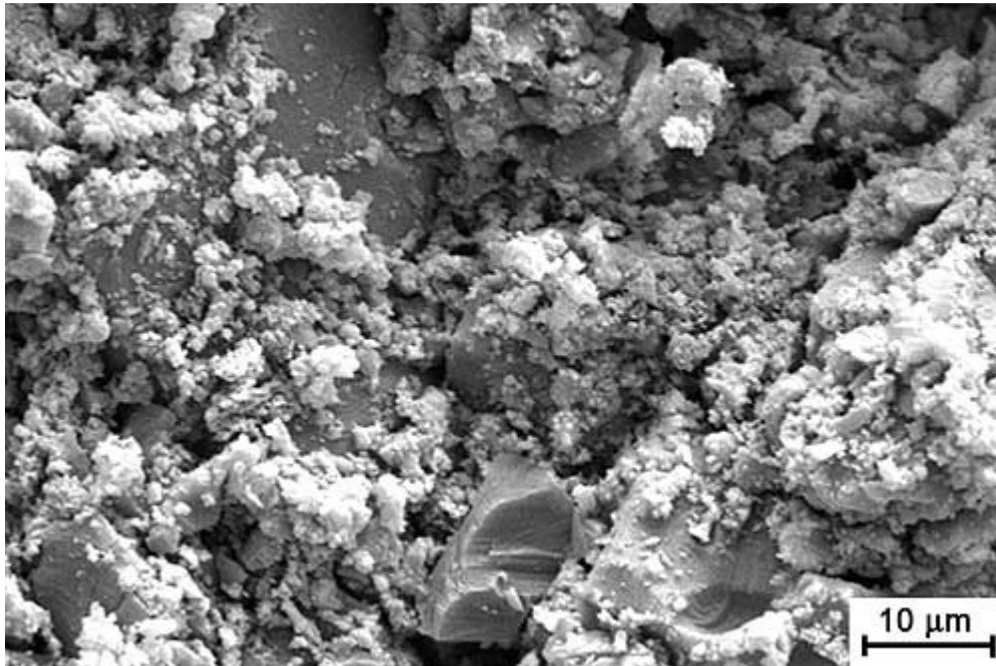
- elektrik endüstrisinde izolatör olarak,
- elektronikte altlık olarak,
- makine ve fabrika yapımında (aşınmaya dayanıklı malzeme),
- kimya endüstrisinde korozyondan koruyucu malzeme (korozyona dayanıklı malzeme, yüksek sıcaklıkta buhara, ergimeye ve curufa dayanıklı) ve filtre olarak,
- yüksek sıcaklık ölçümlerinde kullanılan termokupullar için tüp olarak,
- tıpta implant olarak,
- yüksek sıcaklık uygulamalarında yanma ağzı veya ısı anahtarları arasında destek olarak.

Magnezyum oksit

Magnezyum oksit seramiği çoğunlukla yüksek safiyette ve tek bileşenli olarak gözenekli (Şekil 2.10) ya da gaz sıkıştırılmış formda üretilir.

Bir takım karakteristikleri;

- iyi bir elektrik izolatörü olması
- termal iletkenliğinin iyi olması



Şekil 2.10 : Gözenekli magnezyum oksit kırılma yüzeyi

Bu malzeme ısıtım mühendislik uygulamalarında ilk olarak belirlenen mukavemetlerle küçük tüplerde kullanılmaktadır. Bu tüplerin içinden ısıtım kabloları geçirilerek, metal tüplerin içine sokulurlar. Daha sonra gerçekleştirilen ezme, haddeleme ve çekme işlemleriyle seramiğin boyutları küçültülür. İzolasyon malzemesi parçalanarak kendini metal tüpün formuna sokar. Bu üretim tekniği sayesinde eğri tübular ısıtım elementleri, daldırma ısıtıcıları ve termokupullarda kullanım imkanı sunar.

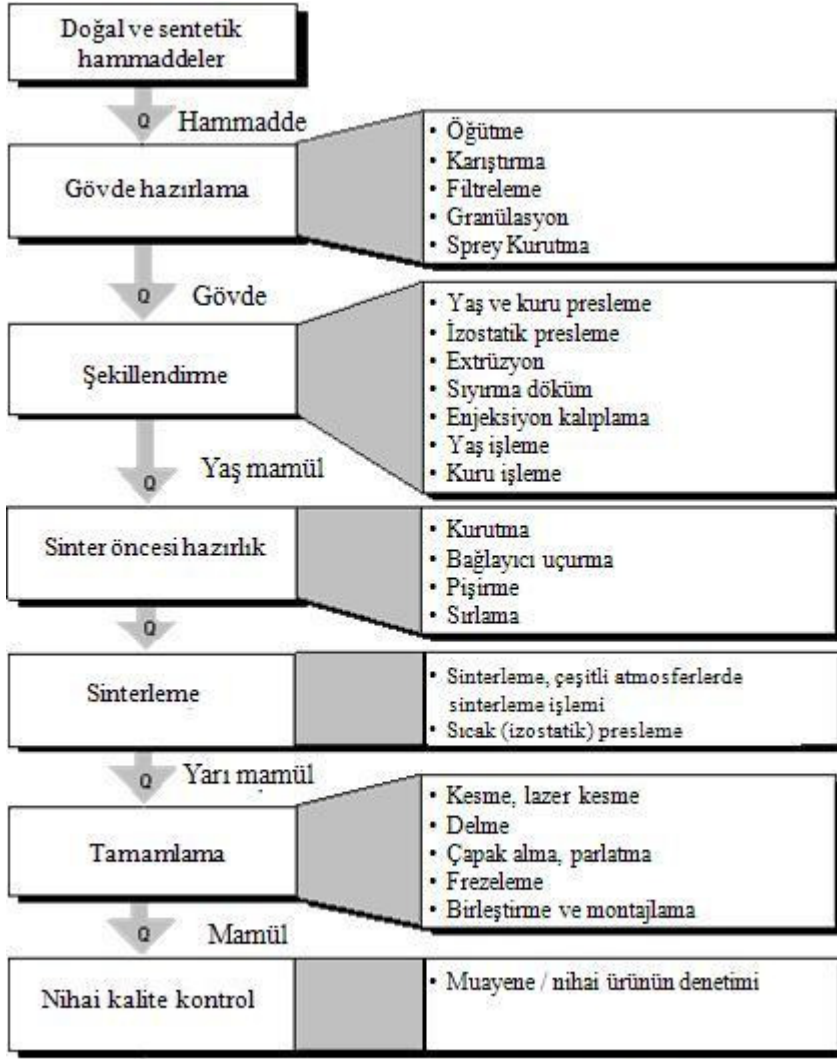
2.3 Teknik Seramiklerin Üretimi

Seramik malzemelerin temel özellikleri hammadde seçimi ve üretim prosesinden etkilenir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 : Mikroyapıya etki eden faktörler

Tüm bu karmaşık üretim prosesine rağmen (Şekil 2.12) hammadde, şekillendirme ve sinter prosesi, birlikte önemli olan nihai mikroyapıyı ve istenen nihai ürün özelliklerini ciddi şekilde etkiler. Bunun yanında özellikle de sinterlenmiş parçalardaki yakın ölçülü toleranslar talaşlı imalatla istenildiği şekilde üretilebilmektedir [10].



Q : Kalite kontrol ölçümleri

Şekil 2.12 : Seramik üretim prosesi [11, 12]

2.3.1 Hammaddeler ve katkılar

Üretimin temel gereksinimleri ve ekonomik bir üretim prosesi kullanma ihtiyacı, tercih edilecek hammaddeleri belirleyen temel esaslardır. Tabi bu durum, hammaddeler yanında seçilecek tamamlayıcı katkıları da etkiler.

Katkı maddeleri genel olarak şu şekildedir;

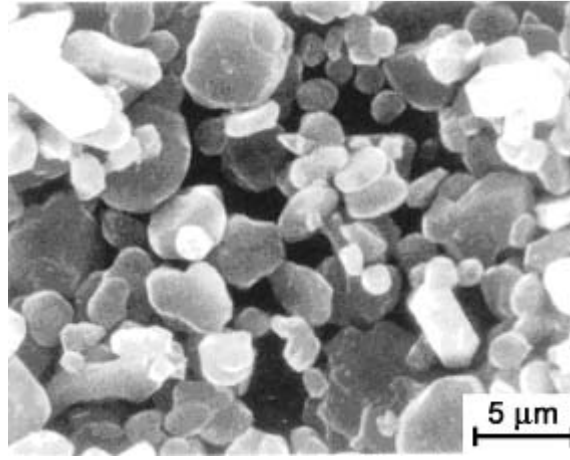
- (inorganik) sinter katkıları

ve şekillendirme katkıları

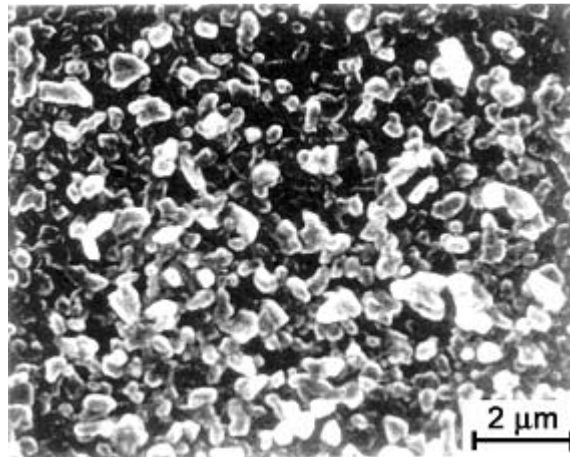
- sıvılaştırma ajanları
- plastikleştiriciler

- bağlayıcılar

tüm bu katkılar en az hammaddeler (Şekil 2.13, Şekil 2.14) kadar önemlidir.



Şekil 2.13 : İri taneli alümina tozu



Şekil 2.14 : İnce taneli alümina tozu

2.3.2 Malzeme hazırlama

Malzeme hazırlama iki şekilde yapılabilir:

- a) Seramik üreticisi gerekli hammaddelerin tedarikini yaparak gerekli işlemleri gerçekleştirir.

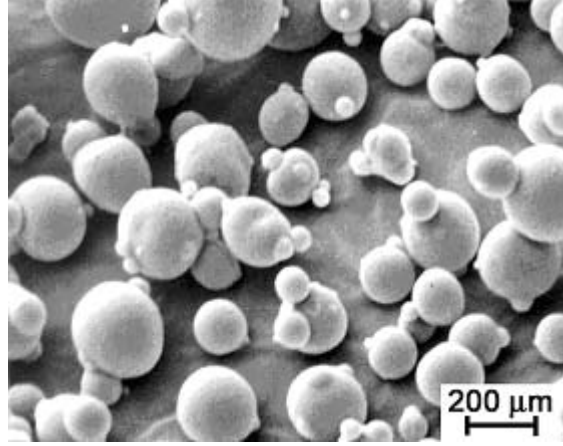
Çeşitli şekillendirme prosesleri için özel hazırlanmış pişmemiş malzemeler gerekmektedir.

Döküm çamuru → döküm için

Granüller → presleme için (Şekil 2.15)

Plastik malzeme → ekstrüzyon için

- b) Seramik üreticisi hazır, sinterlenmemiş malzemenin tedarikini gerçekleştirir ve şekillendirme prosesine başlar [13].



Şekil 2.15 : Spreylenmiş alüminyum oksit granülü

2.3.3 Şekillendirme

Toz partikülleri yeterli kuvvetle tutarlı bir yapı halinde kompaktlanarak sonraki işlemlere hazır hale getirilirler. Eğer gerekiyorsa, malzeme pişirilmeden önce çapak alma işlemleri gerçekleştirilmelidir. Çünkü bu işlemler malzeme pişirildikten sonra çok daha masraflı bir hal almaktadırlar. Çeşitli şekillendirme prosesleri uygularken, pişmemiş mamülün distorsiyonu ve mekanik iç gerilmelerine sebep olabilecek olan yoğunluk gradyanı ve sertlik derecesi, her ne kadar bu değerler sinter sırasında yükseltgenebilir olsalar da, üzerlerine özellikle eğilmelidir. Uygun üretim yöntemi ise genelde olduğu gibi yine ekonomik faktörler tarafından belirlenir [14, 15, 16].

Seramik şekillerin üretim metodları şu temel aşamalarla özetlenebilir;

- Presleme (% 0 – 15 nem)
- plastik şekillendirme (% 15 – 25 nem)
- döküm (>% 25 nem)

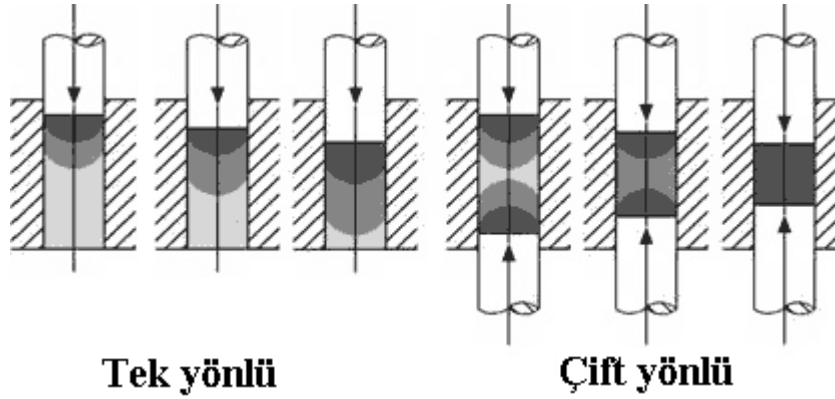
2.3.3.1 Kuru presleme

Hassas ürünlerin kitlesel üretiminde kullanılır. Şekillendirilemeyen granüllerin çelik kalıplarda preslenmesiyle (Şekil 2.16, Şekil 2.17) üretim gerçekleştirilir. Bu prosesin bir sakıncası olan yüksek kalıp maliyeti uzun süreli kullanımlarda kendini amorti etmektedir.



Şekil 2.16 : Kuru presleme

Kuru presleme yüksek sayıdaki üretimler ve ayrıca basit ve kompleks geometriler için en ekonomik üretim yöntemidir. Çukurlar ve delikler normalde presleme yönünde dizayn edilmektedir [14, 15, 16].

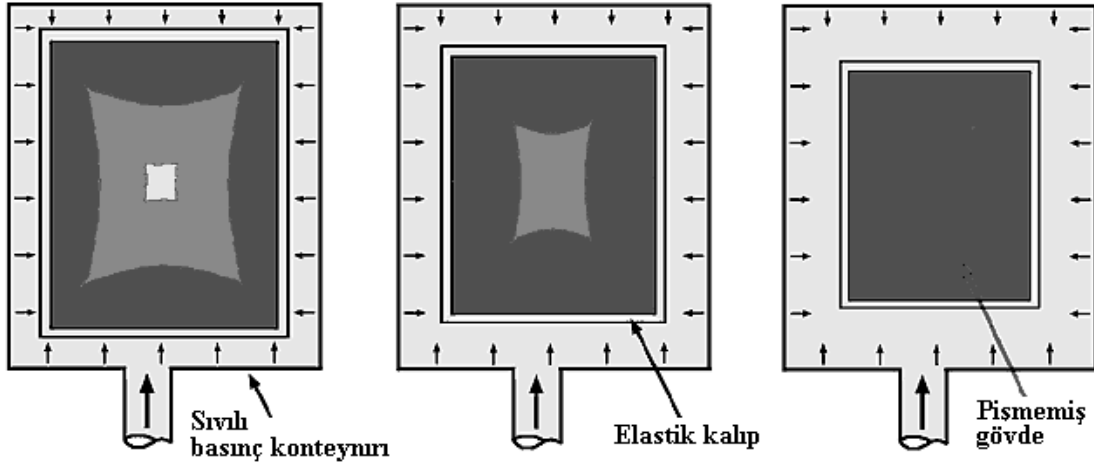


Şekil 2.17 : Tek eksenli kuru presleme, tek ve çift yönlü, çeşitli sıkıştırma bölgeleri

Kuru presleme makinesinin dizaynına bağlı olarak, oldukça farklı büyüklük ve çeşitte ürün üretilebilir. Küçük diskler ya da plakalar 0.8 – 1.0 mm ye kadar üretilebilir. Bunun yanında bant döküm yöntemi daha ince ve düz bileşenlerin üretimi için daha uygundur. Buna rağmen malzeme üzerinde hala küçük çıkıntılar oluşması mümkündür, çünkü preslenen granüller pres kalıbı üzerindeki küçük boşluklara dolabilirler. Fakat gerekli düzenlemelerle bu problemin üstesinden kolaylıkla gelinebilir [14, 15, 16].

2.3.3.2 İzostatik presleme

Düzenli bir şekilde sıkıştırılması gereken boşluklu ürünler, pişirme öncesi işlemeye uygun büyük parçaların üretimi için oldukça uygun bir yöntemdir. Başlangıç formu basit kauçuk kalıplarla belirlenir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 : Değişik sıkıştırma bölgeleriyle izostatik pres (gri seviyeler)

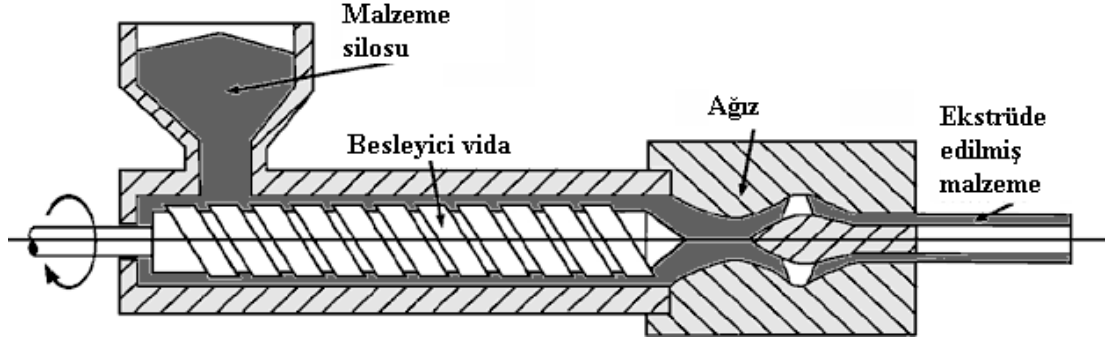
Bu tip bir üretim şekli, zahmetli parçalar ve küçük seriler için oldukça uygundur. Ancak bunun yanında tamamiyle otomatize edilmiş sistemlerle bujiler, öğütücü bilyalar, küçük pistonlar ve kaynak nozülleri üretilebilir.

