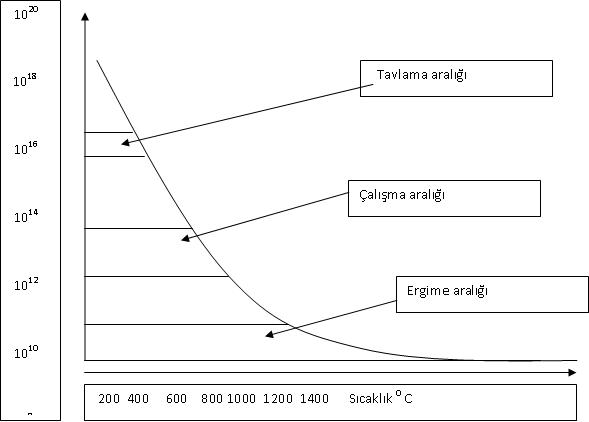
**CAM VE VİSKOZİTE**

1. **Camların Yüksek Sıcaklıktaki Davranışı**

Camların belirli bir ergime sıcaklığı olmayıp, yumuşama sıcaklığı bulunmaktadır. Yumuşama sıcaklığının üzerinde uygulanacak olan gerilme deformasyona neden olur. Gerilme sıfıra düşmektedir.



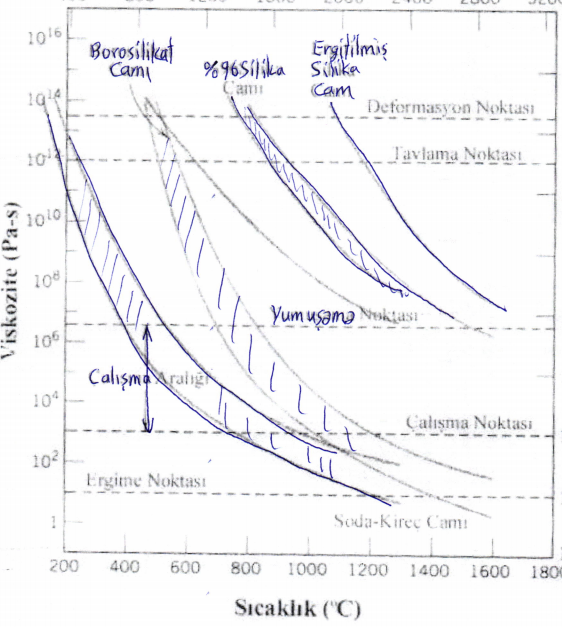
Viskozite

**Şekil 1.** Soda Kireç Camların Viskozite – Sıcaklık Diyagramı (LAWRENCE,1973)

Şekil 1’de de görüldüğü üzere soda-kireç camının viskozitesi sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Camın viskozitesi sıcaklığa bağlı olarak oda sıcaklığında 1020 poise değerinden 1400 oC’de 102 poise ye düşmektedir. Cam yaklaşık 102 poise de ergitilir.104 - 107 poise arasında plastik kıvamda iken şekillendirilir. 1012 - 1014 aralığında tavlanır yaklaşık 1014 poise den sonra gerilim noktası olarak (strain point) kabul edilir. Bu viskozite değerinin üzerinde viskozite değerlerinde cam sert- rijit olarak kabul edilir, onun altında yük altında deforme olduğu kabul edilir (YAMAN,2008). Viskozitenin yüksek olması, kristallenmeyi önleyici rol oynamaktadır. İç gerilmeler yumuşama noktasının üzerinde şekillendirmede değil yumuşama sıcaklığının altında meydana gelmektedir. Arı metaller, oksitler ve normal ergiyen intermetalik bileşikler sabit sıcaklıkta ergir ve katılaşırlar. Bunların dışındaki alaşımlar ve kristal seramikler, belirli bir sıcaklık alanında katılaşırlar (YAMAN,1998).

Katılaşma sırasında hacimce küçülme meydana gelir, aynı zamanda enerji verirler ve atomlar en düşük enerjili seviyeye inerler. Katılaştıktan sonra hacimce küçülme devam eder. Camların belirli bir ergime sıcaklığı veya ergime aralığı yoktur. Katılaşma bölgesinde soğuma hızına bağlı olarak hacimce doğrusal küçülme gösterirler. Eğer soğutma hızı çok yavaş ise, atomlar, hızlı soğumaya göre daha sık dizilme fırsatı bulurlar ve hacimce küçülme göreceli olarak daha fazla olur. Eğer soğuma hızlı ise, atomlar yerleşmek için fırsat bulamazlar ve hacimce küçülme az olur (YAMAN,1998).

**CAM VE VİSKOZİTE**



tüm camların %90 Temper cam lamine dahil

(Cam olarak pahalı olduğu için çok fazla kullanılmıyor. Genelde refrakter olarak kullanılıyorlar.)

Solid=Katı

Chart, diagram

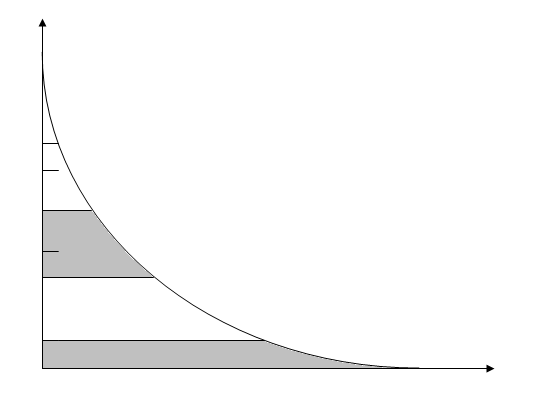
Description automatically generatedSolid=Katı

Kristal malzemelerde bir rijitlik vardır. Katıl olma söz konusudur. Kristal=Rijittir. Bir malzeme rekristalizasyon olmuyorsa rijit değildir.

Cam=Amorf malzeme≠Rijit

* Amorf camsı maddelerde strain point (gerinim noktası) vardır. Veya yumuşama noktası
* Camın katı diyebileceğimiz bir sıcaklığı yoktur.
* Strain point; camsı, amorf yapılar yük altında deforme olurlar. Bu sebepten rijit diyemeyiz.
* Ancak oda sıcaklığında, yük altında deformasyonu ihmal edilebilirse Rijit kabul edilebilir.

