

**CAM ÜRÜN ÜRETİM AŞAMALARININ VE ÜRÜN
ÖZELLİKLERİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ**

**Pamukkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Sidem KÜÇÜKODACI KANER

Danışman: Doç. Dr. Cemal MERAN

**Haziran, 2008
DENİZLİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

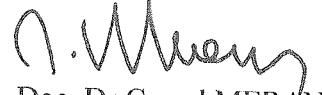
Sidem KANER tarafından Doç.Dr. Cemal MERAN yönetiminde hazırlanan “Cam Ürün Üretim Aşamalarının ve Ürün Özelliklerine Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Alper GÜLSÖZ
Jüri Başkanı



Doç. Dr. Mustafa Zafer ÖZEL
Jüri Üyesi



Doç. Dr. Cemal MERAN.
Jüri Üyesi (Danışman)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun / /
tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet Ali SARIGÖL
Müdür

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza

:



Öğrenci Adı Soyadı

:

Sidem KANER

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada araştırmalar sonucu elde edilen verilerin, ortaya koyulan bilgilerin kullanıcılar ve okuyucular için verimli ve yararlı olması en büyük temennimdir.

Konunun belirlenmesinde, tez süreci boyunca sabırla ve özenle bana zaman ayıran, yardımlarını esirgemeyen hocam Doç. Dr. Cemal MERAN' a teşekkür ederim.

Ayrıca her zaman yanımda olduklarını hissettiren, beni manevi olarak destekleyen eőime ve aileme minnetlerimi sunarım.

ÖZET

CAM ÜRÜN ÜRETİM AŞAMALARININ ve ÜRÜN ÖZELLİKLERİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ

Kaner, Sidem

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği ABD

Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Cemal MERAN

Haziran 2008, 130 Sayfa

Cam, günümüz teknolojisinin getirdiği yenilikler ile modern görüntüsüyle bütünleşmiş önemli bir malzemedir. Uzun yıllardır kendisine bir çok kullanım alanı bulmuştur. İnşaat sektöründen mimariye, savunma sanayinden ev eşyası grubuna kadar bir çok alanda kullanılmaktadır. Geniş kullanım ağı, kullanım kolaylığı her geçen gün cam üzerine uygulanabilecek yöntemlerde gelişmelere yönelik çalışmalar sağlamaktadır.

Yapılan bu çalışmada; el imalatı cam mamülleri üzerinde üretim sırasında ve sonrasında belirlenen zaman ve sıcaklıklarda tavlama işlemleri yapılarak iç gerilimlerdeki değişimler incelenmiştir. Tavlama öncesi ve sonrası gerilme durumları farklı koşullarda giderilme işlemlerine tabi tutulmuştur. Üretimde oluşan gerilme giderme yöntemleri sırasında optimum durumun oluşma şartları incelenmiştir. Deneysel çalışmada numunelerin tavlama öncesi ve sonrası durumları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Cam, Tavlama, El imalatı, Üretim

Prof. Dr. Alper GÜLSÖZ

Doç. Dr. Mustafa Zafer ÖZEL

Doç. Dr. Cemal MERAN

ABSTRACT**INVESTIGATION OF THE GLASS PRODUCT PRODUCTION STAGES AND
AFFECTED FACTORS ON PRODUCT PROPERTIES**

Kaner, Sidem
M. Sc. Thesis in Mechanical Engineering
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Cemal MERAN

June 2008, 130 Pages

Glass is an important material which integrate a modern appearance with the new technology. Glass has found lots of applications for many years. It can useage in different areas which is from constructive sector to architecture, defensive to home goods. Extensive useage area, basic useage, provide some different methods that can be carry out on glass with new technics.

In this study, the hand made glass was investigated annealing case of the time and the temperature during production and after production. Preannealing and after annealing, stress cases had been subjected to relieving processes. The optimum case creation conditions were investigated for the stress relieving casts during was formed on production. In the experimental study, preannealing and after annealing cases were considered as comparative for samples.

Keywords: Glass, Annealling, Hand Made, Production

Prof. Dr. Alper GULSOZ
Asst. Prof. Dr. Mustafa Zafer ONAL
Asst. Prof. Dr. Cemal MERAN

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|---|-------|
| YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU..... | i |
| BİLİMSEL ETİK SAYFASI..... | ii |
| TEŞEKKÜR..... | iii |
| ÖZET..... | iv |
| ABSTRACT..... | v |
| İÇİNDEKİLER..... | vi |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | viii |
| TABLolar DİZİNİ..... | x |
| SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ..... | xi |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1. Literatür Bilgisi..... | 1 |
| 1.2. Çalışmanın Amacı..... | 9 |
| 2. CAMIN MALZEMELERİ VE GENEL ÖZELLİKLERİ..... | 11 |
| 2.1. Cam Malzemeler..... | 11 |
| 2.2. Camlarda Kompozisyon Seçimi..... | 11 |
| 2.3. Hammaddelerin Sınıflandırılması..... | 13 |
| 2.4. Cam Rengine Etki Eden Faktörler..... | 14 |
| 2.5. Cam Türleri ve Kimyasal Yapı..... | 15 |
| 2.5.1. Sodakalsik camı..... | 16 |
| 2.5.2. Kurşun camı..... | 16 |
| 2.5.3. Borasilikat camı..... | 17 |
| 2.5.4. Alüminosilikat camı..... | 17 |
| 2.5.5. Silis camı(%96 SiO ₂)..... | 17 |
| 2.5.6. Silis camı(%99 SiO ₂)..... | 18 |
| 3. CAMIN ELDE EDİLME PROSESİ..... | 19 |
| 3.1. Harman Besleme..... | 22 |
| 3.1.1. Harman beslemenin uygulandığı fırın tipleri..... | 22 |
| 3.1.1.1 Aralıklı çalışan fırınlar..... | 22 |
| 3.1.1.2 Sürekli çalışan fırınlar..... | 25 |
| 3.1.1.3 Günlük fırınlar..... | 26 |
| 3.1.2. Harman yükleme metodları..... | 26 |
| 3.1.2.1 Elle harman yükleme..... | 26 |
| 3.1.2.2 Mekanik harman yükleme..... | 28 |
| 3.1.3. Harman besleme sistemleri..... | 28 |
| 3.1.4. Harman beslemeyi etkileyen faktörler..... | 31 |
| 3.2. Camın Ergitilmesi..... | 33 |
| 3.2.1. Isı transferi..... | 33 |
| 3.2.2. Cam ergime reaksiyonları..... | 34 |
| 3.2.3. Fiziksel ergime..... | 35 |
| 3.3. Camın Afinasyonu..... | 39 |
| 3.3.1. Afinasyon maddelerinin ilavesi..... | 41 |
| 3.3.2. Poat fırınlarında ve günlük tank fırınlarında afinasyon..... | 43 |
| 3.4. Camın Şartlandırılması..... | 44 |
| 4. CAM ÜFLEME PROSESLERİ..... | 47 |
| 4.1. El Üfleme..... | 47 |

| | |
|--|-----|
| 4.2. El Üfleme Grupları..... | 49 |
| 4.3. Mekanik Üfleme..... | 53 |
| 4.3.1. Üfleme ve üfleme prosesi..... | 54 |
| 4.3.2. Pres ve üfleme prosesi..... | 55 |
| 5. CAM ÜRETİMİNDE OLUŞAN HATALAR..... | 56 |
| 5.1. Damarlar..... | 56 |
| 5.1.1. Cam harmanıyla ilgili oluşabilecek hatalar..... | 56 |
| 5.1.2. Cam üretim prosesi ile ilgili hatalar..... | 57 |
| 5.2. Damarın Etkileri..... | 57 |
| 5.2.1 Isıl genleşme..... | 57 |
| 5.2.2 Kırılma indisi..... | 58 |
| 5.2.3 Viskozite..... | 58 |
| 5.2.4 Yoğunluk..... | 58 |
| 5.3. Damarların Davranışları..... | 58 |
| 5.4. Taşlar..... | 60 |
| 5.4.1 Devitrasyon taşları..... | 60 |
| 5.4.2 Cam harmanı..... | 63 |
| 5.4.3 Refrakter malzemeler..... | 68 |
| 5.4.4 Şekillendirme prosesi hataları..... | 70 |
| 5.5. Kimyasal Inhomojenite..... | 71 |
| 6. CAMDA OLUŞAN GERİLMEMEYE BAĞLI TAVLAMA İŞLEMİ..... | 73 |
| 6.1. Cam Bileşiminin Gerilmeye Etkisi..... | 73 |
| 6.2. Termal Gerilme..... | 74 |
| 6.3. Camın Tavlanması..... | 75 |
| 6.4. Camda Gerilmenin Ölçülmesi..... | 77 |
| 7. MATERYAL VE METOT..... | 79 |
| 7.1. Deney Düzenegi..... | 79 |
| 7.2. Deney İçeriği..... | 82 |
| 7.3. Deney Numuneleri..... | 83 |
| 7.4. Deneyde Kullanılan Cam Mamullerin Kimyasal Özellikleri..... | 87 |
| 8. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR..... | 88 |
| 8.1. Deney-1 İçin Tavlama İşlemi..... | 88 |
| 8.2. Deney-2 İçin Tavlama İşlemi..... | 102 |
| 8.3. Deney-3 İçin Tavlama İşlemi..... | 110 |
| 8.4. Deney-4 İçin Tavlama İşlemi..... | 115 |
| 9.SONUÇLAR..... | 122 |
| KAYNAKLAR..... | 126 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 130 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|-------|
| Şekil 3.1 Cam elde edilme prosesinin aşamaları..... | 20 |
| Şekil 3.2 Pota fırını..... | 24 |
| Şekil 3.3 Tank fırını..... | 25 |
| Şekil 3.4 Harman silo aracı..... | 27 |
| Şekil 3.5 Vidalı yükleyiciler..... | 29 |
| Şekil 3.6 İtici tipinden harman verici..... | 30 |
| Şekil 3.7 İki tipik Throat dizaynının şematik karşılaştırılması..... | 46 |
| Şekil 4.1 Tipik el üretimi aparat ve yardımcı aletleri..... | 47 |
| Şekil 5.1 Kompresyon yaratan bir damar..... | 59 |
| Şekil 5.2 β -wollastonit kristalleri..... | 61 |
| Şekil 5.3 Pseudowollastonit kristalleri..... | 61 |
| Şekil 5.4 Devitrit kristalleri..... | 62 |
| Şekil 5.5 Kuvars taneleri..... | 64 |
| Şekil 5.6 Tridimit taneleri..... | 64 |
| Şekil 5.7 AZS taşı..... | 68 |
| Şekil 5.8 Al_2O_3 Refrakter taşı..... | 69 |
| Şekil 5.9 Silika kemer damlaması..... | 69 |
| Şekil 5.10 Silika kemer refrakteri akması..... | 70 |
| Şekil 6.1 Camın tavlama planı..... | 76 |
| Şekil 7.1 Soğutma sonu fırını..... | 80 |
| Şekil 7.2 Karkez fırını..... | 81 |
| Şekil 7.3 Polariskop cihazı..... | 81 |
| Şekil 7.4 1.Grup deney numuneleri..... | 83 |
| Şekil 7.5 2.Grup deney numuneleri..... | 84 |
| Şekil 7.6 3.Grup deney numuneleri..... | 84 |
| Şekil 7.7 4.Grup deney numuneleri..... | 85 |
| Şekil 7.8 İç gerilme durumunun polariskop altında geçerli ve geçersiz olduğu durumlar..... | 86 |
| Şekil 8.1 400 °C ve 6h sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü..... | 89 |
| Şekil 8.2 400 °C ve 12h sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü..... | 90 |
| Şekil 8.3 400 °C ve 24h sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü..... | 91 |
| Şekil 8.4 400 °C ve 36h sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü..... | 92 |
| Şekil 8.5 Tavlama öncesi ve sonrası 1.grup deney numuneleri polariskop görüntüsü..... | 93 |
| Şekil 8.6 24h ve 350 °C sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü..... | 94 |
| Şekil 8.7 24h ve 400 °C sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü..... | 95 |
| Şekil 8.8 24h ve 450 °C sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü..... | 96 |
| Şekil 8.9 24h ve 500 °C sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü..... | 97 |

| | |
|---|-----|
| Şekil 8.10 Deney-1 tavlama öncesi ve sonrası tavlama süresine bağlı gerilme durumu..... | 101 |
| Şekil 8.11 Deney-1 tavlama öncesi ve sonrası tavlama sıcaklığına bağlı gerilme durumu..... | 101 |
| Şekil 8.12 350 °C ve 24h sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü | 104 |
| Şekil 8.13 400 °C ve 24h sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü | 105 |
| Şekil 8.14 450 °C ve 24h sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü..... | 106 |
| Şekil 8.15 500 °C ve 24h sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü..... | 107 |
| Şekil 8.16 Tavlama öncesi ve sonrası 2.grup deney numuneleri polariskop görüntüsü..... | 108 |
| Şekil 8.17 Deney 2 tavlama öncesi ve sonrası gerilme durumu | 110 |
| Şekil 8. 450°C-24h'de tavlama öncesi, 1. ve 2.tavlama sonrası polariskop görüntüsü | 112 |
| Şekil 8.19 450 °C ve 24h sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü | 113 |
| Şekil 8.20 Deney-4 tavlama öncesi ve sonrası gerilme durumu..... | 115 |
| Şekil 8.21 450 °C ve 24h sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü..... | 117 |
| Şekil 8.22 450 °C ve 24h sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü..... | 118 |
| Şekil 8.23 450 °C ve 24h sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü..... | 119 |
| Şekil 8.24 Deney-4 tavlama öncesi ve sonrası gerilme durumu..... | 121 |

TABLolar DİZİNİ

| | Sayfa |
|---|-------|
| Tablo 2.1 Cam kompozisyonları..... | 12 |
| Tablo 2.2 İçerdikleri kimyasallara ve miktarlarına göre cam çeşitleri..... | 16 |
| Tablo 3.1 Farklı oksitler ve kimyasal tanımları..... | 37 |
| Tablo 3.2 Isı almak ve ısı vermek için kullanılan metotlar..... | 46 |
| Tablo 6.1 Çeşitli camların genleşme katsayıları ve dönüşüm sıcaklıkları..... | 74 |
| Tablo 7.1 El imalatı camı kimyasal içeriği..... | 87 |
| Tablo 8.1 Deney-1 için tavlama süresine bağlı tavlama öncesi ve sonrası gerilme değerleri | 99 |
| Tablo 8.2 Deney-1 için tavlama sıcaklığına bağlı tavlama öncesi ve sonrası gerilme değerleri | 100 |
| Tablo 8.3 Deney-2 için tavlama öncesi ve sonrası gerilme değerleri..... | 109 |
| Tablo 8.4 Deney-3 için tavlama öncesi ve sonrası gerilme değerleri..... | 114 |
| Tablo 8.5 Deney-4 için tavlama öncesi ve sonrası gerilme değerleri..... | 120 |

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|------------|--|
| AQL | Acceptable Quality Level |
| a | Cam Termal Dağılımı |
| A_t | Tavlama Sabiti |
| E | Elastite Modülü, (Nm ²) |
| ISO | International Standards Organisation |
| T_i | Ergime Sıcaklığı, (°C) |
| T_o | Dönüşüm Sıcaklığı, (°C) |
| α | Termal Genleşme Katsayısı, (°C ⁻¹) |
| ν | Poisson Oranı |
| σ_m | Yüzeydeki Negatif Baskı, (N/m ²) |
| σ_s | Yüzeydeki pozitif çekme, (N/m ²) |

1. GİRİŞ

Ülkemizde cam üzerine yapılan çalışmalar ve oluşan gelişmeler Dünya çapında bu konuda tecrübe sahibi ülkeler arasına girmemizi sağlamıştır. Cam hayatımızın bir çok alanında önemini her geçen gün arttırmaktadır. Cam ev eşyasından inşaat sektörüne, gıda sanayinden otomobil sektörüne, tıp alanından dekoratif ve sanatsal bir çok alana kadar her aşamada kullanılan bir malzemedir. Daha iyi ve kaliteli cam malzeme kullanımı için sürekli araştırmalar yapılmaktadır. Türkiye bu araştırmaların ve gelişimin takip edildiği önemli ülkelerden biridir.

Ülkemizde, ilk olarak 1937 yılında ilk Paşabahçe'de Türkiye Şişe ve Cam Fabrikası açılmış, bunu 1964 yılında Çayırova'da üretime başlayan pencere camı fabrikası takip etmiştir. Şu an yurt içi ve yurt dışı olmak üzere toplam 33 fabrikası olan Şişecam Dünya üzerinde 70 üzerinde ülkeye ihracat yapmaktadır. El imalatı, otomatik ev eşyası üretimi yanında düz cam ve izocam üretimleri de gerçekleştirmektedir.

Yapılan çalışma süresi içinde Denizli Cam Sanayi ve Tic.A.Ş.'nin üretim koşulları altında ürün seçimi gerçekleştirilmiş ve planlanan deneysel ve teorik çalışmalar sürdürülmüştür. Tamamı emek yoğun olarak çalışılan fabrikada %100 el imalatı üretimi yapılmaktadır.

Proje kapsamında el imalatı camın iç yapısından dolayı oluşan iç gerilmelerin ve gerilme giderme tekniklerinin yeterliliği ve etkinliği üzerinde araştırmalara yapılmıştır, deneysel çalışmalara yer verilmiştir.

1.1. Literatür Bilgisi

Cornet ve Rossier (2003) tarafından As-Te alaşımlı camlar üzerinde yapılan çalışmada cam üzerinde oluşturulabilecek ince film tabakalarının ve hacim ölçümlerindeki değişimlerin incelenmesi ve kıyaslanması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada FNP mesafeleri ve bölgelerinin ortalama açılarda kapaticılık özellikleri ve değişimleri saptanmıştır. As alaşımı bakımından zengin olan camın, soda camı ve kristal cam arasındaki önemli değişimleri gözlenmiştir. Moleküler skala üzerinden açıklamalar yapılmıştır. Bu çalışma ile As-Te alaşımlı cam moleküllerinin belirli topolojik özelliklerinin el imalatı modellerindeki delillerini göstermektedir. Yüzeylerinin

hazırlanması ve yapıştırıcıların sertleşme mekanizmaları hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca yapıştırma bağlantılarının mekanik davranışları ve kırılma mekaniği hakkında açıklamalar yapılmıştır. Yapıştırma bağlantılarının statik ve dinamik yükleme durumları hakkında bilgiler verilerek servis ömürleri açıklanmaya çalışılmıştır.

Leea vd (2007), silika camlar üzerinde yaptığı araştırmada ısı ile etkileşim sırasında silika camının su içermesinden dolayı gerilmelerin meydana geldiğini saptamışlardır. Silika cam örnekleri, 1000°C'de çeşitli zaman dilimlerinde 35 torr su buhar basıncı ve kuru azot gaz atmosferi altında ısıtılmıştır. Yapılan çalışmada, ısı ile 2 atmosferde de ilk önce arttığı daha sonra is nemli atmosferde düştüğü görülmüştür. Su moleküllerinin paramanyetik etkileri elimine etme durumu dikkate alınarak, tıpkı silika moleküllerinde olduğu gibi oksijen boşluk merkezleri bahsedilen etkilerle camın içerisinde tepkimeler göstermiştir. Bunları, parametre olmayan türlere örneğin Si-OH veya S-H haline dönüştürülme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda su molekülleri, camın yapısındaki silika ağının parametrik etkileri göstermektedir. Bu araştırmalara dayanılarak günümüzde kullanılan silika camlarının mekanik mukavemetinin azalmakta olduğu ispatlanmıştır.

Moresea ve Müllera (2006) cam tuğlaların iç yapısında oluşan korozyon ve kristalizasyon üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Kullanılan tuğlalar iki yarım camın 600-700 °C'de sıkıştırılıp birleştirilmesi ile üretilmiştir. Üretimi sırasında alkali asitler buharlaştırılıp soğutucuda tekrar soğutulup, sonrasında tuğlanın ön tarafında buluşturulmuştur. Bu yüzey tabakası H₂O ve CO₂ ile tepkimeye girerek alkali miktarı bakımından oldukça zengin silikathidrait denilen 50mm kalınlığındaki nano sertliğin oluşması sağlanmıştır. Zaman-Sıcaklık tablosuna bağlı olarak, farklı kristal yapı biçimleri bu kapalı sistemde görünebilir hale getirilmiştir. Örneğin; izole edilmiş küresel kristaller sırasıyla zincirli ve çift zincir şeklinde birbirine bağlıdır ve iletimin kısıtlı olmasına nedeni olarak belirtilmiştir. Cam tuğlanın çatlama veya açılma durumunda hidroskopik NaHCO₃ kristallerinin çevreden daha fazla su aldırılarak ve cam yüzeyinde reaksiyon tersinir şekilde etkimesi gözlemlenmiştir. Böylece daha fazla indirgenliğin azalmasını sağlamıştır.

Schroersa vd (2007), metalik özellikteki kütleli camın üfleme yöntemi ile şekillendirilmesi üzerine çalışmışlardır. Yığın metalik özellikli camlar için, son şekil verme prosesi üfleme ile son şekli vermek olarak tanımlanmıştır. Şekillendirme belli bir

sıcaklığa düşürülmüş sıvı cam üzerinde yapılmıştır. Metalik özellikte olan metalik camın üfleme tekniği ile şekillendirmeye uygun olduğu tespit edilmiştir.

Huff vd (2003), yaptıkları çalışmada cam şekillendirme prosesi süresince oluşan ısı akısını matematiksel metod ile hesaplamışlardır. Bu metod, farklı modellerde cam ile kontak halindeki şekilleri arasındaki ısı akışını hesaplamak amacı ile geliştirilmiş ve uygulaması yapılmıştır. Deneysel olarak iç ve dış yüzey sıcaklıkları metal yüzeye geçinceye kadar ısı akışı hesaplanmıştır. Hesaplanmış olan ısı akış miktarları tipik üfleme veya üfleme döngülerinde gösterilmektedir. Isı akışı üzerinde etkili olan durumlar ise üfleme şeklidir. Üfleme yöntemleri olarak da sabit ve döner üfleme modelleri mevcuttur.

Kaischew (2007) soğutulmuş yarı kararlı sıvının camdan geçişini ve doğal camlar üzerindeki araştırmaları 2 yaklaşım ile açıklamıştır. Bu araştırmalar Simon'un camlaştırmalarının termodinamiği kavramı ile başlar. Cam geçişi, dönüşümsüz prosesin doğrusal termodinamiği üzerinden geliştirilmiştir. Bu genel cam geçişinin kinetiği Volkenstein ve Ptizyn ile geliştirilmiştir. Simon'un modelini de doğrulamaktadır. Yani proses belirli aralıklarla, camlaşma aralıklarına uygunluk gösterir. Bu yaklaşım camlaştırmadaki termodinamik işlemlerin sıcaklıkları hesaplamasına yardımcı olmuştur. Böylelikle hem entropy donması hem de entropy üretimi yolu ile cam ve cam geçiş stabilizasyonu formüle edilmiştir. Denejde olmayan sistemlerde termodinamiğin III.yasası uygulanabilmiştir. Deneysel sonuçlar teorik durumlar ile uygunluk göstermişlerdir.

Sardeshpande vd (2006), yaptıkları çalışmada enerji proseslerinin kıyaslanması,enerji verimlilik hedeflerinde ve strateji planlarındaki önemleri üzerine çalışmışlardır. Cam ocağı simülasyonu kütle, enerji ve farklı bölgelerde oluşan enerji kaybı denklemlerini kullanarak gerekli geliştirme çalışmalarını sürdürmüşlerdir. Model, Hindistan cam ocakları sanayinde kontrol edilmiştir. Bu simülasyon modeli verilen ocak dizaynının enerji performansının hesaplanmasına imkan vermektedir. Model sonucu, spesifik enerji birikimleri üzerindeki farklı tasarım ve işletmelerde etkili olmuş, potansiyel ilerleme göstermiştir. Bu deney için minimum enerji birikimi 380 kJ/kg olarak belirlenmiştir. Cam ile kullanılabilir ısının % 53'ünün taşınabilir olduğu görülmüştür.

Cannillo vd (2006), cam-alüminyum işlevsel kalite maddelerinin 2 farklı metod ile kullanılarak elde edilmesi üzerine çalışmışlardır. Metotlardan biri süzme (doğal taşınma dayanan proses), diğeri ise plazma püskürtmesidir. Örnekler bu yolla üretilmiş ve üretim tekniklerinin etkileri ölçülmüştür. Ölçekli sistemlerde, performans ve özellikleri değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmelerde püskürtme yönteminde oluşan verimin daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Bernardo vd (2006), yaptıkları çalışmada cam köpüklerinin termal ve akustik izolasyon için önemini vurgulamışlardır. Genel olarak cam köpükleri atıklardan üretilmektedir. Camın dönüşümü olsa da atıkların küçük bir kısmı köpük reaksiyonu için ayrılır. Bu işlemde cam artıklarının beyazlatma işleminden gelen, oksidasyondan sonra kalan SiC bazlı atıklar ile hücresel yapı deneyleri başarılmıştır. Köpüğe dönüşmüş olan soda-kireç camı oksidasyondan sonra çözünmez artık içerir ve iyi bir kimyasal sabitlik sağlamıştır. MnO₂ ilavesi ile SiC oksidasyonun da belirgin bir gelişme sağlanmıştır. Yoğunluk ve mekanik mukavemet etkisi yaratılmıştır. Seçilen ilave kimyasallar ile daha homojen bir köpük yapısı ve kuvvetli hücresel şekil sağlanmıştır.

Cheng vd (2006), yaptıkları çalışmada Taiwan'da külleştirme prosesinin iyi işleyen bir sisteme sahip olduğunu ve cam seramik ürünlerinin kül fırınındaki termal plazma teknolojisi ile yapı uygulamalarında, iyi bir potansiyel gösterebildiğini kanıtlamışlardır. Yıllık 1,5 milyon tonu geçen kül üretimi yapılmaktadır. Bu çalışma kül fırınında termal plazma teknolojisinin kullanılmasını önerir. Deneysel sonuçlar göstermiştir ki; kristal faz çoğunlukla sinterlenmiş gazda gelişir. Fakat ikincil fazların görünür olması renklendiricilerin ilavesi ile olur. Fiziksel özellikler, kimyasal dayanıklılık ve taksit karakteristiği renklendirilmiş seramik camlar için uygun değerlerdedir.

Guignard vd (2007), yapmış oldukları çalışmada camın gerilim-optik tepkisinin oluşumunu ve oluşan sonuçları incelemiştir. Değişik yönlerde farklı fiziksel özellikler gösterebilen gerilim uygulamasında çift kırılma gerçekleştirilmiştir. Önceki çalışmalarda gerilim optiğin neden olduğu çift kırılma metalik bağların birleşmesi ve camdaki koordinatlar olarak gösterilmiştir. Bu çalışmada detaylı olarak yapı ile metalik bağın arasındaki ilişki deneylerle incelendi. Katı hal nükleer manyetik rezonans spektroskopide, Ba ve PbSO₄ camlarının, basit yapıları SO₄ camlarından daha kolay bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Fakat kurşun ve kalay camları benzer

gerilimkobik tepki göstermiştir. Bunun nedeni kurşun ve kalayın gösterdiği metalik ve hafif metal iyon koordinasyon bağlarının miktarları olarak gözlemlenmiştir.

Avramov (2007) yapmış olduğu çalışmada kristalizasyon kinetiğinin iç gerilme enerjisi üzerindeki rolünü incelemiştir. Gerilmenin azalması, prosesin etkilenmesi için çok kısa zaman dilimleri gerektirmektedir, bu genel bir kanıttır. Yapılan çalışmada visko elastik durumda kararlı haldeki kinetik gelişim formalize edilip tariflenmeye çalışılmıştır. Artık gerilme enerjisi oluşumunda dağılma hızının rolü büyüktür. Gerilim enerjisinin gevşemesi T_c/T_r nin oranına bağlıdır. Burada T_c , kristal gelişim için karakteristik zaman olarak belirlenmiştir. T_r , ise gevşeme zamanıdır. Bu deneylerden elde edilen sonuç ortaya koyar ki; iç gerilmelerin gevşeme süresi çok kısa olduğundan prosesi etkilemez yanlıgısı yanlıştır.