2.3.3.3 Yaş presleme

Bu üretim şekli vida başları, kenar delikli ve girintili ürünlerin üretimini mümkün kılar. Bu amaç için kullanılan sinterlenmemiş malzeme ekseriyetle % 10-15 arasında nem oranına sahiptir. Bu malzemelerin tek eksenli sıkıştırılması serbestçe hareket etmelerine ve eşdeğer şekilde sıkıştırılmalarına yardımcı olur. Bu üretim şeklinin dezavantajı ise, yaş presleme malzemeleri sadece düşük oranlarda sıkıştırılabilirler [14, 15, 16]. Bu aynı zamanda sıkıştırma derecelerinin limitli olduğu anlamına da gelir. Bu durum, ağırlıklı sinterlenmemiş malzemenin nem oranına bağlıdır ki bu bağlılık kuru preslenen malzemelere göre nispeten daha düşüktür. Bazı durumlarda malzemeleri sinterlemeden önce kurutmak gerekebilir. Söz konusu duruma dair toleranslar DIN 40 680-1 standardında ifade edilmektedir.

2.3.3.4 Ekstrüzyon

Ekstrüzyon, bir piston ekstüder ya da vakum vida presiyle gerçekleştirilir (Şekil 2.19). Homojenize edilmiş malzeme, bir nozülden preslenir ve kesintisiz biletler üretilmesi mümkün olur. Malzemenin optimum derecede sıkıştırılması önemlidir. Ekstrüzyon özellikle mil ya da boru gibi döner simetriye sahip malzemelerin üretimi için uygun bir yöntemdir. Uygun nozül dizaynıyla, kompleks şekilli üretimlerin yapılabilmesi de sözkonusudur. Üretilen biletlerin uzunluğu işleme sokulacak malzeme uzunluğu ya da paketlenen malzeme uzunluğuna dayalı olarak belirlenir.



Şekil 2.19 : Ekstrüzyon

2.3.3.5 Enjeksiyon kalıplama

Prensip olarak karmaşık şekilli ürünlerin kitlesel üretiminde kullanılan bir yöntemdir. Nispeten yüksek kalıp maliyetleri ve bu proseste kullanılan organik ilavelerin aşırı tüketimi bu prosesin olumsuz yönleridir. Geniş enjeksiyon kalıplama makinelerinin taşıma kapasitesi (“shot weight”) tipik değeri 70 g’dır. Genel olarak yapılan dizaynlarda, parça kalınlığı stabil ve maksimum 12 mm olabilecek şekilde yapılmalıdır.

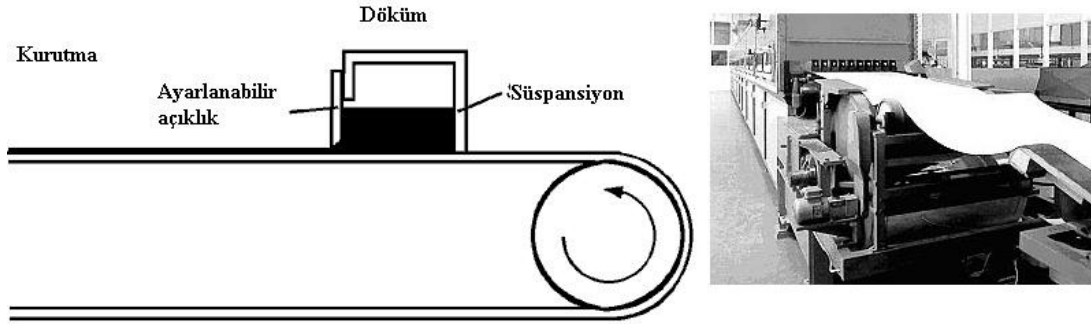
2.3.3.6 Sıyırma döküm

Prototiplerin, kompleks geometrili parçaların ve büyük miktarların üretimi için basit bir methodur. Çift cidarlı ve sağlam nesnelere üretimi mümkündür. Bu yöntemde stabil bir süspansiyon (slip), poroz ve absorban bir alçı kalıba dökülür. Süspansiyondaki sıvının alçı kalıp tarafından emilmesiyle, kalıp cidarlarında malzeme birikmesi söz konusu olur. Biriken malzeme tabakası büyür ve tüm kalıplanmış gövdenin oluşmasını sağlar. Boşluk dökümlerinde, gerekli tabaka kalınlığı elde edildiğinde, geri kalan süspansiyon dışarı dökülür.

2.3.3.7 Bant (şerit) döküm

Burada, çeşitli organik ilaveler içeren seramik süspansiyon, merdaneler üzerinde dönen sonsuz bir şerit üzerine dökülür (Şekil 2.20). Süspansiyon sürekli olarak bir rezervuardan ayarlanabilir bir açıklıktan bant üstüne dökülür. Dökülen bu süspansiyonu kurutmak için, bantın dönme istikametinin tam tersi istikamette sıcak hava süspansiyon üzerine üflenir. Organikler sayesinde, bant sonunda, esnek bir pişmemiş seramik bant elde edilir. Bant döküm özellikle 0,25 – 1,00 mm

kalınlığındaki seramik parçaların üretiminde kullanılır. Şekillendirilen parçalar özellikle levha, kılıf, kapasitör ve çok-katlı dönüştürücü olarak kullanılır [14, 15, 16].



Şekil 2.20 : Bant döküm şekli ve makinası

2.3.3.8 Seçim

Şekillendirme prosesi özellikle şekillendirilecek parça geometrisine ve parça miktarına ve uygulamadaki diğer ihtiyaçlara dayalıdır. Seçim aşamasında hammadde tüketimi ve proses maliyetleri en ekonomik tercihin yapılmasındaki önemli kriterlerdir (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4 : Seramik şekillendirme proseslerinin özeti [14, 15, 16]

Şekillendirme prosesleri
Döküm: Dolu ve boş sıyırma döküm ve vakum döküm Basıncılı döküm Bant döküm
Plastik şekillendirme: Sprey, enjeksiyon kalıplama Ekstrüzyon
Presleme: Kuru presleme İzostatik presleme Yaş-nemli presleme
Özel prosesler: Slip birleştirme Laminasyon

Çizelge 2.5’de ve genel şekillendirme prosesinin avantaj ve dezavantajları gösterilmiştir.

Çizelge 2.5 : Genel şekillendirme prosesinin avantaj ve dezavantajları

Şekillendirme prosesi	Avantajlar	Dezavantajlar
Sıyırma döküm	Kompleks geometriler (ince duvarlar, asimetriler) Düşük malzeme tüketimi	Kompleks reoloji Pürüzlü yüzey Kalıp üretim zorluğu Sınırlı şekil toleransı Yüksek boyutsal tolerans
Basınçlı döküm (sıyırma dökümüyle karşılaştırarak)	Ürünün hızlı oluşturulması Çok düşük kuruma daralması İyi bir boyutsal doğruluk Ürünleri kurutmaya gerek olmayışı Düşük boşluk gereksinimi	Pahalı gereçler Büyük sayılı üretimler gerekli Organik solvent problemleri
Bant döküm	Sürekli üretim İnce tabakalar İyi bir boyutsal doğruluk Yüksek üretim kapasitesi	Sınırlı parça geometrisi Kurutma gereksinimi
Enjeksiyon kalıplama	Kompleks geometriler Yakın toleranslar İyi bir yeniden üretim olanağı Yüksek yüzey kalitesi Doğru kontürler Yüksek lot sayısı	Pahalı gereçler Yüksek kalıp aşınması Sınırlı parça ölçüsü Önemli yoğunluk gradyanı
Ekstrüzyon	Sürekli üretim Yüksek üretim kapasitesi Yüksek parça uzunluğu Ekonomik üretim	Farklı doku Kurutma gerekli
Kuru presleme	Proses otomatize edilebilir İyi bir yeniden üretim olanağı İyi bir boyutsal doğruluk Sınırlı kurutma Ekonomik olarak büyük lot miktarı	Sınırlı parça geometrisi Yoğunluk gradyanı mümkün Pahalı kalıp araçları Pahalı hammadde hazırlama
Yaş ve nemli presleme (kuru preslemeyle karşılaştırarak)	Kompleks parça geometrisi Homojen yoğunluk dağılımı	Kurutma gerekli Daha az kompaktlama Yüksek toleranslar
İzostatik presleme	Dokusuz yüksek yoğunluk Yoğunluk gradyanı yoktur	Düşük çevrim zamanı

2.3.4 Pişirme

Bir kural olarak, döküm, plastik şekillendirme ve presleme gibi metodlarla üretilen pişmemiş seramik bünyeler, daimi katkıların yanında nem, organik deflokülanlar, plastikleştiriciler, bağlayıcılar ve diğer katkıları içerir.

Yüksek sıcaklıklarda gaza dönüşen, buharlaşan ya da bozulan tüm malzemeler, sinterleme işleminden önce, sinter sırasında yapıya zarar vermemesi için uzaklaştırılmalıdır. Toz karışımına, parça şekline ve büyüklüğüne ve şekillendirme prosesine bağlı olarak pişmemiş numune daha düşük ya da daha yüksek bir yoğunluk gradyanı sergileyebilir. Bu durum sinter prosesinden sonra parça toleransları içinde daha göze çarpar bir hal alacaktır [17].

2.3.4.1 Kurutma

Nemli olarak şekillendirilmiş tüm malzemeler, bir su film tabakasıyla kaplıdır. Bünyedeki su uzaklaştıkça, partiküller birbirlerine yaklaşırlar ve hacimde bir azalma görülür. Bu durum kuruma büzülmesi olarak adlandırılır. Kuruma büzülmesi artan nem oranıyla birlikte artar. Büzülme aynı zamanda tane boyutuna, hammadde tipine ve şekillendirme prosesine de bağlıdır. Örneğin, levha şekilli kil mineralinden ekstrüde edilmiş porselenin boyunda, kesitine göre nispeten daha az bir büzülme sözkonusudur. Benzer yönlendirmelerde, kurutma esnasında seramik parçanın boyutu ve geometrisine dayalı olarak, oldukça dikkatli davranılmalıdır. Özel seramik ürünlere yönelik değişik kurutma metodları mevcuttur [18].

2.3.4.2 Organikleri bünyeden uzaklaştırma (Burning out)

Pişirilmemiş ürünler doğal olarak plastiktirler ve genellikle bu durumda kırılmaya karşı yeterli bir dayanım sergilerler. Bu dayanım organik katkıları yardımıyla daha da artırılabilir. Bu katkıları, her halükarda pişirilmemiş malzeme zaten plastik değilse vazgeçilmezdirler. Bünyedeki kalan plastikleştiricileri, bağlayıcıları ve organik katkıları uzaklaştırmak için çok dikkatli bir zaman-basınç-atmosfer-sıcaklık uyumuna ihtiyaç vardır. Katkıları bünyeden uzaklaştırmanın bir şekli karbürleme olarak ifade edilir [18]. Bu işlem SiC ile yapılabilir. Bu yöntemde organik içerikler karbona dönüştürülür. Kurutma ve katkı uzaklaştırma işleminden sonra, pişirilmemiş ürün, formunu sadece zayıf kohezif kuvvetler yardımıyla koruyabilir. Bu aşamadan sonra, ürün sintere girene kadar çok dikkatli olunmalıdır. Bu nedenle, kurutma ve

katkı uzaklaştırma (burn out) prosesi sinter prosesine birçok durumda dahil edilmiştir.

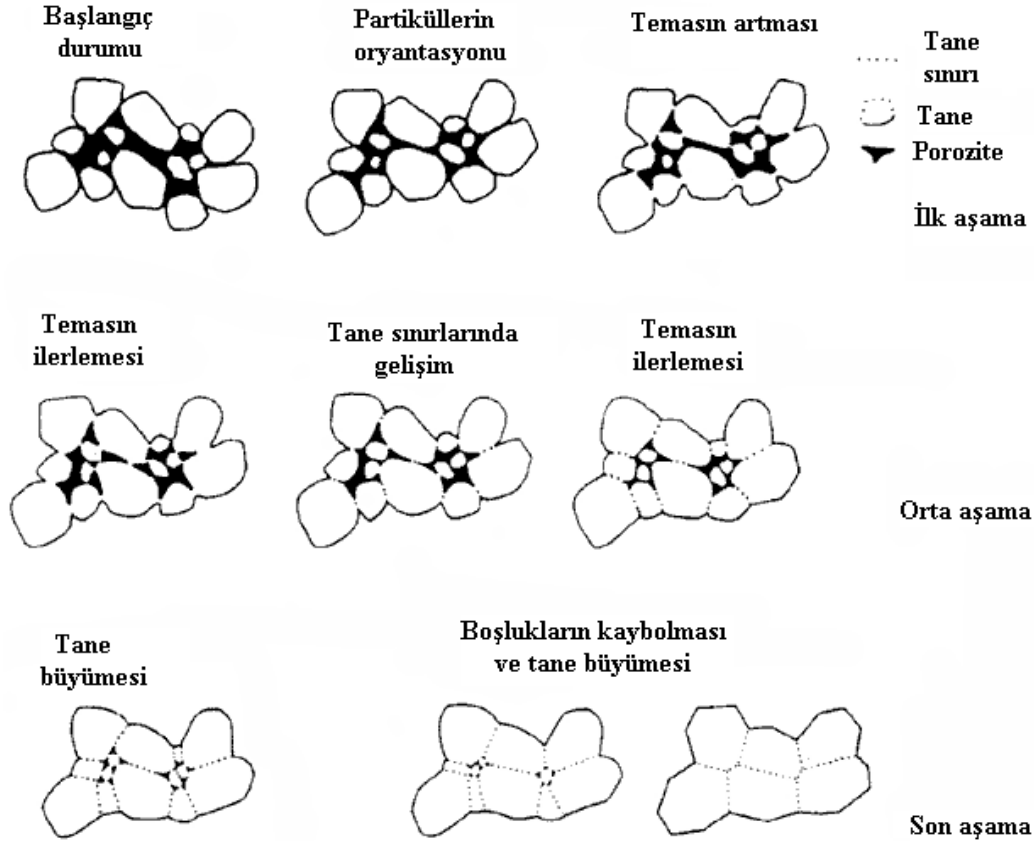
2.3.4.3 Pişirme öncesi

Sinterden önceki taşıma sırasındaki kırılma riskleri ve pişirmeden sonra alternatif bir işleme imkanı sunabilmek için, pişmemiş ürün öncelikle nispeten daha az büzülmenin olacağı bir pişirme işlemine tabi tutulabilir. Bu işlem, proses parametrelerinin kontrolüyle birlikte, dayanım sağlar ve büzülmeye neden olur.

2.3.4.4 Pişirme

Seramik teknolojisinin amacı, çok çeşitli uygulamalarda kullanılmak üzere mekanik dayanımı yüksek ürünler üretmektir. Henüz pişirilmemiş yaş ürünün partikülleri arasında sadece küçük bir bağ derecesi mevcuttur. Seramik bağlar ve seramik bağların sahip olduğu yüksek dayanım, yüksek sıcaklıklarda sinterleme sonrasında elde edilebilmektedir. Pişirme ile sağlanan sinterleme (sıvı faz olsun olmasın) sayesinde seramik malzeme ortaya çıkar.

Seramik malzemelerin sinterleme prosesi, esasında oldukça karmaşık bir prosestir. Sinter oranı saflığa, tane boyutuna, kompaktlamaya ve sinter atmosferine bağlıdır. Yüksek safiyette oksit seramiklerinde katı hal reaksiyonlarıyla üretilen malzemeler, porselen gibi feldispat içeren ve yüksek oranda cam fazı malzemesi içeren malzemelere oranla çok daha yüksek sinter sıcaklıklarına ihtiyaç duyarlar.



Şekil 2.21 : Sinter prosesi esnasında tane büyümesi

Sinter esnasında oluşan reaksiyonlarla birlikte, seramikte bir mukavemet artışı, yoğunlaşma ve porozitede azalma görülür (Şekil 2.21). Bu proses aynı zamanda hacimce de bir azalmaya neden olur; işte bu duruma da daha önce belirtildiği gibi sinter büzülmesi denir. Çeşitli seramik malzemeler için büzülme oranı da farklıdır (Çizelge 2.6, Çizelge 2.7). Kurutma prosesine benzer olarak, sinter prosesi için de iyi olarak belirlenmiş zaman ve uygun atmosfere ihtiyaç vardır. Bu parametrelerin göz ardı edilmesi iç gerilmelerin artmasına, parçada kusurlar oluşmasına ve yetersiz bir karakteristiğe neden olabilir. İnce geometrili malzemeler ve yoğun şekillendirilmiş olanlar, cidar kalınlığı fazla ve büyük malzemelere göre daha iyi davranabilir ve daha hızlı sinterlenirler.

Çizelge 2.6 : Çeşitli seramik malzemelerin sinter sıcaklıkları

Seramik	Sinter sıcaklığı
Alümina porselen	yaklaşık 1250 °C
Kuvars porselen	yaklaşık 1300 °C
Steatit	yaklaşık 1300 °C
Kordierit	1250 – 1350 °C
Alüminyum oksit	1600 – 1800 °C
Kristalize silisyum karbür	2300 – 2500 °C
Sinterlenmiş silisyum karbür	yaklaşık 1900 °C
Silisyum nitrür	yaklaşık 1700 °C

Sinter prosesinde kullanılan enerji ihtiyacı pişirme sıcaklığının artmasıyla birlikte orantısız bir şekilde artış gösterir. Enerjinin yanında, fırın malzemesinden hariç pişirilecek malzemelerin üzerine yığılıp fırına beslendiği tablalarda refrakterden yapılıdır ki bu da önemli bir kayıp faktörüdür [19].