Cam kritallenemediği için rijit değildir. Yani cam yük altında devamlı deforme olur, şekil değiştirir. Bunun için cama aşırı soğutulmuş sıvı denir. Ve camların viskozitesinden bahsedilir. Birimi de poise’dur. Oda sıcaklığında kuvvet uygulayarak poisson ratio bulunur. Cam metal plsatik vb bu poise viskoziteden farklıdır.



Ergime Noktası

Sıcaklık (°C)

Çalışma Aralığı

1200

400

650

1600

10

105

108

1010

Vizkozite

**Şekil 3.** Camların Sıcaklık-Vizkozite Grafiği

Kısaca;

* Cam yumuşaktır. Örneğin; Cam, 1100 °C’den 700 °C’ye soğuttuğumuz zaman cam ile kristal yapı arasında bir iç gerilme meydana gelmez. Aslında bir iç gerilme olur ama bu gerilme yumuşak camı deforme eder.
* 700 °C’den oda sıcaklığına soğutursak;

Cam böyle olmak isterdi ama böyle olamaz. Çünkü iç gerilmeler meydana gelerek engelliyor.

αkristal ˃ αcam  ise; αkristal ˂ αcam  ise;

* Kalıbın içine üflenirse, kalıbın şeklini alır.

Cam

Üflüyoruz

* Tkriztalizasyon **=** 0,4 \* Tergime (metaller için)
* Tergime Pb = 320 °C Tergime çelik **=** 400 °C
* Tkriztalizasyon , sıcaklığını alaşım elementleri etkiler.
* Tkriztalizasyon Pb = -32 °C
* Kurşun, bir sıvı davranışı gösterir. (-32 °C’nin üstünde)
* Camdan özel kap imal ettirilir.

Tüp (boru yassı)

Alevle ısıttık

Biblo yapılır.

650℃ civarında cama bir tüple hava üflüyoruz, üflendiğinde et kalınlığı her yerde aynı çünkü viskozite her yerde aynı bu yüzden homojen dağılıyor.(Cam bir kalıbın içine konmalıdır.)

Cama üfleyerek şekil verirken belli bi bölgenin şeklini değiştirmek istiyorsak sadece o bölgeyi ısıtarak üflersek sadece ısınan bölgenin şekli değişir.

* Cam, HF hariç bütün asitlere dayanır.
* Polimer malzemeler, zamanla güneş ışığından etkilenir, zamanla boyut değiştirirler, sıcaktan etkilenirler, taşınırken kuvvet etkisinden etkilenilir. Bu yüzden asitler camlarda saklanır.
* Asit içerisinde çalışan makine parçalarında korut kullanılır. Polimerin sakıncaları burada yoktur.
* Al2O3 (Alümina); Korund, alüminanın kristal yapısıdır. ( Yüksek sıcaklıklara dayanımlıdır.)

Saf silika 1723, alümina 2020 derecede ergir. Her ikisinin kristallenme sırasında meydana gelen hacimce küçülme olayını açıklayınız işleme- aralığı viskoz- davranış- soğuma12 cam-kristal soğuma hacim değişimi

1---.Saf silika 1723 derecede ergidiği zaman viskoz davranış göstermektedir. a)Bazik FeO cürufuna nasıl dayandığını açıklayınız b)Cam olarak neden çok pahalı olduğunu açıklayınız c)Sıcağa dayanıklı cam olarak 96’lık cam ve borosilikat camın kullanılma özelliklerini ve neden tercih edildiklerini açıklayınız.

Tk: Katılaşma sıcaklığı

Tk Sıcaklık

Kristal

Hacim

Ergime ve katılaşma sıcaklığı arasında çok az bir fark vardır. Saf SiO2 1723oC ‘de ergir ve katılaşır. C Elmas 3700 K’de ergir ve katılaşır.

Atmosferik soğuma

Tk Sıcaklık

Kristal

Hacim

Çok çok yavaş soğuma

|  |
| --- |
|  |
|  |

Silika 1723 ergir. fused cam pahalı bazik FeO ya dayanıklı ters MoSi2 1800 sıcağa-9 borcam teknik cam

Chart, diagram

Description automatically generated

Silika 1723 ergir. Ama çok viskozdur. Bu nedenle şekillendirilmesi çok zordur. Bu nedenle fused = ergimiş silika cam çok pahalıdır. Onun yerine % 3 boroksit katkılı 96’lık cam kullanılır.

Silikaya % 3 Boroksit katılırda 96’lık cam elde edilir. Fused = ergimiş silika cam özelliklerine çok yakın özelliklere sahiptir. Ama ona göre ucuzdur. Onun yerine abrurrahman çelebi olarak kullanılır.

Borosilikat camda 96’lık cama göre daha fazla boroksit içerir. Ama borosilikat cam sıcağa dayanıklı cam olarak değil termal şok dayanımı iyi olan cam olarak kullanılır. mutfakta kullanılırsa bor cam ve onun bir alt gurubu pyrex cam olarak adlanırılır. Teknikte kullanılıyorsa teknik cam olarak adlandırılır. 3 ismde aynıdır. Sıcağa dayanıklı cam olarak alüminosilikat cam kullanılır.

Borosilikat camda 96’lık cama göre daha fazla boroksit içerir. Daha kolay şekillendirilebilir. Ama termal şok dayanımı çok düşüktür. Bu nedenle ne mutfakta ne de teknikte kullanılamaz.

1723 derecede ergidiği zaman çok viskozdur. Bu nedenle demir-çelik üretimindeki en temel bazik FeO cürufuna çok dayanıklıdır. Aslında = gerçekte asidik refrakterin bazik cüruflara çok dayanıklı olması çok rastlanan bir durum değildir.