Zuberek vd (2007) yapmış oldukları çalışmada ferromanyetik rezonans araştırma sonuçlarına bağlı olarak amorf cam kaplı mikrotellerin farklı iç gerilmeleri incelemiştir. Cam yüzeyine yerleştirilen teller manyetik bir bölge oluşturmuşlardır. İç gerilim bu şekilde farklılıklar göstermiştir Viskoelastiklik teorisi baz alınarak magnoelastik alanlar hesaplanmış ve sunulmuştur.

Cossavella vd (2006), yaptıkları çalışmada Pin-Yüklem Birleşimlerini incelemişlerdir. Genellikle kuvvetlendirilmiş cam plakalarını bir arada tutmak için kullanılan özel alaşımlı yapıştırıcılar kullanılmıştır. Cam plakaları kırılmaktan korumak için çelik halkalar ile kuvvetlendirme yapılmıştır. Bu plakalar özel bir reçine ile yapıştırılmıştır. Bu çalışma ilk modelleri ve bütünü oluşturan maddelerin mekaniksel davranışlarının açıklanmasını ve kuvvetlendirilmiş cam proseslerindeki 'Pin-load paints' prosesinin başarısızlığının nedenlerini sunmuştur. Yapılan deneylerdeki numuneler göstermiştir ki; birleşim, sürtünme, zarar görme, artık gerilmeleri içeren proses de deneysel sonuçlar tamamıyla uygulamadaki örnekler ile örtüşmüştür.

Silvestri vd (2006), III.y.y.da batan Romen gemisi Julia Felix de bulunan 85 farklı, renksiz cam kırığı üzerinde incelemeler yapmışlardır. 3.yy ilk yarısında batan gemideki camların kimyasal kompozisyonları saptanmış, benzerlik ve farklılıklar araştırılmış, 3 farklı grupta özelliklerine göre sınıflandırılmışlardır. Bu grupların kimyasal kompozisyonları literatürlere geçirilmiş ve renksiz camlara Julia Felix adı verilmiştir. X ışınları altında, florans ve elektron mikroskobu ile seçilmiş olan camların kimyasal

analizleri yapılmış ve hepsinin kompozisyonlarında soda-kireç-silika alaşımının olduğu görülmüştür. Kimyasal veriler statik araçlarla da analiz edilmiş, kümeleme analizi yapılmış, sonuçlar da toplu olarak değerlendirildiğinde renksiz camların farklı iki kompozisyon ile üretildiği tespit edilmiştir. Bahsedilen kompozisyonların alkali metal ve kum ile harmanlandığı açıklanmıştır.

Marques ve Tulyaganov (2006) yaptıkları çalışmada cam tozlarının sinterleşmesi, kristalizasyonu ile düşük sıcaklıkta cam seramik üretimini incelemiştirlerdir. 800 °C ve 900 °C arasında değişen sıcaklıklarda incelemeler yapılmıştır. Tane boyutları 2µm ve 10µm olan farklı iki grup cam tuğla kullanılmıştır. Kristalleşme mekanizmasının yüzeyinde yer alan kristalizasyon devam ederken deneyler göstermiştir ki; sinterleşme 800 °C'de hemen hemen tamamlanmaktadır. Al-Si sisteminde ötektik çizgiye en yakın özellikteki kompozisyonda bulunan özellikli üretilmiş seramik camlar, kristal faz dönüşümü ve artan fırın sıcaklığındaki mikro şekillere karşı incelenmiştir. Teknoloji çerçevesinden bakıldığında, araştırılan proses yolunun önceki çalışmalardan çok daha iyi sonuçlar oluşturduğu gözlemlenmiştir.

Erol vd (2006), yaptıkları çalışmada cam üretiminden faydalanarak kömür küllerinin karakterizasyonu üzerinde incelemeler yapmışlardır. Kömürün termal yanması üç farklı dönüşüme sahip kül elde edilmesini sağlamıştır. Cam üretiminden sonra, cam örnekleri mikrokristal yapıya sahip olup olamayacaklarını gözlemek için 1423 K'de 2 saat sabit tutulmuştur. Camın özellikleri ve kömür küllerinden üretilen cam esaslı alaşım diferansiyel termal analiz (DTA), X ışını ve elektron mikroskop tarayıcısında deneysel olarak değerlendirilmiştir. DTA daki cam örneklerinde yalnızca endotermik pikler görülmüştür. XRD analizinde cam örneklerinde amorf haldeki camlar ve sadece ısı ile muamele edilmiş mikroyapıdaki cam örneklerinde ise küçük kristallerin oluştuğu tespit edilmiştir. Isı ile muamele edilmiş cam örnekleri mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri açısından değerlendirildiğinde diğer durumlardan daha dayanıklı bir mukavemet direncine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Tite vd (2005), yapmış oldukları çalışmada cam üretiminde karışık alkali küllerinin ve sodaca zengin kompozisyonlarının kullanılmasını incelemiştirlerdir. Sodaca zengin küller, cam, fayans üretiminde M.Ö I.yy'dan beri yakın doğu ve Mısır'da kullanılmaktadır. Cam veya fayans için elde edilen küllerin seçilmesinde ilk kriter sülfat ve kloritlerden çok karbonat, bikarbonat ve hidrositten oluşmuş olmasıdır. Mısır,

Yunanistan ve İngiltere'den bu külleri elde etmek için toplanan bitkilerden elde edilen yeni analitik veriler daha önce elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır. Kül üretmek için Yunanistan ve İngiltere'den toplanan salsolakali bitkileri, soda-potasyum hidrat (0,3-1,8) oranlarında diğer bölgelerden şematik bir fark göstermemiştir. Fakat bu küllerin K ve Na iyonlarının birikmesine destek verdiği görülmüştür. Ayrıca elde edilen sonuçlar, eğer salsolakali bitkilerindeki kül üretme muamelesinde kireç ve magnezya içerikleri düşürülürse, Doğu Avrupa'da kullanılan karışık cam küllerinin kaynağı olabileceği öne sürülmektedir.

Laws vd (2006), yaptıkları çalışmada dökme demirden yapılan kalıplardaki cam üretiminin parametrelere etkisini araştırdılar. Düşük basınç altında döküm tekniklerinin değiştirilmesinin yüzey kalitesindeki etkileri incelenmiştir. Amaç daha az dökme deneyi yaparak, az çeşitte kalite elde etmek için optimal dökme parametrelerini bulmak; uzunluğu, boşluklu yapıyı, kristallenme derecesini kontrol etmek için, basıncın, hızın, sıcaklığın önemli parametreler olduğunu saptamaktır. Oluşan tüm deneysel sonuçlar gösterdi ki, optimum erime sıcaklığı yüksek kalitede döküm yüzeyi ve dolayısıyla cam yüzeyi elde etmek için 560-580 °C'dir.

Vereshagin ve Sokolova (2006), yaptıkları çalışmada seramik malzeme olarak adlandırılan zeolitik taşlardan üretimi yapılan cam taneleri hakkında araştırma yapılmıştır. Yapılan araştırma göstermiştir ki, değirmende öğütülmüş malzeme tanelerinin büyüklüğü 0,533'den daha küçük, %13,8 alkali içeriğine sahiptir. Bu malzeme ile yapılan cam üretiminde, cam içerisinde parça yoğunluğu 340 kg/m³, mukavemeti 1,6 MPa, su geçirgenliği %13, ergime sıcaklığı ise 850°C olarak tespit edilmiştir. Alkali içerikli zeolitik taşlarda genleşme olduğu saptanmıştır.

Campos vd (2007), yapmış oldukları çalışmada kompozit malzemelerde cam alaşım etkilerinin durumunu incelemişlerdir. Yüksek hız sistemlerine sahip makinalarda kompozit malzemelerin, cam kompozisyonları ile bileşenlerinden oluşan malzemeler digital analizler altında incelenmiştir. Yüksek tehlike içeren işletmelerde, cam ve kompozitler üzerinde yapılan çalışmalar, tehlike değerlerini düşürmek için uygun hale getirilmiştir.

Rehren (2007), eski Mısır seramikleri ve cam kompozisyonları üzerinde çalışmıştır. Yapılan çalışmada bu iki malzeme karşılaştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda,

güçlü ve sistematik çalışmalarda kullanılan malzemelerde teknik prosesler ve içerikleri bakımından farklı tepkiler gözlemlenmiştir. Üzerinde çalışma yapılan bu faktörler göstermiştir ki; parlak bir görüntüye sahip olmasını sağlayan cam kompozisyonları ile hammaddesi tamamen farklı tekniklerle elde edilmiş bileşimler arasında farklar tespit edilmiştir.

Guo vd (2007), asıl amaç olarak PCB alaşımlı bloklarda cam ve metal olmayan malzemelerin göstermiş olduğu farklı davranışlar tespit edilmiştir. Camda bulunan fenol içerikli bileşik geri dönüşüm sağlandığında tüm malzeme içerisinde cam tozlarının ayrışıp ayrışmayacağı denemesi yapılmıştır. Cam ve metal olmayan malzemelerin bileşimi sağlanmıştır. Bileşimden sonra tekrar geri dönüşüm yapılmıştır. Yapılan deneylerde tane boyutlarının 0,7mm olduğu belirlenmiştir. Tek başına oluşan bu fiber bileşim reçine içerisinde kullanıldığında en büyük yüzdelik orana sahip olarak kendisini göstermiştir. Bu oran %34,6 olarak belirlenmiştir. Bu oran deneysel ortamda %40 oranına kadar çıkarılmış ve yapılan gözlemlerde fiber malzeme dayanımının daha da arttığı belirlenmiştir. Bu durumda hesaplanan dayanım değeri 82 MPa, etki tepki dayanı 2,4 kJ/m², max. çalışma sıcaklığı 175 °C ve dielektrik dayanımı da 4,8 MV/m olarak ölçülmüştür. Cam fiber malzemeye mikroskop altında bakıldığında, yüzeyler arası oluşan bağın oldukça sıkı olduğu görülmüştür. Yapılan bütün deney sonuçları göstermiştir ki; cam ile yapılan fiber malzemeler hem çevreyi koruma hem de maliyeti düşürmek bakımından belirlenen dayanım değerleri içerisinde kullanım sağlamaktadır.

Venkata vd (2007), yapmış oldukları çalışmada biokimyasal fonksiyonların içermiş oldukları mikro hücrelerde cam ile yün malzeme proton hücrelerinde değişim yaparak asit yapan karışım kültürünü zenginleştirmiştir. Bu yöntem ile elde edilen fiber malzeme, bioelektrik sistemleri üzerinde ve atık su sistemleri üzerinde yapılan denemelerle incelenmiştir. Performans olarak değerlendirildiğinde iki farklı organik enzim gözlemlenmiştir. Organik enzimler ise pH6 ve pH7 olan farklı şartlarda incelenmiştir. pH6 olan malzeme için asidik ortamlarda, pH7 olan malzeme için doğal koşullarda dayanım değerleri incelemesi yapılmıştır. Doğal koşullarda dayanımın daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan deneylerde polarizasyon durumları, öz direnç analizleri ve hücre potansiyel durumları arasında karşılaştırmalı inceleme yapılmıştır.

Poutos vd (2006), yapmış oldukları çalışmada cam ile çimento arasında bazı kimyasalların değişimi ile çimentodan yapılan beton üzerinde nasıl sıcaklık değişimleri

olabileceğini incelemişlerdir. Bununla beraber dayanım değerleri karşılaştırılmıştır. Cam kırıklarından elde edilen bir karışım, çimento üretimi sırasında kullanılarak, elde edilen karışım ile de beton deneme numuneleri yapılmıştır. Yapılan deneylerde termal özellikler de incelenmiştir. Yapılan deneylerde cam alaşımı ile yapılan betonda sıcaklık dayanımının, sadece çimento ile yapılan numunelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Cam kırıkları ile yapılan betonda dayanım sıcaklığı olarak en yüksek 60 °C ve en düşük -20 °C olarak saptanmıştır. Bu durumda elde edilen sonuç iki farklı açıdan değerlendirilmiştir. Öncelikle soğuk ortamlardaki dayanım oldukça artış göstermiştir. Ayrıca sıcaklık stabilitesinde zamanlama uzamıştır.

Asquini vd (2007), yapmış oldukları çalışmada 3 farklı yapıdaki kağıt hamurunu öncelikle yakarak kül haline getirmişlerdir, sonrasında elde edilen küller cam kırıkları ile karıştırılarak farklı kompozisyonda bir tür pudra elde edilmiştir. Elde edilen pudra kurutulmuş, elenmiş, preslenmiş ve sinterlenerek deney numuneleri oluşturulmuştur. Numuneler üzerinde yanma işlemi sırasında yoğunluk, su içeriği durumu, çekme dayanımı, dayanım değerleri ve kırılma indisi ölçümleri yapılmıştır. X ışını altında yapılan incelemelerde de mikroyapı ve faz kompozisyon durumları incelenmiştir. Bazı sinterleme yapılmış numunelerde iyi fiziksel ve mekanik özelliklerin sergilendiği görülmüştür. Ayrıca hücre gözeneklerinin güçlendiği ve mikroyapıdaki iyileşmelerde dayanımın artmış olduğunu göstermiştir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Cam üretimi özellikle kalitenin her geçen gün arttırılmaya çalışıldığı bir alandır. Çalışmadaki temel amaç da seçilecek bazı cam ürünler üzerinde üretim aşamalarının irdelenmesi, oluşan problemlerin giderilme yöntemlerinin incelenmesi, en sık karşılaşılan kalite sorunlarının giderilmesi için neler yapılabileceğine dair yakın takip ile çalışmalar yapıp sorgulanması ve oluşturulabilecek üretim ve sonrasındaki değişimlerin ürünlerdeki problemlerde ne gibi değişimler oluşturduğunun gözlenmesiyle gerçekleştirilmiştir.. Detaylı olarak yapılan çalışmada öncelikle çalışma koşulları, buna bağlı olarak oluşan üretim ve teknik nedenli hatalar incelenmiştir. Yapılan açıklamalara bağlı olarak yapılan tespitler doğrultusunda düzenlemelerin neler olabileceği gözlemlenmiştir. Yapılan bir takım düzenleme sonrasında oluşacak sonuçlar tekrar irdelenerek optimum üretim ile minimum hata oranı sağlanmaya çalışılmıştır.

Üretimi yapılmış olan mamuller özel el imalatı camı kullanılarak yani daha kaliteli, sıcak ve buna bağlı olarak akışkan bir cam ile yapılmıştır. Camın sıcak olmasına karşın yeterli akışkanlıkta olmamasından kaynaklı olarak şekillendirme sırasında oluşabilen hatalar incelenmiştir. Asıl inceleme yapılan ise kalın cidar ve ince cidar dağılımlı mamullerde soğutmaya ve tavlamaya bağlı olarak oluşan iç gerilmenin giderilmesi için gerekli zaman ve sıcaklıklarda ürüne hitap eden fırınlarda tavlama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarla, fırın kaybına bağlı olarak düşen adetlerde iyileştirme yöntemleri ve optimum sınırların tespiti yapılmıştır. Yapılan çalışmalar özetlenirse; üretim kademelerine etki eden faktörler altında, fırın sıcaklıklarında ve ürün bekletme sürelerindeki değişimlerle deneysel çalışmalar yapılmıştır. Hem farklı cidar kalınlıklarına ait ürünler hem de farklı renklerdeki ürünlerin göstereceği gerilme değerleri irdelenerek, çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

Literatür araştırmalarından da anlaşılacağı gibi yapılan çalışmaların bir çoğu yapıdaki değişimleri, iç yapının oluşturduğu etkinin gözlenmesini, teorik ve buna bağlı deneysel sonuçların irdelenmesini ve hammaddedeki değişimlerin oluşturduğu sonuçları içermektedir.

2. CAMIN MALZEMELERİ VE GENEL ÖZELLİKLERİ

2.1. Cam Malzemeler

Cam, sabit bir erime noktası olmayan amorf bünyeli bir silikat bileşimi olarak tanımlanmaktadır. Ana maddelerinin ısıtılarak eritilmesi, biçimlendirilmesi ve biçimlendirilen hamurun kristalleşme olmaksızın soğuması sonucunda cam elde edilmektedir. Erime derecesi, bileşime ve bileşime giren maddelere göre değiştiği için belirli sıcaklıkta eriyen metal ve benzeri malzemeler gibi camın sabit bir erime sıcaklık derecesi mevcut değildir.

Günümüzde cam ve camdan türetilen malzemeler mimari ve yapısal bir çok temel gereksinimin karşılanmasında olduğu kadar, çağdaş yaşamın ortaya çıkardığı bir çok sorunun çözümünde başlıca malzemelerden birini oluşturmaktadır. Mikroskoptan teleskoba, bardaktan yapı camlarına kadar geniş bir alanı kapsamakta ve günlük yaşantı içinde yer almaktadır.

Cam malzemeler yapılarında ışık geçirme, ses yalıtımı, iç ve dış duvar kaplamaları, çatı örtüsü oluşturmak gibi temel bazı işlevlerin karşılanmasında kullanılan önemli bir malzemedir.

2.2. Camlarda Kompozisyon Seçimi

Pratik olarak bakıldığında cam bir oksitler karışımı olarak düşünülebilir. Bu oksitlerin cinsi ve miktarları camın kompozisyonunu oluşturur. Cam kompozisyonları oluşturulurken dikkat edilmesi gereken hususları şu şekilde sıralayabiliriz;

- Nihai üründe aranan özellikler ; camın kimyasal dayanıklılığının yüksek olması, genleşme katsayısının düşük olması vb. fiziksel ve kimyasal özellikler.
- Ergitme koşulları, örneğin; kolay ergimesi istenen camlarda akışların yüksek olması.
- Şekillendirme koşulları: örneğin, camın uzun veya kısa olması. Diğer bir deyişle camın çalışma aralığının kısa veya uzun olması
- Fiyat yani maliyet

Bu dört etken doğrultusunda ihtiyacı karşılayacak cam kompozisyonları saptanır.

Belli cam mamülleri için cam kompozisyonları Tablo 2.1'de görülmektedir.

Tablo 2.1 Cam kompozisyonları

| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | Na ₂ O | K ₂ O | B ₂ O ₃ | PbO | SO ₃ |
|-------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-----|-------------------|------------------|-------------------------------|------|-----------------|
| Düzcamlar | 72,0 | 1,3 | | 8,2 | 3,5 | | 14,6 | | | 0,3 |
| Cam Kap (Şişe, Kavanoz) | 73,0 | 1,7 | 0,05 | 10,4 | 1,2 | 13,6 | | | | 0,1 |
| Isıya Dayanıklı Cam | 81,0 | 2,5 | | | | 4,5 | | 12,0 | | |
| Kurşunlu Kristal Cam | 60,0 | | | | | 2,0 | 13,0 | | 24,0 | |

Tablo 2.1 dikkate alındığında yapılan incelemelerde cam kapta %1.2 civarında olan MgO, düz camda %3.5'dur. Çünkü; düz camın şekillendirilmesi kristallenme sıcaklığına yakın sıcaklıklarda yapılır. Camın bu sıcaklıklarda kristalleşmesini engelleyebilmek için kompozisyona camın kristalleşmeye karşı eğilimini azaltıcı bir oksit olan MgO katılır. Ayrıca MgO, camın atmosfer koşullarına karşı kimyasal dayanıklılığını artırır. Isıya dayanıklı camlarda ısıl genişleme katsayısını düşük tutmak için cama B₂O₃ katılır. Bu nedenden dolayı ergimeyi güçleştirmesine rağmen, Na₂O miktarı düşük tutulur. Kurşunlu kristal camlarda, ışığın renklerine ayrılmasını sağlayabilmek amacıyla, cama kırılma indisini arttırıcı PbO katılır. PbO cama ergime kolaylığı da sağlar. (Morey 1994)

Kompozisyon seçimi yapılmış bir cam için, bu kompozisyonu sağlayacak hammaddeler tespit edilir, bunlar sağlanır, uygun miktarlarda tartılır, yeterli düzeyde karıştırılır ve ergitilmek üzere fırına verilir.

2.3. Hammaddelerin Sınıflandırılması

Cam hammaddeleri iki sınıfta incelenebilir.

1. Ana hammaddeler:

Bunlar camın ana bileşenlerini sağlayan ve/veya harmana genellikle ağırlıkça %1'in üzerinde giren hammaddelerdir. Kum, kuvarsit, kalker, dolomit, feldspat, soda, boraks, asit borik, kolemanit, potasyum karbonat, sülyen ve cam kırığı bu grupta yer alır.

2. Yardımcı hammaddeler:

Bunlar da genellikle harmanda %1'in altında yer alan hammaddelerdir. Bazı alt başlıklara ayrılırlar;

- Afinan Maddeler; camda afinasyonu (ergimiş camın gaz kabarcıklarından arınmasını) sağlamak için kullanılırlar. Belli başlıları; Na_2O , NaCl , CaSO_4 vb.
- Renklendiriciler ve Renk Gidericiler; Bunlar genellikle cama renk vermek veya renksiz camda, FeO , Fe_2O_3 nedeniyle oluşan, istenmeyen renkleri maskelemek amacıyla kullanılırlar. Başlıcaları; Co , CuO , NiO , MnO_2 vb.
- Oksidan Maddeler; Ana görevleri harmandaki organik karakterli kirlilikleri oksitlemek ve FeO 'i cama daha az renk veren Fe_2O_3 'e çevirmektir.
- İndirgen Maddeler; Ergitme işleminin indirgen koşullarda yapılmasını sağlayan maddelerdir. Belli başlıları kömür (C), kükürt (S) ve yüksek fırın cürufudur. (Şişecam 1998)

2.4. Cam Rengine Etki Eden Faktörler

Renkli cam üretiminde, renk üzerinde etkin pek çok faktör mevcuttur. Bu faktörlerden başlıcaları aşağıda verilmektedir.

1. Ana Cam Kompozisyonu

Aynı miktarlarda renklendirici ilavesi ve aynı ergitme koşullarında cam yapıcı ve modifiye edici iyonların birbirine olan oranı değiştiğinde camda elde edilen renkler de değişebilmektedir. Bunun nedeni, bazı renklendiricilerin camda birden fazla konumda bulunabilmesidir. Bu durum özellikle, önemli ölçüde farklı kompozisyonlarda çalışabilen cam kap ve züccaciye üretimlerinde görülmektedir.

2. Ergitme Sıcaklığı ve Süresi

Aynı cam yüksek ve daha düşük sıcaklıklarda ergitildiğinde rengi farklılaşabilmektedir. Ergime süresinin de kısa veya uzun olması benzer sonuçlar vermektedir.

3. Ergitme Koşulları – Fırındaki Oksidasyon Seviyesi

Fırının oksidasyon seviyesinde daha yükseltgene veya daha indirgene doğru olan herhangi bir değişim, cam rengini büyük ölçüde etkileyebilir.

4. Sıcaklık Profili

Bazı renk mekanizmaları için en önemli faktör ergime sıcaklığıdır. Bazı renkler afınasyon sıcaklığı ve soğutma profilindeki değişimlerden etkilenmezken, bazıları için özellikle soğutma profili ve süresi büyük önem taşır. Soğutma profili ve süresine bağlı olarak üretimde bazen hiç renk alınmazken bu parametrelerdeki herhangi bir değişim cam renginde oldukça önemli değişimlere sebep olabilmektedir.

Yukarıda tanımlanan renk üzerinde etkin parametrelerden ergime sıcaklığı, sıcaklık profili ve fırındaki oksidasyon seviyesi üretim koşulları ile doğrudan bağlantılı olmaları itibarı ile yakından ve sıkı takip edilmeleri gereken parametrelerdir. Bu üç parametrenin değişimi ile cam rengi tamamıyla değişebilmektedir.

2.5. Cam Türleri ve Kimyasal Yapı

Silikat camlarının kimyasal farklılık gösteren oldukça fazla çeşidi mevcuttur. Bu Tablo 2.2'de dikkat edildiğinde her camın bileşiminde SiO_2 olduğu görülmektedir. Bu nedenle de bu camlara *silikat camları* adı verilmektedir.

Silika yer kabuğunda en çok bulunan cevherlerden biridir. Kum veya kum taşı cam yapımında en yaygın kullanılan, silika kaynağıdır. Silika (SiO_2) en çok kullanılan ve en önemli cam yapıcı oksittir. Silika cama mukavemet ve kimyasal dayanıklılık kazandırır, $1700\text{ }^\circ\text{C}$ üzerinde ergir. Bu ergime derecesini düşürmek üzere diğer oksitlerin ilavesi camın mukavemet ve kimyasal dayanıklılığının azalmasına neden olur. Ayrıca camın ısı genleşme katsayısını düşürür. Ergime derecesini düşürmek için en sık kullanılan ağ yapı düzenleyici oksit olan soda yani Na_2O kullanılabilir. Sahip olduğu akışkanlık kazandırma özelliği ile flaks oluşturucu yani ergitici olabilir. Bu nedenle de soda, flaks maddesi olarak anılır. Ayrıca soda, camın kimyasal dayanıklılığını azaltırken ısı genleşme katsayısını artırır. Diğer bazı hammaddelerde örneğin feldspat olarak adlandırılan yüksek fırın cürufu, cama silika verebilir. Bununla birlikte bu hammaddeler alümina gibi daha az miktarlarda ihtiyaç duyulan maddeleri temin etmek üzere kullanılırlar. Bu nedenle cama silika katkısında bulunmaları sadece ikincil bir kullanım nedenidir.

Cam hammaddeleri genel olarak sınıflandırıldığında;

- Oksit formunda olabilirler.
- Karbonatlar, sülfatlar gibi başka bir kimyasal formda olabilirler.
- Cama birden fazla cam oksidi verebilirler.

Tablo 2.2. üzerindeki detayları ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. İçerdikleri kimyasallara ve miktarlarına göre cam çeşitleri sınıflandırılmıştır. (Şişecam 1998)

Tablo 2.2 İçerdikleri kimyasallara ve miktarlarına göre cam çeşitleri

| NO | CAM TÜRÜ | % | | | | | | | |
|----|-----------------------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----|------|------|-------------------|------------------|
| | | SiO ₂ | B ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | CaO | MgO | PbO | Na ₂ O | K ₂ O |
| 1 | Sodakalsik camı | 73,3 | - | - | 5,2 | 3,6 | - | 16,0 | 0,6 |
| 2 | Kurşun camı (Normal tenor) | 56,6 | - | - | - | - | 30,0 | 4,0 | 8,0 |
| 3 | Kurşun camı (Yüksek tenor) | 6,0 | 13,0 | - | - | - | 81,0 | - | - |
| 4 | Borosilikat camı (Pyrex) | 80,5 | 12,9 | 2,2 | - | - | - | 3,8 | 0,4 |
| 5 | Borosilikat camı (Tungsten) | 67,3 | 24,6 | 1,7 | - | 0,2 | - | 4,6 | 1,0 |
| 6 | Borosilikat camı (Kovar) | 68,9 | 21,4 | 2,3 | - | - | 0,2 | 2,8 | 4,4 |
| 7 | Alüminosilikat camı | 57,0 | 4,0 | 20,5 | 5,5 | 12,0 | - | 1,0 | - |
| 8 | Silis camı (% 96) | 96,3 | 2,9 | 0,4 | - | - | - | 0,2 | 0,2 |
| 9 | Silis camı (% 99) | 99,3 | - | - | - | - | - | - | - |

2.5.1. Sodakalsik camı

Dünya üzerinde üretilen camların %90'ı sodakalsik camıdır. Ucuz olması, kolay eritebilmesi gibi önemli niteliklere sahip olmasının yanında ısıl özellikleri bakımından mukavemet ve kimyasal kararlılık özellikleri iyi olmadığından bu özelliklerin aranmadığı durumlarda kullanılmaya uygundur.

Birleşim türleri oldukça fazla olan bu cam türü normal elektrik ampülü, floresan ampuller, pencere camları vb. malzemelerin üretiminde kullanılır. Ayrıca bu cam viskozite karakteristikleri nedeniyle hava-gaz karışımı oluşan alevde rahatlıkla çalışma olanağı verir.