Özel sinter prosesleri sayesinde bazı seramik malzemelerden özel malzemeler yapılabilir:

- Sıcak presleme; bu yöntem teorik maksimum yoğunluğa yakın ürünler elde etmek amacıyla kullanılır. Sinter prosesi tek eksenli preslemeyle desteklenir.
- Sıcak izostatik presleme; maksimum yoğunluğa sahip küçük parçaların üretiminde kullanılır. 3000 bar'a kadar gaz basıncı ve 2000 °C'ye kadar sıcaklık uygulanır.

2.3.5 Büzülme

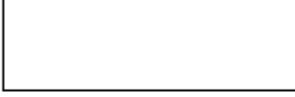

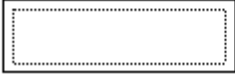
Pişmemiş seramik malzemelerden bir parça şekillendirirken ilk amaç üretilecek ürünün nihai ölçülerine ve şekline mümkün olduğunca yaklaşmaktır. Çünkü sinterden sonra elde edilen oldukça sert ürünün işlenmesi çok daha maliyetli bir hal alır. Üretim prosesi sırasında seramik ürünler bir miktar hacim kaybı yaşadığı için, pişirilmemiş ürünün boyutlarının, nihai ürüne göre bir miktar daha büyük olması istenir. Söz konusu hacim kaybı nemin uzaklaştırılması, kurutma ve pişirme esnasında gerçekleşir. İstenen malzemelerle oluşturulan hammaddeden üretilen ürün, taki pişirilene kadar nihai mikro yapı karakteristiğine kavuşmaz. Prosesteki yüksek sıcaklıklar partiküllerin yüzey alanının azalmasına ve mikro yapının

kompaktlanmasına neden olur. Bu durum hacimde sözkonusu olan azalmaya neden olur ki bunun adına da büzülme denir. İşte bu yüzden, pişmeden önce şekillendirilmiş olan ürünün, proses esnasında meydana gelen büzülmeyle karşılayabilmesi için kalıp ölçülerinin nihai ürüne göre daha büyük olması gerekir.

Çizelge 2.7 : Bazı seramik malzemelerin boyca büzülmesi

Malzeme	Büzülme
Silisyum emdirilmiş/kristalize silisyum karbür	yaklaşık % 0
Sinterlenmiş silisyum karbür	% 18 - 20
Kordierit	% 3 - 8
Alümina porseleni	% 13 - 16
Alüminyum oksit	% 17 - 20
Zirkonyum oksit	% 25 - 32

Kalıp istenen miktarda malzeme ile doldurulduktan sonra, her ne kadar kalıplama esnasında malzeme kayıpları olsa da, pişmemiş kompaktlanan malzemeler birbirlerine çeşitli derecelerde yapışırlar ve bu da sinter esnasında farklı derecelerde büzülmeye neden olur. Standart proses kullanan sinterlenmiş parçaların lineer boyutlarındaki toleranslar (Şekil 2.22), yoğunluk değişiklikleri ve aşırı büzülmeye rağmen \pm % 2'dir. Bu standart toleranslar DIN 40 680 standardında belirtilmiştir. Günümüzde optimize edilmiş, sentetik ve hala üzerinde çalışılan birçok malzemede toleransları % 0,5'in altına çekmek mümkündür.

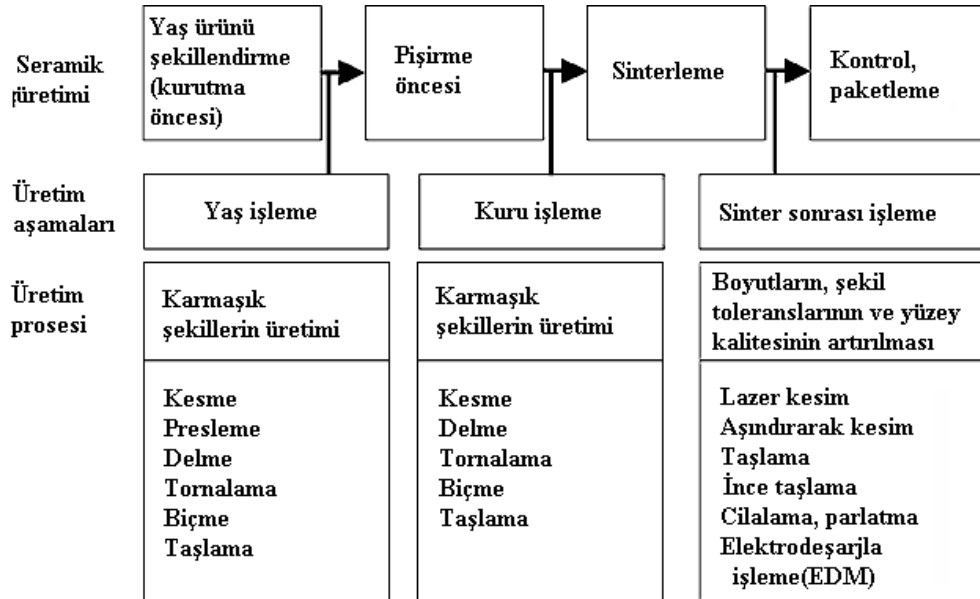
Üretim adımları	Malzeme	Standart Toleranslar	Hassas prosesle üretilmiş toleranslar
Şekillendirme / Yaş işleme			
Sinterleme		$\pm 2 \%$	$\pm 1 \%$
Bitirme prosesi		$\pm 5 \mu\text{m}$	$\pm 0.1 \mu\text{m}$

Şekil 2.22 : Sinterleme ve sinter sonrası talaşlı imalattan sonraki boyutsal toleranslar

Metalik malzemelerin genel prosesiyle karşılaştırılacak olursa, artan üretim maliyetlerinden kaçınmak için tüm boyutlar en geniş tolerans aralığında verilmelidir [20].

2.3.6 Talaşlı imalat

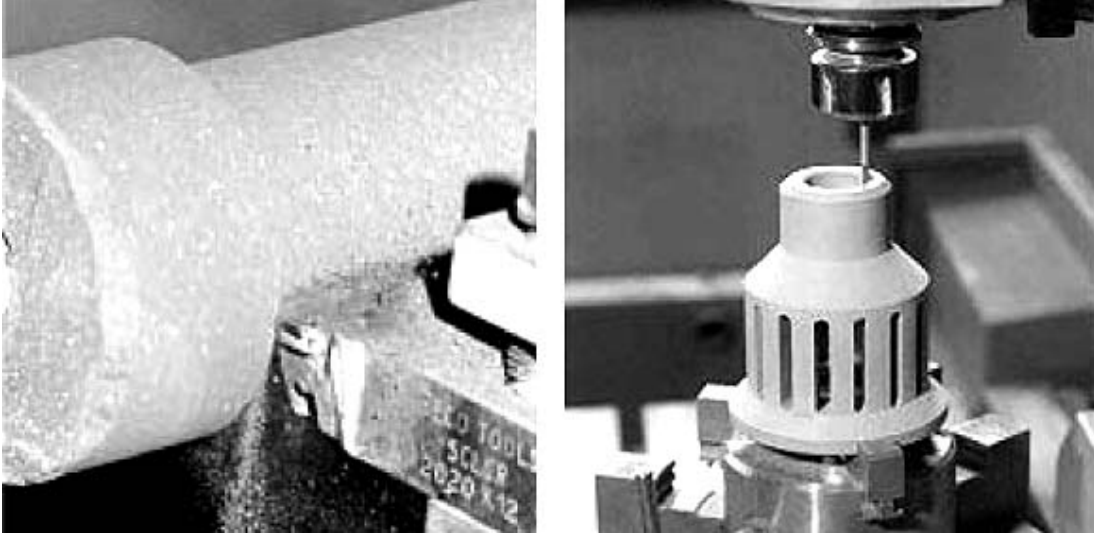
Şekil 2.23’de gösterildiği gibi yaş işleme (kurutmadan önce), kuru işleme (organik uzaklaştırma ve pişirme öncesi) ve sinter sonrası işleme (Şekil 2.25) gösterilmiştir.



Şekil 2.23 : Yaş işleme, kuru işleme ve sinter sonrası işleme

2.3.6.1 Yaş işleme

Hala organik katkılar içeren, pişirilmemiş parçalar üzerinde gerçekleştirilen işlemdir (Şekil 2.24). Özel parçaların ve küçük serilerin üretimine oldukça uygun bir yöntemdir. Aynı zamanda presleme yönüne çapraz deliklerin açılması gibi başlangıç üretim prosedürüyle üretilmeyecek büyük serilerin üretiminde de kullanılan bir yöntemdir.



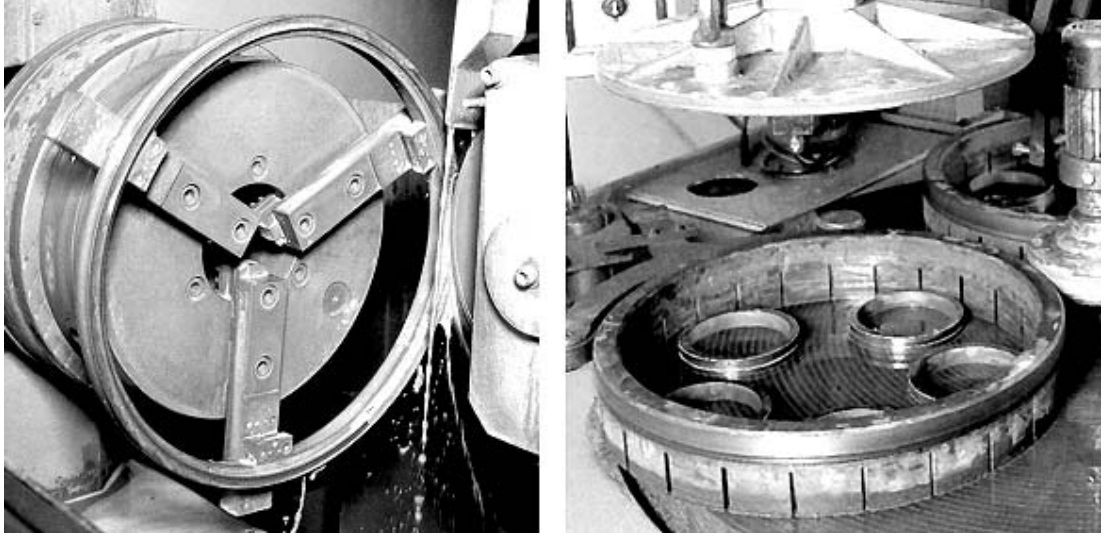
Şekil 2.24 : Yaş işlenen parçalar

2.3.6.2 Kuru işleme

Pişmemiş ama organikleri uzaklaştırılmış parçalarda kullanılan yöntemdir. Parça mukavemeti kurutmaya bağlıdır. Bu şekilde, uygun seramik ve elmas kaplı araçlar tercih edildiğinde, nispeten düşük araç aşınmalarıyla yüksek işleme miktarlarına ulaşılabilir. Bu yöntem hem prototip üretiminde hem de seri üretimde kullanılabilir.

2.3.6.3 Sinter sonrası işleme

Sadece şekillendirme, yaş ya da kuru işlemeyle nihai ölçülere oldukça yaklaştırılmış olan sinterlenmiş parçalara uygulanır. Mümkün olan en yakın toleranslar, ancak nihai bir talaşlı imalatla söz konusu olur. Ölçülerde tam doğruluğu sağlamak, çok çeşitli geometrilerde parçalar ve iyi bir yüzey kalitesi elde etmek için modern talaşlı imalat araçlarına ihtiyaç duyulur. Seramiklerin yüksek sertliğinden dolayı, talaşlı imalat uygulamalarında neredeyse sadece elmas gereçler kullanılmaktadır.



Şekil 2.25 : Sinter sonrası işleme gereçleri; taşlama ve cilalama

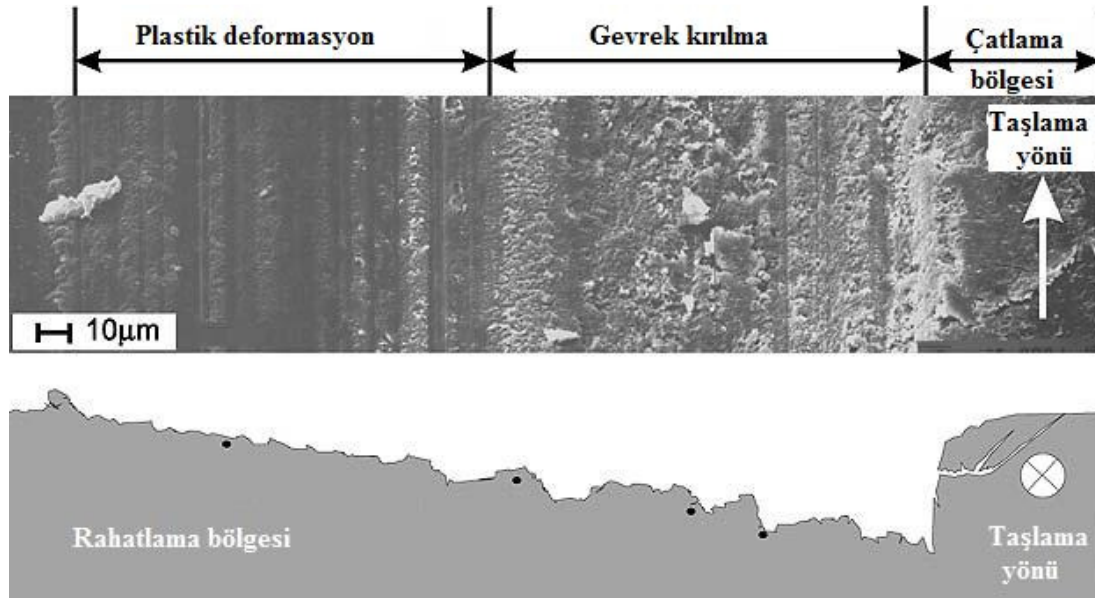
Çizelge 2.8 : Olası tamamlama prosesi

Metod	Araç malzemesi	Amaç
Taşlama	Mekanik bağlı aşındırıcı (grit), yaş; elmas taşlama diski	Kaba ya da ince işleme (profiller ve yatak yüzeyleri), Gerekli tolerans ve yüzey kalitesini koruyarak fonksiyonel yüzeylerin üretimi
Kesme	Mekanik bağlı aşındırıcı (grit), yaş; elmas kesme diski elmas taşlama diski	Boşlukların ayrılması
İnce taşlama	Mekanik bağımsız aşındırıcı (grit), yaş; elmas taşlama çubuğu	Boyutsal doğruluk ve yüzey kalitesini geliştirme (kayma yüzeyleri)
Cilalama, parlatma	Mekanik bağımsız aşındırıcı (grit), yaş; elmas cilalama karışımı	Boyutsal doğruluk ve yüzey kalitesini geliştirme (kesit hazırlama, yüzey kesinleştirme)
Ultrasonik cilalama	Mekanik bağımsız aşındırıcı (grit), yaş; elmas cilalama karışımı	Delme, oyma
Su jetiyle kesim	Mekanik bağımsız aşındırıcı (grit), yaş	Kesme

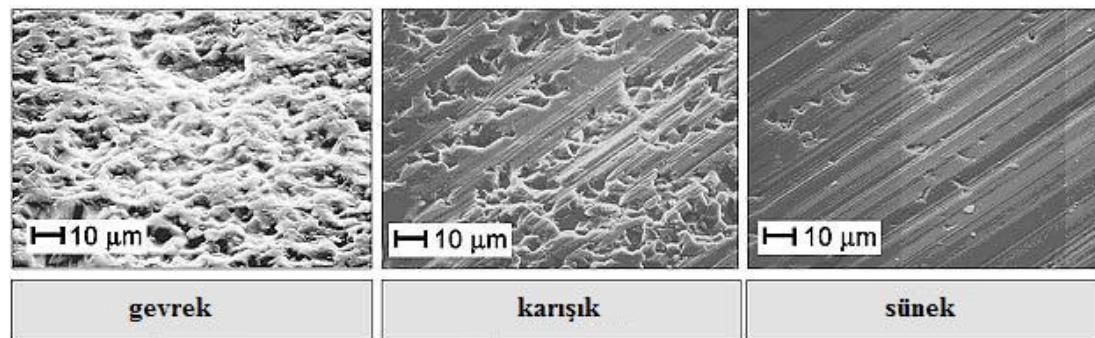
Çizelge 2.8 : (devam) Olası tamamlama prosesi

Kumlama	Mekanik bağısız aşındırıcı (grit), kuru	Yüzeydeki yumuşak bölgelerin uzaklaştırılması, yüzey sertleştirme
EDM	Elektrik, bakır, tungsten ya da grafit elektrot	Karmaşık şekiller
Lazer prosesi	Isıl; CO ₂ lazeri	Delme, ayırma, kesme

Taşlamanın temel bir önemi vardır. Taşlama sonucunu ve taşlama prosesini etkileyen birçok faktör mevcuttur. Bu sebeple, her bir iç parçası için taşlama diski çok büyük özenle seçilir ve özellikle tane tipine, tane boyutuna, bağ şekline ve diskin sertliğine önem verilir (Şekil 2.26, Şekil 2.27). Örneğin aşırı düz yüzeyler akım toplayıcı kontakt bileziği yüzeyleri taşlamadan sonra cilalanıp parlatılmalıdır [21, 22].