Seramik ısıtıcı direnç malzemesi MoSi2 yüzeyin de koruyucu SiO2 tabakası oluşur bu tabaka 1723 C’der ergir. Ama çok viskozdur. Bu nedenle MoSi2 ısıtıcı 1800 C’ye kadar kullanılabilmektedir.

ÖZET

(Na sıcaklığı düşürür, Kalsiyum direnç verir.

%96 SiC %3 Bor: Sıcaklığı ve maliyeti düşürür ama hala çok pahalı, fuse silika yerine kullanılır. Pahalı olduğu için kullanım alanı sınırlıdır. Mutfakta kullanılırsa Bor cam teknikte kullanılırsa Teknik Cam olarak isimlendirilir.)

Soda Kireç Camı: soda-lime

Na (+1 değerlikli, çap büyük) silikanın ergime sıcaklığını 1723 den 770oC’ye kadar düşürür, şekillendirme kabiliyetini arttırır, maliyeti düşürür. Ama oda sıcakılığında akıcı sıvıdır. su camı olarak oda sıcaklığında sıvıdır. Ca (+2 değerlikli) hem rijitlik sağlar hem de kimyasal dayanımı ciddi şekilde arttırır.

Na camın ergime sıcaklığını camın kimyasal direncini viskozitesini ve bütütün bunların sonucunda maliyeti düşürür.

Ca camın kimyasal direncini, rijitliği artırıcı etki yapar.

Soda-kireç camları en eski, en ucuz, en kolay şekillendirilebilen ve en yaygın kullanılan camdır. Pencere, bardak ve şişe üretiminde kullanırlar ve cam pazarının % 90’ına hitabeder. HF asit hariç tüm kimyasallara dayanıklı olmakla birlikte cam gurubu malzemeler içinde korozyon dayanımı orta derecede iyi kabul edilir.

-------- % 100 silika fused Ergimiş silika camı diğer adıyla fusedsilikayı,saf SiO2 olarak düşünebiliriz. Bu nedenle 900 C ye kadar kısa süreli uygulamalarda 1260 C ye kadar kullanılabilirler.Termal genleşme katsayısı 5,6x10-6 olup çok düşüktür ve bu yüzden termal şok dayanımı mükemmeldir.

-------- % 96 + % 3 B Çok pahalıdır. 96 lık silika camlar her yönden ergimiş silika cama benzerler fakat silikanın ergime sıcaklığını düşürmek için katılan katkı maddeleri maliyeti düşürmekle beraber diğer cam türlerine göre gen de çok pahalıdır. 800 C ye kadar kullanılabilirler.

B camın kimyasal direncini, artırıcı, genleşme katsayısını düşürücü etki yapar. Bu, termal şok dayanımını artırıcı etki yapar. Alüminosilikat camlar mutfakta kullanılıyorsa borcam, teknik uygulamalarda kullanılıyorsa teknik cam adıyla anılırlar.

Al camın ergime sıcaklığını yükseltici etki yapar. Zaten refrakterlerde, yüksek alüminalı refrakterlerde ve fiberlerde de de aynı etkiyi yapar. Alüminosilikat cam adıyla anılırlar.

Alüminosilikat Camlar: Al (+3 değerlikli, çap küçük) camın ergime sıcaklığını 650 oC’ye kadar çıkartır. Bor (+3 değerlikli, çap çok çok küçük) kimyasal direnci çok yükseltir. Termal genleşme katsayısını düşürür. Mutfakta borcam, teknikte teknik cam olarak kullanılır. Her ikisi de aynı camdır.

Cam elyafta yüzey alanı çok fazladır. Uzun süreli kullanımlarda camın kimyasal özelliklerini bozan suya karşı direncinin yüksek olması gerekir. Na düşürülür, B ve Ca artırılır.

Cam elyaf kompozitlerin temel yapı taşlarından biridir. Polimer malzemelerel beraber hafif kontrüksiyonlarda kullanılır. Kayık, hücumbot, uçak, otomobil, tampon gibi

Cam Elyaf: Yüzey alanı çok geniş olduğu için ve devamlı su ile temas halinde olduğu için suya dayanıklı olması gereklidir. Bu nedenle Na oranı çok düşürülür. Ca ve B yüksek oranda tutulur.

c—Cam yünü fiberler binalarda,fabrikalarda, taşıtlarda, uçaklarda, ısı-ses izolasyonunda, Cam yünü : Kolemanit katılarak ergime sıcaklığı ve maliyet düşürülmektedir.

Kaya yünü : 750 C’ye kadar

UYARI: Soda kireç camında, Ca kimyasal direnci ve rijitliği arttırdı. Borasilikatta bor kimyasal direnci arttırdı ve termal genleşme katsayısını düşürdü. Cam elyafta ikisi birden dünya tarihini değiştirdi. Cam elyafla kompozitler üretilir. Kompozitler diğer 3 malzeme grubu ile birlikte 2020 yılında birbirine eşit oranda kullanılacaklar. Yani kompozitler 2020 yılında metaller kadar tüketiliyor olacak. Kompozitin temelini cam elyaf oluşturuyor. Şu an bile hafif malzeme üretiminde en önemli maddedir.

**Borosilikat camlarının** altı türü vardır. Teknikte kullanılanlara “teknik cam”, mutfaklarda kullanılanlar “borcam” denir. Borcam-Korozyon dayanımı mükemmeldir. Termal genleşme katsayısı 33\*10-6 olup oldukça düşüktür ve bu yüzden termalşok dayanımı çok iyidir(Clauser). Özellikle fırına giren bor cam tencere ve bazı laboratuar aletlerinin yapımında tercih edilirler. Alüminosilikat camlarında alümina Al2O3 oranı borosilikat camlardan daha yüksek olduğu için elastiklik modülü ve termal genleşme katsayısı daha daha yüksektir ve 650 C’ye kadar kullanılabilirler. Korozyon dayanımı mükemmeldir. Termalşok dayanımları da çok iyidir(Clauser). Maliyetleri borosilikatların üç katıdır. Ergimiş silika camı diğer adıyla fused silikayı, saf SiO2 olarak düşünebiliriz. Bu nedenle 900 C’ye kadar, kısa süreli uygulamalarda 1260 C’ye kadar kullanılabilirler. Termal genleşme katsayısı 5.6\*10-6 olup çok düşüktür ve bu yüzden termalşok dayanımı mükemmeldir. Çok pahalıdır. 96’lık silika camlar her yönden Ergimiş silika cama benzerler fakat silikanın ergime sıcaklığını düşürmek için katılan katkı maddeleri maliyeti düşürmekle beraber diğer cam türlerine göre gene de çok pahalıdır. 800 C’ye kadar kullanılabilirler.