2.5.2. Kurşun camı (Kristal Cam)

Sodakalsik camındaki kireç yerine PbO geçtiğinde geniş bir uygulama alanı olan kurşun camı elde edilmiş olur. Sodakalsik camında %15 oranı ile sınırlı olan CaO yerine geçen kurşun oksit %80 oranının bile bazı durumlarda üstüne çıkabilir. Kurşun oksit camın erime noktasını düşürerek yumuşama noktasını CaO'li camlarıninkinin de

altına düşürür. Ayrıca cama kolay işlenebilme, ışığı yansıtma ve yayma özelliği kazandırır. Bu nedenlerden dolayı uzun yıllardır kristal camı sanatsal cam üretiminde kullanılmaktadır.

2.5.3. Borosilikat camı

Borosilikat camlarının yüksek bir yumuşama noktası vardır. Isıl şoklara karşı yüksek bir mukavemet sağlayan bir genleşme katsayısı, su ve asitlere karşı çok iyi mukavemet göstermesi ve üstün elektriksel özellikleri ile önemli bir cam türüdür. Bu özelliklerinden dolayı borosilikat camları genel olarak laboratuvar cam eşyası, mutfak eşyası ve büyük boyutlu aynaların üretiminde kullanılmaktadır. Elektriksel özelliklerinin iyi olması ateşe dayanım sağlayan alaşımlarla (demir-nikel-kobalt vb.gibi) birlikte kullanılabilir. Tablo 2.2’de belirtilen 5 ve 6 nolu örneklerde yine bu tür metal alaşımlarla birlikte kullanılabilir.

2.5.4. Alüminosilikat camı

Bu camlar %20 civarında ve üstünde alümin, az miktarda bor, kireç, manyezi ile alkali içerir. Bazı durumlarda alkali formül içerisine girmez. Ancak alkalinin bulunmaması durumunda bu camların eritilmesi ve işlenmesi borosilikat camlarından daha zor hale gelir.

Yumuşama noktasının yüksek ve dilatasyon katsayılarının küçük olması bu camların termometre, yanma tüpleri ile alevle doğrudan temas edecek her türlü parçanın yapımında özellikle kullanılmasını sağlamaktadır.

2.5.5. Silis camı (%96 SiO₂)

Özellikleri bakımından saf silis camına benzeyen %96 silis içeren bu cam üretim tekniği yönünden büyük beceri gerektirir. Geleneksel camların bir kısmı ile gerçekleştirilebilen presleme ve üfleme yöntemleri ile şekillendirme bu camlara da uygulanır. Bu cam çok saydam olduğu için uv ışınlarını çok iyi geçirir. Bu nedenle uv lambaları ile mikrop öldürücü olarak kullanılan özel lambaların üretiminde kullanılır.

2.5.6. Silis camı (%99 SiO₂)

Bu cam, çok saf kuvars kumunun herhangi bir eritici madde olmadan eritilmesi ile elde edilir. Bu camın üretimi ve özellikle biçimlendirilmesi çok yüksek sıcaklıklarda (~1750°C) çalışmayı gerektirdiği için oldukça zordur. Bundan dolayı üretilen mamüllerin şekil ve büyüklükleri sınırlı olmalıdır. Bu camın genleşme katsayısının çok küçük olması, yumuşama noktasının çok yüksek oluşu ve uv ışınlarını çok iyi geçirmesi gibi olumlu özellikleri vardır. Dielektrik özelliğinin de iyi olmasına karşın fiyatının oldukça yüksek olması kullanım alanını oldukça sınırlamıştır.

3. CAMIN ELDE EDİLME PROSESİ

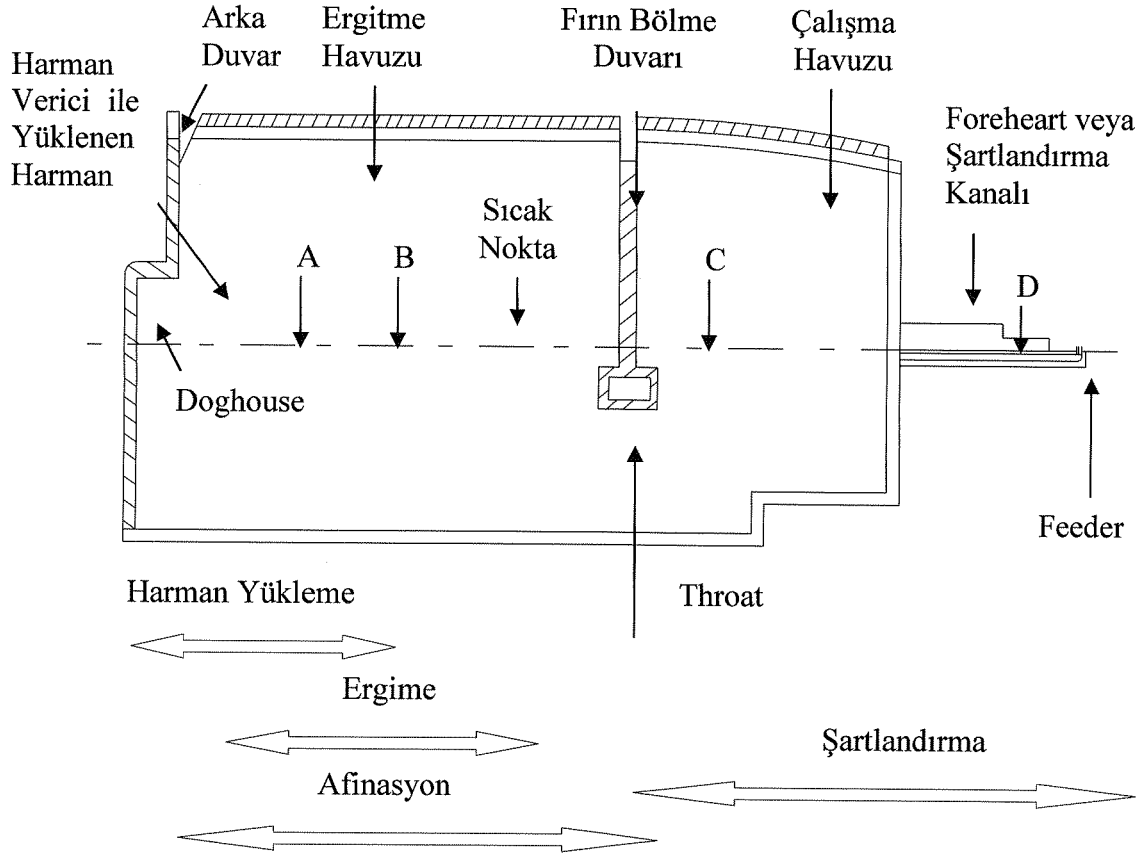
Harman maddelerinin karıştırılıp fırına verilmesinden sonra cam eldesi işleminin bir ileri safhası ergitme işlemidir. Camın ergimesi, hammaddelerin durumlarına göre ergitildikleri fırın içerisinde cama dönüştürülmeleri anlamına gelmektedir.

Bütün cam türleri ısı enerjisi kullanılarak elde edilir. Cam eldesinin bu aşamasına ergime denir. En yüksek ergime verimine ulaşmak önemli bir hedefdir. Bunu sağlamak için yalnızca doğru hammaddelerin seçilmiş olması yeterli değildir, tane iriliklerinin de doğru olması gerekmektedir. Ergime safhası cam üretimi için oldukça kritik bir işlemdir. Cam karıştırılmış hammaddelerin, birbirleri ile reaksiyona girerek ergimiş oksitler haline dönüşmelerine yetecek düzeyde ısıtılmaları ile elde edilmektedir. Kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan gazlar, ergimiş cam içinden yüzeye yükselerek, buradan camı terk ederler. Bütün bunların yüksek sıcaklıklarda meydana gelmesine karşın nihai şekillendirme işlemine geçilmeden önce camın kullanıma uygun hale getirilecek şekilde belli miktarlarda soğutulması gerekmektedir.

Camın elde edilme aşaması dört ana safhada incelenebilir ;

1. BESLEME - Harmanın fırına verilmesi
2. ERGİME - Harman maddelerinin bozunmaları, reaksiyona girmeleri ve harmanın oksitler halinde çözünmesi
3. AFİNASYON - Gaz habbelerinin ergimiş camdan uzaklaşması ve ayrı ayrı eriyiklerin birbirleri ile karışması.
4. ŞARTLANDIRMA - Camın uygun çalışma sıcaklığına soğutulması.

Şekil 3.1 üzerinde dört ayrı durumda detaylı olarak incelenebilir.



Şekil 3.1 Cam elde edilme prosesinin aşamaları

Harman besleme, doghouse'da başlar ve eritme havuzunun ortasına gelmeden önce tamamlanır. Ergime, fırın arka duvarından başlar ve sıcak noktanın bulunduğu yerde tamamlanır. Afinasyon, fırın arka duvarından başlar ve sıcak noktanın bulunduğu yerde tamamlanır. Şartlandırma, throat'da başlar ve forehearth çıkışında tamamlanır.

Şekil 3.1 üzerinde bölgesel olarak inceleme yapacak olursak;

A Bölgesi; Bir miktar harman hala cam yüzeyinde yüzmektedir, bu nedenle harman besleme işleminin etkisi henüz bitmiş değildir. Ergime reaksiyonları hızlı bir şekilde devam etmektedir. Bu reaksiyonlar muhtelif gazların açığa çıkmasına ve camdan uzaklaşmasına neden olduğundan afinasyonun başlamış olduğu söylenebilir.

B Bölgesi; Yüzen harman tabakası artık görülmeyip harman besleme tamamlanmıştır. Fakat hala geride kalan çözünmemiş hammadde parçacıklarının çözünmesi için ergime işleminin bir süre daha devam etmesi gerekmektedir. Buna rağmen eritme havuzunda geriye kalan en önemli iş, afinasyonun tamamlanmasıdır.

C Bölgesi; Bu bölgede artık cam ergimesini ve afinasyonunu tamamlamıştır ve soğumaktadır. Yani şartlanmaktadır. Fakat hala şekillendirme prosesi için oldukça sıcaktır.

D Bölgesi; Cam şekillendirme aşamasına yaklaşırken şartlandırma bu noktada kritik bir hal almıştır. Sıcaklığın tam olarak istendiği gibi olması ve sıcaklık farklarının görülebilmesi gerekmektedir. (Dankwerst 1982)

Burada;

Ergitme havuzu; fırında hammaddelerin eritmek amacıyla ısıtıldıkları ve erimiş camın afine olduğu kısımdır. Throat'lı bir fırında bu bölge genellikle fırın bölme duvarının olduğu bölgeye kadardır. Bir düz cam fırınında ise bu bölge, gölge duvarına kadar uzanır.

Çalışma havuzu; fırında camın şartlandırılması veya mekanik proseler için camın kanallara dağıtımından önce kısmen şartlandırılması için kullanılan alandır.

Foreheart; şekillendirme işleminden önce çalışma havuzundan gelen camın şartlandırıldığı kısımdır. Genellikle derin olmayan bir kanal şeklindedir. Çalışma havuzu ile üretim makinaları arasında yer alır. Isıtma ve soğutma için bağımsız veya bağımlı, gelişmiş sistemlerle çalıştırılmaktadır. Genellikle birden fazla forehearth tek çalışma havuzuyla bağlantılıdır. Her forehearthta belli bir üretim hattı için gerekli olan nihai şartlandırma gerçekleştirilir. Forehearths, şişe, kavanoz, cam ev eşyası, ısıya dayanıklı cam ev eşyası, ampul, tüp, cam, elyaf gibi ürünlerin üretilmesinde kullanılan camların şartlandırılmasında kullanılırlar.

Doghouse; içinden harmanın fırına verildiği kutuya benzer bir kısımdır. Açık veya kapalı olabilir. Açık doghouselarda harman verici, fırından ayrıdır. Doghouse içindeki cam yüzeyi atmosfere açıktır.

Kanal; genellikle fırından veya çalışma havuzundan daha sığ ve daha dar olan, camın çalışma havuzundan şekillendirme makinasına akışını sağlayan bir yapıdır. Genellikle soğutma ve ısıtma için bağımsız sistemleri vardır. Bu sistemler camın şartlandırması prosesini tamamlamak üzere birlikte veya ayrı ayrı kullanılabilirler. Bir fırının tek bir kanalı olması halinde çalışma havuzu ve kanal birbirine entegre edilmiş olabilir. Kanallar genel olarak düz cam endüstrisinde kullanılır.

Feeder; şartlandırılmış camın şekillendirme prosesine kontrollü bir şekilde verilmesini temin eden sistemdir. Feeder şartlandırma prosesinin son bulunduğu en uç noktaya yerleştirilmiştir. Bu bölge de genellikle kanalın veya forehearth'ın sonudur.

Throat; fırınlarda ergimiş camın ergitme havuzundan çalışma havuzuna dipten geçmesini sağlar. Bu nedenle çalışma havuzuna giren cam, ergitme havuzunun göreceli olarak daha soğuk olan bölümlerinden gelir. Bu durum ise throat'lu bir fırında şartlandırma açısından bir avantajdır. (Şişecam 1998)

3.1. Harman Besleme

Harman besleme, birbiri ile karıştırılmış hammaddelerin cama dönüştürme işlemlerinin ilk basamağıdır. Bu aşamada yapılan hatalar prosesin diğer tüm aşamalarını etkiler. Randımanlı bir üretime imkan sağlayacak biçimde kontrollü ve verimli olarak harman besleme, servis silosundan fırına nakledilme işlemi bütünü ile kapsamaktadır. Uygun olmayan bir şekilde yapılan harman besleme işlemi camın ergime ve afinyonunun kötü olmasına yol açar.

Harman besleme işlemi aralıklı ve sürekli olmak üzere iki şekilde yapılır Pota fırınları ve günlük tank fırınları olarak adlandırdığımız fırınlar aralıklı beslenirken, 24 saat sürekli çalışan, genel olarak otomatik makine üretiminde ve düz cam üretiminde sürekliliği sağlamak için sistem otomatik olarak kurulan bir düzenleme ile sürekli beslenir. (Müler-Simon 1994)

3.1.1 Harman beslemenin uygulandığı fırın tipleri

Cam elde edilme prosesinin randımanlı şekilde sürdürülebilmesi için doğru harman besleme yöntemlerinin geliştirilmiş olması gerekir. Harman besleme yöntemleri söz konusu olan fırın tipine göre değişiklik gösterse de genel olarak benzer ana hatlara sahiptirler.

3.1.1.1 Aralıklı çalışan fırınlar

Bu gruptaki fırınların tümü elle yüklenir. Ancak günümüzde harman yükleme giderek mekanize olmaktadır. Pota fırınları ve tank fırınları olarak adlandırdığımız fırınlar bu grup içerisinde yer alırlar. Aralıklı besleme, üretim çevriminin harman verip

ergitme yapıp camı işleme proseslerinin arka arkaya tamamlanan aşamalar şeklinde olduğu durumlarda kullanılır. Bu fırınlarda, harman elle yüklenir ve ideal bir durumda cam belirlenmiş bir seviyeye kadar işlenir. Bazı durumlarda pota veya günlük tank fırınları tamamiyle boşaltılır. Eğer çalışma bu şekilde sürdürülüyorsa bu fırınlara verilen harman miktarı ve elde edilen cam miktarı her zaman sabit tutulmuş olunur. Buna göre çalışma çevrimine imkan verecek şekilde bir sıcaklık-harman yükleme programı çıkartılabilir.

Bu türdeki çalışma çevrimleri, sürekli üretim yapan otomatik makinalar için değil, el imalatı veya yarı otomatik makinalarda yapılan imalatlar için uygundur. Bu tür imalat yapılan işletmelerde genel olarak pota fırınları ve tank fırınları olarak adlandırılan düşük kapasiteli fırınlar kullanılmaktadır. (Cone 1983)

Pota Fırınları

Pota fırınları, yaklaşık 20 farklı pota değişim süresi boyunca kullanılabilir. Dairesel veya dikdörtgen şeklinde olabilirler. Günümüzde pota fırınları, sadece çok küçük tonajlar, çok pahalı ve özel teknik camların yapımında kullanılırlar.

Bir parti cam kırığı potaya konulur ve ergimeye bırakılır. Daha sonra bir parti harman yüklenir ve ergitilir bu işlemi takiben dönüşümlü olarak harman ve cam kırığı eritileri sürdürülür. En sonunda pota bir miktar daha cam kırığı ilave edilerek dolum çizgisine getirilir. Potalara cam kırığı veya harman yüklemenin muhtelif yolları vardır. Harman ve cam kırığı ergidikten sonra cam yüzeyinde halmoz olarak isimlendirdiğimiz, cam yüzeyi temizleme işlemi yapılır. Daha sonra pota içerisine çalışma sırasında habbe ve damar olarak nitelendirilen cam hatalarının oluşumunu engelleyecek ring yani halka konulur. Halka seramik özlü bir malzemedir yapılmıştır.

Kapalı potalarda bu işlem, soda-kireç-silis ve kurşun kristal camları için iki, borosilikat camları için üç günlük bir süre alır.

Mekanik bir harman yükleyici kullanıldığı takdirde kapalı pota bir yükleme ile tamamen doldurulabilir. Aynı zamanda gittikçe daha fazla cam yapıcının tüm pota ömrü boyunca potaya takılı kalabilen pota ringlerini kullanma eğiliminde oldukları görülmektedir. (Etherington 1994)

Potalar açık yada kapalı yapıdadırlar. Direk olarak fırının tabanına otururlar. Bazı durumlarda pota altına sıcak gazların dolaşımını sağlamak için direk taban üzerine değil de tabanda bulunan ayaklar üzerine yerleştirilirler. Şekil 3.2'de kapalı yapıda çalışan bir pota fırının yapım öncesi ve sonrasındaki durumu gözlemlenebilir.



Şekil 3.2 Pota fırını

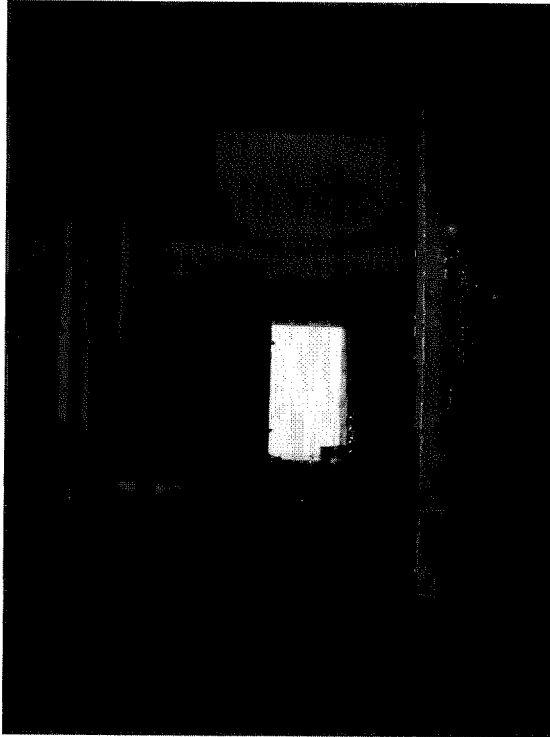
Açık potalar tüm cam yüzeyinin kullanılması ve ulaşılmasının gerektiği ve cam eldesi prosesinin tamamlama süresinin kısaltılmasının istenildiği durumlarda kullanılır.

Kapalı potalar, içlerinde buldukları camın fırın atmosferinden korunabilmesi amacı ile dizayn edilmişlerdir. Fakat aynı zamanda hem çalışma hem de harman yükleme işlemi için kolayca erişilebilir olmalıdırlar. Genellikle kurşun miktarının %30 ve üzerinde olduğu kurşun kristal camlarının eldesinde kullanılırlar.

Günlük Tank Fırınları

Günlük fırınlar belki de kullanılan en basit cam ergitme düzeneğidir. Genel olarak dikdörtgen biçimde ve cam derinliği de 450 ile 600 cm arasındadır. Fırın üzerinde fuel oil veya günümüzde yoğun olarak tercih edilen doğalgazın yakıt olarak kullanıldığı açık alevli bir yanma odası bulunur. Günlük fırınların boyutları genel olarak 10 m² den

küçük ve 1 ile 10 ton cam bulundurabilirler. Dip kısmında fiska olarak alınamayan 100 ile 150 mm'lik kısım için yeterli pay bırakıldıktan sonra bu tip fırınlar, genellikle sekiz saatlik bir çalışma gününe yetecek kapasiteye sahiptirler. Günlük fırınlar, tek bir potadan elde edilen cam miktarının üretim ihtiyacını karşılamadığı veya camı eritmek için istenilen sıcaklığın pota fırınında elde edilemediği durumlarda kullanılır. Bu fırınlarda, pota fırınlarında olduğu gibi aynı yerden harman beslemesi ve cam alma işlemi yapılabilir



Şekil 3.3 Tank fırını

3.1.1.2. Sürekli çalışan fırınlar

Sürekli yani 24 saat kesintisiz çalışan fırınlardır. Fırının bir ucundan çekilen ergimiş camın çekiş hızına uyumlu olacak şekilde diğer uçtan hammaddeler, mekanik yöntemlerle fırına yüklenir.

Üretim fırınlarının değişikliklerden etkilenmemesi için fırın içindeki cam seviyesinin sabit tutulması gerekir. Cam seviyesi özel dedektörlerle ölçülür ve bu ölçüm sisteminin verileri cam seviyesini otomatik olarak kontrol altında tutacak sisteme kumanda eder.

Yükleme mekanizması olarak ne kullanılırsa kullanılsın sürekli çalışan fırınlar için harman beslemenin oldukça hızlı, sürekli ve fırın genişliği boyunca iyi bir harman dağılımı sağlaması gerekir. (Burean 1987)

Fırının, ergimemiş hiçbir harman parçacığının fırındaki sıcak noktanın ötesine geçmesine izin verilmeyecek şekilde işletilmesi gerekir.

Harman yükleme hızının oldukça sabit olması gerekir. Çünkü bu işlemdeki herhangi bir değişim ergime prosesini olumsuz yönde etkileyip hem cam kalitesini hem de camın ısı şartlandırmasında istenmeyen sonuçlar yaratır.

3.1.1.3. Günlük fırınlar

İsminden de anlaşılacağı üzere toplam çalışma çevrimi 24 saatte tamamlanır. Aşağıda belirtilen sıralamayı takip edebilir. Harman yükleme ve ergitme işlemi fabrikalara göre değişiklik gösterebilir.

1. Harman yükleme ve ergitme için 10 ile 12 saat harcanır. Bir önceki gün fırından alınan cam miktarını karşılayacak şekilde küçük miktarlarda cam kırığı ve harman yüklenerek ergitilir.
2. Camı afine etmek ve çalışma sıcaklığına getirmek için 4 ile 6 saat harcanır.
3. Ergitilen cam 7-8 saatlik çalışma diliminde çekilerek işlenebilir.

3.1.2. Harman yükleme metodları

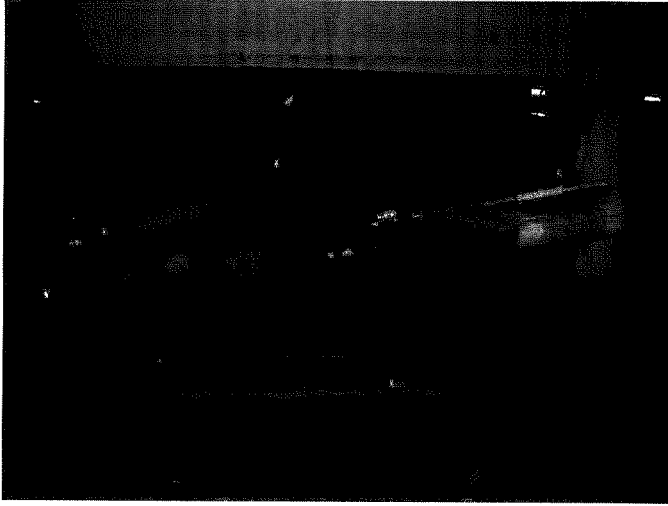
Harman yükleme işlemi elle veya mekanik olarak yapılabilir. Hangi harman yükleme metodu kullanılırsa kullanılsın bütün sağlık ve güvenlik önlemlerine her zaman uyulması gerekir.

3.1.2.1. Elle harman yükleme

Elle harman yükleme iki gruba ayrılır;

1. Elle
2. Bir siloya takılmış bir şut ve sürgü aracılığı ile

Günümüzde bu yöntemler sadece pota fırınlarında ve günlük tank fırınlarında kullanılmaktadır. Bununla birlikte çekişin çok düşük olduğu sürekli fırınlarda da harman yükleme işlemi elle yapılabilir. Şekil 3.4’de harman yüklemede kullanılan harman yükleme silo aracı görülmektedir.



Şekil 3.4 Harman yükleme silo aracı

Elle harman yükleme işleminin basamakları aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Şut harman verme pozisyonuna getirilir. Sürgü açılır ve harmanın cam yüzeyine dökülmesi sağlanır.
- Daha sonra sürgü kapatılır, şut geri çekilir ve bir gelberi kullanarak harman operatörü harmanı cam yüzeyine düzgün bir şekilde yayar.
- Harman ergir ve işlem fırın dolana kadar tekrarlanır.

Tabiki bu yöntem ve sıralamada yapıldığı ve kullanıldığı işletmelere göre değişiklikler gösterebilir.

Çok küçük tonajlarda potaya veya günlük tank fırınına bir şut ve silo aracılığı ile harman verme yerine, harman verme işlemi kürek kullanarak da yapılabilir.

3.1.2.2. Mekanik harman yükleme

Mekanik harman yükleme sistemlerinin büyük kapasiteli üretimler için günlerce ve günde 24 saat çalışmaları gerekir. Bu nedenle basit, sağlam ve güvenilir olmalıdırlar. Bu sistemlerde;

1. Karıştırılmış harmanı fırın servis silosundan alarak segregasyona(harmanın tekrar ayrışması) uğratmadan kontrollü ve verimli bir şekilde fırında vermesi,
2. Harmanı, fırın genişliği boyunca düzgün olarak dağıtabilmesi, gerektiğinde harman örtüsü kalınlığını değiştirebilmesi,
3. Harman besleme hızı açısından kaba ve hassas ayar imkanına sahip olması,
4. Yapılarının sağlam, çalışmalarının güvenilir olması gerekir.

3.1.3. Harman besleme sistemleri

Harmanın fırına beslenmesi için dört temel mekanik metot vardır. Bunlar vidalı, iticili, vibratörlü, katlamalı'dır. Katlamalı tipin dışında harman bir kere doghouse'a verildiğinde daha sonrasında gelen harman partisi tarafından ileriye doğru itilir.

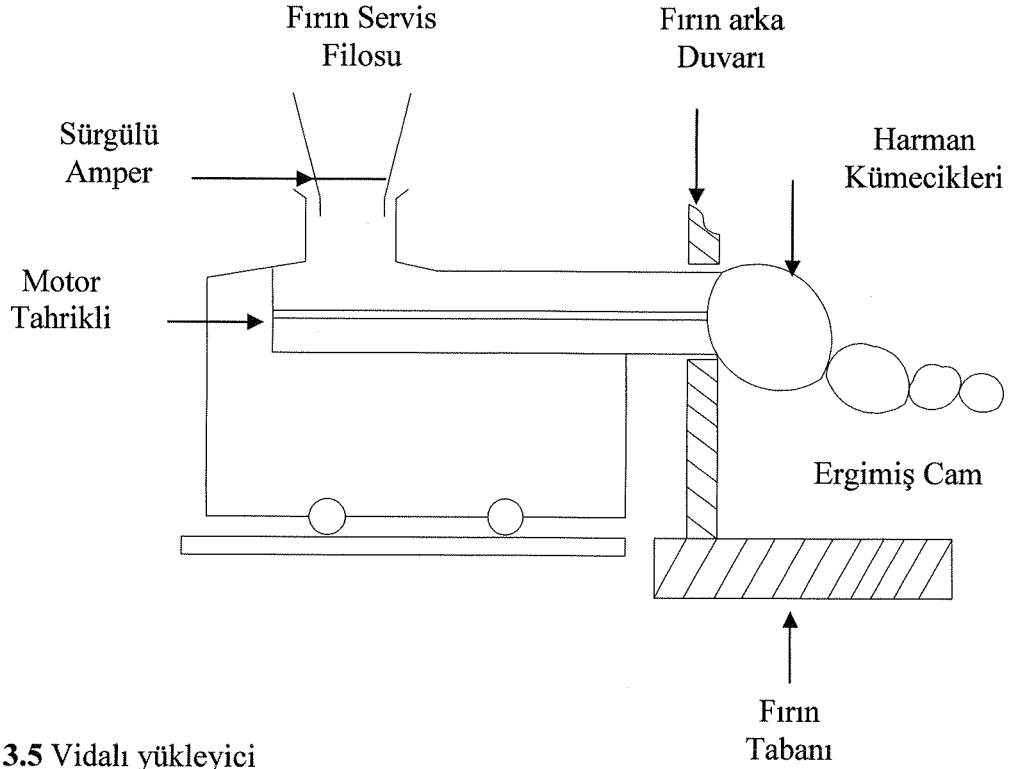
Mekanik harman vericiler ya açık ya da kapalı tipte doghouselara harman verdiklerinden en çok iki tipe girerler.