Şekil 2.26 : Taşlanmış alüminyum nitrürde talaş kaldırma mekanizması



Şekil 2.27 : Gevrek, karışık ve sünek taşlanmış seramik yüzeyleri

2.4 Teknik Seramiklerin Özellikleri

2.4.1 Genel özellikler

































Seramik malzemelerin çok geniş kullanım alanlarına sahip olmaları, onların diğer malzemeler tarafından sergilenemeyen ayrıcalıklı özelliklerinden kaynaklanır. Bazı olumlu özelliklerini ifade etmek gerekirse;

- Düşük yoğunluk
- Yüksek sertlik
- Yüksek mekanik mukavemet
- Boyutsal kararlılık
- Aşınma dayanımı
- Korozyon dayanımı (kimyasal etkilere karşı)
- Havada bozunma dayanımı
- Yüksek sıcaklık dayanımı
- Düşük ya da yüksek termal iletkenlik
- İyi bir elektrik izolasyonu
- Dielektrik ve ferroelektrik özellikler

Kompozisyona ve de baştan sona kadar gerçekleşen üretim prosesine dayalı olarak, malzemenin özellikleri arzulanan uygulamaya uygun hale getirilir.

Çizelge 2.9 teknik seramiklerin polimer ve metaller karşısındaki özelliklerini basit bir değerlendirmeye göstermektedir.

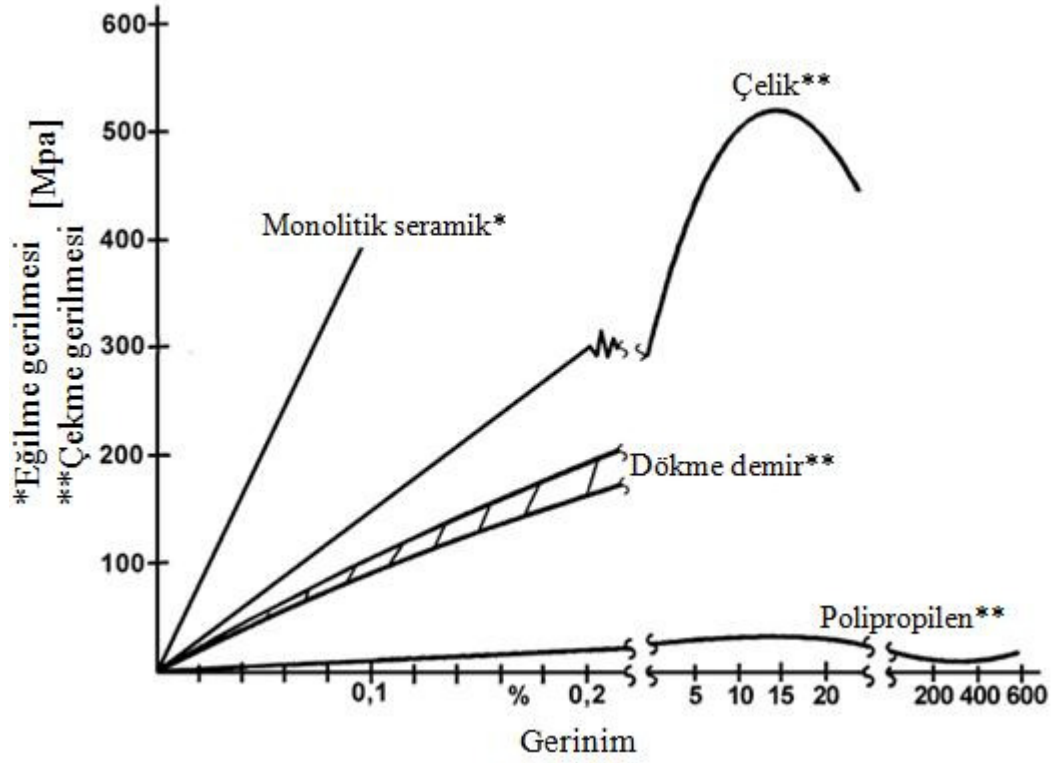
Çizelge 2.9 : Seramik, metal ve polimerlerin özelliklerinin karşılaştırılması

	Seramik	Metal	Polimer
Sertlik			
Elastikiyet modülü			
Yüksek sıcaklık dayanımı			
Termal genleşme			
Süneklik			
Korozyon dayanımı			
Aşınma dayanımı			
Elektrik iletkenliği			
Yoğunluk			
Termal iletkenlik			
 Yüksek değerlere eğilim		 Düşük değerlere eğilim	

Okların yönü, tipik değerlere göre eğilimi ifade eder. Her bir değerlendirme, özel bir uygulamaya dayanmalıdır. Geniş ok, sözkonusu özelliğin çok daha belirgin olduğunu ifade eder.

2.4.2 Genel bakış

Şekil 2.28'de mekanik uygulamalar için çok önemli olan gerilme-gerinim ilişkisi; çelik, Al₂O₃ seramiği ve termoplastikler için karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Çizelge 2.10'da ise seramik, gri dökme demirler ve yapı çeliğinin malzeme özellikleri bakımından karşılaştırılması yer almaktadır.



Şekil 2.28 : Bazı malzemelerin gerilme - gerinim davranışı

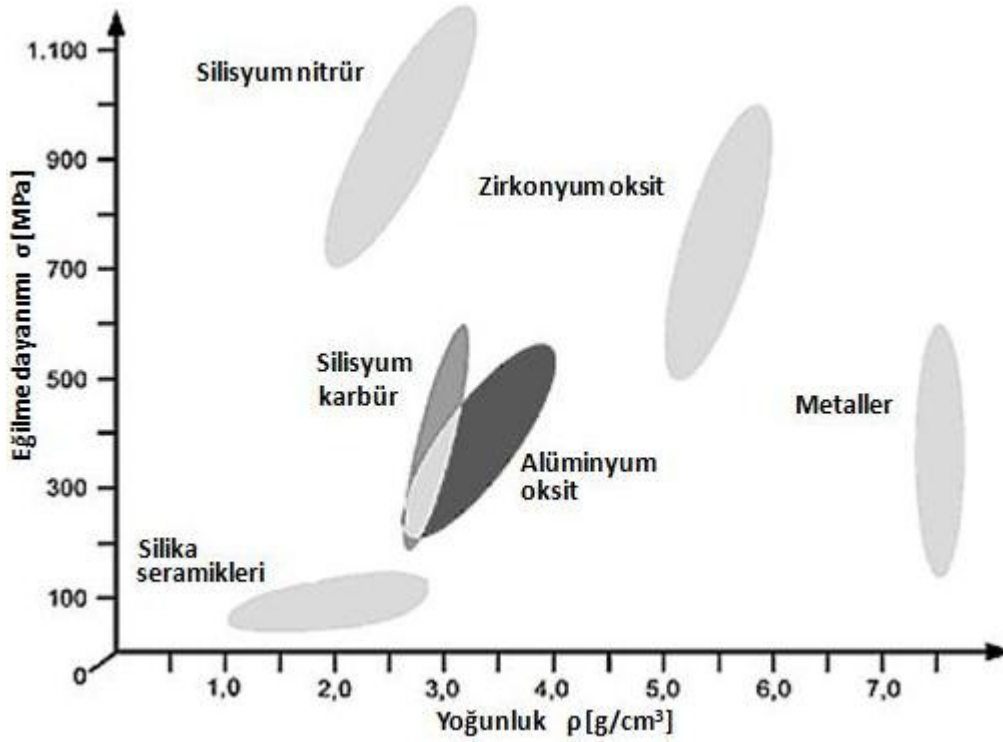
Çizelge 2.10 : Seramikler, gri dökme demirler ve yapı çeliğinin karşılaştırılması

Malzeme özellikleri		Porselen	Steatit	Alüminyum oksit	Zirkonyum oksit	Silisyum nitrür			SIALON	Silisyum karbür			Yumuşak çelik	Dökme demir
				Al ₂ O ₃	ZrO ₂	Si ₃ N ₄	SiC	SiC		SiC	SiC	SiC		
Yoğunluk	g/cm ³	2.3	2.7	3.94	6	3.3	3.4	2.5	3	3.15	2.8	3.12	7.85	7.3
Eğilme dayanımı (25°C)	MPa	110	140	520	1000	1000	900	330	355	600	120	450	300 - 450	95 - 170
Eğilme dayanımı (1000°C)	MPa	-	-	-	-	-	-	300	355	650	130	450	-	-
Elastikiyet modülü	GPa	70	110	360	210	330	800	180	231	450	280	350	200 - 210	70 - 130
Kırılma tokluğu	MNm ^{3/2}	-	-	5.5	> 8	8.5	8.5	4	2.2	5	3	5	140	-
Termal genişleme katsayısı	10 ⁻⁶ /°C	8	8.5	8	5	3.5	3.28	3	3	4.8	4.8	4.8	10	12
Weibull modülü	m	-	-	> 10	> 15	> 10	> 10	> 10	15	> 10	-	> 10	-	-

2.4.3 Mekanik özellikler

2.4.3.1 Yoğunluk

Teknik seramiklerin yoğunluğu ρ [g/cm^3], çeliklerin yoğunluğunun % 20-70'i arasındadır (Şekil 2.29). Bu kütle azalımını gösterir ki, kütle azalımı da makine imalatındaki parçalarda kullanılabilir bir avantajdır. Nispi yoğunluk, [%] d, seramiğin özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu durum, teorik sayıya en yakın değere, yoğunluk gradyanı türetmeden ulaşmak ve bu sayede mümkün olabilecek en iyi mekanik özellikleri elde etmek adına çok önemli olabilir. Diğer tarafta, homojen poroziteden kaynaklanan düşük yoğunluklar termal şok dayanımı üzerinde olumlu bir etkide bulunabilirler.



Şekil 2.29 : Bazı malzemelerin eğilme dayanımları ve yoğunlukları

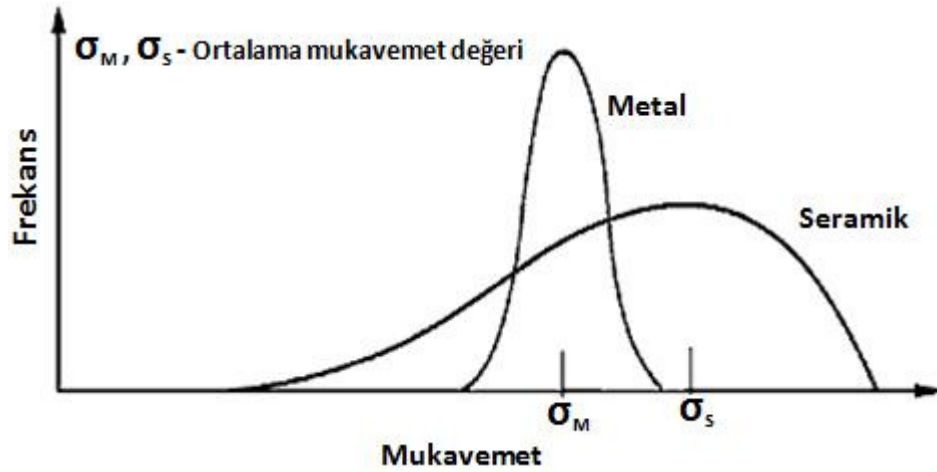
2.4.3.2 Porozite

Bir kural olarak, teknik seramik malzemeler hiçbir zaman açık gözeneklere sahip değildir. Bu yüzden gaz sızdırmazdırlar. Bazı malzemelerde porozite olması istenir. Bu istek, termal gerilmelerin poroz malzemelerde daha kolay tolere edilmesinden ya da geniş yüzey alanlarına ihtiyaç olmasından kaynaklanabilir. İstenen porozite, doğru malzeme seçimi, üretim prosesi ve bazı durumlarda birtakım katkı maddeleriyle sağlanabilir. Bu şekilde birkaç “nm”den birkaç “ μm ”ye kadar açık ve kapalı

gözeneklerin oluşması sağlanabilir. Açık poroziteyi belirlemek için gerekli test prosedürleri de DIN EN 623-2 de ifade edilmiştir.

2.4.3.3 Mukavemet

Şekil 2.30'da, σ [MPa]; malzeme kompozisyonuna, başlangıç malzemesi ve katkıların tane boyutu üzerindeki etkisine ve üretim koşullarının üretim prosesi üzerindeki etkilerine bağlı olarak, istatistiksel olarak dağıtılmıştır.

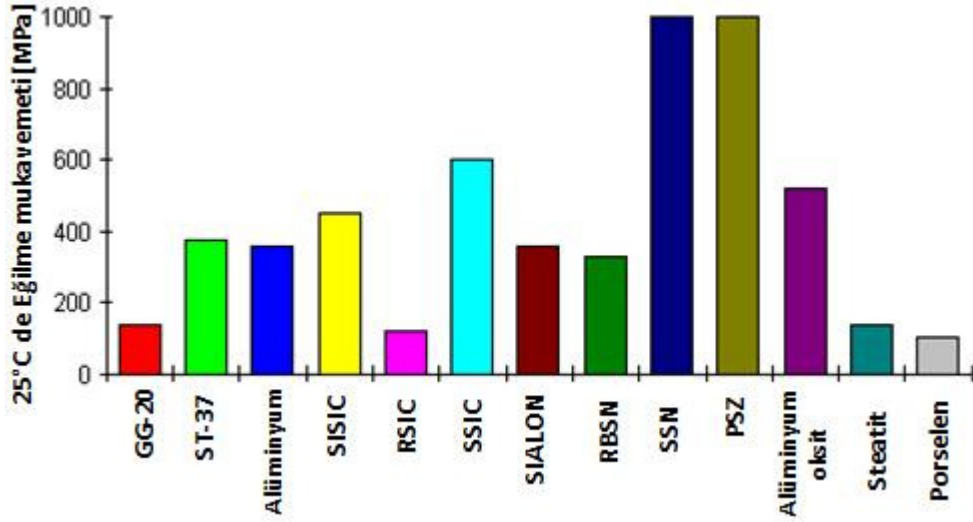


Şekil 2.30 : Metal ve seramiklerin ortalama mukavemet değerleri karşılaştırması

Eğilme mukavemeti

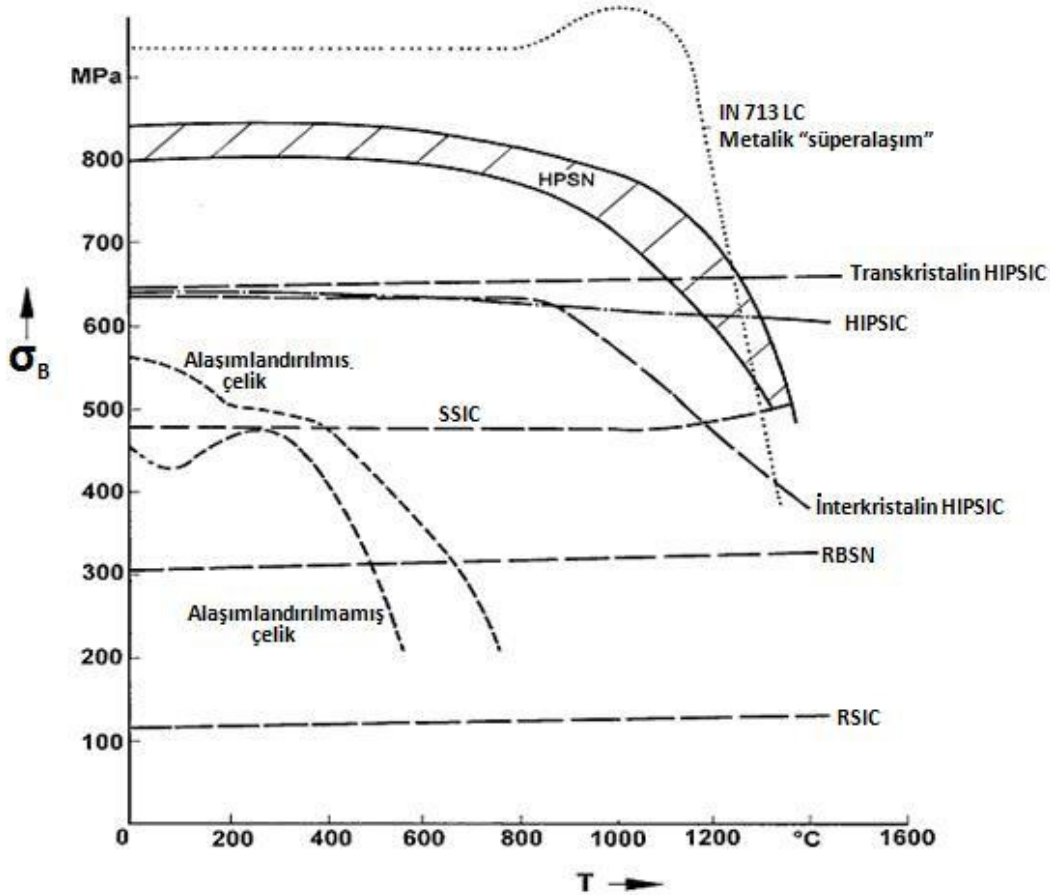
Eğilme mukavemeti, σ_B [Mpa], parçaların mukavemetini ve boyutlarını hesaplamak için en önemli parametrelerden biridir. Malzeme çizelgeleri, özel test çubuklarıyla yapılan 3 nokta ya da 4 nokta testleriyle oluşturulmuştur. 3 nokta eğilme testiyle alınan sonuçlar 4 nokta eğilme testiyle alınan sonuçlara göre % 30 daha fazladır. Bir parçanın eğilme mukavemeti ile ilgili değerler boyut, yüzey ve bazı durumlarda üretim prosesinden kaynaklanan mikroyapı homojenizasyonunun etkisi altındadırlar.

Eğilme mukavemeti ile ilgili test prosedürleri DIN EN 843-1, DIN EN 820-1 ve DIN EN 60 672-2 standartlarında belirtilmiştir.



Şekil 2.31 : Bazı malzemelerin eğilme mukavemetleri

Teknik seramikler, birçok metalik süper alaşım için çok yüksek sayılabilecek çalışma sıcaklıklarında dahi sergiledikleri oldukça iyi mukavemet değerleriyle de öne çıkarlar (Şekil 2.31). Bu yüzden teknik seramikler yüksek sıcaklık uygulamalarında da oldukça idealdirler (Şekil 2.32).