Ergimiş silika 900C’ye kadar olan sıcaklıklarda, kısa süreli uygulamalarda 1260 °C’ye kadar kullanılabilmektedir. Diğer camların bununla rekabeti sözkonusu değildir.Eğer korozif gaz ortamı sözkonusu ise ve sıcaklık düşükse SUS sembolü ile tabloda yer alan dökme çelik kancalar tercih edilmelidir. Seramik destek malzemeleri sıcağa, metallerden daha fazla dayanıklıdır fakat normal tercih edilir.

---------------- kocabağ-

Çizelge 4.5.1’de ticari camların özellikleri gösterilmektedir.

(Sır seramik gövde üzerinde sıvılaşarak elde edilir. Eğer aynı işlem metal yüzeye uygulanırsa emaye meydana gelir.

Cam sır ve emayenin bileşimleri çok farklı olabilir. Çünkü dekoratif, fiziksel, kimyasal özelliklerde farklı ihtiyaçlar bileşimleri belirler.)

**Çizelge 4.5.1:** Ticari Camların Özellikleri (KOCABAĞ, 2002)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tip** | **Gerinim noktası** | **Tavlama noktası** | **Yumuşama noktası** | **Genleşme katsayısı** | **Kırılma indeksi** | **Hac. Dir.**  **Ohm-cm** | **Güç faktörü** | **Dielektrik sabiti** |
| Ergimiş silika | (0C) | (0C) | (0C) | 0-3000C | Sod.D. | 2500C | 1Mc. 20 0C | |
| Silika camı % 96 | 1070 | 1140 | 1667 | 5,5 x10-7 | 1.458 | 12,0 | 0,0002 | 3,78 |
| Silika camı % 96 | 820 | 910 | 1500 | 8 x10-7 | 1.458 | 9,7 | 0,0005 | 3,8 |
| Silika camı % 96 | 820 | 910 | 1500 | 8 x10-7 | 1.458 | 11,2 | 0,00024 | 3,8 |
| Soda-lime(düz cam) | 820 | 910 | 1500 | 8 x10-7 | 1.458 | 11,7 | 0,00019 | 3,8 |
| Soda-lime (Plaka) | 505 | 548 | 730 | 85 x10-7 | 1.510 | 6,5 | 0,004 | 7,0 |
| Soda-lime (Şişe) | 510 | 553 | 735 | 87 x10-7 | … | … | … | … |
| Soda-lime (Ampül) | 505 | 548 | 730 | 85 x10-7 | 1.520 | 7 | 0,011 | 7,6 |
| Lead-alk. sil.(elekt.) | 470 | 510 | 696 | 92 x10-7 | 1.512 | 6,4 | 0,009 | 7,2 |
| Lead-alk. sil.(elekt.) | 395 | 430 | 626 | 91 x10-7 | 1.539 | 8,9 | 0,0016 | 6,6 |
| Lead-alk. sil.  (yük. kurşun) | 395 | 435 | 630 | 89 x10-7 | 1.560 | 10,1 | 0,0016 | 6,6 |
| Aluminosilikat | 390 | 430 | 580 | 91 x10-7 | 1.639 | 11,8 | 0,0009 | 9,5 |
| Borosil.(Düş. genl.) | 670 | 715 | 915 | 42 x10-7 | 1.534 | 11,4 | 0,0037 | 6,3 |
| Borosil.(Düş. el. Kayıp) | 520 | 565 | 820 | 32 x10-7 | 1.474 | 8,1 | 0,0046 | 4,6 |
| Borosil.(tung. Bağlantı) | 455 | 495 | --- | 32 x10-7 | 1.469 | 11,2 | 0,0006 | 4,0 |
| Borosil.(Kovar bağlantı) | 485 | 525 | 755 | 36 x10-7 | 1.487 | 8,8 | 0,0027 | 4,7 |

3 ) Cam bileşimi belirlenirken, Na, Ca, B ve Al oksitlerinin rollerini ve hangi ticari cam türlerinde rolü olduğunu açıklayınız. Cam elyafın yani E-camının a) Bileşiminin belirlenmesinde, Na, K, Ca, B ve Al elementlerinin işlevlerinini ne olduğunu , elemnntlerin değerliklerini ve ergime sıcaklıklarınında önemini dikkate alark açıklayınız. b) Uygulama alanlarını, neden tercih edildiklerini açıklayınız. c) Fiberlerin uygulama alanlarını açıklayınız.

(Cam % 20 ultraviyole geçirirken Fuse-Ergimiş Silika ultraviyole ışınlarını ve radar dalgalarını %100 geçirir. Bu özelliği ile bazı uygulamalar için pahalı olmasına rağmen kullanılır.

Reflex => flexible cam (mika – mica) => fırınlarda refrakter olarak kullanılır.

Sütlerde ki kalsiyum miktarı:

Deve Sütü İnek Sütü Koyun-Keçi Sütü

Ca% 80 40 20

Lor peynirinin ömrü 3 gün Kalsiyum miktarı %100 yağ %0, Tere yağının ömrü 40 gün Kalsiyum miktarı %0 yağ miktarı %100 dür.

Biyoaktif özelliğinden dolayı **implant malzemesi** olarak tercih edilen Hidroksi-apatit Ca ve P içerir.

(Bor termal genleşme katsayısını düşürür, dayanım sağlar. Cam elyafın suya dayanıklı olması gerekir. Cam elyafta B yüksek Na ve Ca az olmalı. Camlar uzun süreli su ile temas ederse yüzeyde matlaşma meydana meydana gelir.