Vidalı harman vericiler kapalı doghouselarda, vibratörlü ve kapalı harman vericiler açık doghouselarda, itici tipte harman vericiler ise hem açık hem de kapalı doghouselarda kullanılabilirler.

Yukarıda da belirtilmiş olan harman besleme metotları detaylı olarak incelenirse;

1. Vidalı Yükleyciler; bu tip yükleyicilerde Arşimed vidası esasına dayanır. Harman, yükleyicinin üst kısmına gelir ve yatay konumdaki bir sonsuz vida harmanı fırına doğru ileri hareket ettirir. Vidalı harman yükleyicilerin kullandığı doghouse kapalı tipte olmalıdır. Doghouse yandan ateşlemeli bir fırında fırın arka duvarında veya arkadan ateşlemeli bir fırında fırın yan duvarında yer alır. Bazı durumlarda ise Şekil 3.4'de görüldüğü gibi harman, fırın duvarından direkt olarak içeriye beslenebilir. Harman vericinin ön tarafı genellikle su soğutmalıdır. Fırında iyi bir harman örtüsü dolayısı ile

iyi bir eritiş sağlanabilmesi için birden fazla harman verici kullanılabilir.6-6,5 metre genişliğinde bir fırında en az dört harman verici bulunmalıdır. (Marden 1993)



Şekil 3.5 Vidalı yükleyici

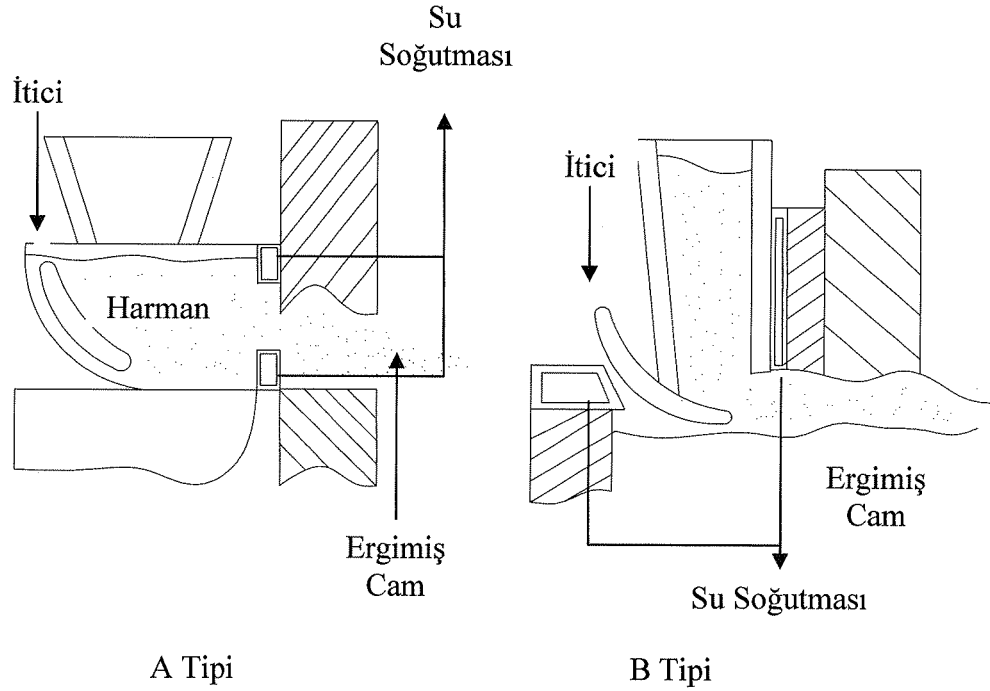
Harman besleme hızı, vidanın hızı değiştirilerek ayarlanabilir. Vidaların çapları o şekilde olmalıdır ki, harman vericilerden biri arızalansa da harman kümecikleri fırının bölme duvarına itilmeden fırının eritebileceği maksimum tonaj, diğer harman vericiler tarafından yüklenebilmelidir. Vidalı bir harman vericinin yüklediği harman, fırın içinde küçük kümecikler, adacıklar halindedir.

2. İtici tipinde harman vericiler; bu grupta Şekil 3.6'da görüldüğü gibi iki farklı tiptedir. Bunlardan biri açık tipte doghouse'a harman verebilirken, diğeri kapalı tipte doghouselarda kullanılır.

Birinci tip(A) normal olarak çift halde çalışır. Ve yandan ateşlemeli fırınlarda üçgen biçimli doghouselardan veya arkadan ateşlemeli fırınlarda yan duvarlardan yükleme yapar.

İkinci tip(B), arkadan ateşlemeli fırınların yan tarafındaki veya yandan ateşlemeli fırınların arka tarafındaki bir veya daha fazla sayıdaki doghousedan yükleme yapar.

Her iki tip içinde itici bıçağının genişliği, fırın çekişindeki artışa göre değiştirilir.



Şekil 3.6 İtici tipinde harman verici

Her ikisi için ise çalışma şekli aynıdır; harman fırının yanında yer alan harman besleme silosundan üç kenarı harman vericinin gövdesi, dördüncü kenarı ise dizaynı doghouse tipine göre değişen su soğutmalı bir açıklıktan oluşan ikinci bir siloya boşalır. Harman daha sonra karşılıklı çalışan bir itici ile fırına doğru itilir.

A tipinde itme hızı genel olarak sabittir. İtici kuvveti, yüksek veya düşük fırın çekişine göre ayarlanabilir. Harman vericinin yükleyeceği harman miktarı iticinin çalışma süresinin uzunluğu ile ayarlanır. Otomatik kumanda söz konusu olduğunda yüklenecek harman miktarı cam seviyesi kontrol sisteminden gelen komutlarla kontrol altında tutulur.

B tipinde ise yüklenecek harman miktarı, itici strok uzunluğu değiştirilerek önce kabaca bunu daha sonrasında hızı değiştirilerek hassas olarak ayarlanır. Otomatik kontrolde, iticilerin hızı değiştirilebildiği gibi iticilerin çalışma sürelerinin uzunluğu da değiştirilebilir. B tipi yükleyicilerin daha gelişmiş türlerinde fırına harman verme açısını da değiştirmek mümkündür ve bu tip harman vericilere osilasyonlu harman vericiler denir. (Douglas 1956)

3. Titreşimli harman vericiler; bu tip harman vericilerde harman, arka tarafta yer alan harman verici tavaşı veya konveyörüne gelir. Tava titreşmeye başladığında harman öne doğru ilerlemeye başlar ve en sonunda harmanın beslendiği açıklıktan cam yüzeyine dökülür. Harman besleme hızı, tavanın titreşim genliği, tavadaki harman birikintisinin kalınlığı, tava açısı ve titreşme süresinin uzunluğu değiştirilerek ayarlanabilir.

Kontrol sisteminde yükleme ve bekleme zamanlayıcıları bulunur. Otomatik kontrollü sistemlerde bu zamanlayıcılar cam seviyesi kontrol sistemi ile bağlantılı kılınmıştır.

4. Katlamalı harman verici; bu tip harman vericiler, arkadan ve yandan ateşlemeli fırınlarda kullanılırlar. Çalışma metodları daha önce açıklanan harman vericilerinkine benzer ancak harmanı iten ve cam yüzeyinin altında katlayan su soğutmalı bir iticiye sahiptirler.

Burada harman doghouse'a titreşimli bir konveyör veya tava aracılığı ile itilir. Sürekli hareket halindeki itici, aşağı doğru hareketinde cama dalar ve harmanı ergimiş cam içinde kısmen katlar. İleri hareketinde harmanı fırına doğru iter ve katlanmak üzere yeni bir tabaka harman örtüsü oluşturur. İtici bu hareketi doghouse içinde camı hareket ettirerek, sıcak kalmasını sağlar. Harman akışının periyodik olarak kesilmesi, harman örtüsü dağılımının etkin olarak kontrolüne imkan sağlar.

Harman besleme hızı, titreşimli konveyör üzerindeki harman birikintisinin kalınlığı ve çalışma süresinin uzunluğu değiştirilerek ayarlanır.

Titreşimli ve katlamalı harman vericiler istenildiğinde kolaylıkla elle harman beslemesi yapılan fırınlara da yerleştirilebilirler.

5. Örtü tipi harman vericiler; bazı fırınlarda, özellikle çekişin yüksek olduğu örtü tipi harman vericiler kullanılır. İsminden anlaşılacağı gibi bu harman yükleme metodunda cam yüzeyinin fırın genişliğince harmanla kaplanmasına çalışılır. Bu tip harman vericiler daima açık tip doghouselarda çalıştırılır ve bir ile birden fazla harman verici bir arada bulunabilir. (Schneekloth 1963)

3.1.4. Harman beslemeyi etkileyen faktörler

Cam elde etme prosesini etkin bir şekilde gerçekleştirmenin ilk adımı harman besleme işleminin kontrollü olarak yapılmasıdır.

Harman besleme işlemi boyunca her işlem kusursuz yapılmalıdır. Aşağıda harman beslemeyi etkileyen faktörler şu şekilde sıralanabilir;

1. Harmanın fırın içinde ilerlemesini önlemek veya yavaşlatmak için güçlü bir geri dönüş akımı oluşturmak gerekir. Bu ise fırın uzunluğu boyunca uygun bir sıcaklık eğrisi ile elde etmek ile sağlanır. Geri dönüş akımı, fırın içindeki sıcak noktadan fırın arka duvarına doğru cam yüzeyinde ilerleyen bir akımdır.
2. Harman besleme sisteminin fırın genişliği boyunca düzgün dağılımlı harman örtüsü elde edilecek tarzda çalıştırılması gerekir. Harman örtüsü kalınlığı sıcak noktadan hemen önce sıfır kalınlığına ulaşacak şekilde kontrol altında tutulmalıdır. Harman örtüsünün çok kalın olması halinde doghouse soğur ve yeterli sıcaklıkta cam girişi olmadığından harman ilerleyemez. Harman besleme sisteminin aynı zamanda harmanın yeniden ayrışmasına imkan verecek şekilde çalıştırılması gerekir. Bu özellikle harman besleme sisteminde herhangi bir titreşimli konveyör kullanılması halinde çok özen gösterilmesi gereken bir durumdur. Harman ayrışmasının sonucu ergimiş cam yüzeyinde silika köpüğü meydana gelebilir ki bu cama olan ısı transferini güçleştirir.
3. İyi cam kırığı, düzgün bir eritme ve harman vericinin problemsiz çalışabilmesi için cam kırığının doğru boyutlarda olması gerekir. Harmanın iletilmesi, yüksek cam kırığı oranlarında da fırın harman silosunda ayrışmaya fırsat vermeyecek tarzda olmalıdır. Yüksek cam kırığı ile çalıştırıldığında dikkat edilmesi gereken bir diğer husus da cam kırığının soğuk harman veya ergimiş camdan daha yoğun olması nedeni ile aşağı çökmesi sonucu doghouse'a sıcak cam akımlarının gelmesinin engellenmesidir.
4. Harman rutubeti farklı harman yükleyicilerini farklı biçimde etkiler. Bazı iticili tipte harman vericiler çok rutubetli harmanla çalışamaz. Titreşimli konveyör kullanan harman vericiler de ise harman ayrışmasını önler. Hangi tip harman vericinin kullanıldığına bakılmaksızın harman rutubeti, fırında meydana gelen harman örtüsünün kalınlığını etkiler. Harman rutubeti arttıkça, harman örtüsünün kalınlığı da artar. (Andler, 1985)

3.2. Camın Ergitilmesi

Bütün cam türleri ısı enerjisi kullanılarak elde edilir. Cam eldesi prosesinin bu aşamasına ergime denir. En yüksek ergitme verimine ulaşmak önemli bir hedefdir. Bunu sağlamak için yalnızca doğru hammaddelerin seçilmiş olması yeterli değildir, tane iriliklerinin de doğru olması gerekir.

Ergime koşullarına hammaddelerin içerikleri, ısı transferi, karışma, fiziksel ergime ve kimyasal reaksiyonlar gibi ana etkenler etkimektedir.

Bu olguların anlaşılabilmesi için aşağıdaki şekilde sınıflandırarak ergime durumu incelenebilir. (Philips 1980)

Ergime

- Isı Tansferi
- Ergime Sırasında Meydana Gelen Reaksiyonlar
- Fiziksel Ergime

Her bir grup ayrı başlıklar altında değerlendirilecektir.

3.2.1. Isı transferi

Bir cisim üzerinden aynı ortamdaki başka bir cisime aralarındaki sıcaklık farkından dolayı ısı alışverişi oluşması, ısı transferi olarak adlandırılır. İki cisim arasındaki sıcaklık farkı büyüdükçe transfer edilen ısı miktarı da büyür.

Harmana ısı transferi

Fırın içerisinde harman kümecikleri oluşur. Fırın iç cephesi daha sıcak olduğu için kümecikler belli bir süre sonunda ısınırlar.

Doğal gaz veya fuel oil kullanılan fırınlarda ısı kaynağı alevdir. Alev, harman ve ergimiş camın üstünde fırın kemerinin altındadır.

Alevin sıcaklığı, fırın üst yapısı, harman kümecikleri ve ergimiş camdan daha fazladır. Bundan dolayı ısı bu bölgelere *radyasyon* veya *konveksiyon* yolu ile iletilir.

Alevden ısı transferi aslında radyasyon yolu ile olur. Konveksiyon ile ısı iletimi sadece alev harmana değdiği zaman meydana gelir.

Cam seviyesinin altında ısı harman kümelerinin alt tarafına ergimiş camdan radyasyon, kondüksiyon ve konveksiyon yolu ile geçer.

Ergimiş cam üzerindeki harman örtüsünün ısıtılması oldukça güçtür çünkü harman ısıyı iyi iletmez. Isı, sıcak noktanın bulunduğu yerde yüzeydeki sıcak ve ince cam tabakasının ergimemiş harman örtüsünün altına doğru ilerlemesi halinde daha kolay iletilebilir. (Naruse 1998)

Pota fırınlarının ısıtılması diğer fırınlara oranla oldukça zordur. Pota içerisindeki harmana alev hiç bir şekilde temas ettirilemez. Isının harmana teması olmadığından ısıyı, fırın odası içinden potaya buradan da harmana iletme söz konusudur. Yani radyasyon ile de ısı transferi pota fırınları için geçerli değildir. Pota fırınlarının dışı, alev ve fırın üst yapısından kaynaklanan radyasyon ile alev ve baca gazlarından kaynaklanan konveksiyon yolu ile ısınır. Sıcaklık farklılığına bağlı olarak ısı daha sonra kondüksiyon yolu ile fırının iç tarafına transfer olur.

3.2.2. Cam ergime reaksiyonları

Cam hammaddelerin birbirleri ile reaksiyona girmeleri ve birbirlerinin içinde çözünmeleri ile meydana gelir. Bazı reaksiyonlar düşük sıcaklıkta başlar fakat nihai cam oluşumu yüksek sıcaklıklarda tamamlanır. Bu durumu fırın içine ergitilmek üzere verilmiş harman kümesi üzerinden açıklanırsa;

Öncelikle fırın sıcaklığı harman sıcaklığından yüksek olduğu için harman sıcaklığı yükselmeye başlar. Sıcaklık yükselirken aşağıda belirtilen reaksiyonlar meydana gelir;

- Hammaddelerdeki serbest suyun buharlaşması
- Hammaddelerin bozunması sonucu CO_2 , SO_2 , SO_3 , H_2O gibi gazların oluşarak ortamdan uzaklaşması
- Tek tek hammaddelerin ve bunların kombinasyonunun ergimesi ve reaksiyona girmesi sonucu sıvı fazların oluşumu

- Ergimemiş harman taneciklerinden arınmış, homojen bir sıvı elde edilecek şekilde geriye kalan katı taneciklerin sıvı faz içinde çözünmeleri

Sürekli cam fırınlarında sıcaklık ayarı yukarıda belirtilen kriterler göz önünde tutularak yapılır. Ergimeye başlayan harman ergimiş camı oluştururken cam fırın içinde sıcaklığın daha yüksek olduğu ve afinasyonun başladığı bölgeye doğru çekilir. Tabiki bu noktada cam yapımının belli bir oksidasyon seviyesine ve bu seviyenin kararlı bir şekilde devamlılığının sağlanmasına bağlı olduğu unutulmamalıdır.

Cam yapımında kullanılan elementlerin bir çoğunun birden fazla değeri vardır. Bazı durumlarda değerlik farklı radyasyon yolu ile ısı iletimini etkiler. Camın oksidasyon seviyesindeki değişim cam eldesi prosesinin ergime ve afinasyon aşamalarını etkiler.

Oksidasyon seviyesine etki eden faktörleri şu şekilde sıralayabiliriz;

- Kullanılan hammaddeler
- Yabancı maddelerin miktarı, örneğin; karbon içeren maddeler ve ilave edildiği camdan farklı bir kompozisyona ve renge sahipse cam kırığı.
- Ergimiş camın üstünde bulunan fırın atmosferi. İndirgen şartlarda elde edilmesi gereken özel camlar dışında, etkin bir yanma olayının sağlanması için yeterli düzeyde oksidasyon bir fırın atmosferi ile çalışma eğiliminde olunmalıdır.

3.2.3. Fiziksel ergime

Ergime süresi, belli bir miktardaki harmanın sabit bir sıcaklıkta sıvı hale geçebilmesi için gereken süredir. Bu süre *harmandan arınma* olarak da adlandırılabilir.

Ergime süresi kadar önemli olan diğer bir etkende erime hızıdır. Erime hızını etkileyen faktörleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

1. Ana hammaddeler ve yardımcı hammaddelerin de etkisini kapsayacak biçimde cam kompozisyonu
2. Fırın sıcaklığı
3. Harmandaki hammaddelerin tane iriliği ve tane iriliğinin uniform olması

4. Cam kırığı tane iriliği ve miktarı
5. Harman kompozisyonu
6. Harman homojenitesi
7. Harman besleme teknikleri
8. Fırın dizaynı
9. Fırın ergitme havuz alanı
10. Cam derinliği
11. Cam rengi

Belirtilen faktörleri detaylı olarak incelersek;

1. Cam kompozisyonu

Ergime sıcaklığı cam viskozitesinin 10^2 poise veya log viskozitesinin 2 olduğu sıcaklık olarak tanımlanır.

Viskozite cam kompozisyonundan etkilenir, camın ergime sıcaklığı düştükçe cam daha kolay ergitilebilir. Bundan dolayı kompozisyonu değiştirerek örneğin, bir oksit yerine başka bir oksit kullanılarak viskozite ve ergime sıcaklığını değiştirmek olasıdır.

Viskozitenin cam kompozisyonundan hareket ederek teorik olarak hesaplanabilmesi mümkündür. Tablo 3.1'de farklı oksitler arasındaki ilişki gösterilmektedir. Bu tablodaki amaç bir oksit yerine başka oksit konulduğunda meydana gelen değişikliğin rölatif büyüklüğünü göstermektir.

Tablo 3.1 Farklı oksitler ve kimyasal tanımları

| Sıralama | Oksit | | Sıralama | Oksit | |
|----------|----------------|-------------------|----------|-----------------|--------------------------------|
| 1 | Kalsiyum Oksit | CaO | 7 | Boroksit | B ₂ O ₃ |
| 2 | Potasyum Oksit | K ₂ O | 8 | Magnezyum Oksit | MgO |
| 3 | Kurşun Oksit | PbO | 9 | Çinko Oksit | ZnO |
| 4 | Baryum Oksit | BaO | 10 | Demir Oksit | Fe ₂ O ₃ |
| 5 | Titan Oksit | TiO ₂ | 11 | Silisyum Oksit | SiO ₂ |
| 6 | Sodyum Oksit | Na ₂ O | 12 | Alüminyum Oksit | Al ₂ O ₃ |

Sıralama arasındaki fark büyüdükçe her zaman olmamakla beraber genellikle meydana gelecek değişikliğin boyutu da büyür. Sıra numarası düşük olan bir oksit, yüksek olan bir oksitle yer değiştirdiğinde viskozite ve ergime sıcaklığı yükselir. Tersine sıralamadaki yeri yüksek olan bir oksit sıralamadaki yeri düşük olan bir oksitle yer değiştirdiğinde viskozite ve ergime sıcaklığı düşer. Konu ile ilgili olarak bir örnek verecek olursak; Sodyum oksit yerine silisyum oksit konulduğunda ergime sıcaklığı yükselir fakat silisyum oksit yerine alüminyum oksit konulduğundan ergime sıcaklığı düşer.

2. Fırın sıcaklığı

Fırın sıcaklığının da ergime süresi üzerine etkisi büyüktür. Laboratuvar ortamında yapılan çalışmalar aynı hammaddelerle aynı cam kompozisyonunun kullanılması halinde ergitme süresi ile sıcaklık arasındaki ilişkinin ters orantılı olduğunu görmüştür.

3. *Tane iriliğinin etkisi*

Hammaddelerin tane iriliklerinin ergime süresi üzerinde belli bir etkisi vardır. Ancak bu etki, hammaddelerin tane irilikleri spesifikasyon limitleri içinde kalmak kaydı ile sadece akademik açıdan önemlidir.

Genel olarak bakıldığında tane iriliği küçüldükçe ergime hızlanır, tersine tane iriliği büyüdükçe ergime süresi uzar. Bu durum bütün hammaddeler için geçerli olduğu gibi cam kırığı için de geçerlidir.

Pratikte cam üretimi yapılan tesislerde hammaddelerin tane iriliklerinin birbirine uyumlu olması için çalışılır. Tane iriliği uyumu, ergimeye yardımcı olduğu gibi hammaddelerin ayrışma yani segregasyon eğilimlerini de azaltır.

4. *Cam kırığının etkisi*

Cam kırığı ergimeye yardımcı olur. Kullanım miktarı ne kadar fazla ise ergime kolaylığı da o kadar uygun olur. Cam kırığı yüzdesindeki artış ergime süresinde de o denli bir azalmaya neden olur.

5. *Harman kompozisyonu ve homojenitesinin etkisi*

Harman kompozisyonu ve homojenliği de ergime hızını etkileyen önemli faktörlerdendir. Harman fırına iletilirken çok fazla ayrışırsa daha az homojen hale gelir. Harman ayrışmasının seviyesini fırın çekişi belirler. Hatta öncesinde yapılan gözlemler göstermiştir ki kompozisyon aynı kalmak koşul ile harmandaki hammaddelerden birinin bir başka hammadde ile yer değiştirmesi halinde harmanın ergime davranışları ve ergime süresinde önemli farklılıklar meydana gelmektedir.

6. *Harman beslemenin etkisi*

Fırın içindeki harman küreciklerinin her zaman için kontrol altında olması gerekir. Harmanın fırındaki sıcak noktanın öesine geçmesine izin verilmesi halinde ergime kalitesi ciddi biçimde etkilenir. Fırın arka tarafının üniform olarak harmanla kaplı olması ve harman küreciklerinin sıcak nokta öncesinde kaybolması gerekir. Isısının harmana nüfuz ederek alt kısımlara geçmesi zor olduğundan harman örtüsünün şekli ve kalınlığının harmana olan ısı transferinin hızı üzerinde önemli etkileri vardır.

7. Fırın şeklinin etkisi

Camın ergime süresi fırın dizaynı ile yakından ilişkilidir. Fırının göreceli olarak uzun ve dar olması gerekir. Yandan ateşlemeli fırınlarda fırın uzunluğunun fırın genişliğine oranında 1.6/1'den 2/1'e kadar olan oranlarının ideal olduğu düşünülmektedir.

Yandan ateşlemeli fırınlarda harmanın alevle karşı karşıya gelmeden önce üstünün kısmen ergimesi için fırın arka duvarı ile port arasındaki uzaklık önemlidir. Bu uzaklık yeterli değil ise ilk akışkan fazı oluşturan hammaddeler çok çabuk ergir ve fırının afinasyon bölgesinde ergimiş cam üzerinde köpük oluşur.

8. Fırın ergitme alanının etkisi

Cam banyosunun yüzey alanı da ergime hızı üzerinde önemli bir faktördür. Belli bir fırın çekişi için ergitme alanı büyüdükçe ısı transferi ve ergitme kolaylaşır.

9. Fırın cam derinliği ve cam renginin etkisi

Fırındaki cam derinliğinin ergimiş camda oluşan konveksiyon akımları üzerinde olumsuz bir etki yaratmayacak düzeyde olması gerekir. Cam derinliği daha az olduğunda geri dönen akım çok zayıf olur ve doghouse'a ulaşamaz. Tersine cam derinliği çok fazla olduğunda ise cam durgun hale gelir ve taş, damar gibi cam hatalarının oluşmasına yol açabilir.

Cam derinliği ve rengi de yine kendi aralarında ilişkilidir. Camda Fe_2O_3 ve Cr_2O_3 miktarı arttıkça camın ısıyı geçirme kabiliyeti azalır. Bu nedenle renksiz cam üreten fırınlar bal ve yeşil renkli cam üreten fırınlara kıyasla daha derindirler.

3.3. Camın Afinasyonu

Afinasyon, cam hazırlama prosesinin ergime aşamasında camın gaz kabarcıklarından temizlenmesi ve kimyasal açıdan homojen hale gelmesidir. Genel olarak afinasyon, habbelerin uzaklaştırılmasıdır. Günümüz fırınlarında afinasyon ve homojenleştirme bölümleri ayrılabilir. Böylece afinasyon bölgesinde konveksiyon akımlarını güçlendirecek yeni teknikler kullanılmaktadır.

Afinasyon çeşitli aşamalar altında incelenebilir;

- Habbelerin uzaklaştırılması
- Camın homojenize edilmesi

Habbelerin uzaklaştırılması

Ergime bölgesinde oluşan habbelerin ve afinasyonun etkilendiği iki farklı faktör vardır.

- Sıcaklığın artırılması
- Arıtma maddelerinin ilavesi

Habbeler, harman tanecikleri arasındaki havadan, harman reaksiyonlarından, hammadde ayrışmasından kaynaklanır ve çeşitli reaksiyonlardan çıkan gazları içerir. Bu gazlar içerisinde örnek olarak aşağıdaki gazlar verilebilir.

- Karbonatlar, karbondioksit (CO_2) verir.
- Sülfatlar, kükürt trioksit (SO_3) ya da kükürt dioksit (SO_2) ve O_2 verir.
- Sülfürler, oksitlendikleri zaman kükürt dioksit (SO_2) verir.
- Nitratlar, azot dioksit (NO_2) ya da azot monoksit (NO) ve oksijen (O_2) verir.
- Hidroksit ve hidratlar, su buharı (H_2O) verir.

Böylece habbeler, çeşitli yüzdelerde CO_2 , SO_2 , SO_3 , NO , NO_2 , H_2O , N_2 ve O_2 içerirler. Normalde CO_2 en yüksek yüzdeye sahiptir. Çünkü karbonatlar, en çok kullanılan gaz çıkarıcı harman maddeleridir. Başka kaynaklardan gelen O_2 ve N_2 içeren gaz habbeleri de vardır, bunlar hava habbeleridir. Hava, fırının içinde harman tanecikleri arasına girer ve ergimiş cam tarafından hapsedilir veya bubler sistemleri vasıtasıyla ergitilmiş camın içine enjekte edilir. (Zünther 1985)

Isı verilme işlemi

Isı verme işlemi, cam yapımı prosesinin itici gücüdür. Isı, gaz habbeleri ile dolu ergimiş bir cam oluşturmak üzere ergitme işlemi başlatır.

Isı ilavesine devam edildiği sürece sıcaklık yükselir. Sıcaklığın arttırılmasında başlıca iki etki vardır;

- Camın viskozitesi düşer.
- Konveksiyon akımları kuvvetlenir.