Şekil 2.32 : Sıcaklığın eğilme mukavemeti üzerindeki etkisi

Basma mukavemeti

Seramiklerin basma mukavemeti, eğilme mukavemetine göre yaklaşık 5 – 10 kat daha büyüktür. Mikro yapının homojen olmaması burada daha küçük bir rol oynar. Bu yüzden mümkün oldukça seramikler basma dayanımı üzerinden değerlendirilebilirler.

Çekme mukavemeti

Seramik malzemelerin çekme mukavemetleri eğilme mukavemetlerinden ve gevrek kırılmaya olan eğilimlerinden genellikle % 20 daha azdır. Bu yüzden çekme mukavemetinin söz konusu olduğu yerlerde mümkün mertebe seramik malzemeler kullanılmamalı, mümkünse sözkonusu kullanımlarda çekme gerilmeleri minimize edilmeye çalışılmalı veya gerilme dağılımı mümkün olduğunca doğru şekilde hesaplanmalıdır. Bu durum, örneğin açık hava yüksek voltaj güç iletişimde kullanılan izolatörler, sözkonusu kullanıma uygun değilmiş gibi görülseler de ya da çekme gerilmesine maruz kalsalar da, başarısız olacaklar anlamına gelmez [23].

Weibull modülü

Weibull tarafından geliştirilmiş bu teori, en zayıf bağlantının kopması prensibine dayanır. Weibull, bu şekilde seramik malzemelerin mukavemet dağılımının matematik terimlerle etkin bir şekilde ifade edilebileceğini savunur. Burada kopmanın tekil bir kopma tipi olması önem taşır. Weibull, mukavemet davranışını özel bir aşırı değer dağılımı kullanarak tanımlamıştır. Bu durum, eğer parametreler bilinirse, mekanik yük ve bir parçanın kopma olasılığı arasındaki kesin bir ilişkiyle sonuçlanır. Kopma olasılığının % 63,2 (σ_0) olduğu durumlarda belli bir seviyede mukavemet kullanarak , Weibull modülü (m) mukavemetlerin dağılımının bir ölçüsü haline gelir. Weibull modülü ne kadar yüksek olursa, malzeme okadar daha tutarlı ve mukavemet dağılım eğrisi o kadar daha dar olur. Bugün $10 < m < 20$ değerlerine tipik olarak ulaşılmıştır. Seramik malzemelerin çekme mukavemetlerinin ölçümü oldukça güç olmasına rağmen, sözkonusu malzemeler için bu değerler dört nokta eğme metoduyla belirlenir.

$$F = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{\sigma - \sigma_u}{\sigma_0} \right)^m \right\} \quad (2.1)$$

F : kopma olasılığı

σ : gerilme

σ_u : minimum mukavemet

m : Weibull modülü

σ_0 : Weibull modülü lokasyon parametresi, mukavemet % 63.2 iken kopma olasılığı; Weibull dağılımında, bu normal dağılımın ortalama değeri olarak rol oynar.

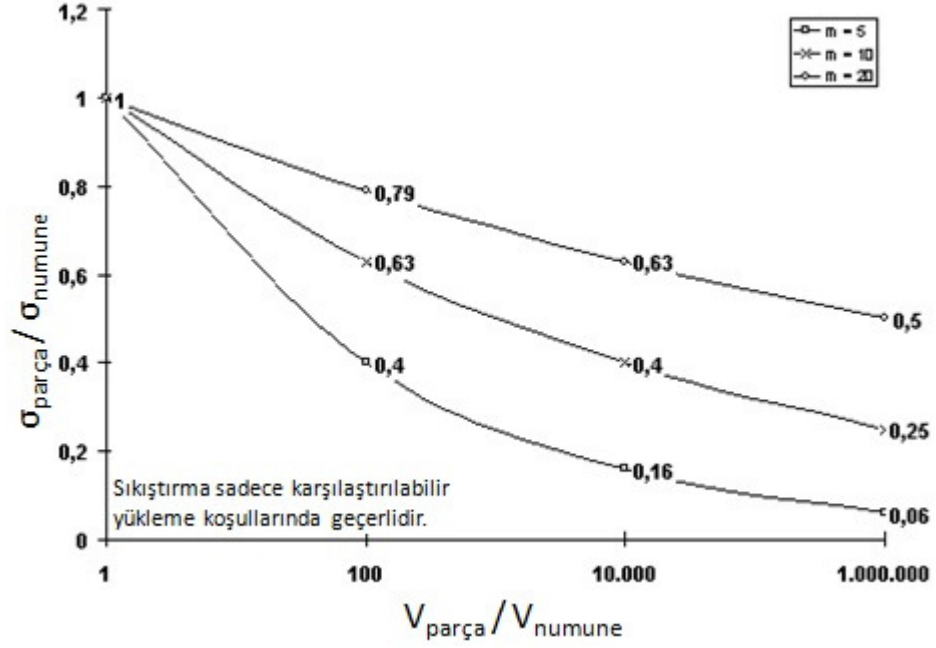
Tipik olarak $\sigma_u = 0$ kullanılır.

Seramikteki kopmaların sayısı parçanın hacmine bağlı olmasına rağmen, yük altındaki hacim hesaba katılmalıdır. Büyük parçaların mukavemeti, test numunelerinde ölçülenden daha küçüktür. Bununla birlikte, yük altındaki daha büyük hacimlerde, daha büyük Weibull modülleriyle daha yüksek yükleme kapasitelerine ulaşılır. Weibull istatistiklerini kullanarak, parça mukavemetleri hacim ilişkisinden şu şekilde edinilir;

$$\sigma_{\text{Parça}} = \sigma_{\text{Test numunesi}} * \left(V_{\text{Test numunesi}} / V_{\text{Parça}} \right)^{1/m} \quad (2.2)$$

Gerilme altındaki hacim buraya parça hacmi olarak eklenmelidir ve gerilme dağılımı hemen hemen benzer olmalıdır ($\sigma_{\text{çekme}}$ ya da σ_{4pb} v.b.). Bu ilişki basma gerilmelerinde uygulanmaz (Şekil 2.33, Çizelge 2.11).

Weibull modülünü belirlemek için gerekli test prosedürleri DIN EN 843-5 ve DIN 51 110-3 standartlarında belirlenmiştir.



Şekil 2.33 : Parça geometrisi ve Weibull modülü – mukavemet ilişkisi

Çizelge 2.11 : Parçaların ve test numunelerinin değişik mukavemet dağılımları

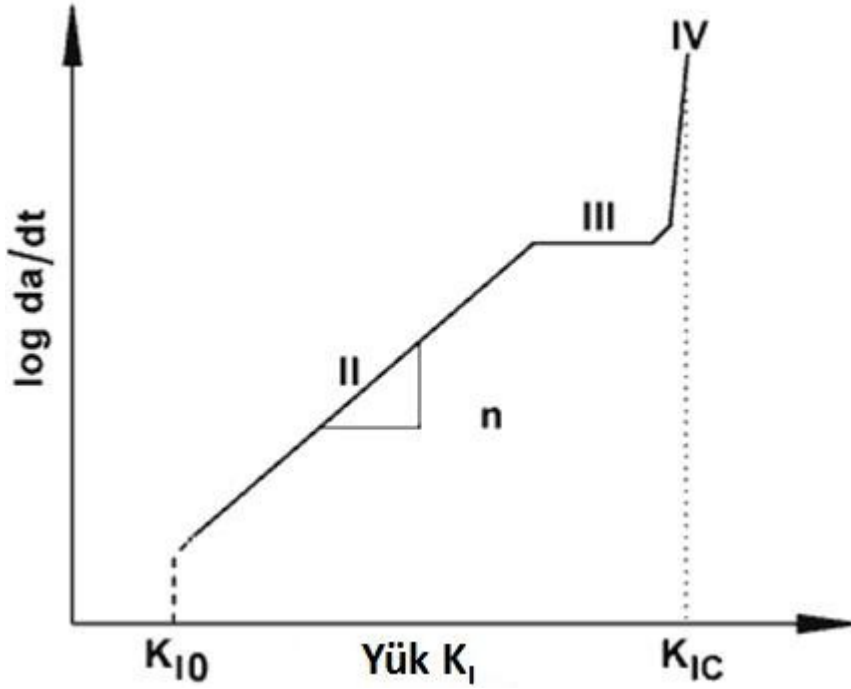
Etkin hacim	İzin verilen eğilme dayanımı [MPa]				
	$V_{\text{parça}}/V_{\text{test numunesi}}$	Seramik 1	Seramik 2	Seramik 3	Seramik 4
1 : 1		400 (m = 10)	300 (m = 10)	250 (m = 20)	200 (m = 30)
10 : 1		252 (% 63)	237 (% 79)	210 (% 84)	186 (% 94)
100 : 1		160 (% 40)	189 (% 63)	197 (% 79)	172 (% 86)
Malzeme	Yeni yüksek performanslı seramik	Alüminyum oksit, Silisyum emdirilmiş silisyum karbür	-	-	
Yorum	Proses olgunlaşma mıştır	Son teknoloji	Güncel teknolojiyle yönetilmekte	Yapı mühendisinin arzusu	

Gerilme yoğunluk faktörü (KIC)

Seramik malzemeler gevrek kırılmaya sahip malzemeler olarak bilinirler. Metallerde olduğu gibi sünek deformasyon, seramiklerde ancak yumuşama sıcaklığına çok yakın bölgelerde gözlemlenebilir. Gerilme yoğunluk faktörü KI kırılma mekaniklerinden,

çatlak gelişimlerine bağlı olarak gevrek malzemelerin mekanizmalarını belirlemek üzere adapte edilmiştir. Kritik gerilme yoğunluk faktörü, K_{IC} [$Mpa*\sqrt{m}$], malzemenin gevrekliğinin çatlamaa olan duyarlılığıdır, kısacası çatlama dayanımıdır (Şekil 2.34). Çatlak büyümesi davranışı yalnız başına yüklemeye bağlı olmayıp, çatlak boyutunun kombinasyonuna da bağlıdır. Kritik değer K_{IC} 'a ulaşıldığı zaman kopma gerçekleşir. K_{IC} , dış kuvvetler, σ , tarafından oluşturulan çatlak düzlemine dik olan gerilmenin ve en tehlikeli çatlak olan “a”nın uzunluğunun karekökünün bir ürünüdür. Bunun haricinde aynı zamanda parça geometrisine, çatlak geometrisine ve düzeltme faktörü “Y”ye de bağlıdır [24].

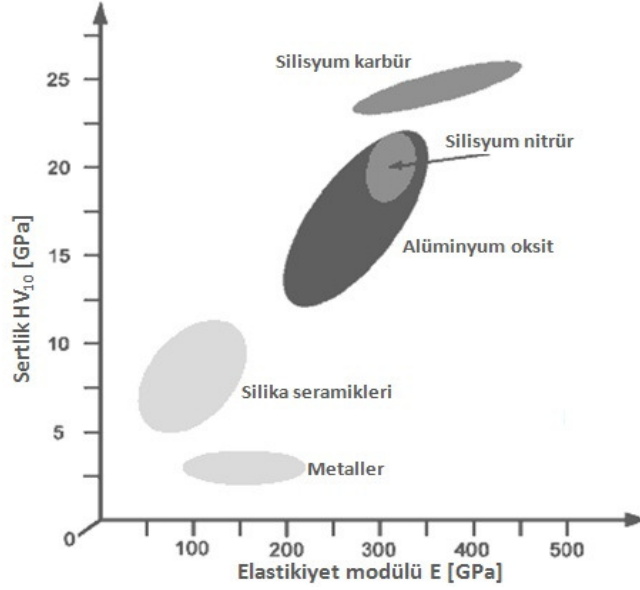
$$K = \sigma * \sqrt{a * Y} \leq K_{IC} \quad (2.3)$$



Şekil 2.34 : Teknik seramiklerin şematik çatlak büyüme diyagramı

2.4.3.4 Elastik özellikleri ve sertlik

Oksit ve oksit içermeyen seramiklerin elastik modülü $E[GPa]$ daima çeliklerden yüksektir. Bu çeliklere oranla % 50 ile % 70 arasında bir elastik deformasyona uğrayabileceklerini ifade eder (Şekil 2.35). Teknik seramiklerin elastikiyet modülünün belirlenmesine dair prosedürler DIN EN 843-2 ve DIN EN 60 672-2 standartlarında belirlenmiştir.



Şekil 2.35 : Bazı malzemelerin sertlik ve elastikiyet modülü değerleri

Sertlik deformasyona karşı yüksek dayanım olarak ifade edilirken, büyük bir elastikiyet modülüyle alakalıdır. Teknik seramik parçalar, katılıkları ve boyutsal stabiliteleriyle karakterize edilirler. Seramiklerin yüksek sertliği, olumlu bir aşınma mukavemeti sağlar. Bu sebeple seramikler tribolojik uygulamalar için de oldukça uygundur. Ayrıca malzeme tipi ve mikro yapı da aşınma mukavemetini fazlasıyla etkilerler. Sertliği belirlemek için gerekli test prosedürleri DIN EN 843-4 standardında belirtilmektedir. Sonuç test kuvvetine bağlı olduğu için test kuvvetini (kg) anmak her ne kadar önemli olsa da, genel olarak sertlik Vickers Sertliği HV [MPa] olarak anılır. HV_{0,1} ve HV₅₀ arasında mesela % 30'a varan bir fark bulunmaktadır. Bu yüzden, seramikler için pratikte HV₁₀ değeri kullanılmaktadır.

2.4.4 Elektriksel özellikler

Elektriksel özelliklerin tayini için gerekli test prosedürleri DIN EN 60 672-2 standartında belirtilmiştir.

2.4.4.1 Elektriksel direnç

Birçok teknik seramik, bazen yüksek sıcaklıklarda bile, yüksek dielektrik kayıp voltaj gradyanı (tipik olarak $E_d > 10$ kV/mm) yanında tipik $\rho = 10^{11}$ Ω m yüksek elektrik direngenliğine sahiptirler. Sözkonusu elektriksel özelliklerle ilgili test prosedürleri DIN prEN 50359-1-2 adlı standartta belirtilmiştir [25].

2.4.4.2 Elektriksel geçirgenlik

Teknik seramiklerin elektriksel geçirgenliđi genel olarak oldukça dűşűktűr ($6 < \epsilon_R < 12$), bu da çok kűűk bir elektriksel kutuplařmanın olabileceđini gűsterir. C 300 grubu malzemeler $350 > \epsilon_R > 3000$ řeklinde bir epsilon deđerine sahip olabilirler ve bu řekildeki malzemeler kapasitűr ьretiminde kullanılır. Bir kapasitűrűn kapasitansđ da řu řekilde hesaplanır;

$$C = \epsilon_0 * \epsilon_r * F / d \quad (2.4)$$

C = kapasitans

ϵ_0 = boş alan için elektriksel geçirgenlik

ϵ_r = geçirgenlik oranđ

F = kapasitűr alanđ

d = plakalar arasındaki boşluk

2.4.4.3 Dielektrik kayıp faktűrű

Teknik seramiklerde dielektrik kayđpları oldukça dűşűktűr. Yűkselen frekansla birlikte dűřen iyonik polarizasyon kayđ faktűrűnden sorumludur. Yűksek sıcaklıklarda dielektrik kayđ faktűrű, $\tan \delta$ artar, űzellikle de dűřűk frekanslarda. Tabi bűtűn bunlara rađmen, istenildiđinde yűksek kayđ faktűrlű seramik ьretmek de műmkűndűr.

$$\tan \delta = P_w / P = P_w / (U * I) \quad (2.5)$$

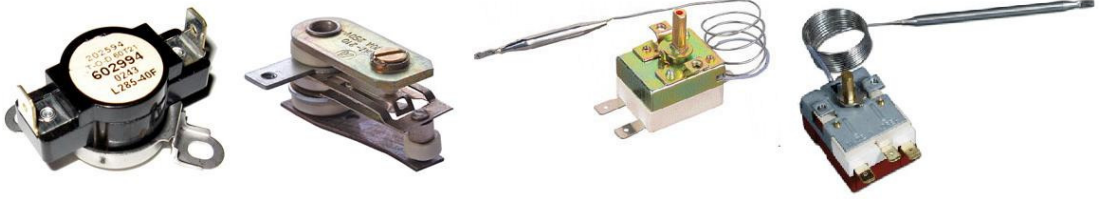
P_w = gű kaybđ

2.5 Teknik seramiklerin uygulama alanları

Teknik seramikler ayrıcalıklđ űzellikleri ve bu űzelliklerinin kombinasyonları sayesinde birçok alanda kullanılmaktadır. Bu bűlűmde makina ve ьretim műhendisliđi, yűksek sıcaklık teknolojileri, elektrik ve elektronik műhendisliđinde kullanılan teknik seramikler ve kullanılma nedenlerine dair EK-1'deki tablolarla, uygulama alanları ifade edilmiřtir.

3. TERMOSTATLAR

Ortam sıcaklığının sabit tutulmasını sağlamak üzere kullanılan elemanlara termostat adı verilir. Genel olarak ısıtıcı ve soğutucu sistemlerde kullanılır.



Şekil 3.1 : Çeşitli termostat türleri

3.1 Termostat Nedir?

Termostatlar aslında ortam etkisiyle konum değiştiren rölelerdir. Isı etkisi sonucu kontaktların konumu değişir. Termostatlar ortamın sıcaklık değerini sabit tutmak amacı ile kullanılırlar. Genel olarak ısı üreten cihazlarda (elektrik sobası, şöfben, ütü, fırın v.b.), klima ve fotokopi makinelerinde ısı seviyesinin kontrolünde kullanılır.