11(Na+1 ve 20(Ca+2  Çapları büyük ve suya dayanımları azdır.

5 (B+3 çapları küçüktür ve suya dayanımı fazladır.

Deniz otobüsü, kayık, tekne, hücum bot, CTP (otomobil tamponu) gibi cam elyaf kullanılan makine elemanlarının suya dayanıklı olması gerekir. Bunun için düşük valanslı atomları azaltırız. Kompozit tüm üretilen malzemelerin 1/4 ‘ ünü oluşturmaktadır. Kompozitlerin büyük bir kısmı cam elyaflardan oluşmaktadır. Seramiklerin büyük bir kısmı cam, emaye ve sırsı faz içerir.)

**ÖDEV-2**

### CAMIN TERMAL GENLEŞME KATSAYISI

Oksitlere ait katsayılar birçok yazar tarafından tablolar halinde verilmektedir. Tablolardaki katsayılar ana bileşimi belirli cam fazlar için geçerlidir. Temel bileşim

Bir cam fazın bileşimi belirli ise , fiziksel ve mekanik özellikleri şöyle bulunabilmektedir. α=g1.p1+ g2.p2 +...........+ gn.pn termal genleşme katsayısı (p\_percent). Genleşme katsayısı dışında çekme dayanımı elastiklik modülü bileşimden hemen hemen hiç etkienmez. Çelikte elastik bölgede E de bileşimden hemen hemen hiç etkienmez

**Camların Isıl (Termal) Genleşmesi**

Isıl genleşme, camın en belirgin özelliklerinden biridir, ölçümü kolaydır. Bileşimsel değişmeler duyarlılıkla izlenebilir. Cam üretiminin denetiminde en çok güvenilen ve sıkça başvurulan bir denetim parametresidir. Birçok madde için, ısı ile ilgili önemli bir özellik, ısıl genleşmedir. Isıl genleşme, bir madde ısıtıldığında, boyutlarında meydana gelen büyümeyi ifade eder. Bir cam parçasının bir tarafı ısıtıldığında ya da soğutulduğunda bir taraf diğer taraftan daha uzun olma eğilimi gösterecektir. Bu ise camın içinde gerilimler meydana getirecektir. Gerilimler aşırı olduğu zaman camın kırılmasına sebep olacaktır. Bu ısıl gerilimler nedeni ile kırılma direnci; Termal şok direnci olarak adlandırılır. Laboratuvar kapları, fırın kapları ve benzer kaplar için termal şoka dayanıklılığın iyi olması gerekir. Düşük ısıl genleşme ya da yüksek termal şok direnci bu tip camlarda arzulanan niteliklerdir (www.2.aku.edu.tr).

**Çizelge 4.3.2.2:** Çeşitli Camların Genleşme Katsayıları ve Dönüşüm Sıcaklıkları (KOCABAĞ, 2002)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Camın tipi** | **Genleşme Katsayısı, 0C-1** | **Dönüşüm sıcaklığı, 0C** |
| Silika Camı | 5,5 x 10-7 | 1050 |
| Borosilikat Camı | 40 x 10-7 | 550 |
| Soda-Kireç Camı | 90 x 10-7 | 500 |
| Kurşun Kristal Camı | 95 x 10-7 | 425 |

**Çizelge 4.3.2.1:** Bazı Camların Doğrusal, Isıl Genleşme Katsayıları (KARASU,AY,2000)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Cam Türü** | **Doğrusal Isıl genleşme katsayısı (X 10-7/0C)** | **Cam Türü** | **Doğrusal ısıl genleşme katsayısı (X 10-7/0C)** |
| Silika | 5,5 | Borosilikat | 32 |
| % 96 Silika | 8,0 | Soda-kireç-silika | 90-92 |
| Alüminosilikat | 33 | Yüksek kurşun-silika | 100 |

(Saf silika ( SiO2 ) 1720 C' de ergir. Çok vizkoz bir yapıya sahiptir. Bunun iki önemli sonucu olur.

1. Bu sıcaklığın üzerinde sahip olduğu yüksek vizkozite nedeniyle işlenmesi zordur. Üretimi pahalıdır.
2. Vizkoz yapısı nedeniyle metalurjinin en önemli en değerli geçerliliği en fazla olan:

" Asidik refrakterler bazik cüruflara, bazik refrakterler asidik cüruflara dayanıklıdır."

kuralını deler.

Bu bir istisnadır ve çok önemlidir.

Asidik SiO2 bazik tüm cüruflara dayanıklıdır.

Eğer silikaya %3 Bor oksit katılırsa; 96' lık cam üretilir. Bu ergime sıcaklığını düşürür. Vizkoziteyi düşürür. Bununla beraber fiyatı hala daha düşük değil pahalıdır ve çok yaygın kullanılmaz. Bor daha da arttırılarak borosilikat camlar üretilebilir.  Borosilikat camların termal genleşme katsayıları çok düşüktür.

Mutfakta kullanılırlarsa Bor Cam, Teknik Labaratuarlarda kullanılırsa Teknik Cam olarak isimlendirilir. Bu isimlendirmeler bilinçli kullanılır ve konudan uzak olanlar için anlaşılması çok mümkün değildir.

Bor camın termal şok katsayısı yüksektir ama sıcaklığa dayanıklı değildir. Sıcaklığa dayanım için alümina silikat cam kullanılır. Talaşlı imalat söz konusuysa kurşunlu cam kullanılır.

Alumina silikat cam pahalı bor cam ucuzdur. Bor camın maliyeti düşük olduğu için yaygın kullanılır.)