Diğer bir etkisi de içeride oluşan gaz genişmesi nedeni ile gaz habbelerinin büyüklüğünün artmasıdır.

Habbe büyüklüğünün artması, habbe yükselme hızını arttırır. Cam viskozitesinin düşmesi de habbelerin yükselme hızını arttırır.

Cam yoğunluğunun değişmesi, habbelerin yükselme hızını etkiler, fakat bu etkinin boyutu çok daha küçüktür ve yoğunluğun yükselmesi yükselme hızını arttırır.

Gaz habbelerinin büyüklüğünü arttırıcı ya da cam viskozitesini düşürücü herhangi bir etken, habbelerin cam yüzeyine çıkma hızını arttırır.

Sıcaklığın yükselmesi de camın afinasyonuna ya da habbelerin uzaklaşmasına yardımcı olur.

3.3.1. Afinasyon maddelerinin ilavesi

Gaz habbelerinin uzaklaştırılması yani afinasyonun tam olarak tamamlanıp cam elde prosesinin takibinde bu işlemin tam olarak gerçekleşmesi üç ana faktör altında sağlanır. Fakat bu faktörlerin gerçekleşebilmesi için asıl gereken arıtma maddelerinin ilavesidir. Arıtma maddelerinin başlıca üç etkisi;

1. Gaz çıkarma reaksiyonları
2. Camın fiziksel özelliklerinde değişme
3. Gazların camda çözünmesi

Gaz çıkarma reaksiyonları

Gaz çıkarma reaksiyonlarında kullanılan ergitme ve arıtma maddeleri genel olarak sülfatlardır. En yaygın bulunan sülfatlar ise sodyum sülfat (Na_2SO_4), alçıtaşı (CaSO_4) dır.

Sodyum sülfat $885\text{ }^\circ\text{C}$ civarında ergir. $1200\text{ }^\circ\text{C}$ den sonra bozunmaya başlar. Sıcaklık yükseldikçe bozunma hızı da artar. $1450\text{ }^\circ\text{C}$ de çok çabuk bozunabilir. Sodyum sülfat bozduğunda, sodyum oksit (Na_2O), kükürt dioksit (SO_2) ve oksijen (O_2) verir. Bozunma, fırının ergime bölgesinde olur. Bu bozunma ergime prosesinde, afinyona yardımcı olması bakımından geç meydana gelir. Bazı gazlar (SO_2 ve O_2) yolları üzerindeki daha küçük habbeleri toplayarak cam yüzeyine çıkarlar. Bazıları camda bulunan küçük habbelerin içine nüfuz ederek onları büyütürler ve böylece cam yüzeyine çıkmalarını çabuklaştırırlar. Bazıları ise ergimiş camın içerisinde çözünürler yada absorv olurlar.

Sülfat fazlalığı, ergimiş camın yüzeyinde bir köpük oluşturur. Bu durum, indirgen şartlar yaratılarak ya da daha az sülfat kullanılarak giderilebilir.

Sülfatlar, yükseltgen maddeler olarak sınıflandırılır. Harmandaki örneğin yüksek fırın cürufu ya da karbonlu maddeler gibi indirgen ortam oluşturucu maddelerin yarattığı ortamı dengelemek amacı ile kullanılır. Sülfatlar ergime ve afinyonu kolaylaştırmak amacı ile kullanıldığında; cam sıcaklığı ile birlikte, afinyon sonunda ve cam hazırlama prosesinin şartlandırma aşamasında bazı hususlara dikkat etmek gerekir. Bunun nedeni, camda bir miktar sülfatın kalması ve cam bir miktar soğuduktan sonra tekrar ani olarak ısıtıldığında yeniden kaynama etkisi(habbeciklenme) yaratmasıdır. (Rawson 1980)

Camın fiziksel özelliklerinde değişme

Fırındaki kum taneleri ve gaz kabarcıkları yüzey gerilmei nedeni ile biraraya gelerek birleşirler ve yüzeye doğru yükselirler. Kum tanecikleri ile zenginleşen cam yüzeyinde ergitici maddelerin azlığı nedeni ile ergime daha uzun zaman aldığı gibi kum taneciklerinin oluşturduğu örtünün cama olan ısı transferini azaltması nedeni ile afinyon süresi de daha uzun olur. Ortamda bir miktar sülfat bulunması, kum taneleri, gaz habbeleri, ergimiş cam ortak yüzeyindeki yüzey gerilmeini düşürür. Bu da kum

tanelerinin ıslanmasını, habbelerin yükselmesini temin eder ve ergimiş cam içinde kalan kum tanecikleri, diğer harman maddeleri ile daha kolay reaksiyona girer.

Ergimiş camın yüzeyi, ergimiş silis tanecikleri ile zenginleştiğinde, silis köpüğü oluşur. Sülfatların ya da diğer arıtma maddelerinin ilavesi bu köpüğün giderilmesini sağlar. Sülfat fazlası yüzeyde bir sülfat köpüğüne sebep olur ki bu da, indirgen şartlar sağlanarak ya da az sülfat kullanımı ile önlenabilir.

Diğer afinasyon maddeleri örneğin, flörür camın viskozitesini düşürmek suretiyle işlevlerini yaparlar. Bu yolla habbelerin cam yüzeyinden uzaklaştırılması daha kolay olur. Düşük viskozite, ergimiş cam ile silis arasındaki etkileşimi hızlandırdığı gibi flörürler argimeye de yardımcı olur.

Flörürleri kimyasal bir grup olana halojen tuzlarındandır. Diğer halojen tuzları; klörürler, iyodürler ve bromürler afinasyona, camın yüzey gerilmesini düşürerek yardımcı olurlar.

Gazların camda çözünmesi

Afinasyon, aynı zamanda sıcaklığın düşmeye geçmesi ile devam eder. Afinasyon aşamasının sonlarına doğru gaz habbeleri hala yüzeye doğru çıkarak dışarı atılırlar. Ancak, sıcaklık düşmesi sürekli olduğundan habbelerin çıkma hızı düşer. Bunun nedeni, cam viskozitesinin yükselmesi ve habbelerin küçülmesidir.

Sıcaklık düşerke, habbelerin içindeki gazın ergimiş cam tarafından çözülmesidir. Cam soğudukça, daha fazla miktarda gazı çözülmüş olarak tutulabilir. Bu durum özellikle, kükürt oksitleri (SO_2 , SO_3) ve oksijen (O_2) gibi gazlar için geçerlidir. Harmanda sülfatlar ve sülfürler kullanıldığı zaman camda çözülmüş olarak kükürt oksitler bulunur.

3.3.2. Pota fırınında ve günlük tank fırınlarında afinasyon

Pota fırınlarındaki afinasyon tıpkı sürekli cam çekişi yapılan bir fırında oluşan sıcaklık çevrimlerine bağlı olarak gerçekleşir.

Konveksiyon akımları oluşur ve afinasyon maddelerinden kaynaklanan gaz çıkışları meydana gelir. Bu gazlar yine ergimiş cam, afinasyon sıcaklığından çalışma sıcaklığına

soğurken cam eriği içerisinde çözünür. Eğer pota fırını çok potalı ve bütün potalar aynı zaman periyodunda değil ise fırın aynı sıcaklıkta muhafaza edilir ve pota sıcaklıkları pota kapakları açılarak ya da kapanarak ayarlanır. Tek potalı fırınlarda ise genellikle açık potalar ve elektrikli ısıtma kullanılır. Bu ergitme yönteminde kurşunlu cam endüstrisinde *bir gecelik ergitme* adı verilen yöntem kullanılır. bu yöntem şarjın tamamlanması, ergime/afinasyon süresi ve çalışma çevrimini yarıya indirir. Çünkü potanın içindeki sıcaklık daha yüksek seviyeye çıkarılabilir, bu da ergime ve afinasyon süresini kısaltır.

Sıvı ya da gaz yakıtlı fırınlarda açık potaların kullanılması özellikle birden fazla potası bulunan fırınlarda dikkat gerektiren bir husustur. Pota sıcaklığının ayarlanmasında pota kapağının açılıp kapanması ve hava sızıntıları nedeni ile yakıt israfı oluşur. Bu nedenle, sıvı veya gaz yakıtlı pota fırınlarında kapalı sistem tercih edilir.

Sonuç olarak bakıldığında, afinasyon hızını arttırmak için, camın sıcaklığı yükseltilerek, viskozitesi düşürülür. Sürekli fırınlarda afinasyon cam, fırının arıtma bölgesine hareket ettiği zaman başlar. Pota fırınlarında ise fırının tamamının sıcaklığı yükseltilir. (Stumm 1972)

3.4. Camın Şartlandırılması

Ergitmenin ve afinasyonun başarılı bir şekilde gerçekleşebilmesi bakımından camın üretim için çok yüksek olan bir sıcaklığa kaar ısıtılması gerekir. Bu nedenle üretim prosesleri için uygun sıcaklıklara kadar uniform olarak soğutulmalıdır.

Şartlandırma, camın başarılı ve verimli bir şekilde şekillendirilmesi için uygun olan sıcaklığa kadar uniform olarak soğutulmasıdır diye tanımlanabilir.

Sürekli bir tank fırınında damlanın elle veya diğer yöntemlerle alındığı durumlarda, şartlandırmanın tümü çalışma havuzunda gerçekleşir. Pota fırınında ise şartlandırma, aynı pota içinde ergime ve afinasyon aşamaları tamamlandıktan sonra gerçekleşir. Ancak üretilen camların %90'ından fazlasını sadece kısmen şartlandırması, çalışma havuzunda ortaya çıkar. Nihai şartlandırma; kanal, forehearth veya çalışma havuzu ile irtibat sağlayan diğer tipteki bağlantı yapıları içinde gerçekleşir. Şartlandırmanın burada

da belirtildiği gibi iki aşamalı bir sistemde sağlanması pek çok şekillendirme prosesleri için aynı sistemdedir.

Çalışma havuzunda gerçekleştirilecek şartlandırma işleminin miktarı veya düzeyi, kullanılan şekillendirme metoduna bağlıdır. El imalatı veya emişle cam alma gibi metodlar kullanılarak camın direkt olarak çalışma havuzundan alındığı durumlarda şartlandırmanın çalışma havuzunda tamamlanması gerekir. Üretim makinalarına cam besleme işleminin çalışma havuzunun ötesinde yapıldığı durumlardaki şartlandırma, sadece kısmen gerçekleştirilir. Nihai şartlandırma ise foreheart veya kanallarda tamamlanır.

Şartlandırma ister tamamen ister kısmen gerçekleşiyor olsun çalışma havuzundaki sıcaklığın kontrol altında tutulması gerekir. Aşağıda Tablo 3.2'de çalışma havuzuna ısı vermek veya almak için kullanılan basit metodlar belirtilmiştir.

Çalışma havuzundaki ısı kontrolü genellikle bek sisteminden sağlanan ısının ve/veya bağımsız soğutmanın düzenlenmesi ile sağlanır.

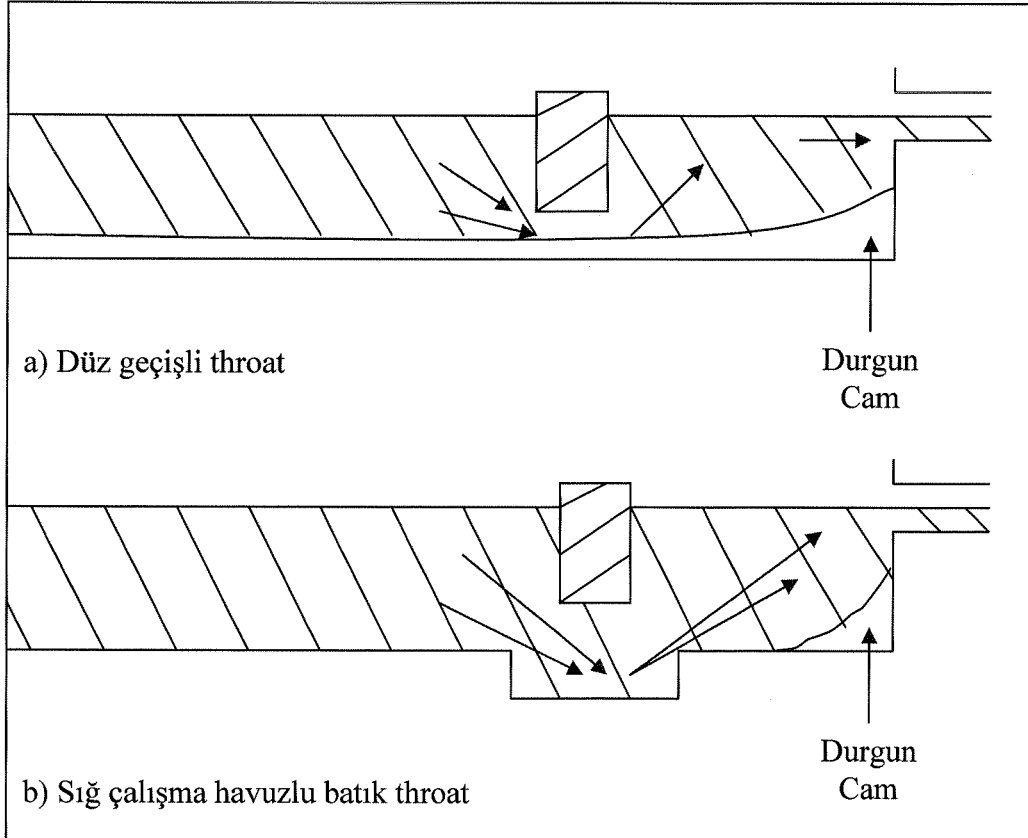
Throat, fırınlarda ergimiş camın ergitme havuzundan çalışma havuzuna dipten geçmesini sağlar. Bu nedenle çalışma havuzuna giren cam, ergitme havuzunun göreceli olarak daha soğuk olan bölümlerinden gelir. Bu durum ise throatlu bir fırında şartlandırma açısından bir avantajdır.

Cam eldesi prosesinin afinasyon aşaması incelinirken, fırının farklı bölgelerinden gelen farklı cam tabakalarını karıştırmaya veya homojen hale getirmeye özen gösterilemesinin çok önemli olduğu belirtilmiştir. Şartlandırma aşamasında dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise camın durgun olduğu bölgelerin veya ceplerin oluşturulmamasıdır. Durgun bölgelerdeki ısıyı belli bir seviyede tutmak için gereksiz şekilde ısı kullanmanın yanı sıra bu tür durgun bölgeler veya cepler, şartlandırma aşamasında devitrifikasyon oluşumunu da tetikler. Bu durum da zaman zaman uniform olmayan cam sıcaklığı ve kompozisyonu riskini artırır.

Throat ve çalışma havuzunun dizaynı, durgun bölge veya tabakaların oluşumunu etkileyebilir. Şekil 3.7'de iki tip throat çalışma havuzu dizayn alternatifinin enine kesiti görülmektedir. Görüldüğü gibi muhtemel durgun bölgelerin nerelerde oluşabileceği görülmektedir.

Tablo 3.2 Isı almak ve ısı vermek için kullanılan metotlar

| Çalışma Havuzuna Isı Vermek | Çalışma Havuzundan Isı Almak |
|--|--|
| 1. Ergitme havuzundan gelen sıcak camın getirdiği ısı | 1.Elle veya emme yoluyla damla alma ya da camın forehearth veya benzeri bir kanala yönelmesi ile çalışma havuzundan uzaklaştırılan sıcak cam kütlesi |
| 2. Gölge duvarı veya çevresi aracılığı ile alev ve ergitme havuzu üst yapısından ısı transferi | 2. Çalışma havuzu dış yüzeyinden ısı kayıpları |
| 3. Isıtma için ek olarak bağımsız çalışan bek sistemi | 3. Sıcak havayı uzaklaştırmak üzere bir tür egzost biçiminde çalışan bağımsız bir soğutma sistemi |

**Şekil 3.7** İki tipik Throat dizaynının şematik karşılaştırması

4. CAM ÜFLEME PROSESLERİ

4.1. El Üfleme

Cam, pipo olarak adlandırılan cam üfleme çubuğu içinde ağızla üflenerek şişirilir. Çeşitli aletler kullanılarak ve üfleme çubuğu döndürülerek şekillendirilir. Kullanılan arapatlar ve yardımcı aletler Şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1 Tipik el üretimi aparat ve yardımcı aletleri

Cam alma veya üfleme çubuğu(Pipo)

Bu çubuklar; camı fırından ya da potadan çıkarmak için kullanılır. Ortası delik üfleme çubuğu çukur kapmakta kullanılır. Çeşitli büyüklüklerde içi dolu demir

çubuklar, cam almak için kullanılır. Küçük olanlar, bazen *burgu çubukları* olarak adlandırılır, bunlar sıcak cama şekil verme çubuğu veya şarap bardağının ayağı ya da sürahi kulplu için cam almakta kullanılır. Daha büyük çubuklar içi dolu cam eşya yapımında cam almak için ya da pres kalıpları beslemek için kullanılır. Çubuklar genel olarak uzun ömürlü kullanım sağlayabilmeleri için paslanmaz çelikten yapılır.

Şekil verme kalıpları(Kepçeler)

Bu kalıplar çoğunlukla sık damarlı ağaçlardan yapılır ve camın temas ettiği yerde düzgün bir odun kömürü tabakası oluşturacak şekilde ağır ağır yanmalıdır. Kepçe, kullanımdan önce ve kullanım esnasında, suya daldırılır. Kepçeler aynı zamanda hamojen karbondan, pirinçten veya dkme demirden de yapılabilir. Pirinç ve döküm demir kepçelerde yağlama maddesi olarak balmumu kullanılır.

Ayak tahtaları

Bu tahtalar şarap bardakları ya da başka ayaklı mamüllerde ayaklara şekil vermekte kullanılır. Bunlar, cama yapışmayan ve yüksek derecede cilalı yüzeye olanak veren malzemelerden yapılmalıdır. Armut ve elma ağacı kullanılır, yaş olanları tecih edilir. Bir çerçeve içinde tespit edilmiş karbon plakalar da kullanılabilir.

Makaslar

Çelikten yapılır, vazo, sürahi gibi mamüllerin ağızlarını oluşturmak için camı kesmekte, ya da ayak veya kulp yapılacak küçük cam parçalarını kesmek için kullanılır.

Çap pergelleri

Çap pergelleri basit tasarımlı aletlerdir. Kesme yüksekliklerinin ya da boyum iç çaplarının ölçülmesinde kullanılır.

Düzleme plakası

Sık damarlı ağaç plakalardır, ağız ya da dipleri düzelmekte kullanılır.

Cam askı mandalları

Ağaç veya yay çeliğinden yapılabilir, uçları arbest boru ile veya benzer bir malzeme ile kaplıdır. Bitmiş mamüllerin tavlama fırınına taşınmasında kullanılır.

Maşa

Ürünü fonganın ucundan vurarak koparmakta kullanılan ucu kör bir bıçaktır.

El üfleme tekniğinde kullanılan yardımcı malzemeler yukarıda detaylandırılmıştır. Ana tema olarak fırının içerisinden yani tank veya pota fırınından pipo yardımı ile tamamen ergimiş olan sıvı cam çekimi yapılır. Üfleme yapılacak kalıp boyutuna göre alınan cam miktarı ayarlanır ve kullanılan aparatlar ile istenilen şekil ve teknik resime uygun yukarıda da belirtilen özellikteki kalıplar içerisine üfleme yapılarak şekillendirilir. (Graham 1987)

4.2. El Üfleme Grupları

El üfleme tekniğinde farklı gruplarda üretim proseleri ayrılır. Üretim içerisinde tezgah olarak adlandırılan 8-10 kişilik gruplar ile çalışmalar yapılır. Bu gruplarda üretim çeşitliliğine göre kendi aralarında 7 ayrı bölümde çalışmaktadırlar, bu bölümler;

1. Orta üfleme grubu (OÜ); oldukça büyük çaptaki mamüllerin yapımı bu tezgah gruplarında gerçekleşmektedir. Ürünle için ölçü değerleri gene olarak boy uzunluğu bakımından , 250-700mm ye kadar çap bakımından ise 50-350mm ye kadar olarak ayrılabilir. Bu tezgah gruplarının ortalama büyüklükteki bir mamül için çektikleri birim cam miktarı, 1,5 kg ile 10 kg arasında değişim göstermektedir. Orta üfleme tezgahının çalıştığı uvrular (cam çekişinin yapıldığı bölümler) genel olarak cam sıcaklığının fırın içerisinde en yüksek olan yerlerde görülmektedir. Çalışılan büyük tonajlı fırınlarda ki, orlama olarak günlük 2-3 ton cam çekişinin yapıldığı fırınlardır, ergime sıcaklığı 1650-1750 °C arasında değişmektedir. OÜ tezgahının çalışmakta olduğu uvrada sıcaklık dereceleri 1400-1500 °C arasında değişim göstermektedir. OÜ tezgah uvralarında çalışma sıcaklığı diğer çalışma uvralarına göre daha düşük tutulmalıdır. Bunun nedeni de üfleme yapılan mamüllerin ölçüleri büyük olduğu için ve kullanılan sıvı cam miktarı da buna bağlı olarak fazla olduğu için akışkan camın sıcaklığı düşük tutulmalıdır. Böylece akışkan camın hareketini kısıtlayarak hakimiyetini daha rahat sağlamış olabiliriz. Aksi takdirde yüksek sıcaklıkta çekilen sıvı cama, akışkanlığının yüksek olmasından dolayı rahat şekillendirme yapmamız mümkün olmaz. Belli bir akışkanlık azalması uvradan çekilen sıvı cama aparatlar ile ilk şekillendirme yapımı sırasında cama daha

rahat hakim olmamızı sağlar ki ilk aşamalardan geçildikten sonra kalıba üfleme işlemi daha az sıcaklıkta daha rahat işlem yapmamızı sağlar.

2. Büyük üfleme grubu (BÜ); ismine bakıldığında oldukça büyük mamulleri üfleyebilen bir gruptan bahsedildiği düşünülebilir. Fakat durum farklıdır. El imalatında büyük mamülleri üfleyen grup OÜ olarak geçmekteyken, daha küçük mamülleri üfleyen tezgah ise BÜ dir. Aslında BÜ grubu için mamül boyutunun çok da önemi yoktur. BÜ tezgahlarında yapılan genel mamüller kulplu ve ağız sıcak kesme olarak tabir ettiğimiz ürünlerdir. Bu ürünler içerisinde ; sürahiler, şarap karafları, bazı özel ağız kesimli vazolar örnek verilebilir. Ağız sıcak kesme olarak yapılan mamüllerde özel bir ağız kesim tekniği kullanılmaktadır. Bu teknikte mamül üfleme işlemi gerçekleştirildikten sonra mamülün kapel olarak adlandırılan ve fazlalık olan üst kısmı kırılarak mamülden ayrılır ve mamül ağız kısmı keskin halde kalır. Keskin ağızlı olarak kalan mamül tekrar ağız kısmının şekillendirilebilmesi için tromel olarak tabir edilen özel ısıtma bekleri ile çalışılan bir tür fırın içerisinde ağız kısmı eriyene kadar yaklaşık min. 1-2 dakika bekletildikten sonra el imalatı için kullanılan özel makas ile şekillendirilir. Ağız kısmı şekillendirilen mamül için soğutma sonu fırınlarından çıktıktan sonra herhangi bir ağız taşlama işlemi yapılmaz.
3. Fıskalı küçük üfleme grubu (FKÜ); fıskalı ismi, cam imalat mamüllerinin ilk aşamasından gelmektedir. Mamul yapımı sırasında öncelikle mamülün büyüklüğüne göre uvradan az miktarda sıvı cam alınır,soğutulur ve belli bir büyüklüğe kadar şişirildikten sonra bu baloncuğun üzerine üflenecek mamül büyüklüğüne göre maden alınır. İşte bu küçük baloncuk fıska olarak adlandırılır. Fıskalı küçük üfleme tezgah gruplarında genelde orta boy olarak adlandırılan, uzunlukları 150-250mm arasında, çapları da 50-150mm ye kadar olan mamüllerin imalatını yaparlar. Sıcaklık FKÜ tezgahının çalıştığı uvralarda OÜ tezgahlarına göre daha yüksek sıcaklıktadır. Bunun nedeni de OÜ tezgahlarının tam tersine mamüller için kullanılan cam miktarları az olduğu için sıvı cam uvradan çekilip ilk şekillendirme işlemi yapıldığı sırada havada oluşan ısı transferinden dolayı cam çabuk soğumaya başlar. Hızlı soğumanın sonucunda da mamülün kalıba üfleme sırasında şekillendirmenin istenilen şekilde olması zorlaşır. Üfleme yapan kişi içinde kalıpta mamülün hareketi zorlaşacağından

şekillendirme kabiliyeti düşer. Dolayısıyla uvra sıcaklığı yaklaşık olarak 1500-1550 °C arasında tutulmalıdır.

4. Küçük üfleme grubu (KÜ); genel olarak küçük mamüllerin yapıldığı tezgah gruplarıdır. Bu tezgahlarda bardaklar, mumluklar, küçük vazo vb tipteki görsel ürünlerin imalatları yapılır. Kullandıkları uvralarda sıcaklıklar FKÜ uvralarından daha da sıcak olmalıdır. Bunun da nedeni yukarıda açıklandığı gibi küçük mamülün çabuk soğumaya yönelik rejimidir. Uvra sıcaklığı yaklaşık olarak 1550-1650 °C arasında olmalıdır. Üretilen ürünlerin uzunlukları ; 50-150mm arasında, apları da 20-100 mm arasında olmaktadır.
5. Takma ayak grubu (TA); takma ayak grubunda yapılan mamüller ayaklı bardaklardır. Ayaklı mamüller için oluşturulan tezgahlarda 3 ayrı aşamalı grup oluşturulur. 1.grup mamülün gövdesinin uvradan alınan sıcak cam ile kalıba üfleme yapar. Oluşturulan ayaklı bardağın gövdesine ayak olarak adlandırılan kısım başka bir çalışan tarafından yine uvradan alınarak takılıp şekillendirilir ve en son aşama olarak da tabla kısmı son usta olarak alınan usta tarafından kullanılan özel tabla aparatlarıyla şekillendirilir. Böylece ayaklı bardak ürün 3 aşamada oluşturulmuş olur. TA tezgahındaki ayaklı bardak mamülleri çok farklı boyutlarda imal edilebilir. Çok küçük ölçülere sahip ayaklı bardaklar yapıldığı gibi, oldukça geniş gövdeli ve uzun ayaklı mamüllerin de yapılması olağandır. Ayaklı bardak gruplarında da uvradan alınan cam sıcaklığının oldukça yüksek olması gerekmektedir. Uzun aşamalı bir imalat sırasında camın soğuması, üründe çatlama, damar oluşumu gibi hatalara neden olacağından cam sıcaklığı çalışma süresince 1650 °C altına düşürülmemelidir. Sıcaklıktaki düşüş imalatçı tarafından oluşan hatalardan dolayı anında hissedilir ve bir tür oto kontrol ile gerekli sıcaklık ayarları yaptırılır.
6. Mekanize grubu (MEKANİZE); yarı otomatik olarak adlandırılabilen bir çalışma grubudur. Genelde tezgahı oluşturan kişi sayısı 3-4 arası sınırlandırılır. Çünkü burada fıska oluşturma veya ön şekillendirme ve üfleme işlemleri gerçekleştirilmez. Uvra sıcaklığı OÜ tezgahındaki sıcaklıklarda tutulur. Çünkü mekanize tezgahlarda da genel olarak büyük mamüllerin imalatı gerçekleştirilir. Mekanize grubu kendi içerisinde farklı tarzda üretim yapıldığı için imalat cinslerine göre şu şekilde ayarlanabilir;

- Savurma
- Çökertme
- Pres
- Şiller
- Sıvama

Bu üretim şekilleri ana işleyişi uvradan alınan sıvı camın kalıp içlerine boşaltımı ile gerçekleştirilir. Herhangi bir üfleme işlemi olmaz.

Savurma işleminde uvradan alınan sıcak cam şekillendirilecek kalıp içerisine konulur. Daha sonra camın koyulduğu kalıbın bağlı olduğu makina altındaki döndürme sistemi ile kalıp kendi etrafında 360 °C, mamülün büyüklüğüne göre belirlenmiş devirde döndürülmeye başlar. Merkezkaç kuvvetinin etkisi ile cam orta kısımdan kalıbın dış çepherine doğru hareketlenir ve kalıbı tamamen doldurduğunda makina durdurularak kalıp içerisindeki mamül özel bir vakum başlığı ile kalıp içinden alınır ve soğutma sonu furnalarına gönderilir.