3.2 Yapısı ve Çalışması

Termostatların yapısı ve çalışması çeşitlerine göre farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle termostat çeşitleri anlatılırken her bir türün yapısı ve çalışmasından ayrıca bahsedilmelidir. Ancak genel olarak ortamdaki ısı seviyesi belirli bir değerin üzerine çıkınca veya belirli bir değerin altına düşünce termostatlar devreye girer ve ısıtma sistemini çalıştırır veya durdururlar. Genel olarak tüm termostatlar kontak uçlarına sahiptir. Ortamdaki ısı değişimi sonucu otomatik olarak kontak uçları konum değiştirir ve bunun sonucu olarak ısıtma sistemi çalıştırılır veya durdurulur.

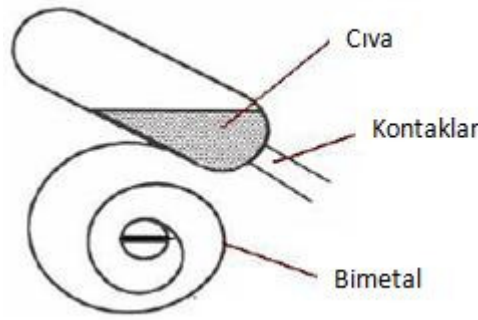
3.3 Çeşitleri

Termostatların kullanım yerlerinin çok farklı olması ve ısı kontrolü yapılacak maddelerin farklılık arz etmesinden dolayı birçok türü vardır (Şekil 3.1). Ortama

uygun termostat seçmek çok önemlidir. Hava ortamındaki ısı değişimini ölçmek üzere tasarlanmış termostatın su ortamında kullanılması, ölçme hassasiyetindeki farklılıklar yüzünden mümkün değildir. Genel olarak termostatlar, yapısal bakımdan üçe ayrılır.

3.3.1 Cıva tüplü termostatlar

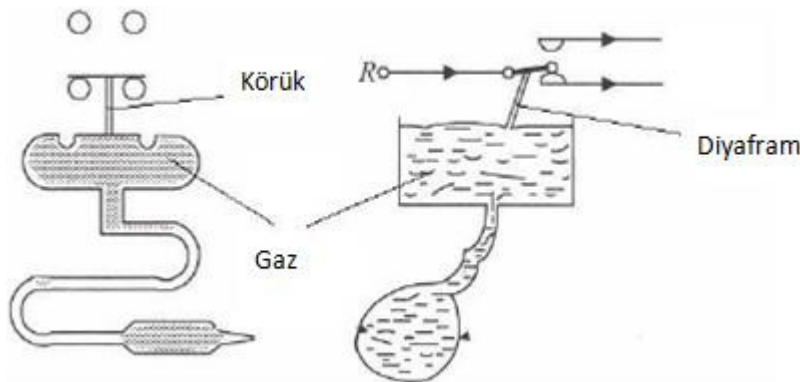
İçinde cıva ve kontak uçlarının bulunduğu bir tüpün spiral şekil verilmiş bir bimetal şerite eklenmesi ile elde edilen termostattır (Şekil 3.2). Isı etkisi ile bimetal genişleşip büzülünce cam tüpün içindeki cıva hareketlenerek kontakların kısa devre yapmasını sağlar ya da kontaklar arasındaki iletimi keser.



Şekil 3.2 : Cıva termostatın iç yapısı

3.3.2 Gazlı termostatlar

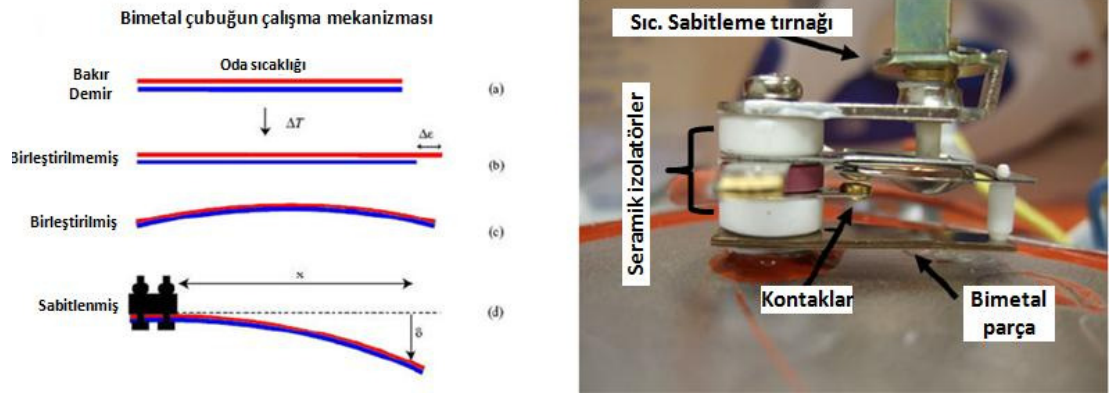
Gazların ısı karşısında hızlı genişleme özelliklerinin kullanılması ile yapılmış termostatlardır (Şekil 3.3). Gaz deposu, körük (gaz basıncı ile hareketlenen parça) ve kontaklardan oluşur. Isının etkisi ile genişleyen gaz körük yardımı ile kontakların konum değiştirmesini sağlar.



Şekil 3.3 : Gazlı termostatın iç yapısı

3.3.3 Bimetal termostatlar

Bimetal adı verilen malzeme ısı karşısında genleşme katsayısı çok farklı (biri az diğeri çok) iki metalin yüzey birleşimi ile teşkil edilmiş yapılardır (Şekil 3.4). Isı karşısında bimetal malzeme eğilir. Hızlı genleşen metal daha az genleşen metal üzerine doğru kıvrılır. Bu kıvrılma hareketlerinden faydalanarak termostatın kontakları konum değiştirir. İçinde ısıtıcı olan ütü, soba, saç kurutma cihazları gibi yerlerde ısıtma sistemi (rezistans) bimetalin üzerine sarılabilir. Böylece ısı kontrolü daha kolay yapılmış olur [26, 27].



Şekil 3.4 : Bimetal çalışma mekanizması ve bimetal termostat şeması

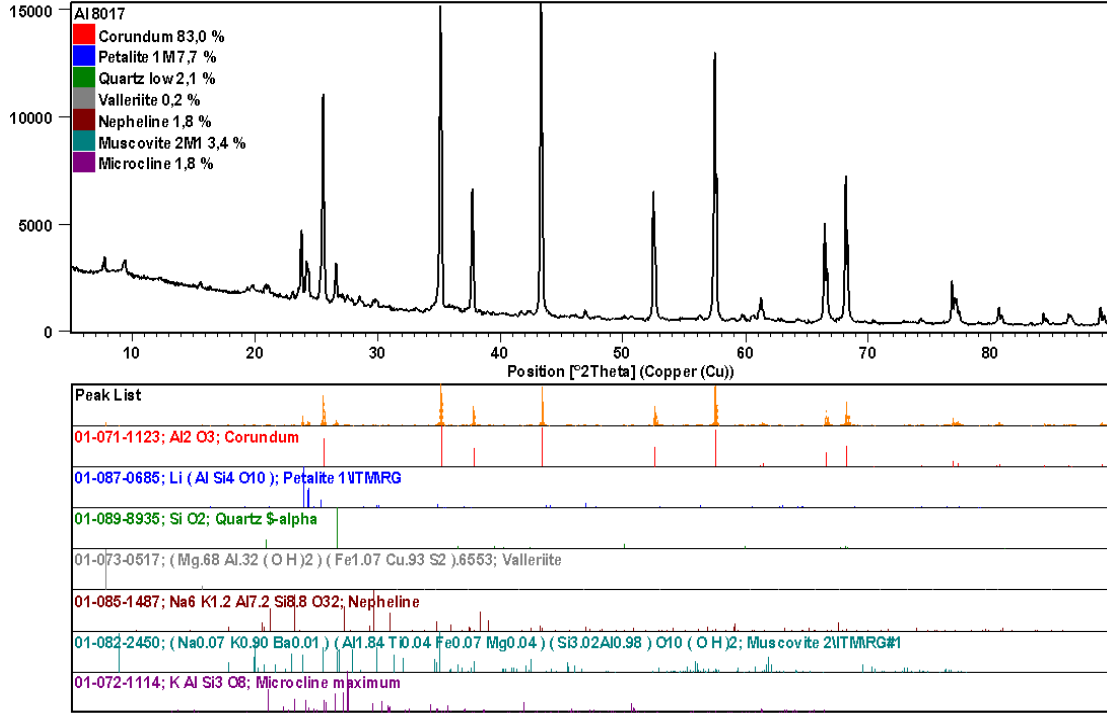
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada bimetalik termostatlarda kullanılan seramik elektriksel izolatörlerin üretimi sanayi koşullarına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Verimi etkileyen parametreler çeşitli denemelerle belirlenip, elde edilen izolatörler karakterize edilmiş ve belirli bileşimlerde izolatör üretiminin en uygun şartları tespit edilmiştir. Presleme ve pişirme aşamalarında elde edilen değerler, malzemelerin basma mukavemetleri, elektriksel ölçümleri ve boyut değişimleriyle karşılaştırılarak en uygun değerlere ulaşılmaya çalışılmıştır.

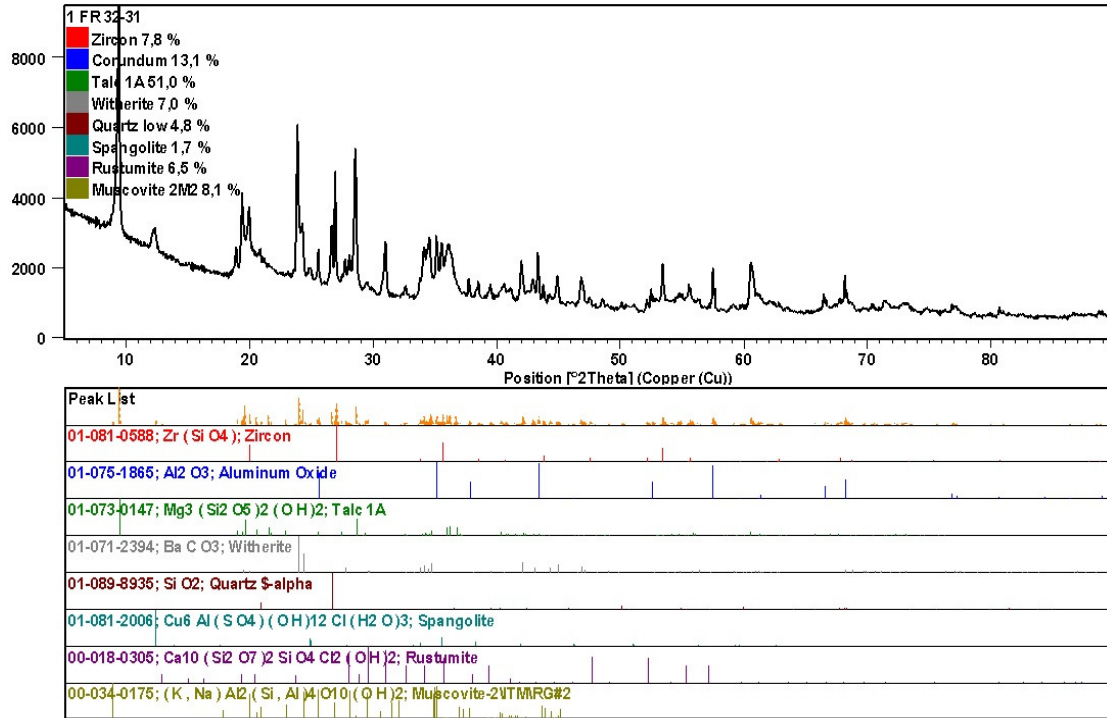
Deneysel çalışmalar sırasında alümina ve steatit ağırlıklı iki farklı teknik seramik malzeme, bunun yanında değişken alümina yüzdelerine sahip 3 özgün harman, nemlendirici ve yağlayıcı olarak da saf su ve gaz yağı kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan tüm hammaddeler ile ekipmanlara ait özellikler ve deneysel çalışmaların yürütülüş şekilleri bu bölümde anlatılmaktadır.

4.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Hammaddeler

Yapılan deneylerde alınan çeşitli hammaddelerden oluşturulmuş ve spray-drying yöntemiyle elde edilmiş olan steatit ve alümina esaslı malzemeler kullanılmıştır. Kullanılan malzemelere ait XRD (X-Işınları difraksiyon spektrometresi) analizleri Şekil 4.1’de ve Şekil 4.2’de görülmektedir. Elek analizi sonuçları ve elek analizinden yola çıkarak elde edilen ortalama tane boyutu sırasıyla Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3, Çizelge 4.4, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.5’te verilmiştir.



Şekil 4.1 : Deneylerde kullanılan alümina esaslı malzemenin XRD analizi



Şekil 4.2 : Deneylerde kullanılan steatit esaslı malzemenin XRD analizi

Çizelge 4.1 : Deneyleerde kullanılan malzeme karışımları (50'şer gram numune)

Malzeme	Harman 1	Harman 2	Harman 3
Al ₂ O ₃	37,5	35	32,5
SiO ₂	9,115	11,615	14,115
MgO	0,925	0,925	0,925
Na ₂ O	0,35	0,35	0,35
CaO	0,085	0,085	0,085
K ₂ O	0,525	0,525	0,525
B ₂ O ₃	1,5	1,5	1,5

Çizelge 4.2 : Alümina esaslı malzemeye ait elek analizi

Elek Açıklığı (mm)	Miktar (%)	∑ Elek Üstü (%)	∑ Elek Altı (%)
+1	0,2	0,2	100
-1 +0,5	49,9	51,1	98,8
-0,5 +0,25	49,7	99,8	48,9
-0,25 +0,15	0,2	100	0,02

Çizelge 4.3 : Alümina esaslı malzemelerin ortalama tane boyutu

Elek Açıklığı (mm)	Ortalama Tane Boyutu (X, µm)	Miktar (M, %)	X·M
+1	1500	0,2	300
-1 +0,5	750	49,9	37425
-0,5 +0,25	375	49,7	18637,5
-0,25 +0,15	200	0,2	40

X_{wm} : Tüm hammaddenin ortalama tane boyutu

X : Belirli bir elek aralığındaki hammaddenin ortalama tane boyutu

M : Belirli bir elek aralığındaki hammaddenin miktarı

$$X_{WM} = \frac{\sum XM}{\sum M} = \frac{56402,5}{100} = 564,025 \mu m$$

Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'den yola çıkarak alümina esaslı malzemenin ortalama tane boyutu 564,025 µm olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.4 : Steatit esaslı malzemeye ait elek analizi

Elek Açıklığı (mm)	Miktar (%)	Σ Elek Üstü (%)	Σ Elek Altı (%)
+1	0,2	0,2	100
-1 +0,5	21,1	21,3	99,8
-0,5 +0,25	66,5	87,8	78,7
-0,25 +0,15	11,6	99,4	12,2
-0,15 +0,105	0,5	99,9	0,6
-0,105 +0,075	0,1	100	0,1

Çizelge 4.5 : Steatit esaslı malzemenin ortalama tane boyutu

Elek Açıklığı (mm)	Ortalama Tane Boyutu (X, μm)	Miktar (M, %)	X·M
+1	1500	0,2	300
-1 +0,5	750	21,1	15825
-0,5 +0,25	375	66,5	24937,5
-0,25 +0,15	200	11,6	2320
-0,15 +0,105	127,5	0,5	63,75
-0,105 +0,075	90	0,1	9

X_{wm} : Tüm hammaddenin ortalama tane boyutu

X : Belirli bir elek aralığındaki hammaddenin ortalama tane boyutu

M : Belirli bir elek aralığındaki hammaddenin miktarı

$$X_{WM} = \frac{\sum XM}{\sum M} = \frac{43455,25}{100} = 434,55 \mu m$$

Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'den yola çıkarak steatit esaslı malzemenin ortalama tane boyutu 291,75 μm olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.6 : Gerçek yoğunluk tayini

	A	B	C
Alümina	40,6388	45,6601	93,9863
Steatit	38,6583	43,2924	91,6072
Harman 1	40,5507	44,5325	93,1783
Harman 2	40,5507	45,1331	92,4912
Harman 3	40,5507	42,9507	92,1027

A : 50 ml lik joje ağırlığı

B : 50 ml lik joje + bir miktar malzeme ağırlığı

C : 50 ml lik joje + bir miktar malzeme ağırlığı + su

$$\rho = \frac{B-A}{50-(C-B)} \quad (4.1)$$

Yapılan gerçek yoğunluk tayinlerinde Çizelge 4.6 doğrultusunda alümina esaslı malzemenin gerçek yoğunluğu 3 gr/cm^3 , steatit esaslı malzemenin gerçek yoğunluğu ise $2,75 \text{ gr/cm}^3$, harman 1'in $2,94 \text{ gr/cm}^3$, harman 2'nin $2,87 \text{ gr/cm}^3$ ve harman 3'ün $2,83 \text{ gr/cm}^3$ olarak elde edilmiştir.

4.2 Deneysel Çalışmalar ve Karakterizasyonda Kullanılan Cihazlar

Elek analizleri Octagun 200 marka, ro-tape tipi otomatik elek kullanılarak yapılmıştır. Preslemede ETRA marka hidro-pnömatik toz sıkıştırma presi (Şekil 4.3), sinter işlemlerinde Lenton marka tüp fırın kullanılmıştır (Şekil 4.4). Ayrıca PANalytical, PW3040/60 model X-Işınları difraksiyon spektrometresi (XRD) kullanılmıştır. Yoğunluk tayinlerinde piknometreyle ölçüm tekniği ve AND GR-200 marka yoğunluk ölçme cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.6). Mukavemet tayinlerinde INSTRON marka çekme-basma cihazı kullanılmıştır. Ayrıca dielektrik özelliklerinin tayininde ise Meger testi düzeneği kullanılmıştır (Şekil 4.5).