Camların yüksek sıcaklıklarda kullanılabileceği ya da kullanılamayacağı, ısıl genleşme katsayısına da bağlıdır. Camın lineer genleşme katsayısı, artan sıcaklıkla birlikte lineerden pek az sapma yapar ve ortalama lineer genleşme katsayısı belirli bir sıcaklık sahası için verilebilir. Camın pek az ısı iletme kabiliyetinden dolayı ısıl genleşme katsayısı, sıcaklık değişimlerine dayanım üzerine farklı etki yapar. Kuvars camların lineer genleşme katsayısı, sıcaklık değişimlerine dayanım üzerine farklı etki yapar. Kuvars camların lineer genleşme katsayıları 0,5.10-6 1/K ve teknik camların 3 ila 10.10-6 1/K iken borosilikat camlar 3 ila 6.10-6 1/K ile bu sahanın alt bölümünde bulunur. Bu nedenle, borosilikat camlar, yüksek sıcaklıklara kadar kullanılabilirler ve borsuz teknik camlara nazaran daha hızlı bir şekilde ısıtılabilir ve soğutulabilirler (GÜRÜ, YALÇIN,2006). Ergime noktası yüksek ise direnç fazla elastik modul, çekme dayanımı ve termal genleşme katsayısı yüksektir. Şekil 4.3.2’de her bir malzemenin ergime sıcaklığı ve ısıl genleşme katsayıları görülmektedir (POPPER,1962).

Isıl genleşmenin düşüklüğü genel olarak cam yapıcı oksit oranlarının yüksek oluşuna bağlanmaktadır. Si02 başta olmak üzere, B203, Al203 gibi oksitlerin kimyasal bağlarının güçlü oluşu, bu camlara ilişkin atom ve moleküllerin titreşimlerini kısaltmakta, sonuçta ısıl genleşme katsayılarının düşük kalmasına neden olmaktadır (KARASU, AY,2000).

CaO, MgO gibi toprak alkali oksitler de ısıl genleşme katsayısını arttırırlar. Ancak bu artış alkali oksitlerde olduğundan daha azdır. Bunun sonucu olarak alkali oksit yerine toprak alkali oksit ilave edilen camların ısıl genleşme katsayısı düşmektedir.

CAMLARIN YÜKSEK SICAKLIK DAVRANIŞIna GİRİŞ

ÖZET Cam temperlenmiş halde 250 C’ye tavlanmış halde 460 C’ye kadar kullanılır. Termal genleşme katsayısı 92\*10-6 olup çok yüksektir ve bu yüzden termalşok dayanımı düşüktür. Borosilikat camlarının altı türü vardır. Korozyon dayanımı mükemmeldir. Termal genleşme katsayısı 33\*10-6 olup oldukça düşüktür ve bu yüzden termalşok dayanımı çok iyidir(Clauser). Özellikle fırına giren bor cam tencere ve bazı laboratuar aletlerinin yapımında tercih edilirler. Alüminosilikat camlarında alümina Al2O3 oranı borosilikat camlardan daha yüksek olduğu için elastiklik modülü ve termal genleşme katsayısı daha daha yüksektir ve 650 C’ye kadar kullanılabilirler. Korozyon dayanımı mükemmeldir. Termalşok dayanımları da çok iyidir(Clauser). Maliyetleri borosilikatların üç katıdır. Ergimiş silika camı diğer adıyla fused silikayı, saf SiO2 olarak düşünebiliriz. Bu nedenle 900 C’ye kadar, kısa süreli uygulamalarda 1260 C’ye kadar kullanılabilirler. Termal genleşme katsayısı 5.6\*10-6 olup çok düşüktür ve bu yüzden termalşok dayanımı mükemmeldir. Çok pahalıdır. 96’lık silika camlar her yönden Ergimiş silika cama benzerler fakat silikanın ergime sıcaklığını düşürmek için katılan katkı maddeleri maliyeti düşürmekle beraber diğer cam türlerine göre gene de çok pahalıdır. 800 C’ye kadar kullanılabilirler.

**Ergimiş silika** camı diğer adıyla fused silikayı, saf silikanın(SiO2)ergitilerek üretildiğini düşünebiliriz. Bu nedenle 900 oC’ye kadar, kısa süreli uygulamalarda 1260 oC’ye kadar kullanılabilirler. Termal genleşme katsayısı 5.6\*10-6 olup çok düşüktür ve bu yüzden termalşok dayanımı mükemmeldir. Elastiklik modülü sıcaklıkla artar. Çok pahalıdır. Saf olması nedeni ile yüksek sıcaklığa dayanıklıdırlar, 900° C'a kadar sürekli, 1260° C1 a kadar kısa süreli kullanılabilmektedir.Termal genleşme kat sayısı, normal camların çok çok altında olduğu için termal şok dayanımı çok iyidir.

Ergimiş silika camlar: %100 SiO2’den meydana gelir. eritilmiş kuvartz olarak tarif edilir. İmpüritelere göre çeşitli türleri vardır. Saf bir madde olduğu için yumuşama sıcaklığı yüksektir. Bu nedenle 900°C’ye kadar sürekli, 1260°C’ye kadar kısa süreli kullanılabilir. Cr, Ni alaşımlı çeliklerle boy ölçüşmektedir. Termal genleşme katsayısı 5.6. 10-7 olup, tümcamlar içinde rakipsiz en düşüktür. Bu nedenle termal şok dayanımı mükemmeldir. Elastiklik modülü sıcaklıkla artar. Çok pahalıdır.

Ergimiş silika 900C’ye kadar olan sıcaklıklarda, kısa süreli uygulamalarda 1260 °C’ye kadar kullanılabilmektedir. Diğer camların bununla rekabeti sözkonusu değildir.Eğer korozif gaz ortamı sözkonusu ise ve sıcaklık düşükse SUS sembolü ile tabloda yer alan dökme çelik kancalar tercih edilmelidir. Seramik destek malzemeleri sıcağa, metallerden daha fazla dayanıklıdır fakat normal tercih edilir.

Ergimiş silika camı diğer adıyla fused silikayı, saf silikanın(SiO2)ergitilerek üretildiğini düşünebiliriz. Bu nedenle 900 oC’ye kadar, kısa süreli uygulamalarda 1260 oC’ye kadar kullanılabilirler. Termal genleşme katsayısı 5.6\*10-6 olup çok düşüktür ve bu yüzden termalşok dayanımı mükemmeldir. Elastiklik modülü sıcaklıkla artar. Çok pahalıdır. Saf olması nedeni ile yüksek sıcaklığa dayanıklıdırlar, 900° C'a kadar sürekli, 1260° C1 a kadar kısa süreli kullanılabilmektedir.Termal genleşme kat sayısı, normal camların çok çok altında olduğu için termal şok dayanımı çok iyidir.