Çökertme işleminde yine aynı mantıkla işlem gerçekleştirilir. Uvradan alınan sıvı cam öncelikle düz veya istenilen desendeki bir plaka üzerine konulur ve yayılması için bir tür aparatla plaka üzerine yerleştirilir. Plaka üzerine tamamen yapılan cam daha sonra özel bir çökertme kabı içerisine alınır. Çökertme kabı genellikle plakanın çapına göre ve istenilen ebatlarda içe doğru çökmüş bir kaptır. Çökertme kalıbı üzerine plaka üzerinden alınan cam, sıcaklık ve cam ağırlığının etkisi ile kalıp içerisine çöker ve çökme işlemi tamamlandıktan sonra özel bir imalat aparatı ile soğutma sonu fırına götürülür.

Pres işleminde tamamen farklı bir piston mekanizmasına sahip özel bir makina kullanılmaktadır. Uvradan alınan sıvı cam kalıplar içerisine dökülür ve piston sistemiyle, kalıp üzerinde bağlı olan mastör, kalıp içerisine girerek camın kalıp içinde yayılıp şekillenmesini sağlar. Mastörün kalıp içerisinden çıkması ile de kalıpta şekillenmiş mamül çıkartılarak soğutma sonu fırınlarına götürülür.

Şiller işlemi genelde farklı yüzey şekillerine sahip köşegenli mamüllerin üretiminde kullanılır. Sistem presteki ile aynıdır. Tüm işlem ayakları nurada da tekrarlanır. Burada olayı farklı kılan sadece kalıpların kendi özelliklerinden kaynaklıdır. Kalıplar özel imalat sonucunda oluşturulan oldukça farklı şekillere sahip ürünlerin yapılması için kullanılan özel bir döküm malzemenin elde edilmektedir.

Sivama işlemi diğer tüm mekanize işlemlerinin arasında en basit tekniğe sahip olanıdır. Genelde küçük kalıplar için kullanılan bir yöntemdir. Belirlenmiş küçük ve yatay konumda duran kalıplara, uvradan alınan sıvı cam koyulur ve bir tür düzleme küreği ile iyice kalıp içerisine camın dağılıp kalıbın şeklini alması sağlanır. Belli bir süre soğutulduktan sonra özel bir plaka üzerine kalıp ters çevrilerek ürün çıkarılır. Sonrasında soğutma sonu fırınına götürülür.

7. Kulplu bardak grubu (KB); kulplu bardak adında anlaşılacağı gibi bardağa kulp takma işleminin yapıldığı tezgah grubudur. Genelde bardak vb küçük ürünlere kulp takma işlemi gerçekleştirilir. KÜ grubundakinin dışında çalışma grubu içerisinde fazladan bir çalışan bulunur ve kulp takma işlemini gerçekleştirir.

4.3. Mekanik Üfleme

Mekanik üfleme tekniği, el üfleme tekniğinden oldukça farklı ve hızlı yürüyebilen bir sisteme sahiptir. Sürekli makinaların çalışma prensibi tamamiyle farklıdır. Toplam proses düz bir hat üzerinde gerçekleştirilir. Parizon kalıpları ve üfleme kalıpları duraklama ile çalışır. Bu kalıplar sadece açılır ve kapanır. Sürekli çalışan hat makinaları üretebildiği cam mamüller açısından çok esneklik gösteren makinalardır.

Günümüzde cam kalıpların üretiminde kullanılan en yaygın yöntemler;

- Üfleme ve üfleme prosesi
- Pres ve üfleme prosesi

Olarak ikiye ayrılabilir. Genel bir kural olarak üfleme ve üfleme prosesi dar boyunlu mamüllerin üretiminde, pres ve üfleme prosesi ise geniş ağızlı mamüllerin üretiminde uygulanır.

Her iki prosesin genel prensipleri aşağıda detaylandırılmıştır.

4.3.1. Üfleme ve üfleme prosesi

1. Cam damlası feederden yüklenir. Damla kalıbı olarak adlandırılan ilk cam şekillendirme kalıbı içesine yukarıdan tampon yarımı ile yükleme yapılır.
2. Tamponlardaki deliklerden verilen basınçlı hava, camı kalıbın ring kısmına doğru iterek şişe ağzına tam olarak yerleştirilir. Ring kalıbının merkezinde içi doğru bir mandren bulunur. Bu parça şişe ağzının kapalı kalmamasını sağlar, çapı ; şişe ağzının iç çapı ve kafanın cidar kalınlığını belirler.
3. Mandren geri çekilir ve basınçlı hava camı tampona karşı geriye doğru şişirir. Mamülün ilk şekli yani *parizon* kısmı oluşur.
4. Kalıp açılır ve parizon finisör kalıbına transfer olmak için beklemeye alınır. Transfer metodu makina tipine göre değişiklik gösterebilir. Ancak her durumda yükleme aşamasından finisör kalıbına transfer arasında bir yerde, parizon; şişe kafası yukarıda olacak şekilde 180° çevrilir.
5. önce finisör kalıbı parizonun etrafına kapanır ve parizon; finisörün tepesine oturan kafanın (ring) alt kısmı ile tutturularak finisör içinde asılı kalır. Parizon burada asılı iken, parizon yüzeyi, ana cam gövdesinden ısı transferi ile tekrar ısınır.
6. Süflaj başlığı finisörün üzerine gider, üfleme tüpü parizonun boynundan aşağıya doğru iner ve basınçlı hava ile camı, üfleme kalıbının duvarlarına doğru şişirilir.
7. Süflaj başlığı kalkar ve finisör açılır. Alıcı maşa, üfleme kalıbı dışında ve dip tablası üzerinde duran şişeyi kaldırarak dead plate(delikli plaka) üzerine bırakılır, buradan da makina konveyörüne transfer edilir. Finisörden konveyöre transfer metodu, makina tipine göre farklıdır, ancak her durumda şişelerin üzerinde yeterli miktarda ısıyı almak için bazı soğutma şekilleri uygulanır. Makinadan tavlama fırınına transfer esnasında deforme olmayacak kadar soğutulur.

4.3.2. Pres ve üfleme prosesi

Bu proste bir feeder itici ve finisör kalıbı kullanılır. Cam, makınaya aynı yöntem ile yüklenir ve itici feeder ile birlikte tampon vasıtası ile kapatılır. Ancak parizon üfleme yerine soğutmalı bir mastör vasıtası ile preslenerek şekillendirilir. Mastör, feeder itici yardımıyla ring merkezinden girer. Presleme işleminden sonra mastör geri gelir ve proses, üfleme prosesindeki gibi devam eder.

5. CAM ÜRETİMİNDE OLUŞAN HATALAR

Cam üretiminde, ürünlerde zaman zaman görülen damarlar ve taşlar cam kalitesini etkileyen iki ana problem olarak ortaya çıkmaktadır. Bazı durumlarda tüm üretimi cam kırığına yollayacak kadar ciddi bir güce sahip olabilir. Bu cam ambalaj, sanatsal, cam ev eşyası ya da düzcamlar olabilir. Cam üretiminde oluşan hatalar ve hata oluşum durumları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

5.1. Damarlar

5.2. Damarın etkileri

5.3. Damarın davranışları

5.4. Taşlar

5.5. Kimyasal inhomojenite

5.1. Damarlar

Damar terimi, kimyasal kompozisyon olarak karakterize edildiğinde camda farklı kimyasal kompozisyona sahip inhomojenite gibi camsı inklüzyon olarak tarif edilebilir. Damarların oluşmasına neden olacak bir çok sebep vardır. Bu nedenler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

5.1.1. Cam harmanı ile ilgili oluşabilecek hatalar

- Kirlenme(hammaddeleri boşaltırken ve depolarken oluşan)
- Tartım hataları
- Yetersiz karıştırma
- Harmanın segregasyonu
- Cam kompozisyonundan farklı cam kırığı kullanılması
- Hammaddede çok fazla değişkenlik

5.1.2. Cam üretim prosesi ile ilgili hatalar

- Kompozisyonda çok hızlı değişim
- Yetersiz harman şarjı ya da ergitme sonucu silika ayrılmasına sebep olmak
- Fırını fazla beslemek (fazla şarj)
- ZrO_2 ve Al_2O_3 gibi refrakter bileşenlerce zenginleşmiş hareketsiz camların üretime katılması
- Alkali buharlarının yoğunlaşması ve bunun sonucu üstyapı refrakterlerini yıpratması.

5.2. Damarın Etkileri

Camda damarların bulunması fiziksel karakteri değiştirebilir ve bazı durumlarda nihai ürünün kullanımında rahatsızlık verecek seviyede bir hata oluşturabilir. Bazı fiziksel özellikleri etkileyicidir; ısıl genleşme katsayısı, kırılma indisi, viskozite/sıcaklık eğrisi ve yoğunluğu bunları açıklayabilir.

Bu parametrelerin cam teknolojisi için önemi büyüktür; bunlardan birinin değişimi mümkün olduğunda kimyasal bir inhomojenite (damar) varlığı hatanın şekillenmesine sebep olabilir. (Jebsen 1991)

5.2.1. Isıl genleşme

Farklı ısıl genleşme katsayılarına sahip iki cam (ana cam ve yanlış harman tartımı nedeniyle oluşan cam gibi) yeterli karıştırma yapılmadan birbirleriyle temas halindeyken soğutulursa; şekillendirme prosesinde olduğu gibi, iki genleşme katsayısı arasındaki farktan dolayı kaçınılmaz bir gerilme oluşur.

Damarların oluşması, genleşme katsayısının ana cama göre yüksek olması veya düşük olmasına göre tansiyon ya da kompresyona neden olur. Mamul içinde kontrolsüz gerilmelerin olması normal kullanımda maruz kaldığı mekanik ve ısıl gerilmelerden dolayı tehlikeli bir kırılma kaynağı olabilir.

5.2.2. Kırılma indisi

Bir cam parçasında, ilk bakışta görülen farklı kırılma indisine sahip bölgeler önemli optik hatalara sebep olur, çoğu zaman basit görsel muayenelerle tespit edilebilirler. Bu hatalar bazen yiyecek endüstrisi için cam ambalajda kabul edilebilir olsa bile, parfüm şişesi, düzcam ve teknik cam gibi endüstrilerde kabul edilemez.

5.2.3. Viskozite

Farklı viskozite/sıcaklık eğrilerine sahip farklı davranışta iki camın çeşitli parçaların üretimi sırasında, sonradan gelen cam kalınlığı farkından, cam dağılımında problem yaratabilir. Çünkü, iki cam da proses sonunda farklı sıcaklıkta viskozite ve boyut kararlılığına ulaşır. Bu nedenle şekillendirmeden sonra nihai ürün kalın ve ince bölgelere sahip olabilir.

5.2.4. Yoğunluk

Camlar arasında büyük yoğunluk farkı tabakalar arasında gerilme oluşturma artışına bir kanıttır. Bu durum nihai üründe karışımın neredeyse toplamda sıfır olduğu bölgelerde görülebilir. Yüksek yoğunluğa sahip olduğu karakterize edilmiş cam, nihai ürünün dış yüzeyine doğru bulunmaktadır. Bu nedenle damarlar nadir olarak yüzeyde bulunur ve bu nedenle özellikle tehlikelidirler.

5.3. Damarların Davranışları

Bir damar problemi ortaya çıktığında acilen bir seri test yapılması zorunludur, öte yandan damar oluşumu sebebini tanımlamak, ortadan kaldırmak, herhangi bir durumda bu damarlı ürünleri ambara yollamak ya da hepsini cam kırığına dönüştürmek gerekebilir. Bunlara cevap için ölçüm sistemlerini kullanmak zorunludur.

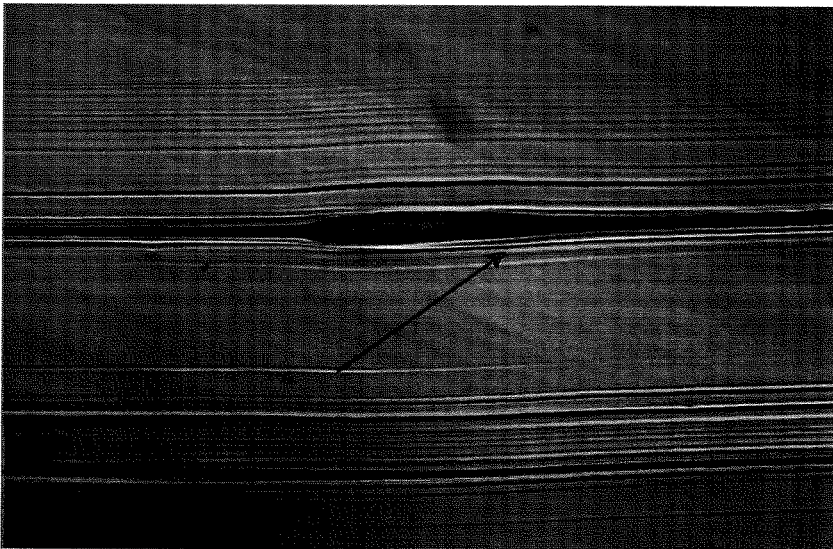
Damar ölçümünde kullanılan yöntemlerden ilki polarize ışık ve çeşitli basit aksesuarları olan bir mikroskop kurmaktır, ikincisi daha fazla gelişmiş teknikler ki bunlar pahalı cihazlar gerektirir(elektron mikroskobu, mikroanaliz cihazları). Bunlar genellikle cam fabrikalarında bulunmaz. Bu durumda özel, harici laboratuvarlar kullanmak gerekir.

Kuvars kaması ya da benzeri kullanılan polariskop ve polarizan mikroskop ile damarların tehlike derecesini tespit etmek mümkündür. Gerilmenin varlığının ve gelişiminin ölçümü ile iki tipi de (tansiyon ya da kompresyon), pozisyonu (yüzeyde ya da içeride) ve yine konsantrasyon (birkaç izole damarlar, genel damarlar) tespit edilebilir. (Wagner 1985)

Bu sonuçlar esas alınarak, mamulün satılabilir ya da satılamaz olduğuna karar verilir. Örneğin; gıda cam ambalaj sektöründe gerilme derecesi 35 N/cm^2 den az olduğunda mamulün genelde satılabileceği düşünülür, değer 56 N/cm^2 yi aştığında tüm ürün cam kırığı olarak nitelendirilir.

Ortalama değerler için ambalajın gerçek mekanik dayanımını bulmak amacıyla ek olarak testler vardır. Bu değerlendirmelerin sadece fonksiyonel yaklaşımlar olduğu açıktır ve estetik faktörlerin baskın olduğu cam ev eşyası, sanatsal ve teknik ürünlerde bu yaklaşımlar uygulanabilir değildir.

Şekil 5.1’de renksiz soda kireç cam ambalajdan dairesel kesitten numuneler üzerinde bu durum gösterilmiştir. Şiddetli bir damar gösterilmektedir. Kompresyon oluşumu yüzeye yakın çekme bölgesi oluşturmuştur.



Şekil 5.1 Kompresyon yaratan bir damar

Şekil 5.1’de görülen damar üzerinde gerilmelerin oluşu kuvars kaması kullanılarak 35 N/cm^2 çekmeden 206 N/cm^2 basmaya geçtiği ölçülmüştür.

5.4. Taşlar

“Taş” terimi cam içinde bulunan herhangi bir katı ya da sonradan oluşmuş kristalin malzemeleri tanımlar. Viskoz düğmeler de herhangi bir kristal içermese de taş olarak dikkate alınır.

Taşlardan dolayı oluşabilecek olası hatalar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir;

1. Devitrifikasyon (Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4)
2. Cam harmanı (Şekil 5.5, Şekil 5.6)
 - Hammadde Kirlenmesi
 - Silika
3. Refrakter Malzemeler (Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil 5.10)
4. Şekillendirme Prosesi Hataları

5.4.1. Devitrifikasyon taşları

Olması gerekenden farklı bir sıcaklığa ulaşıldığında ve cam bu sıcaklıkta bir süre bekletirse normal kompozisyonda ergiyik camın içinde kristallerin oluşması mümkündür.

Pratikte ergiyik cam likidus sıcaklığından daha aşağıya yavaşça inmeye devam ettiğinde yeterli zaman periyodunda kristallenme oluşabilir. Camın likidus sıcaklığı, camın kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak hesaplanabilir.

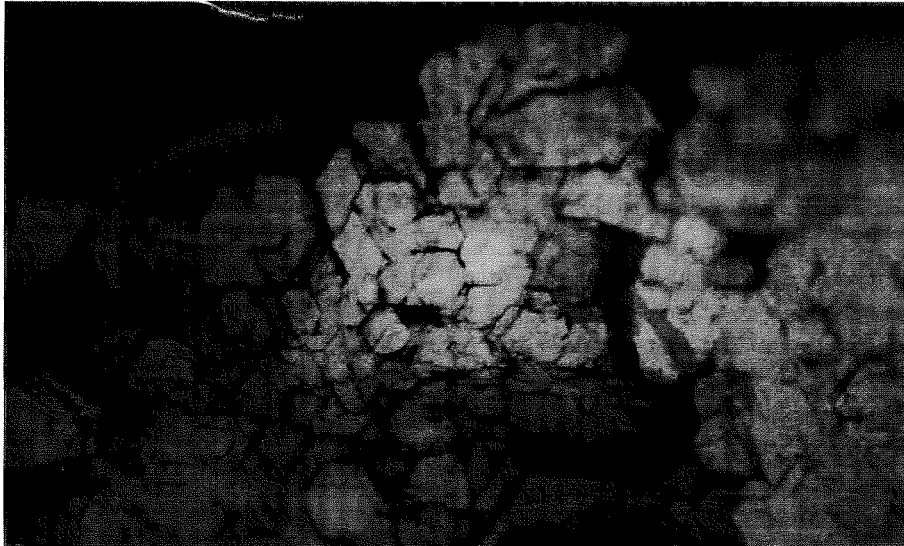
Normalde kristal türleri soda-kireç camında şu şekilde ayrılır: β -wollastonit, pseudowollastonit(α -wollastonit), devitrit ve diyopsit. β -wollastonit, soda kireç camında en yaygın kristal fazdır. Bu gerçek primer faz olarak davrandığından çok fazla değildir, neredeyse her zaman devitrit oluşur, fakat devitrit oluştuğunda sıcaklık 1060°C 'nin üzerine çıktığında bu hızlıca β -wollastonit'e dönüşür.

Pseudowollastonit, 1125°C 'nin üzerinde likidus sıcaklığı olan soda-kireç camlarında kristallenir. β -wollastonit eğer bulunduğu daha yüksek bir sıcaklığa çıkarsa Pseudowollastonit'e dönüşür. (Holloway 1973)



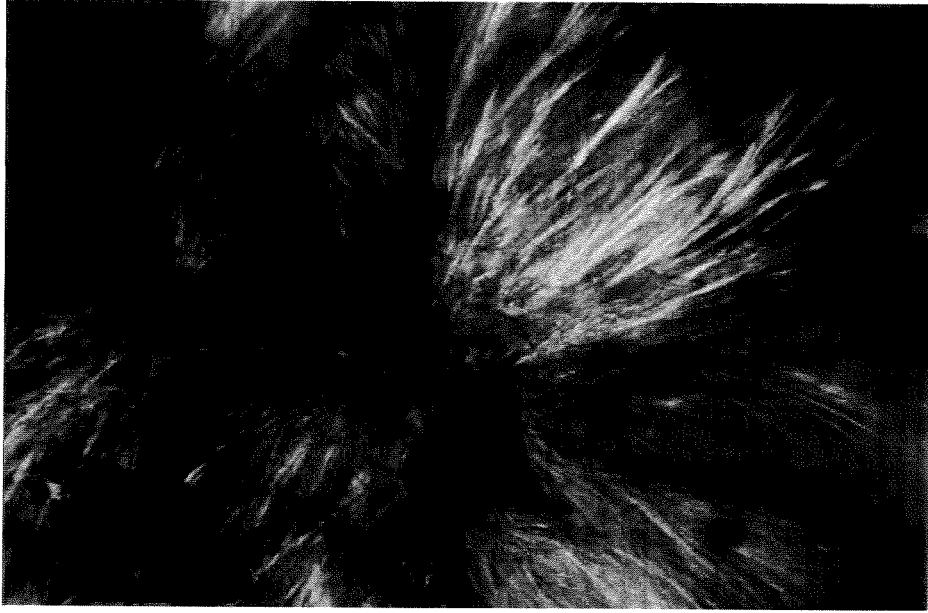
Şekil 5.2 β -wollastonit kristalleri

Şekil 5.2’de bir araya gelmiş β -wollastonit kristalleri görülmektedir. Tipik “lath” (ince uzun çubuksu) ya da şerit şeklinde görünür burada kristallerin uzunlukları normalden uzun görülse bile viskoz bölgelerin yokluğu ve alüminyum içeriklere dikkat edilmelidir.



Şekil 5.3 Pseudowollastonit kristalleri

Şekil 5.3’de pseudowollastonit kristalleri görülmektedir. Düz olarak gözlemlendiğinde bu kristalin tipik özelliği neredeyse hegzagonal düzlem şeklindedir. Burada çift kırınım düşük görülür. (Frory 1982)



Şekil 5.4 Devitrit kristalleri

Şekil 5.4'de devitrit kristalleri görülmektedir. Normalde bunlar paralel sönümlü ve pozitif uzanım işaretli kare şeklinde iğneler gösterir. (Şişecam 1998)

Ergiyik cam içinde kristal fazların ayrılmasına öncülük yapabilecek en yaygın nedenler;

- **Soğuk cam varlığı:** Eğer cam yanlışlıkla likidus sıcaklığının altına soğutulursa devitrifikasyon olayı ergitme/şartlandırma sisteminin her kısmında yeralabilir. Bunun nedenleri aşağıda sıralanmıştır;
 - i. Makaslarda fazla yağlayıcı ve su kullanmak.(Orifisin alt kısımlarının fazla soğumanın sonucunda oluşan bir durumdur.)
 - ii. Fırın iç çeperinin yanlış yalıtımı, camın dış yüzeye akmasına sebep olabilir. Bu bölgede sıcaklık likidus sıcaklığından düşüktür.
 - iii. Forehearth refrakter kanallarında ya da açık birleşme yerleri camı durgunlaştırmaya iter ve camı soğutur.
 - iv. Yetersiz ısıtma; bu durumda cam “döner tüp”ün içinde bulunur ve likidus sıcaklığının altına düşebilir.

- v. Uzun üretim duruşları sırasında fırın sıcaklıkları düşebilir veya çekiş azalabilir. Bu durumda fırın taban sıcaklıkları likidus sıcaklığının altına düşebilir.
 - vi. Yanlış taban izolasyonu, özellikle derin fırınlarda, renkli cam üretimi yapan fırınlarda, camın soğuması sonucu likidus sıcaklığının altına düşebilir.
- **Yanlış cam kompozisyonu:** Tartım hataları ya da segregasyon olayı camın kimyasal kompozisyonunun değişmesine yol açar, camın likidus sıcaklığını arttırır. Şu açıktır ki, bu sıcaklık ne kadar yüksekse, cam o kadar devitrifikasyona eğilimlidir.
 - **Hareketsiz cam:** Devitrifikasyon durgun bölgelerde ve yüzeysel bölgelerde bulunabilir. Ana sebep buharlaşma nedeniyle alkali kaybıdır, bunun sonucunda likidus sıcaklığı yükselir.
 - **Refrakter malzemenin sızması:** Hareketsiz cam ve çatlaklarda refrakter birleşme boşluklarında girip kalmış camlar refrakter malzemenin kaynağı olan malzemelerce (Al_2O_3 , ZrO_2) zenginleşebilir. Bu gerçek, kimyasal kompozisyonda değişime, sonuçta bozulma ile hem göreceli olarak likidus sıcaklığında, hem de ayrılan kristal tipinde değişime yol açar.

5.4.2. Cam harmanı

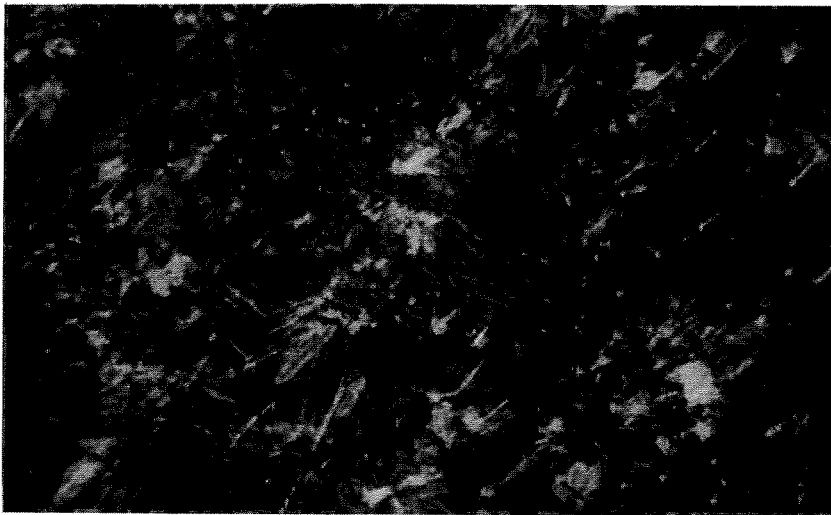
Ergimesi tamamlanmamış hammaddenin iç yapısında oluşabilen normal bileşenlerinden türeyen taşlar (kuvars kumu gibi) ve hammadde malzemelerinin doğal kirliliklerinden (mesela silimanit ailesine ait olan taşlar gibi) dolayı oluşabilen cam harmanı hataları mevcuttur. Ayrıca camın kirlenmesindeki en önemli nedenlerden biri soda-kireç camlarının üretiminde ana hammadde olan kumun yanında gelen minerallerlerdir.

Silika taşı, ergitme problemlerinden türeyen taşlarda sık karşılaşılan örneklerden biridir. Bu hataları tanımlamak kolay olmasına karşın, oluşum sebebinin birden fazla olması nedeniyle kaynağı ile kesin olarak tanımlamak mümkün olmamaktadır.

Silika üç farklı kristal formda bulunur: Kuvars, tridimit ve kristobalit. Tridimit 1470°C'nin altında silikanın kararlı halini sergiler. Bir kuvars (kum) kristali flaks (ergitici) ya da ergimiş cam içinde ısıtılırsa tridimite dönüşür. Eğer flaks yoksa kuvars önce kristobalite dönüşür, sonra eğer sıcaklık yeterli süre 1470°C da tutulursa kristobalit tridimite dönüşür. Şekil 5.5'de kuvars tanelerinin petrografi mikroskobunda incelenmesi sırasındaki görüntüsü görülebilir. Silika kumu gerçekte kuvars içerir. Isıtıldığında kuvars tridimite ya da kristobalite dönüşür. Şekil 5.6'da tridimit kristali görülebilir. Bu mineral hegzagonal düzlemler altında kristallenir, incelendiğinde lath (çubuksu) ve kısa iğneler şeklinde görülür.



Şekil 5.5 Kuvars taneleri



Şekil 5.6 Tridimit taneleri

Şekil 5.6'da harmandan gelen silikaya klasik bir örnektir. Burada kum taneleri topak oluşturup bütünüyle tridimite dönüşmüştür. Cam içindeki yuvarlak hatlı çatlaklar bu tip taşlarda yaygındır. Tridimitin kırılma indisi camdan biraz daha düşüktür.

Cam üretiminde silika çeşitli formlarda kullanılır; refrakter tuğla (ergitme havuzu kemerinde), tamir harçları, izolasyonlar ve doğal olarak cam harmanının ana bileşeni olarak. Silika partiküller (kuvars yada kum) yanlılıkla cam kırığı kirleticisi olarak da diğer malzemelerin içinde fırına girebilir. Bu farklı tiplerde SiO₂'nin ortaya çıkmasıyla ergiyik cama, alkalilere ve/veya alkali buharına farklı sıcaklık durumlarında atık orijinal malzemede değişime yol açabilir. (Rosin 2001)

Bu değişimlerin varlığı o şartların korunduğu süreye bağlıdır. Sonuç olarak, farklı kaynaklardan gelen silika malzemeler benzer silika taşlara dönüşebilir.