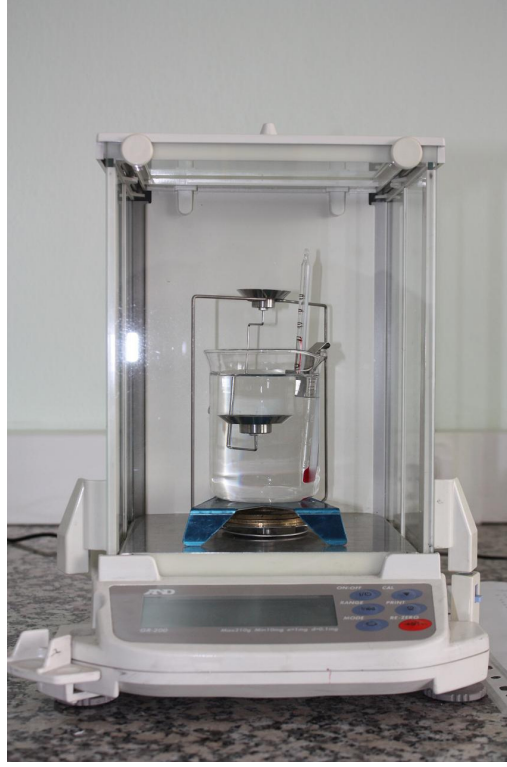
Şekil 4.3 : Etra marka toz sıkıştırma presi



Şekil 4.4 : Lenton marka tüp fırın



Şekil 4.5 : Meger test düzeneği



Şekil 4.6 : Yoğunluk ölçme cihazı

4.3 Deneyin Yapılışı

Bu çalışmada; steatit ve alümina esaslı iki malzeme kullanarak yoğunluk, elektriksel iletkenlik ve mukavemet dirençleri incelenip, termostatlarda kullanılan seramik izolatörlerin optimum değerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Öncelikle malzemelere farklı nem oranları uygulanarak harman yoluyla homojenize edilmiştir. Ardından presleme esnasında sözkonusu nemlendirme oranlarına ilişkin yapışma ve fiziksel bütünlük gözlemlenerek optimum nem oranı ayarlanmıştır. Söz konusu 5 malzeme optimum nem oranları tayin edildikten sonra farklı basınçlarda preslenerek tüm bu malzemeler farklı sıcaklıklarda sinterlenmiştir. Nihai ürün olarak elde edilen malzemelerin basma mukavemetleri tespit edilmiş, elektriksel dirençleri, yoğunlukları ölçülmüş ve boyut değişimleri belirlenerek üretim esnasında ve uygulamada kullanılacak parametrelerin nasıl optimize edileceği görülmüştür.

4.3.1 Ön hazırlıklar

Kullanılacak tüm malzemeler öncelikle geniş bir tavaya yayılıp, sprey püskürtücü ile nemlendirilerek homojen olarak karıştırılmıştır. Nemlendirme işleminde su, izopropil

alkol ve kerosen kullanılmıştır. Kullanılan nemlendiricinin aynı zamanda kalıp yağlayıcı özelliği olması da beklenmiştir.

Çizelge 4.7 : Alümina ve steatit malzemelerde kullanılan nemlendiriciler

Kullanılan nemlendirici (100 gr malzeme için)	Gözlemlenen etki
1 gr su + 1 gr kerosen	Preslemede numunelerde yapışmaya dayalı bozulma
2 gr su + 1 gr kerosen	Preslemede numunelerde kırılma
1 gr su + 1,5 gr kerosen	Preslemede numunelerde yapışmaya dayalı bozulma
1 gr su + 2,5 gr kerosen	Preslemede numunelerde yapışmaya dayalı bozulma
2,5 gr su + 1 gr kerosen	Preslemede numunelerde yapışmaya dayalı bozulma
3 gr kerosen	Alümina numuneler sorunsuz, statit numuneler sorunlu
1 – 6 gr aralığında 0,5 gr lık artışlarla izopropil alkol	Preslemede numunelerde yapışmaya dayalı bozulma
1 – 2,5 gr aralığında 0,5 lık artışlarla su	Preslemede numunelerde yapışmaya dayalı bozulma
3 gr su	Steatit numuneler sorunsuz

4.3.2 Malzemelerin preslenmesi

Çeşitli nem oranlarıyla harmanlanan malzemeler 30, 60, 90, 120 ve 150 bar aralıklarında preslenerek steatit malzeme için en uygun nem miktarları Çizelge 4.7’de incelenmiştir. Bu doğrultuda hazırlanan nemlendirilmiş alümina ve steatit esaslı malzemelerden 1000 – 1500 °C aralığında, 100’er °C artışlarla 30 bar’dan 150 bar’a kadar 30 bar’lık aralıklarda toplam 450 adet numune preslenmiştir.

Malzemeler 18 °C - 19 °C sıcaklıklarda, yani oda sıcaklığında preslenmiştir. Malzemeler preslendikten sonra 9’ar adetlik olarak paketlenerek sinter anına kadar nem oranları muhafaza edilmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8 : Yeni harman denemeleri için preslenen numuneler

Malzeme	Sinter Sıcaklığı	90 Bar
Harman 1	1350 °C	9 Adet
Harman 2	1350 °C	9 Adet
Harman 3	1350 °C	9 Adet

4.3.3 Malzemelerin sinterlenmesi

Çeşitli sıcaklık ve basınçlar için hazırlanan yaş numuneler 1000-1400 °C aralığında alümina kayıkçığa istiflenerek sinterlenmiştir (Şekil 4.7). Sinterleme süresi için

fırında hazırlanan program oda sıcaklığından saatte 100 °C artarak sinter sıcaklığına ulaşmış, bu sıcaklıkta 2 saat sinterlendikten sonra yine saatte 100 °C hızla soğuyarak oda sıcaklığına ulaşmıştır.



Şekil 4.7 : Alümina kayıkçık

5. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

5.1 Malzemelere İlave Edilen Nemlendiricilerin Pres Basıncına Bağlı Etkisi

Çizelge 4.7’de malzemelere ilave edilen nemlendiriciler, miktarları ve bu nemlendiricilerin preslenmiş yaş numunelere olan etkisi gözlemlenmiştir. Ayrıca malzemelere 30 - 150 bar aralığında 30 bar’lık artışlarla basınç uygulanmış, nem oranına bağlı olarak uygulanan basınçlar sonucunda yaş ürünün nihai şekli gözlemlenmiştir. Sözkonusu inceleme sonunda steatit malzeme için en uygun basıncın 90 bar en uygun nemlendiricinin % 3 oranında su olduğu ve alümina malzeme için en uygun basıncın yine 90 bar ve en uygun nemlendirici miktarının % 3 oranında kerosen olduğu neticesine ulaşılmıştır. Alümina esaslı malzemede yapılan gözlem dolayısıyla kullanılan diğer 3 harmanda, nemlendirici olarak yine kerosen ve uygulama basıncı olarak 90 bar kullanılmıştır. Alümina ve steatit malzemeler arasındaki bu nemlendirici farkı, alümina malzemenin aşındırıcılık oranının daha yüksek olmasına bağlıdır. Bu sebeple presleme esnasında kalıbı çizerek hasar verir, dolayısıyla kalıba tutunur ve presleme sonucunda kalıptan çıkarken yapışır ve kırılır. Sonuçta yüzey bozuklukları yaşanır. Bu problemleri kerosen adlı malzeme çözebilmiştir.

5.2 Sinterleşme Sonrası Malzeme Özellikleri

Sinterleşme esnasında alümina malzemenin 1400 °C’den sonra hem alümina kayıkçığa hem de birbirlerine yapışmaya başladığı görülmüş ve sinter işlemi 1400 °C ile sonlandırılmıştır. Aynı durum steatit malzemede 1300 °C’den sonra gözlemlenmeye başlamış ve sinter işlemi bu sıcaklıkta sonlandırılmıştır.

5.2.1 Yoğunluk

Daha önce ölçülmüş hammaddelere ait, alümina için 3 gr/cm^3 ve steatit için $2,75 \text{ gr/cm}^3$ olan yoğunluk değerlerine alümina için 1400 °C’de 90 bar’la, steatit için 1300 °C’de ilk olarak 90 bar’la ulaşıldığı görülmüştür. Çizelge 5.1 ve Şekil 5.1’de sinterlenmiş numunelerin yoğunlukları görülmektedir.

Çizelge 5.1 : Sinterlenmiş numunelerin ortalama yoğunluk değerleri (gr/cm³)

6'şar numune ortalama		30 bar	60 bar	90 bar	120 bar	150 bar
Alümina	1000°C	2,8328	2,84	2,8495	2,8515	2,8523
	1100°C	2,8312	2,835	2,84	2,8414	2,8428
	1200°C	2,838	2,8383	2,8674	2,8752	2,8851
	1300°C	2,8918	2,8968	2,9155	2,9174	2,9181
	1400°C	3,0302	3,0445	3,0495	3,0499	3,05
Steatit	1000°C	2,6755	2,7025	2,7138	2,7169	2,7201
	1100°C	2,6427	2,6531	2,6819	2,6927	2,7143
	1200°C	2,672	2,9874	2,7274	2,7308	2,7396
	1300°C	2,7297	7,7321	2,7577	2,7612	2,7625



Şekil 5.1 : 90 bar'da gerçek yoğunluk değerine yaklaşan yoğunluklar

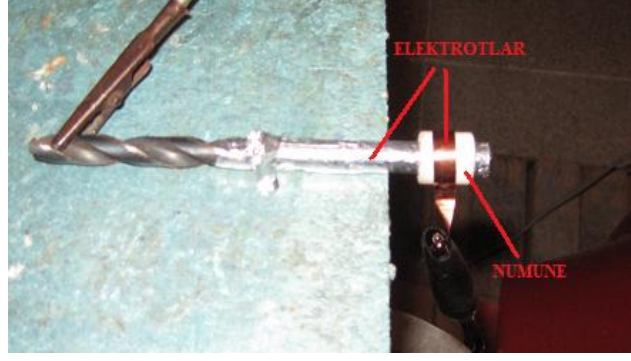
Çizelge 5.2 : Sinterlenmiş harman numuneleri ortalama yoğunluk değerleri (gr/cm³)

6'şar numune ortalama	Sinter Sıcaklığı	90 Bar
Harman 1	1350 °C	2,9328
Harman 2	1350 °C	2,861
Harman 3	1350 °C	2,8242

Çizelge 5.2'de 90 bar'da preslenmiş ve 1350 °C'de sinterlenmiş harman numunelerinin ortalama yoğunluk değerleri görülmektedir

5.2.2 Elektriksel iletkenlik

1200 V, 50 Hz değerinde uygulanan Meger testinde tüm sıcaklık ve basınç değerleri için tüm numunelerin testi geçmiştir (şekil 5.2). Test yapılırken rastgele numunelerde atlama değeri zorlanarak minimum elektrik atlama değeri de 3300 V olarak kaydedilmiştir.



şekil 5.2 : Meger testinin numuneye uygulanişı

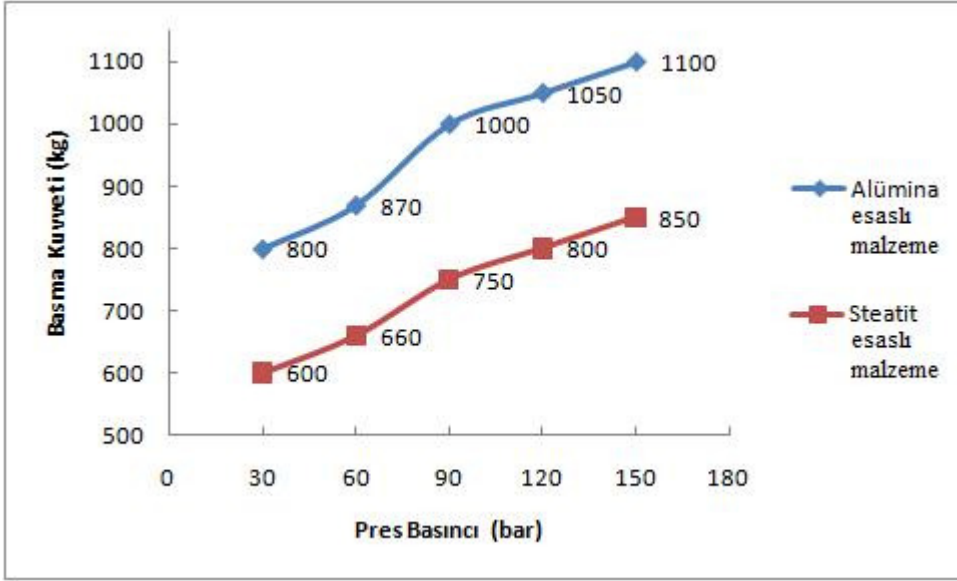
Ayrıca 1350 °C’de sinterlenen farklı 3 alümina harmanına ait 9’ar adetlik numunelerin de 1200 V, 50 Hz’de uygulanan testi başarıyla geçtiği görülmüştür.

5.2.3 Mukavemet

Mukavemet testinde elde edilen değerler doğrultusunda alümina malzemenin sinter sıcaklık aralığı olan 1300 – 1400 °C ve steatit malzemenin sinter aralığı olan 1200 – 1300 °C aralığında ulaşılan mukavemet değerlerinin perçinleme için oldukça iyi değerler olduğu görülmüştür (izelge 5.3, şekil 5.3) [28].

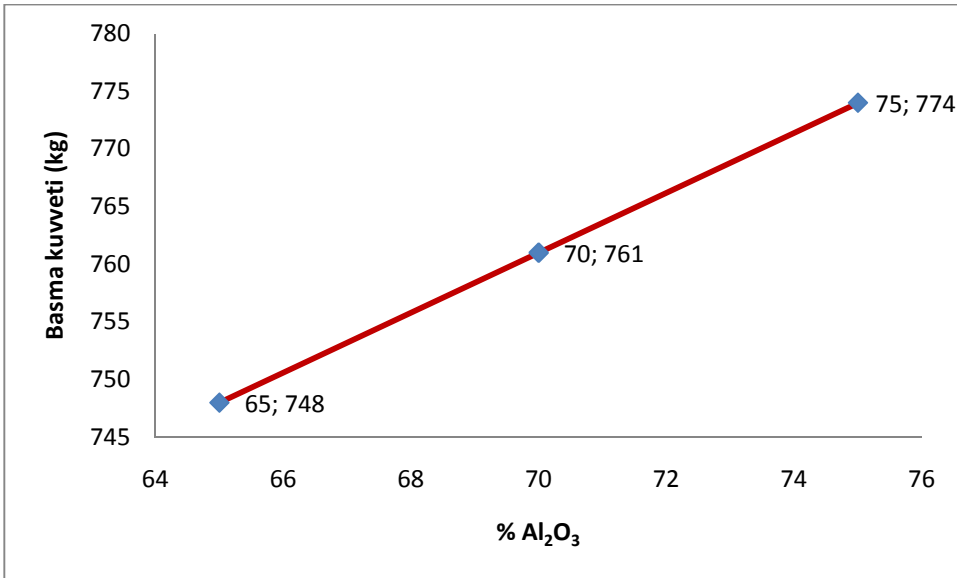
Çizelge 5.3 : Basma deneyinde elde edilen ortalama mukavemet değerleri (kg)

	3’er numune ort. değer	30 bar	60 bar	90 bar	120 bar	150 bar
Alümina	1000 °C	230	265	410	430	550
	1100 °C	450	500	600	660	700
	1200 °C	500	560	680	740	800
	1300 °C	600	680	790	850	900
	1400 °C	800	870	1000	1050	1100
Steatit	1000 °C	350	370	450	480	500
	1100 °C	370	400	450	470	500
	1200 °C	420	460	530	560	600
	1300 °C	600	660	750	800	850



Şekil 5.3 : 1300 °C’de steatit, 1400 °C’de alüminanın mukavemet artışı

90 bar’da preslenen ve 1350 °C’de sinterlenen Harman 1, 2 ve 3’e yapılan mukavemet testlerinin sonuçları da sırasıyla 774, 761, 748 kg olarak bulunmuştur. Şekil 5.4 ’de 90 bar’da preslenmiş ve 1350 °C’de sinterlenmiş 3 farklı alümina esaslı harmanın basma deneyi sonucu mukavemet değerleri görülmektedir.



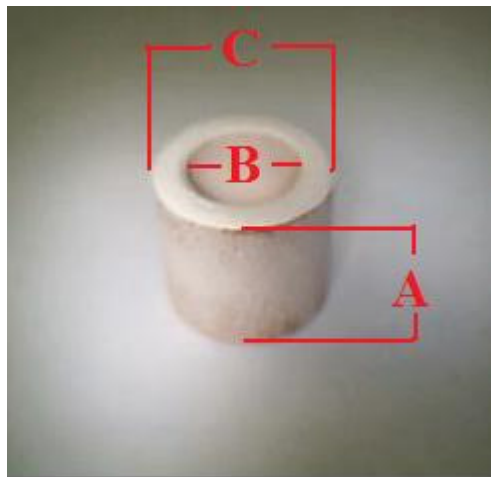
Şekil 5.4 : Alümina muhtevisatına bağlı mukavemet değerleri

Şekil 5.4’de görüldüğü üzere, malzeme içerisindeki alümina muhtevisatının artmasıyla birlikte, basma deneyi sırasında uygulanan yük miktarında da gözle görülür lineer bir artış gerçekleşmiştir.