**96’lık silika** (%96 silikalı) % 3 B2O3 ve % 1 diğer katkı ile üretilirler. Her yönden ergimiş silikaya benzer fakat ona göre çok ucuzdur. Buna rağmen diğer camlara göre çok pahalıdır. Ergimiş silikaya göre daha kolay şekillendirilebilir. 800°C'a kadar sürekli kullanılabilirler. Kimyasal etkilere dayanıklı cam parça, uzay araçlarının pencereleri ve sıcağa dayanıklı olması gereken yerlerde kullanılmaktadır (Clauser, 1975).Yüksek silikalı cam vycor olarak bilinir.

96’lık silika camlar (%96 silika)Her yönden ergimiş silikaya benzer fakat ona göre çok ucuzdur.Buna rağmen diğer camlara göreçok pahalıdır. Ergimiş silikaya göre daha kolay şekillendirilebilir. 800°C'a kadar sürekli kullanılabilirler. Kimyasal etkilere dayanıklı cam parça, uzay araçlarının pencereleri ve sıcağa dayanıklı olması gereken yerlerde kullanılmaktadır (Clauser, 1975).Yüksek silikalı cam vycor olarak bilinir.

**Soda-kireç diğer adıyla pencere camı :**

Soda kireç camı: en eski, en ucuz, enkolay şekil değiştilebilen ve en yaygın kullanılan camdır. Korozyona orta dereede dayanıklıdır. Bu cam tavlanmış halde 460°C’ye kadar temperlenmiş halde 250°C’ye kadar kullanılabilir. Pencere camı 450 C’ye kadar, temperlenmiş cam 250 C’ye kadar kullanılır. Çünkü temperlenmiş cam bu sıcaklıktan sonra özelliğini kaybeder. = Temperlenmiş halde 250 oC’ye kadar, tavlanmış halde 460 oC’ye kadar kullanılır. Termal genleşme katsayısı 92\*10-6 olup çok yüksektir ve bu yüzden termalşok dayanımı düşüktür(Clauser).

Temperlenmiş halde 250 C’ye tavlanmış halde 460 C’ye kadar kullanılır. Termal genleşme katsayısı 92\*10-6 olup çok yüksektir ve bu yüzden termalşok dayanımı düşüktür.

**Soda Kireç Camları:** Camın ergime sıcaklığını ve viskozitesini düşürmek için Na2O ve az miktarda K2O katılır. Bu iki özellik sayesinse camı silika cama göre düşük sıcaklıkta şekillendirmek olanığı doğmaktadır. Bu da maliyetleri ciddi şekilde düşürmektedir. SiO2-Na2O karışımlarından elde edilen su camları oda sıcaklığında bile sıvı haldedir. O zaman bu karışımlara, cama rijitlik ve kimyasal maddelere karşı direnç sağlamak için CaO, bazan çok az Al2O3 ve MgO katılır. Bu camlarda bileşim, yukarıdaki tablodan görüldüğü gibi çok az değişme gösterir. Şişe, bardak, düz cam,elektrik ampul camları yapımında kullanılır(Shand).

**Borosilikat camları:** B2O3 ergime sıcaklığını düşürücü(flux) madde olmasının yanısıra bor ağ yapıcı önemli bir elementtir. B2O3 silikanın viskozitesini Na2O’ten daha düşürür, silikanın tgk-nı diğer elememntlere göre daha az artırır. Bu nedenle Borosilikat camları gibi düşük tgk-lı camlarda genellikle B2O3 bulunmaktadır. Borosilikat camlarının ergime sıcaklığı soda-kireç ve kurşun-alkali camlarının ergime sıcaklığından daha yüksek olduğundan şekillendirilmeleri daha zordur. Tgk silika cama ve 96’lık silika cama göre yüksek fakat düz ve şişe camlarına göre çok düşüktür. Tgk çok düşük olduğu için şiddetli termalşok koşullarına çok iyi dayanımı gösterir. Borosilikat camların kimyasal maddelere karşı direnci çok iyidir. Bu özelliklerinden dolayı laboratuvarla ilgili cam cam kaplar, endüstriyel cam borular, yüksek sıcaklık termometreleri, büyük teleskop aynaları, borcam tencereleri, elektronik tüpler, buhar kazanlarında ölçme camları(Shand).

**Borosilikat** camlarının altı türü vardır. Korozyon dayanımı mükemmeldir. Ençok bilinen Pyrex, fırınlarda borcam tencere ve bazı laboratuarlarda alet olarak uygulama alanı bulur. Optik türleri, yüksek ışık geçirgenliği ve iyi korozyon direnci ile tanmır. Ultraviyole ışınlarını geçiren ve laboratuvar aletlerinin yapımında kullanılan iki borosilikat camı daha vardır. Borosilikat camları geniş bir uygulama alanında boru (tüp ), teleskop aynaları, elektronik tüpler, laboratuvar aletleri ve pompa pervaneleri yapımında kullanılır. Termal genleşme katsayısı 33\*10-6 olup oldukça düşüktür ve bu yüzden termalşok dayanımı çok iyidir(Clauser). Bu sayede laboratuarlarda prosesler çabuklaştırılabilmektedir. Işık geçirme kabiliyeti iyidir. Soda kireç camlarına göre çok pahalıdırlar. Borcam ve teknik cam üretiminde tercih edilir.Dünya bor rezervlerinin %63' ü Türkiye'dedir.Dünya bor üretiminin yaklaşık %30'u fiber-glass, %10'u borosilikat.