Mikroskop incelemeleri silika taşları 5 ayrı kategoriye ayırmamıza olanak verir:

1. Harmandan gelen (aglomerasyon) silika hataları
2. Tek kuvars partikülün oluşturduğu silika hataları
3. Refrakterlerden gelen silika hataları
4. Harçlardan gelen silika hataları
5. Devitrifikasyondan gelen silika hataları

Cam fırınında kum tanelerinin ergitilmesi karmaşık bir süreçtir. Fırında kalış süresi, sıcaklık, konveksiyon akımları, harman kompozisyonu ve camın kimyası ile uygun partikül boyutu gerektirir. Her faktör bağımsız olarak ya da bazılarıyla kombinasyon yaparak etkili olabilir. Bir kum tanesinin ayrışma hızı tamamen fırın sıcaklığına bağlıdır. Camın sıcaklığı artarsa, kum partikülleri daha hızla erir. Normalde fırın taban sıcaklığı throat'a yakın bir yerden ölçülür ve bu referans olarak kullanılır. Bu değer genelde bazı problemler ve hatalar sayesinde belirlenir, sadece o fırına özel, o hammadde kullanılarak, istenilen renkli cam üretimi için geçerlidir.

Kumun fırın içinde kaldığı zaman başka bir kritik faktörü sergiler ve fırında kalış süresi olarak tanımlanır. Fırında kalış süresinin kum taneleri ve diğer hammadde kirleticileri için en önemli tarafı "minimum fırın içinde kalış süresi" olarak ifade

edilebilir olmasıdır. Bu herhangi bir hammaddenin ergitme fırından geçip gitmesi için sergilediği minimum zaman için önemlidir. Normalde fırın çekişi arttığında bu süre azalır. Bunu sağlamak için fırın sıcaklığını arttırmak normaldir. Konveksiyon akımları ergiyik camın daha iyi karışmasını sağlamak gibi fırında kalma süresi üzerinde çok önemli rol oynar, harman fırında daha uzun kalmış olur. Bu akımlar ısıl gradyan tarafından oluşturulur; bazen elektrik ergitme ve dinlendirme aşamalarında konveksiyon akımlarını arttırmak ya da dengede tutmak için kullanılır.

Harmanın kompozisyonu, özellikle alkali içeriği kum partiküllerinin çözünme hızını etkiler. Düşük alkali içeriğine sahip camın ergimesi zordur ve bu nedenle verilen sıcaklık ayarı ile fırında kalış süresine azami dikkat edilmesi önemlidir. Camın kompozisyonu önemli olsa bile harmanın fırına şarj durumu (iyi karışmış, segrege olmamış olması v.b.) önemlidir.

Fırına giren kum tanelerinin boyutu ergimeyi etkileyen faktörlerden diğeridir. Daha düşük boyutlu kum taneleri daha hızlı ergir; eğer tane boyutu büyürse, sıcaklığı arttırmak ya da fırında kalma süresini arttırmak önemlidir.

Çoğu kez kumdaki hata, büyük kuvars tanelerinin muhtemel tek kaynağı değildir, bazen bunlar diğer hammaddelerin içinde, cam kırığı içinde bulunabilir. Silika taş kaynaklarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- a) Konveksiyon akımlarının kaybı: Bu durum kum tanelerinin normalden daha hızlı bir şekilde fırından geçmesiyle oluşur. Bazı nedenlerden dolayı akımlar bozulabilir. Fırın beklerinin yanlış ayarlanması, fırın çekişinde hızlı artış, harman yüzeyinde habbe oluşmasıyla harman kalitesinin kontrolünde problemler oluşabilmektedir.
- b) Fırın çekişine bağlı olarak yanlış ergitme sıcaklığı: Bu durum için en sık karşılaşılan sebepler olarak; fiili çekişin yanlış saptanması, sıcaklık okumada hatalar, beklenmedik çekiş değişimi, beklerde yanlış yanma, kullanılan cam kırığı yüzdesinde hatalı ölçüm yapılması olarak sıralanabilmektedir.
- c) Yanlış cam formülasyonu: Hammadde içinde yetersiz alkali, yetersiz sülfat, yanlış redox sayısı, yetersiz karıştırma ya da segregasyon problemleri oluşabilmektedir.

- d) Hammadde tartım ve boşaltımında hatalar: Bu farklılıklar kompozisyonda önemli değişikliklere neden olur ve ergime zorluklarıyla sonuçlanır.
- e) Kum taneciklerinin topaklanma oluşumu: Bu topaklar büyük boyutlu tek bir kuvars tanesi gibi davranır. Büyük boyutlu SiO₂ taşları, büyük kuvars tanelerinden ya da ufak kum tanelerinin topaklanmasından oluşmaktadır.

Cam ergitme fırınlarının çoğu max. 1,2mm boyutundaki SiO₂ tanelerini ergitmeye yatkındır, eğer taneler bu boyutun üzerinde ise taş problemi artabilmektedir.

Bu partiküller her türlü hammaddenin içinde olabilir, en fazla kum ve cam kırığında risk vardır, ardından dolomit ve kalker hammaddedeki hata oranını yükseltir. Cam kırığında bazı tipik silika kaynakları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir;

- Cam kırığı stok sahasının yüzeyinde bulunan harç, sıva v.b. işletmede cam kırığı kovaları ya da cam kırığı oluşturma prosesi özelliklerinden dolayı kirli cam ile temzi hammaddenin karışması szö konusu olabilmektedir. Genelde bu ürünler kuvarsit ve silis bakımından zengin çakıl taşı içerir. Cam kırığı alınırken makinalar stok sahasının yüzeyinden parça kopartırsa bunlar cam kırığını kirletir.
- İç cam kırığının toz toprak ile kirlenmesi mümkündür. Bu malzemeler kuvars ya da kum taneleri içerebilir. Cam kırığını kaplanmamış alanlarda stoklamak en yaygın kirlenme sebebidir.
- Taşıma sırasında cam kırığı kirlenmesi (taşıyıcıda kuvars ya da çakıl olması)mümkündür.

Kumun alındığı işletmede de kumda kirlenmeler oluşabilmektedir. Bunun nedenlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Kum işleme sırasında uygun tane boyutu kontrol eksikliği
- Eski ve bozuk elek kullanımı
- Taşıma sırasında kirlenme
- Eleklerin aşırı yüklenmesi ve fazla yüklenen malzemenin taşması

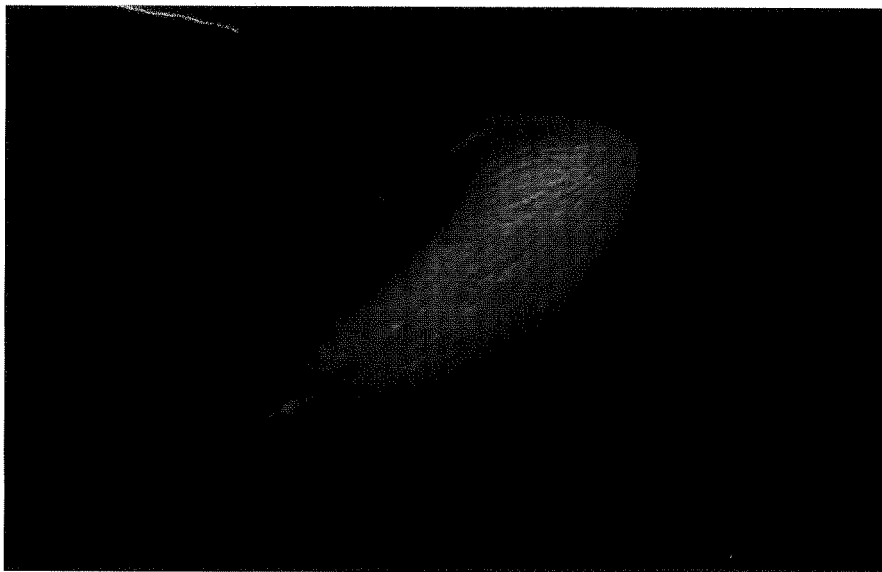
- Malzeme gönderme sırasında oluşan hatalar
- Ölçülendirilenin altında ya da kötü kurulmuş elekler büyük tanelerin geçmesini mümkün kılar.

Problemin diğer hammaddelerden kaynaklandığı durumlarda kirlenmeler oluşabilmektedir. Bunun nedenleri de aşağıda sıralanmıştır.

- Silika partikülleri ve çakıl taşlarının mineral içeriklerinin istenen değerlerin üzerinde olması ve hammaddelerin yüksek mineralli ürünlerle oluşturulmuş olması.
- Maden ocağından minerali çıkartırken oluşan hatalar, sınırlı olsa bile kuvars içeren alanlara yakınlık, hammaddenin kirlenmesine yol açabilir.
- Taşıma sırasında oluşan kirlenmeler.

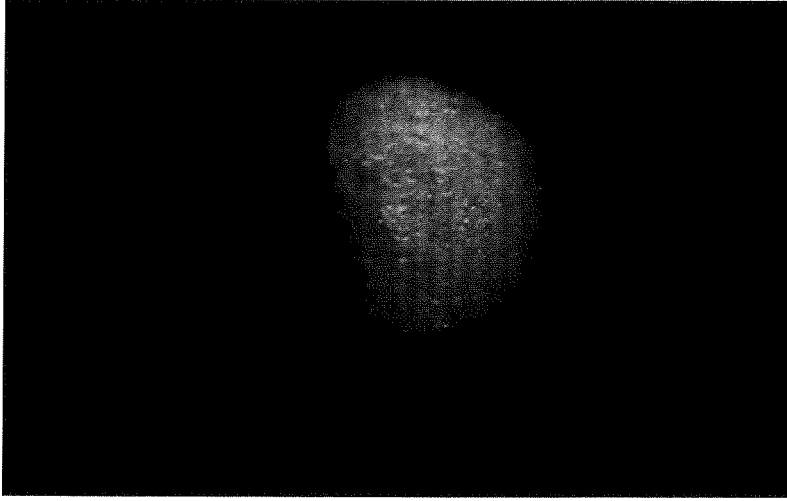
5.4.3. Refrakter Malzemeler

Refrakter malzeler, fırın içerisinde bulunan özel tuğlalardan örülmüş iç çeper için kullanılan genel bir tanımlamadır. Bu malzemelerin sıcaklık dayanımları oldukça yüksektir. Fakat kullanım süresine bağlı olarak aşınmaya başladıklarında fırın içerisinde akıntılara sebep olurlar. Bu durumda sıvı camın kirlenmesine ve mamullerde taş hatasının ortaya çıkmasına neden olabilmektedir.



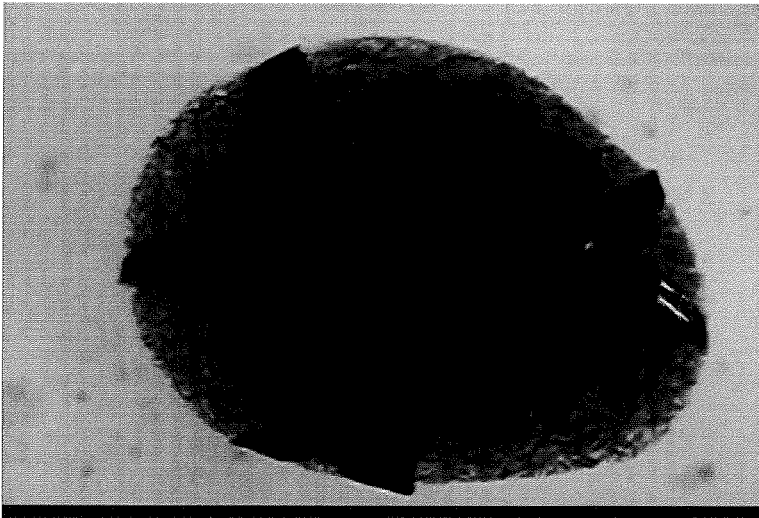
Şekil 5.7 AZS taşı

Şekil 5.7’de AZS taşına bir örnek görülmektedir. AZS özel bir tuğla çeşitidir. Özellikle yüksek sıcaklık ve dayanım gerektiren yerlerin inşasında kullanılır. Tüm tank fırınlarının iç çepherleri, AZS tuğlaları ile inşa edilir. Kullanım yerlerine göre 4-6 yıl arasında dayanım ömürleri olan AZS tuğlaları ömürlerini tamamlamaya başladıklarında dökülmelere sebep olurlar. Bu dökülmeler sonucunda da Şekil 5.7’de görüldüğü gibi maden veya mamul içerisinde hata oluşumuna neden olurlar.



Şekil 5.8 Al_2O_3 (yüksek alüminalı) Refrakter taşı

Şekil 5.8’de görülen refrakter taşı hatasıdır. Refrakterler fırın içerisinde yanma kanallarının yanlarına yerleştirilen sıcak koşullarda kullanılan bir tür izolasyon malzemesidir. Yine tuğla şeklinde büyük parçalardan oluşmaktadır. Yıpranma süresi sonucunda da AZS gibi dökülmeler meydana gelir. Bu durumda sıvı camda hata oluşumuna sebep olur.



Şekil 5.9 Silika kemer damlaması

Şekil 5.9’da fırınların kemer olarak adlandırılan uvra ağızlarının üst kısımlarında bulunan silika tuğlalarındaki aşınmadan dolayı oluşan hata örneği görülmektedir. Silikadan oluşan dökülmeler cam içerisinde hata oluşumuna sebep olmaktadır.



Şekil 5.10 Silika kemer refrakteri akması

Şekil 5.10’da kemer hattındaki refrakter tuğlalardan akma sonucu oluşan hataya bir örnek görülmektedir. Sıcaklığın etkisi ile refrakter malzeme üzerinde oluşan akma sıvı cama ve dolaylı olarak da cam üründe hataya meydan verir.

5.4.4. Şekillendirme prosesi hataları

Üretim sırasında, üreticinin fırından cam alması ve şekillendirmesi sırasında oluşan hataları içermektedir. Bu tip hatalar camın kimyasal yapısında hiçbir problem olmamasına rağmen üreticinin camı şekillendirirken yapmış olduğu anlık yanlışlıklardan kaynaklanan hatalar olarak da değerlendirilebilir. Bu hataları aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz;

1. Fıska
2. Kayıklık hataları
3. Ürün formunda bozukluk
4. Renkte açıklık
5. Kalıp izi, kalıp çarpması

Yukarıda da belirtildiği gibi bazı durumlarda oluşan üretim kaynaklı hatalar özellikle el imalatı yapmakta olan işletmeler için önemli kayıplar oluşturabilir. Devamlı kontrollü olarak çalışma sistemi yaratılmadığı takdirde yapılan hatanın fark edilmemesi durumunda önemli üretim kayıpları verilmektedir. Üretim kaynaklı hatalar içerisinde bulunan fiska hatası; camın ilk alınan parçasında oluşması durumunda tüm üründe daha büyük bir habbecik şeklinde kendisini gösterir. Mamulün büyüklüğüne oranlanarak büyüklük kontrolü yapılan fiska hataları standartlar içerisine girmesi koşulu ile hatasız olarak sayılabilir. Mamulün şekillendirilmesi sırasında alınan ilk cam parçasında pipo ile alımdan dolayı dikkatsiz davranış neticesinde oluşur. Cam içerisinde oluşan küçük bir hava kapanımı daha sonrasında da mamulün boyutlandırılması sırasında gözle görülür bir büyüklüğe ulaşır ve mamulün ikinci kalite olarak ayrılmasına neden olur.

Kayıklık hataları genellikle kalın dipli mamullerin diplerinde görülmektedir. Aynı şekilde belli standartlar içerisinde olmaması durumunda gözle görülür fazla kayıklıklar hatalı olarak ayrılır.

Ürün formunda bozukluk, genellikle üreticinin camı olması gerekenden daha sıcak şekilde kullanmasından kaynaklanır. Mamulün ilk şeklinin el aparatları ile verilmesinden sonra kalıba girme anında çok sıcak olması kalıpta camın akışkanlığı ve ağırlığı ile oluşacak formda eğrilmeler, incelmeler gibi form bozukluklarının oluşmasına sebep olmaktadır.

Renkte açıklık, genellikle renkli olarak çalışan mamullerde karşılaşılan bir hata türüdür. Üretici tarafından ilk olarak alınana renkli cam parçasının mamulün boyutlarına göre alınması gerekirken az veya çok alınması, mamulün açık veya koyu olmasına neden olmaktadır.

Kalıp izi veya kalıp çarpması olarak nitelendirilen mamuller, genellikle kalıp ve çalışan kaynaklı hatalardır. Üretim sırasında kullanılan döküm veya çelik kalıpların yeterli miktarda ısıtılmaması dış yüzeyde kalıba bağlı izlerin oluşmasına sebep olmaktadır.

5.5. Kimyasal İnhomojenite

Camın belli bölgelerinde farklı kompozisyonlardaki ince bir cam çizgisi ya da çizgileridir. Şiddetli veya keskin damar, gözle görülebilir. Renksiz bir camdaki bu

görünüm, suya gliserin ilave ettiğinizdeki görünüme benzer. Böyle bir görünümde olan tabakalarla camın geri kalan ışık kırıcılığında farklılıklar meydana getirir. Isıl genişlemedeki farklılıklar, cam kabın içinde çeşitli derecelerde gerilme meydana getirir.

Kimyasal inhomojenite, çoğunlukla, harman dairesindeki hatalı tartımlardan, yetersiz karıştırmadan, harmanın ayrışmasından yani segregasyonundan, harman örtüsünün yetersiz kontrolünden, yetersiz ergime ve afinasyondan, cam çekişindeki ani artışlardan ve çözünen refrakterlerden kaynaklanır.(Peters 1993)

6. CAMDA OLUŞAN GERİLMEYE BAĞLI TAVLAMA İŞLEMİ

Tavlama işlemi, cam içerisinde oluşan iç gerilme hatalarının giderilmesi için kullanılan ve günümüzde en yaygın cam hatası olarak da bilinen gerilme durumunun giderilmesini sağlayan bir yöntemdir. Tavlama işlemi bir tür rejim programı takip edilerek devam ettirilebilir. Tavlama rejimi ile ilgili cam üzerinde bir çok farklı uygulama vardır. Bu yöntemler içerisinde en çok tercih edilenler Shand ve Adams-Williamson uygulamalarıdır.(Rawson 1980) Tavlama teorisi 4 farklı ana ısıl işlem bölgesinden oluşur. En son olarak da 5. bir bölüm eklenebilir. Bu bölüm ise 'ortalama soğutma' olarak adlandırılır. Her bölgenin tanım ve kontrolü, bu bölgeler için geliştirilen parametrelerle sağlanmaktadır. Bu parametrelerde deneysel çalışmalarda hesaplama yöntemleri olarak verilecektir.

Cam, sıcak ve akışkan olduğunda şekillendirilir, ancak soğuk ve sert olduğunda kullanılır. Camın, şekillendirme sıcaklığından oda sıcaklığına soğuması gerekmektedir. Cam mamullerin çoğu, önceden özel önlemler alınmaksızın soğumaya bırakılırsa, hemen veya daha sonra kesilme ya da dekorlama gibi işlemler sırasında hatta kullanımı sırasında kırılır. Kırılmanın nedeni, camın içinde bulunan ve kırılmaya neden olan gerilmelerdir. Camın kullanım süresini uzatmak için, bu gerilmelerin giderilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı şekillendirme sonrasında camı tavlama işlemine tabi tutarız.

Tavlama, kontrollü bir soğutma prosesidir ve aynı zamanda ısıtmayı da gerektirir. Örneğin; çelik gibi metaller, şekillendirildikten sonra çeşitli nedenlerle tavllanır. Cam mamuller ise gerilmelerin azaltılması için tavllanır.

6.1. Cam Bileşiminin Gerilmeye Etkisi

Oksit camlarının termal genişmesi, $TiO_2 - SiO_2$ camları için yaklaşık sıfır değerinden $200 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ C^{-1}$ değerine kadar değişir. Bu tez çalışmasında kullanılan silika camında genişleme $5,5 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ C^{-1}$ dir. Silikaya diğer oksitlerin ilavesi ile elde edilen silikat camlarının termal genişmesi $125 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ C^{-1}$ 'e kadar arttırılabilir.

Genellikle belli bir sıcaklık aralığına, örneğin $0-300 \text{ } ^\circ C$ tekabül eden ortalama bir genişleme katsayısı verilir. Bu aralık da toplam genişleme, pratik olarak sıcaklıkla lineer olarak artar. Gerilme genişleme katsayısı, $300^\circ C$ altındaki değer iki üç katı olabilir.

Genel olarak genleşme katsayısının dönüşüm sıcaklığı ile ters orantılı olduğu söylenebilir. Çeşitli camların genleşme katsayıları ve dönüşüm sıcaklıkları Tablo 6.1’de gösterilmiştir. (Kocabağ 2002)

Tablo 6.1. Çeşitli camların genleşme katsayıları ve dönüşüm sıcaklıkları

| Camın tipi | Genleşme Katsayısı °C ⁻¹ | Dönüşüm Sıcaklığı °C |
|---------------------|-------------------------------------|----------------------|
| 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 |

6.2. Termal Gerilme

Cam, gerek üretim, gerekse kullanım aşamasında ani soğumaya veya ısınmaya maruz kalır. Bu, malzeme içinde sıcaklık değişimlerine ve sonuç olarak da gerilme oluşmasına neden olur. Özellikle sıcaklık değişimlerinin cam yüzeyinde çekme gerilmesine neden olması durumunda ısıl gerilme camın çatlamasına neden olabilir. Bu nedenle oluşabilecek gerilmenin hesaplanabilmesi ve kontrol kriterlerinin saptanması gerekmektedir. Örneğin; T_i sıcaklığında eşel sıcaklığa ulaşmış bir cam levhanın her iki yüzeyinden hızla T_o sıcaklığına soğutulduğunu düşünürsek, yüzey hızla soğurken iç kısım hala sıcak kalacağı için yüzeylerde, yüzeye paralel çekme gerilmesi oluşacaktır. Bu gerilme,

$$\sigma = E \alpha (T_i - T_o) / (1 - \nu) \quad [6.1]$$

şeklinde ifade edilebilir. [6.1]’deki eşitlikte E, elastite modülü, α , termal genleşme katsayısı ve ν , poisson oranıdır. Silika camı için bu fiziksel özelliklerinin değeri; $E = 0,6 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$, $\alpha = 5,5 \times 10^{-7} \text{ °C}^{-1}$ ve $\nu = 0,23$ dür. Yüzey sıcaklığında 100 °C’lik

ani bir düşüş; yüzeyde yaklaşık 429 N/m^2 'lik bir çekme gerilmesine neden olur, bu da camın iç gerilmeden dolayı çatlaması için yeterli olur.

Bir elastik katının içindeki sıcaklık değişimi bilindiği takdirde, iç yapıda oluşacak gerilme dağılımını hesaplamak mümkündür. Bir cam levhanın, eş bir başlangıç sıcaklığından düzenli olarak S hızı ile soğutulduğunu ve soğumanın her iki yüzeyde de simetrik gerçekleştiği varsayılırsa, soğumanın herhangi bir anındaki sıcaklık dağılımı denklemleri [6.2], [6.3]'de verilmiştir. Bu durumda merkez düzlemdeki gerilme($X=0$),

$$\sigma_m = - E \alpha S.L^2 / 24 (1-\nu) a \quad [6.2]$$

ve levhanın iki yüzeyindeki gerilme ($X= \pm L/2$);

$$\sigma_s = + E \alpha S.L^2 / 12 (1-\nu) a \quad [6.3]$$

olarak hesaplanabilir. [6.2] ve [6.3]'de, a camın termal dağılımı, L ise cam levhanın kalınlığıdır. Gerilme; yüzeyde pozitif çekme, merkezde ise negatif baskı, şeklindedir. Genel olarak ısıtma sırasında baskı gerilmesi objenin en sıcak noktasında, çekme gerilmesi ise en soğuk noktasında oluşur, soğutma sırasında ise; kalıcı çekme gerilmesi en yüksek sıcaklıkta tutulan noktalarda baskı gerilmesi de en hızlı soğuyan bölgelerde ortaya çıkar. (Kocabağ 2002)

6.3. Camın Tavllanması

Dönüşüm bölgesinin üstündeki bir sıcaklıktan soğutulan bir camda gerilme oluşur. Eğer kontrol edilmez ise bu gerilme cam eşyanın çatlayıp parçalanmasına neden olabilir. Onu için üretim sonrası soğutmanın kontrollü yapılması ve camın tavlama işleminden geçirilmesi önemlidir.

Sıcaklıktaki değişime bağlı olarak camda iki tip gerilme oluşur. Gerilmee neden olan sıcaklık farklılığı sürdüğü sürece devam eden ve düşük sıcaklıklarda bile, bu fark ortadan kalktığı zaman kaybolan gerilme geçici gerilme olarak adlandırılır.

Sıcaklık farkının yok olmasına rağmen varlığını sürdüren gerilme ise, kalıcı gerilme olarak ifade edilir. Kalıcı gerilme, genellikle dış yüzeyde baskı, iç yüzeyde ise çekme şeklinde ortaya çıkar. Soğuma sırasında viskoz akmanın mümkün olduğu, soğumanın ilk aşamasındaki sıcaklıklarda oluşan gerilme, geçici nitelikte olup tersinir olarak

adlandırılır. Genel olarak bir cam blok içinde kalan gerilme, viskoz akma ile rahatlayan bu tersinir gerilme eşit fakat ters işaretlidir.

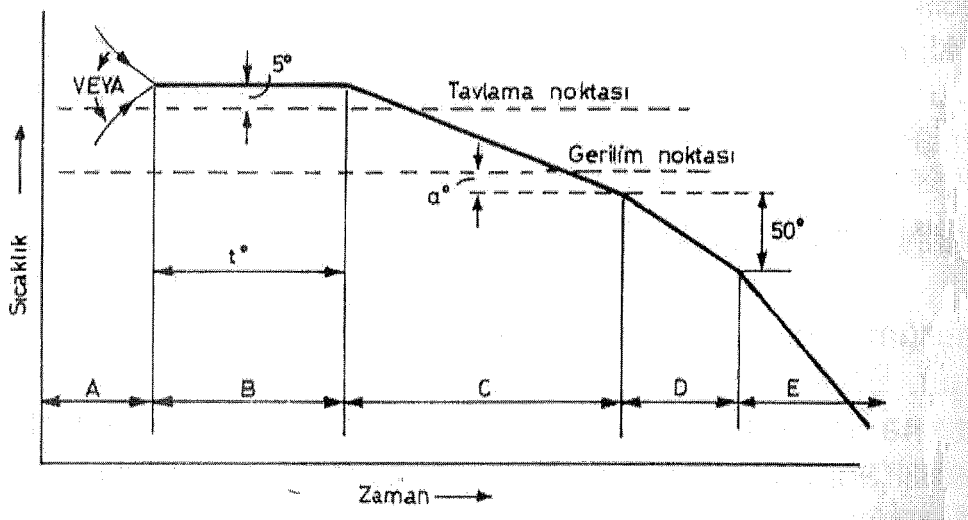
Kalıcı gerilme,

1. Soğumanın hızı ile artar.
2. Aynı soğutma hızı için, başlangıç sıcaklığı ile referans sıcaklığı arasındaki fark arttıkça artar.
3. Aynı soğuma hızı için kalınlığın artması ile, kalınlığın karesini aşan bir oranda artar.

Tavlama işleminde, cam tavlama sıcaklığına ısıtıldıktan sonra Şekil 6.2'dekine benzer bir sıcaklık-zaman planına uygun olarak soğutulur. Tavlama bölgesinde sabit sıcaklıkta camın viskozitesi zamanla yükselir ve gerilmenin rahatlama hızı, yaklaşık gerilmenin karesi ile artar. Gerilmedeki azalma;

$$1/\sigma - 1/\sigma_0 = A_t \quad [6.4]$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada t zaman, σ_0 başlangıç gerilmesi, σ , t zamanındaki gerilme ve A tavlama sabitidir.