5.2.4 Boyutsal değişim

Çizelge 5.4 : Sinterlenmiş ürünlerin boyutsal analizleri (mm)

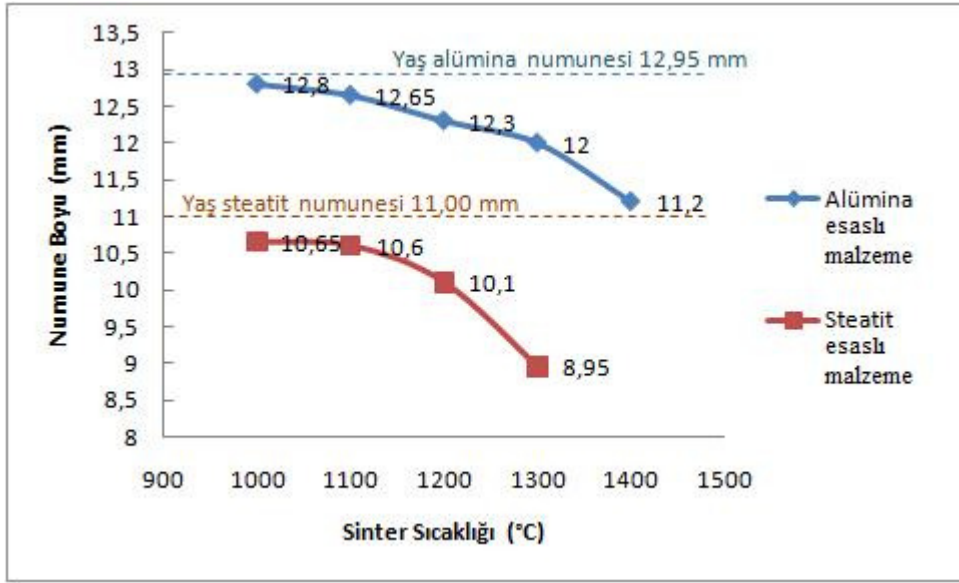
3'er numune ort.değer	STEATİT					ALÜMİNA						
	YAŞ	1300 °C	1200 °C	1100 °C	1000 °C	YAŞ	1400 °C	1300 °C	1200 °C	1100 °C	1000 °C	
30 bar	A	11,25	9,75	10,4	10,8	11,1	13,95	11,75	12,55	13,2	13,3	13,95
	B	13,75	12,15	13,1	13,5	13,55	13,75	11,6	12,3	13,15	13,35	13,6
	C	8,75	7,7	8,25	8,6	8,6	8,75	7,4	7,8	8,3	8,5	8,65
60 bar	A	11,25	9,65	10,4	10,9	10,65	13,6	11,6	12,3	12,85	13,05	13,2
	B	13,75	12,15	13	13,5	13,55	13,75	11,6	12,4	13,15	13,35	13,6
	C	8,75	7,7	8,2	8,6	8,6	8,75	7,45	7,85	8,3	8,5	8,65
90 bar	A	11	8,95	10,1	10,6	10,65	12,95	11,2	12	12,3	12,65	12,8
	B	13,75	12,3	12,9	13,5	13,55	13,75	11,75	12,65	13,15	13,35	13,6
	C	8,75	7,7	8,2	8,6	8,6	8,75	7,45	8	8,3	8,5	8,65
120 bar	A	10,6	9,25	9,8	10,35	10,25	12,8	10,85	11,65	12	12,1	12,7
	B	13,75	12,4	13,2	13,5	13,55	13,75	11,85	12,45	13,2	13,35	13,6
	C	8,75	7,85	8,4	8,6	8,6	8,75	7,5	7,9	8,35	8,5	8,65
150 bar	A	10,4	9,25	9,85	10,15	10,15	12,45	10,85	11,35	11,85	11,95	12,05
	B	13,75	12,55	13,25	13,5	13,55	13,75	11,95	12,8	13,2	13,35	13,6
	C	8,75	9,95	8,35	8,6	8,6	8,75	7,6	8,05	8,45	8,5	8,65



Şekil 5.5 : Numune boyut ölçümleri

Çizelge 5.4’de sinterlenmiş ürünlerde gerçekleşen boyutsal değişimler, ürünlerin sinter öncesi boyut karşılaştırmalarıyla gösterilmiştir (Şekil 5.5).

Çizelge 5.4 ve Şekil 5.6’da görüldüğü gibi 90 bar değerinde preslenen numuneler 1300 °C steatit esaslı ve 1400 °C alümina esaslı malzemelerde yaş numuneye oranla gözle görülür bir değişiklik gerçekleşmesine rağmen, Şekil 5.1 ve Şekil 5.3’teki değerler doğrultusunda, en uygun sinter sıcaklık değerleri alümina için 1400 °C ve steatit numune için 1300 °C olarak tanımlanmıştır. Bu doğrultuda 3 alümina harmanı için en uygun sinter sıcaklık değerleri 1350 °C olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.6 : Sinter sıcaklığının ürün boyuna etkisi

6. GENEL SONUÇLAR

1. Bu çalışma, seramik termostat izolatörlerin en uygun koşullarda üretimi ve karakterizasyonu için yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda üretim için gereken basamaklar; harmanlama, presleme ve pişirme aşamaları incelenmiştir. Her basamakta ürün özelliklerine etki edecek parametreler değiştirilerek bu değişiklikler doğrultusunda elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Bu şekilde en iyi sonuçların hangi koşullarda elde edildiği araştırılmıştır.

2. Alümina ve steatit esaslı hammadde karışımları ile alümina esaslı harmanlar, çeşitli yağlayıcı elemanlar kullanarak nemlendirilmiştir. Nemlendirilen malzemelere toz sıkıştırma presinde uygulanan testler sonucunda steatit esaslı malzemede kullanılabilir en uygun nemlendirici oranı (aynı zamanda kalıbın yağlanma özelliği de göz önünde bulundurularak) % 3 saf su olarak tespit edilmiştir. Aynı durumda alümina esaslı malzeme için en uygun nemlendirme oranı % 3 kerosen olarak tespit edilmiştir.

3. 30, 60, 90, 120 ve 150 bar basınçlarında kompaktlama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Her basınç değeri için 54'er numune preslenmiştir. Numunelerin presi terk ettikleri andaki yüzey özellikleri ve bütünlükleri göz önünde bulundurularak 90 bar ve üzeri basınçlarda istenen yüzey özelliklerinin sağlandığı tespit edilmiştir. Bu duruma istinaden yeni harmanlardan da 90'ar bar basınçta 9'ar numune üretilmiştir.

4. Sinter işlemi sonrası yapılan 1200 V'daki Meger elektriksel testini tüm numunelerin başarıyla geçtikleri tespit edilmiştir. Arada seçilen birtakım numunelerde en küçük atlama değeri 3300 V olarak tespit edilmiştir.

5. Sinterlenmiş ürünlere uygulanan basma testi, ve yoğunluk ölçümleri doğrultusunda hammadde gerçek yoğunluğuna en yakın ürün yoğunluğunun steatitte 1300 °C ve alüminada 1400 °C'de elde edilmiş, bu duruma istinaden diğer 3 harman 1350 °C'de sinterlenmiş, aynı şekilde basma mukavemetlerinin bu sıcaklıklarda en yüksek değerlerine ulaştığı tespit edilmiştir.

6. Yapılan testler sonucunda, endüstri bazlı alümina esaslı malzeme için en uygun nemlendiricinin % 3 kerosen, en uygun basıncın 90 bar pres basıncı, en uygun sinter sıcaklığının 1400 °C olduğu tespit edilmiştir. Endüstri bazlı steatit esaslı malzeme için en uygun nemlendiricinin % 3 saf su, en uygun basıncın 90 bar pres basıncı, en uygun sinter sıcaklığının 1300 °C olduğu tespit edilmiştir. Hazırlanan 3 özgün alümina harmanında ise en uygun nemlendiricinin % 3 kerosen, en uygun basıncın 90 bar pres basıncı, en uygun sinter sıcaklığının 1350 °C olduğu tespit edilmiştir.

7. Bu tez çalışmasında yapılan testler sonucunda, seramik termostat izolatörlerinin her basamakta hangi parametrelerle en iyi şekilde üretilebileceği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Moulson, A. J., Herbert ve J. M.**, 1990: Elektroceramics: materials, properties, applications, Chapman and Hall, Londra, İngiltere.
- [2] **Carter, C.B., Norton ve M. G.**, 2007. Ceramic Materials Science and Engineering, Springer.
- [3] **ASTM C 1286 - 94**, Standard classification for advanced ceramics, *American Society for Testing and Materials*, Batı Conshohocken.
- [4] **Lukin, E. S., Makarov, N. A., Dodonova, I. V., Tarasova, S. V., Bad'ina, E. A. ve Popova, N. A.**, 2001: New Ceramic Materials Based on Aluminium Oxide. *Refractories and Industrial Ceramics*. Sayı 42, no. 7-8, sayfa 261-267.
- [5] **Harper. Charles.A.**, 2001: Handbook of Ceramics, Glasses and Diamonds, McGraw-Hill.
- [6] **Rigterink, M. D. ve Hills, F.**, 1943. Steatite type ceramic material, *United State Patent*, No: 2313842 dated 16.04.1943.
- [7] **Antsiferov, V.N., Porozova, S.E. ve Peshcherenko, S.N.**, 1997: Effect Of The Raw Materials On The Properties Of Cordierite Ceramics. *Refractories and Industrial Ceramics*. Sayı 38, no: 9-10, sayfa 388-391.
- [8] **Beall, D. M.**, 2001. Cordierite sutructures, *United States Patent*, No: 6300266 dated 09.10.2001.
- [9] **Erol, M.**, 2007-2008. Seramik ders notları, Ankara Üniversitesi, Kimya Mühendisliği ders notları.
- [10] **Ibsen, R., Chen, X., Cattell, M. J., Riodel, J. V. ve Chadwick, T. C.**, 2009. Control of ceramic microstructure, *United States Patent*, No: 2009/0081104 dated 26.04.2009.

- [11] **Adachi, T., Nakatani, M., Sato, S., Higashino, T., Nomura, S. ve Adachi, R.**, 1991. Method of manufacturing ceramic products and a method of manufacturing ceramic springs, *United States Patent*, No: 5043117 dated 27.08.1991
- [12] **Arashi, T. ve Miyauchi, Y.**, 2010. Dielectric porcelain composition and method for production thereof, *United States Patent*, No:7655588 dated 02.02.2010.
- [13] **Ogata, Y., Ono, H. ve Yamanaka, S.**, 1988. Method for production of ceramic composition, *United States Patent*, No: 4789653 dated 06.12.1988.
- [14] **Url-1** < <http://www.substech.com>> alındığı tarih 04.04.2010.
- [15] **Url-2** < <http://www.azom.com>> alındığı tarih 20.04.2010.
- [16] **Url-2** < <http://www.experiencefestival.com>> alındığı tarih 08.04.2010.
- [17] **Lukin, E. S. ve Bakunov, E. S.**, 2008. Characterization of High-Density Technical Ceramics Technology. Structure Regulation During Sintering. *Glass and Ceramics*. Sayı 65, no: 7-8, sayfa 231-235.
- [18] **Misra, R., Barker, A. J. ve East, J.**, 2002. Controlled Drying to Enhance Properties of Technical Ceramics. *Chemical Engineering Journal*. Sayı 86, sayfa 111-116.
- [19] **Raether, F. ve Horn, P. S.**, 2009. Investigation of Sintering Mechanisms of Alumina Using Kinetic Field and Master Sintering Diagrams. *Journal of the European Ceramic Society*. Sayı 29, sayfa 2225-2234.
- [20] **Boccaccini, A. R. ve Trusty, P. A.**, 1998. In Situ Characterization of the Shrinkage Behavior of Ceramic Powder Compacts During Sintering by Using Heat Microscopy. *Materials Characterization*. Sayı 41 sayfa 109-121.
- [21] **Uhlmann, E., Mihotovic, V. ve Coenen, A.**, 2009. Modelling the Abrasive Flow Machining Process on Advanced Ceramic Materials, *Journal of Materials Processing Technology*. Sayı 209 sayfa 6062-6066.
- [22] **Tsutsumi, C., Okano, K. ve Suto, T.**, 1993. High Quality Machining of Ceramics. *Journal of Materials Processing Technology*. Sayı 37, no: 1-4, sayfa 639-654.

- [23] **Url-3** < <http://www.coorstek.com> > alındığı tarih 15.04.2010.
- [24] **Gogotsi, G.A.**, 2003. Fracture Toughness of Ceramics and Ceramic Composites. *Ceramics International Journal*. Sayı 29, sayfa 777-784.
- [25] **Mori, T.**, 1997. Dielectric porcelain composition having a high dielectric constant and a low sintering temperature, *United States Patent*, No: 5633215 dated 27.05.1997.
- [26] **Kuşçu, H.**, 2006-2007, güz. Yarı İletken Sensör ve Transdüserler, Trakya Üniversitesi Makina Mühendisliği ders notları.
- [27] **Denuccio, R. J. ve Kim, H. J.**, 1987. Bimetal thermostats and method of manufacture, *United States Patent*, No:4694558 dated 22.09.1987
- [28] **Serfiçeli, Saip Y.**, 1997. Soğuk ve Sıcak Şekillendirme, Ankara

EKLER

EK A.1 : Teknik seramiklerin uygulama alanları

EK A.1

Çizelge A.1 : Teknik seramiklerin uygulama alanları

Uygulama alanı	Parçalar	Neden Seramik?	Ham maddeler
Makina mühendisliği, genel	Kaplamalar, duylar, nozüller, ekstrüder astarları, klavuz merdaneleri, sıcak ekstrüderdeki taşıyıcı elementler, yatak duyları, kontak halkaları, döner ekstüderde karıştırma elemanları, kesme, kırma, koruyucu gömlekler, koruyucu kılıflar(tubing), elek tekerleri, merdane yatakları, kayan raylar, oturma halkaları, şaft koruyucu tüpleri	Yüksek aşınma direnci, korozyon direnci ve mekanik mukavemet	Alüminyum oksit, silisyum karbür, silisyum nitür, zirkonyum oksit, kuvars porseleni
	Makine millerinin taşlanması, tahtaların öğütülmesi	Yüksek sertlik	
	Klavuz tekerlerleri, yüksek hızlı merdane yatakları	Düşük yoğunluk	
	Merdane yatakları, termal izolasyon	Yüksek sıcaklık dayanımı	
Fırın imalatı ve yanma endüstrisi	Beam, yanma nozülleri, denox çubukları, alev tüpleri, ısıtma elemanları, kazan insertlerinde, çimento fırını astarlarında, plakalarda, reküperatörlerde, jet borularında, desteklerde, çanak muhavazalarında, destek merdanelerinde, ısı eşanjörlerinde	Termal iletkenlik, yüksek sıcaklık dayanımı, korozyon dayanımı	Silisyum karbür, silisyum nitür
Çeşitli uygulamalar	Akkor gaz gömlek tutucuları, infrared radyatörler, delik jetleri, kaynak nozülleri, potalarda	Termal şok direnci, ısıl direnç ve korozyon direnci	Kordierit, alüminyum oksit
İzolatörler	Anten çubukları, pullar, kesintisiz besleyiciler, dişli borular, tesbit pinleri, gömlekler, ayar pinleri, kontak buji gövdeleri, potansiyometre halkaları, regülator halkaları, regülator soketleri, tüpler, anahtar pinleri, dilimli tüp plakalar, koruyucu tüpler, harici yanma tüpleri, sigortalar, harici sigortalar, sigorta soketleri, direnç gövdeleri.	Elektriksel izolasyon, düşük kayıp faktörü, mekanik mukavemet	Steatit, kordierit, müllit, alüminyum oksit, magnezyum oksit, alumina porseleni

Çizelge A.1 : (devam) Teknik seramiklerin uygulama alanları

Yüksek sıcaklık izolatörleri	Terminal kelepçeleri, soketler, kıvılcım koruma çemberleri ve plakaları, muhafazalar, segmen jeneratör ısıtma bujisi, taban plakaları, ısı bağlantı boruları, ısı bağlantı destekleri, fırın bağlantı terminalleri, izolasyon boncukları, çember plakaları, terminaller, lamba soketleri, delikli çubuklar, delikli plakalar, çok delikli tüpler, koruyucu tüpler, harici yanma tüpleri, destek çubukları, destekler, indexable insertler, direnç gövdeleri, elektrod muhafazaları, bujiler.	Elektriksel izolasyon, düşük kayıp faktörü, mekanik mukavemet, sıcaklık dayanımı, termal şok direnci	Steatit, kordierit, müllit, alüminyum oksit, magnezyum oksit
	Yakıt hücreleri, sensörler	Iyonik bağlantı	Zirkonyum oksit
	Trafolar	Isı direnci	Alüminyum oksit, alüminyum nitrit
	Isı düşürücüler	Yüksek ısı iletgenlik ve elektriksel izolasyon	Alüminyum oksit, alüminyum nitrit
Yüksek gerilim mühendisliği	Kesintisiz besleyiciler, açık hava izolatörleri, muhafaza izolatörleri, yüksek frekans izolatörleri, delikli izolatörler, uzun çubuk izolatörler, yüksek mukavemet destekleri, hava hattı izolatörleri, destekler	Mekanik mukavemet, yaşlanma direnci, elektrik izolasyonu	Alümina porseleni, kuvars porseleni, steatit
Elektronik, genel	Kesintisiz besleyiciler, muhafazalar, yüksükler, izolatörler, ısı düşürücüler, gömlekler, altlıklar, aşırı gerilim korumaları	Elektrik izolasyonu, sıcaklık ve özel elektrik özellikleri	Alumina porseleni, kuvars porseleni, alüminyum oksit, alüminyum nitrit
Piezo teknoloji	Sinyal çeviriciler; akustik-elektriksel, elektriksel akustik, elektro-mekanik, mekanik-elektriksel	Piezo-elektrik etki	Kurşun zirkonat titanat, (piezo-seramik; PZT)

Çizelge A.1 : (devam) Teknik seramiklerin uygulama alanları

Medikal teknoloji	İç kulak implantları, granüller (kemik tedavisi için), protezik kalça ve omuz bağlantıları, kemik değişimi, diş tedavisinde	Mekanik mukavemet, yüzey kalitesi, bio- uyumluluk	Alüminyum oksit, kalsiyum fosfat, zirkonyum oksit, hidroksiapatit
----------------------	--	--	---

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Çağlar ALTUN

Doğum Yeri ve Tarihi : Beykoz, 29.05.1983

Eğitim : (2006-2010) **M.Sc.** Met. ve Malz. Müh., İTÜ (Devam ediyor)

(2001-2006) **B.Sc.** Met. ve Malz. Müh., İTÜ

(1997-2001) **Lise**, Kabataş Erkek Lisesi