Borosilikat camlarının altı türü vardır. Korozyon dayanımı mükemmeldir. Termal genleşme katsayısı 33\*10-6 olup oldukça düşüktür ve bu yüzden termalşok dayanımı çok iyidir(Clauser). Özellikle fırına giren bor cam tencere ve bazı laboratuar aletlerinin yapımında tercih edilirler. Alüminosilikat camlarında alümina Al2O3 oranı borosilikat camlardan daha yüksek olduğu için elastiklik modülü ve termal genleşme katsayısı daha daha yüksektir ve 650 C’ye kadar kullanılabilirler. Korozyon dayanımı mükemmeldir. Termalşok dayanımları da çok iyidir(Clauser). Maliyetleri borosilikatların üç katıdır. Ergimiş silika camı diğer adıyla fused silikayı, saf SiO2 olarak düşünebiliriz. Bu nedenle 900 C’ye kadar, kısa süreli uygulamalarda 1260 C’ye kadar kullanılabilirler. Termal genleşme katsayısı 5.6\*10-6 olup çok düşüktür ve bu yüzden termalşok dayanımı mükemmeldir. Çok pahalıdır. 96’lık silika camlar her yönden Ergimiş silika cama benzerler fakat silikanın ergime sıcaklığını düşürmek için katılan katkı maddeleri maliyeti düşürmekle beraber diğer cam türlerine göre gene de çok pahalıdır. 800 C’ye kadar kullanılabilirler.

Borosilikat camları: Kimyasal dirençleri mükemmeldir (B2O3 içerdiğinden dolayı). Termal genleşme katsayısı 32.5. 10-7 olup oldukça düşüktür. Bu nedenle termal şoklara dayanıklıdır. Borcamlar buzdolabından çıkarılıp ocak üzerindeki telden bir malzeme üzerine konulabilir; ancak pahalıdır. Özellikle laboratuar fırınlarında, hızlı ısıtma ve hızlı soğutma uygulamalarında teknik elemanların işlerini kolaylaştırır. 6 adet temel çeşidi vardır. Pyrex ve Koran en önemlileridir.

**Alüminasilikat camlarında** Alümina AL2O3 oranı borosilikat camlardan daha yüksek olduğu için elastiklik modüle ve termal genleşme katsayısı daha daha yüksektir ve 650 C ye kadar kullanılabilirler. Korozyon dayanımı mükemmeldir.Termal şok dayanımları da çok iyidir. Maliyatleri borosilikatların 3 katıdır. Clauser’e göre hem elasitiklik modülü hem de termal genleşme katsayısı borosilikatladan daha yüksek olduğu halde termal sok dayanımı daha büyüktür. Kimyasal dirençleri mükemmeldir. %96 silika içeren camla karşılaştırılınca sonuçları benzeşir. Güç tüplerinde yüksek sıcaklık termometreleri, yanma tüplerinde ve soba üzerindeki pişirme kaplarında kullanılır.

**Alüminosilikat camları:**İstanbulun Şişhane semti,eskiden yörede şişe imalatı çok yaygın olduğundan “şişehane” denilmiş, zamanla Türkçe ses uyumuyla Şişhane olmuştur. Günümüzde camın ağırlıklı kullanıldığı avize sektörü gene aynı bölgede varlığını devam ettirmektedir. %20’den fazla Al2O3, birmiktar CaO, MgO ve bazan ergime sıcaklığını düşürücü olarak az miktarda B2O3 , az miktarda Na2Oiçerirler.Ergitilmesi ve yüksek sıcaklıkta işlenmesi Borosilikat camlardandaha zordur. Tgk borsilikatlardan daha yüksek olmasına rağmen düz ve şişe camlarından daha düşüktür. Yumuşama sıcaklığı göreceli olarak yüksektir.\* Bu özelliklerinden dolayı, yüksek sıcaklık termometreleri, yanma tüpleri, Direkt alevle temas eden vya ısıtmada cam malzeme olarak, yüksek basınçlı buhar kazanlarında su seviye gösterge camı olarak kullanılır(Shand).

**4Fiberler :** Beyaz yani bakalitsiz cam yünü 500’C’ye kadar, sarı renkli bakalitli türü, en fazla kullanılan türüdür, 250 C’ye kadar kullanılır. Çünkü bakalit bu sıcaklıktan sonra özelliğini kaybeder. Cam elyaf 750, kaya yünü 750 C’ye, seramik fiberler 1260, 1400, 1600 ve zirkon fiber 1800 C’ye kadar kullanılabilir. Zirkon fiberin kimyasal etkilere dayanım9ı da çok iyidir. Cam elyaf . . . C’ye kadar kullanılabilir.

**TEMPERLENMİŞ CAM (EMNİYET CAMI) ve LAMİNE CAM**

Pencere camından yapılmış otombil ön camları, kaza anında noktasal yükleme sonucunda keskin uçlu parçaların oluşmasına neden oluyordu. Meydana gelen keskin parçaların görüntüleri aşağıdaki şekilde verilmiştir. Kırılan parçaların karşılıklı dalları arasındaki açı 180°'dir ve hepsi keskin köşelidir. Darbe şiddeti artarsa dalların sayısı artar. Trafik kazalarında köşeler insanlara batarak kanamalı yaralanmalara yol açardı. Bu yüzden trafik kazalarında pek çok insan ölmüştür. Temperlenmiş cam bu sorunu büyük ölçüde çözmüştür.

Temperlemek amacıyla otocam, gerinim (strain point, Tg) noktasının üzerine kadar ısıtılır. Hemen ardından camın iki tarafına hava(bazen yağ) üflenerek hızlı soğutulur. Camın dışı başlangıçta içeriye göre daha hızlı soğur ve büzülmek ister. henüz sıcak olan iç kısım hala gerinim noktasının üzerinde olup deforme olabilmektedir(Lawrence, 1973) İşlem sonunda yüzeyde basma gerilmeleri, iç kısımda çekme gerilmeleri meydana gelir.

Camın eğme dayanımı düşüktür. Temperleme işlemiyle yüzeyde basma gerilmeleri iç kısımda çekme gerilmeleri meydana gelmektedir. Temperlenmiş camı eğmeye zorladığımız zaman önce yüzeydeki basma gerilmesini sıfırlamak , daha sonra çekme dayanımına erişmek zorunayız. Bu da camın eğme dayanımının ciddi şekilde arttığını gösteriri.