Şekil 6.1 Camın tavlama planı

Tavlama planı; camın bileşimine, şekline, boyutlarına ve kullanım amacına bağlı olarak değişir. Cam önce bünyesindeki gerilmelerin çok kısa bir sürede giderileceği bir sıcaklığa ısıtılır ve eşel sıcaklığa ulaşana kadar bu sıcaklıkta tutulur (B bölgesi). Bu sıcaklığın, camın kendi ağırlığı altında şeklini koruyabileceği bir seviyede olması gerekir. Daha sonra cam, kontrollü olarak soğutulur. Soğumaya bağlı olarak viskozite artar ve cam donma noktasının altında rijid, elastik bir katı halini alır. Bu noktanın altında, soğuma her tarafta aynı hızda olduğu sürece daha fazla gerilme oluşmaz. Oluşacak gerilme sistemlerinin büyük kısmı cam oda sıcaklığına soğuyup eşel sıcaklığa geldiği zaman ortaya çıkar. Yüzeyde soğuma hızı merkeze göre daha az olduğu için, yüzeyde baskı merkezde ise çekme gerilmesi oluşur.

Tavlama sıcaklığının üstündeki sıcaklıklarda camda herhangi bir gerilme oluşmaz, viskoz akma ile yok olur. Soğutmanın, viskozitenin yeteri kadar yüksek olduğu bir noktadan başlaması durumunda ise, gerilme tamamen giderilemeyebilir. Bu durumda yüzeyde düşük çekme gerilmesine karşılık merkezde bunu dengeleyecek baskı gerilmesi ortaya çıkabilir. (Persson 1983)

Sıcaklık–zaman planında camın sıcaklığı bütün kesit boyunca gerilme noktasının altına düştüğü zaman, soğutma hızı, işlem tamamlandıktan sonra cam içinde mevcut gerilme seviyesini etkilemeden artırılabilir. Elastik katılarda sıcaklık farklılığından kaynaklanan bir gerilme, söz konusu sıcaklık farkı ortadan kalktığı zaman yok olur. Kalıcı gerilme sadece tavlama bölgesindeki soğutma hızlarınınca belirlenir.

6.4. Camda Gerilmenin Ölçülmesi

Camda mevcut gerilmenin ölçülmesi ve tavlama işleminin yeterli olup olmadığının tesbiti oldukça kolaydır. Evrensel olarak kullanılan ölçüm metodu, gerilmenin cam içinden geçen polarize ışığın hızı üzerindeki etkisine yani fotoelastite olayına dayanır.

Düzlemsel olarak polarize olmuş bir ışık dalgasının, gerilme altındaki bir cam içindeki ilerleme hızı, gerilmenin yönüne göre, ışığın polarize olma yönüne bağlıdır. Genel olarak herhangi bir düzlemde polarize olmuş bir ışık dalgası, cama girdiği zaman biri gerilme yönünde diğeri de ona dik istikamette, düzlemsel olarak polarize olmuş iki bileşene ayrılır. Bileşenlerin cam içindeki hızları farklıdır. Bu nedenle camdan çıktıkları zaman aralarında bir faz farkı oluşur. İki dalga arasında, ışık şiddetinde değişime neden olacak veya beyaz ışık kullanılmış ise renk oluşturarak fark ölçülebilir. Bu, cam içindeki

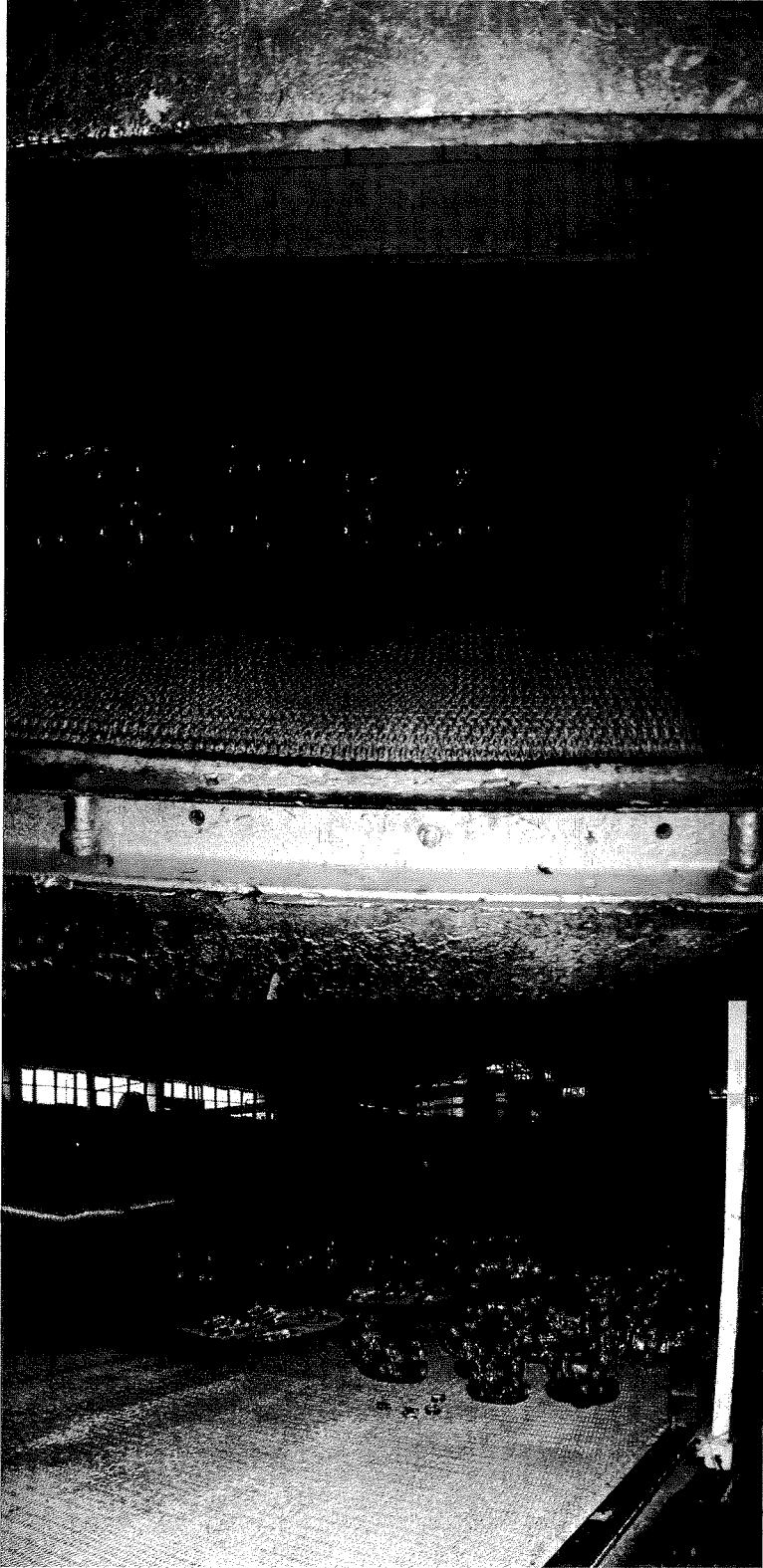
gerilmenin seviyesini gösterir, çünkü faz farkı bunu doğuran gerilmeyle orantılıdır. (La Couse 1972)

7. MATERYAL VE METOT

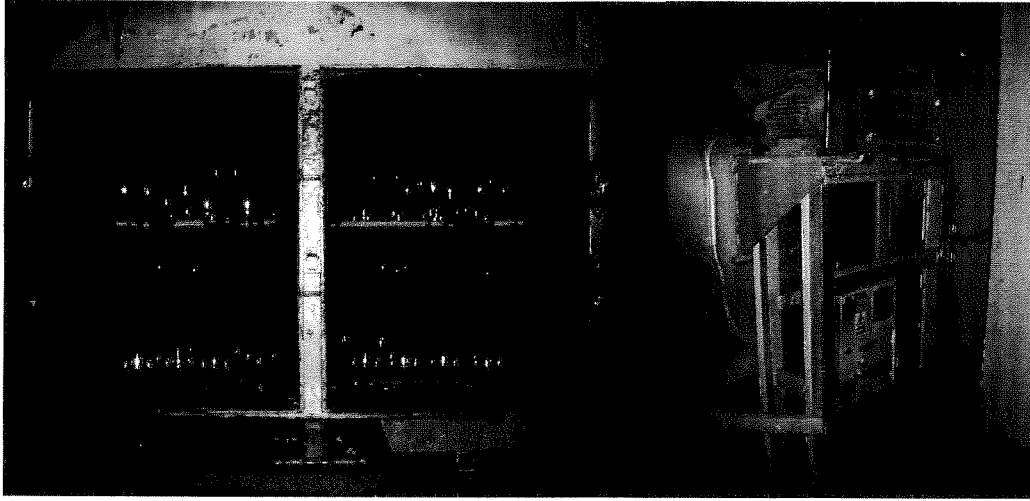
7.1. DeneY Düzeneği

Yapılmış olan deneylerde Şişecam grubuna ait Denizli Cam Sanayi ve Tic.A.Ş’de üretilmiş olan ürünler kullanılmıştır. Üretimi yaptırılan ürünler yine işletme içerisindeki mevcut iki çeşit tavlama fırını içerisinde farklı koşullarda tavlama işlemine tabi tutulmuştur. Tavlama işlemleri sonucunda mevcut sonuçların irdelenmesi için iç gerilme gösterimi ve ölçümü yapan polariskop adı verilen özel uv ışın kontrol cihazı kullanılmıştır. Şekil 7.1’de ilk tavlama fırını olan ve ‘Soğutma Sonu Fırını’ olarak adlandırılan 10 metre uzunluğundaki fırın görülmektedir. Soğutma sonu fırınları mamul üretiminin hemen ardından iç gerilme oluşumunu engellemek için, mamule uygun sıcaklık düzeneğinin sağlandığı fırınlardır. Üretimi biten mamul için sıcaklık iç gerilmenin oluşmaması için çok önemlidir. Mamulün ani soğumadan korunması gerekmektedir. Aksi takdirde oluşacak iç gerilme, mamulün bir süre sonra çatlamasına sebep olur. Bunun için de üretimi biten mamul için hemen arkasından yavaş olarak ürün cidar kalınlığına göre 5 ile 8 saat arasında süren bir periyotta mamul soğutma işlemi tamamlanır. Soğutma sonu fırınları 4 farklı ‘zone’ olarak adlandırılan bölgelerden oluşmaktadır. Fırın içerisinde mamulün ilk olarak koyulduğunda fırın başlangıç sıcaklığı 500 °C’dir. Fırının diğer ucuna konveyör bant üzerinde gitmesi sırasında mamulün ve fırının sıcaklığı yavaş bir hızda düşer ve fırının diğer ucundan çıkan mamul 25 °C yani oda sıcaklığına ulaşmış durumdadır.

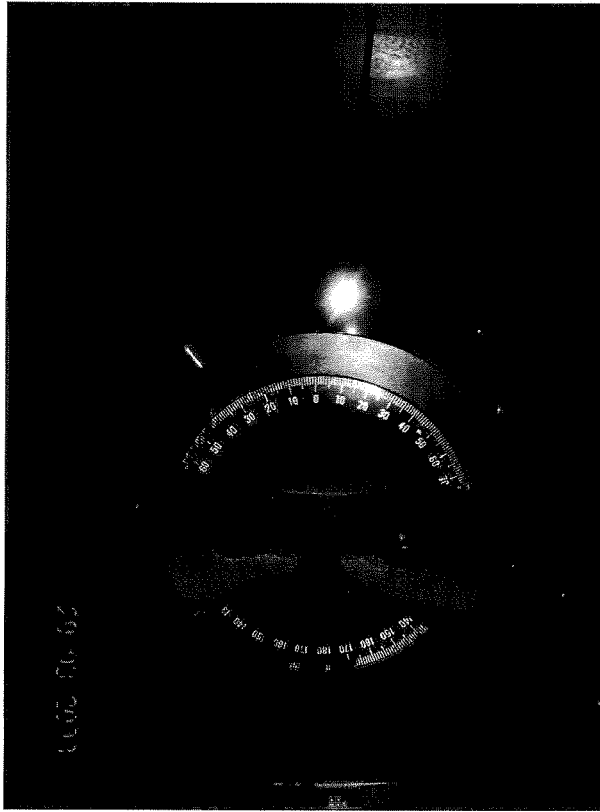
Şekil 7.2’de ikinci tavlama fırını olan ve ‘Karkez’ fırını olarak adlandırılan fırın görülmektedir. Karkez fırınları genellikle soğutma sonu fırını içerisinde iç gerilmesi giderilememiş kalın cidarlı mamuller için tekrar tavlama işlemi yapılan bir fırın türüdür. Burada da farklı sıcaklık ve zamanlama ayarları yine mamul boyutlarına göre yapılabilir. Polariskop altında incelemesi yapılan mamul için gerilme değerlerine göre fırın sıcaklığı ayarlanır ve ortalama gerilme giderme süresi belirlenir. Bu süre ve sıcaklıkta gerilme giderme işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 7.1 Soğuma sonu fırını



Şekil 7.2 Karkez fırını



Şekil 7.3 Polariskop cihazı

Şekil 7.3’de yapılan deneylerin ölçüm cihazı olan polariskop görülmektedir. Polariskop cihazı üzerinde kullanım sırasında okunan derece ile mamullerin gerilme değerleri tespit edilir.

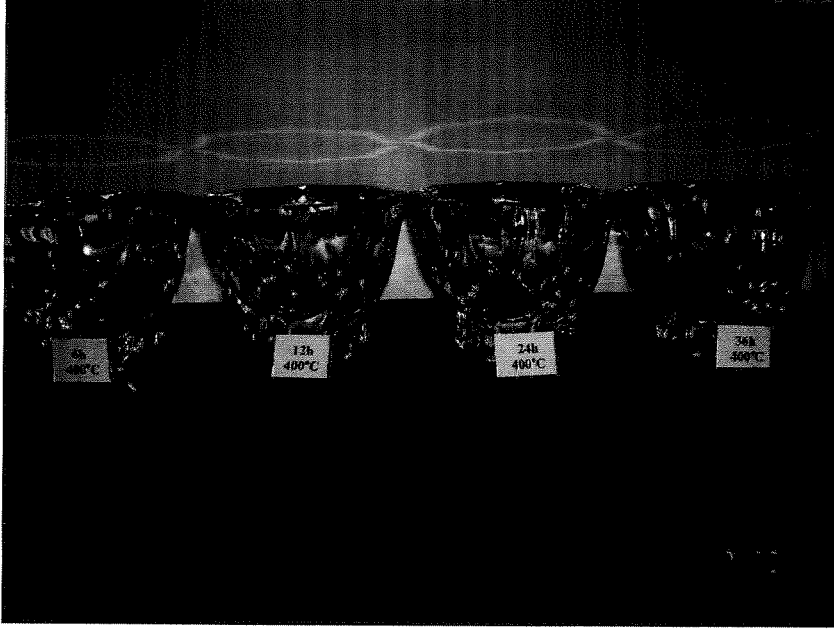
7.2. Deney İçeriği

Deneyler 4 farklı şekilde yapılmıştır. Deneyler için mamul seçimi yapılmıştır. Üretim kademelerine etki eden faktörler göz önünde bulundurularak fırın sıcaklığının iç gerilmeye sahip mamuller üzerinde oluşturacağı değişim irdelenmiştir. Her deney 5 tekrar yapılarak elde edilen ortalama iç gerilme değerlerine bağlı olarak incelenmiştir. Öncelikle birinci grup için seçilen cidar kalınlığı 10 mm olan mamuller 6-12-24-36 saatlik dilimler altında 400 °C sıcaklıkta karkez fırınında bekletilerek tavlama işlemleri yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Toplamda 20 adet mamulden, 5'er adetlik oluşturulan gruplara 6-12-24-36 saatlik periyotlarda deney tekrarları yapılmıştır. Burada amaçlanan bu cidar kalınlığına sahip bir mamul için optimum tavlama süresinin bulunmasıdır. Yapılmış olan deneylerle elde edilen optimum tavlama süresinden sonra aynı mamüllerden seçilen 20 adet içinde optimum tavlama süresi olarak tespit edilen 24h'lik tavlama süresinde tavlama sıcaklığının tespiti için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Farklı 4 sıcaklıkta; 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C 'de iç gerilme değişimleri incelenmiştir. Her sıcaklık için 5'er adet mamülden tekrarlanan deneyler sonucu elde edilen ortalama sonuçlarla optimum tavlama sıcaklığı tespiti yapılmıştır. İkinci grup deney düzeneğinde yine birinci deney düzeneğinde kullanmış olduğumuz mamüller ile aynı fiziksel ve kimyasal yapıya sahip deney numuneleri oluşturulmuştur. 20 adet aynı kalite ve aynı üretim ortamına sahip cidar kalınlıkları 2mm, dip kalınlıkları 30mm olan mamuller seçilmiş, optimum tavlama sıcaklığında ve optimum tavlama süresinde iç gerilimdeki değişimleri incelenerek bir önceki deneyde erişilen sonuçların doğruluğu irdelenmiştir. Üçüncü grup deneyde ise aynı cidar kalınlığına sahip fakat farklı dip kalınlıklarındaki iki mamul için soğutma sonu fırını içerisinde 6 saatlik periyotta yavaş soğutma işlemi uygulanmıştır. Kullanılan numuneler 5mm cidar kalınlığına sahip biri 25mm diğeri 40mm dip kalınlığına sahip iki mamuldür. Deneyde beş tekrar sonrası elde edilen iç gerilme değerlerinin ortalamaları alınarak sonuca ulaşılmıştır. Dördüncü grup deneyde üretim sonrası direkt olarak kullanılan soğutma sonu fırınında 15 adet mamul için farklı sıcaklıklarda soğutma işlemine tabi tutularak 3 ayrı durum incelenmiştir. Burada kullanılan numuneler 5 adet sade, 5 adet mavi ve 5 adet pembe renkte 15 adet aynı formda, farklı renkte numunelerdir. Numuneler soğutma sonu fırınları içerisinde 500 °C sıcaklıklarda koyulmuş ve hepsi 6 saatlik periyotlarda oda sıcaklığına soğuyacak şekilde tavlama işlemine tabi tutulduktan sonra gerilme durumları incelenmiştir. Gerilme durumlarına göre belirlenmiş optimum süre ve sıcaklıkta tekrar tavlama işlemine tabi tutulmuşlardır. Burada kullanılan mamullerde amaçlanan sade ve farklı

renklerdeki mamullerin aynı koşullarda iç yapılarında oluşacak gerilme in değişimini incelemek olmuştur.

7.3. Deney Numuneleri

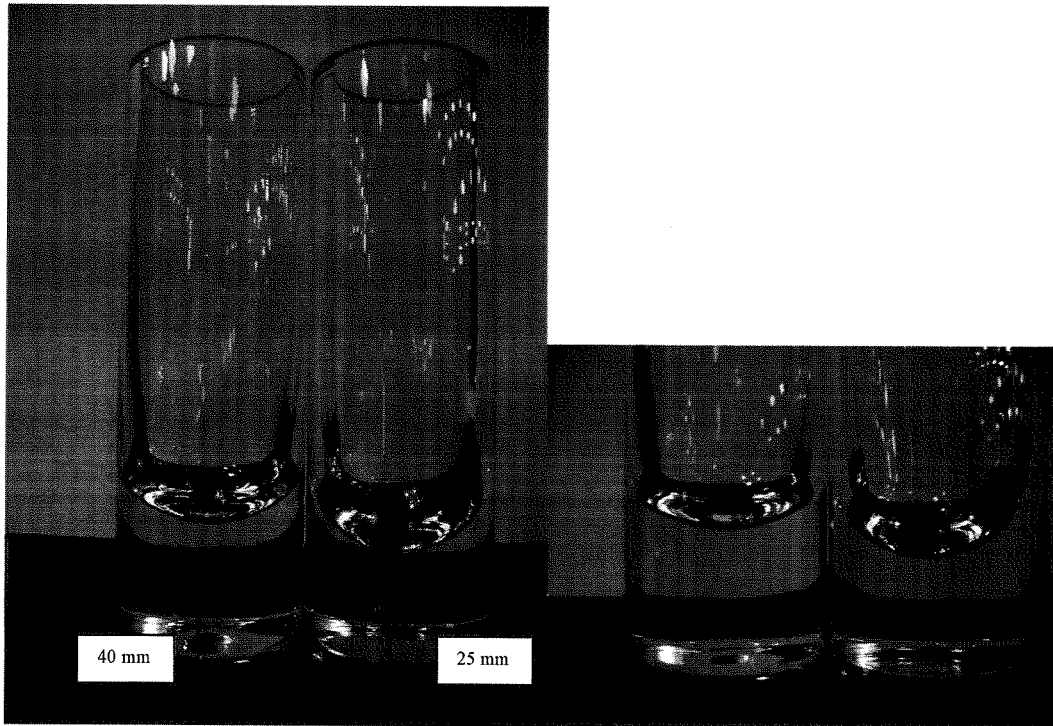
şekil 7.4'de 1.grup, şekil 7.5'de 2.grup, şekil 7.6'da 3.grup ve şekil 7.7'de 4.grup deney numuneleri gösterilmektedir. Tüm gösterimler her grup için seçilen tek deney için kullanılan mamüllerdir.



şekil 7.4 1.Grup deney numuneleri



Şekil 7.5 2.Grup deney numuneleri

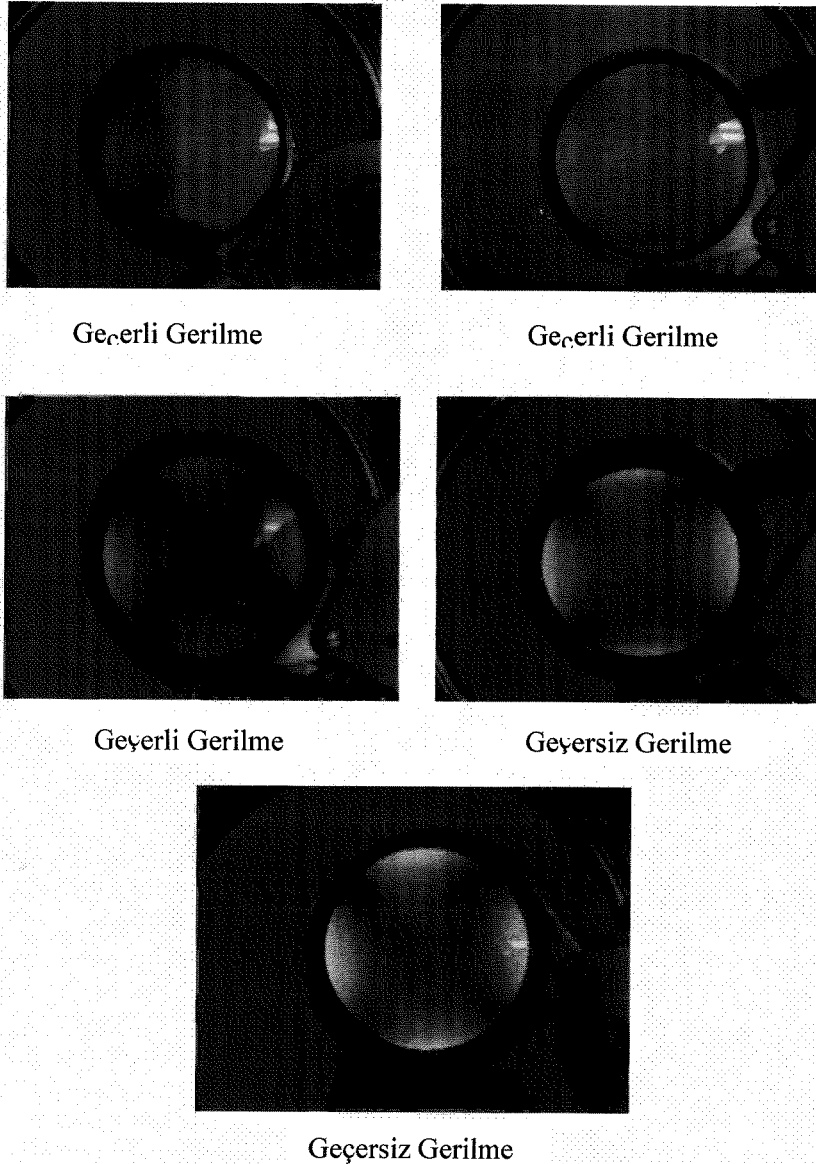


Şekil 7.6 3. Grup deney numuneleri



Şekil 7.7 4.Grup deney numuneleri

Deney numuneleri üzerinde yapılan çalışma öncesinde iç yapıdaki gerilmeyi görmek ve değerlerini hesaplamak için polariskop altında tüm mamuller incelenmiştir. Yapılan incelemelerde Şekil 7.8’de verilen polariskop altındaki iç gerilme gösterimine göre uygunluğu kontrol edilmiştir. Uygun olmayan ve uygulanan tavlama sonucunda uygun hale gelen mamullerin gösterimleri ve iç gerilme değerlerinin karşılaştırmalı gösterimleri yapılmıştır.



Şekil 7.8 İç gerilme durumunun polariskop altında geçerli ve geçersiz olduğu durumlar

Şekil 7.8’de beş farklı polariskop altındaki görüntü durumu verilmektedir. 1. 2. ve 3. durumlarda görüldüğü gibi kırmızı alanlar (iç gerilmeli bölge) koyulaşarak artmaktadır. Kırmızı alanlardaki artışla beraber sarı bir alanın da ortaya çıktığı durumlarda ürünlerdeki iç gerilmenin artmaya başladığı görülmektedir. Üretim alanında yoğunluğun yaşandığı dönemlerde her mamül için iç gerilme değerinin hesaplanma durumu mümkün değildir. Bundan dolayı sadece polariskop altında bakılarak üretimden seçilen numuneler üzerinde iç gerilme durumları kontrol edilebilir.

7.4. Deneyde Kullanılan Cam Mamullerin Kimyasal Özellikleri

Deneyler sırasında kullanılan tüm cam mamullerin kimyasal bileşimleri sabit tutulmuş ve Tablo 7.1’de belirtilen oranlardaki kimyasallardan oluşmaktadır. Kimyasallardaki değişim cam kalitesinde, içeriğinde ve iç yapıda doğrudan etkili olmaktadır. Kimyasallardaki değişim öncelikle etki olarak sade olarak adlandırılan sade soda camının renginin standartların dışına kaymasına sebep olur. Standartlar dışına kaymaya sebep olacak Fe kimyasal etkeni cam dolayısıyla mamul içinde oluşacak gerilme değerlerinde de direkt etkili olacaktır. Kullanılan el imalatı camında SiO_2 oranı yaklaşık %69 civarındadır. Kullanılan silisyumdioksitin cama asıl rengi veren hammadde olmasından dolayı %99 saflıkta olması istenir. SiO_2 içerisindeki Fe yüzdesi de maksimum %0,009 olduğu takdirde istenilen parlak ve şeffaf cam rengi sağlanır. SiO_2 içinde yanma durumuna bağlı olarak belirtilen Fe miktarı, sınırların üstüne çıktığında Fe_2O_3 olarak dışa vurumu, renkte yeşil-sarı bir ton görülmesine, FeO olarak dışa vurumu ise yeşil-mavi bir ton görülmesine neden olur. Bu durum hammadde kalitesine, yanma durumuna, yakıt cinsi gibi bir çok faktöre bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Camın rengi ile iç yapısındaki değişim anlık olarak fark edilebilir. Bunun için her gün camdan alınan örneklerle renk durumu kontrol edilir ve standartlar sağlanmaya çalışılır. Bunun için deneyler yapılırken de kullanılan cam için öncelikli olarak kimyasal yapı durumu onaylatılmış ve numune yapımı gerçekleştirilmiştir. Yapılan 1-2-4.deneylerdeki tüm numuneler için renk belirlenen standart sade renktir, 3.deney için belirlenen mavi ve pembe renk ise uygun kimyasal hammaddeler ile elde edilmiştir.

Tablo 7.1 El imalatı camın kimyasal içeriği

| Kimyasal Tanımı | İçerikteki Yüzdelerik Oran(%) |
|---|-------------------------------|
| SiO ₂ (Silisyumdioksit) | %69 |
| Na ₂ O (Sodyumoksit) | %9 |
| K ₂ O (Potasyumoksit) | %9 |
| CaO (Kalsiyumoksit) | %9 |
| BaO (Baryumoksit) | %1,25 |
| B ₂ O ₃ (Boroksit) | %0,85 |
| Er ₂ O ₃ (Erbiyumoksit) | %0,75 |
| CoO (Kobaltoksit) | %0,75 |
| Sb ₂ O ₃ (Antimuan) | %0,04 |

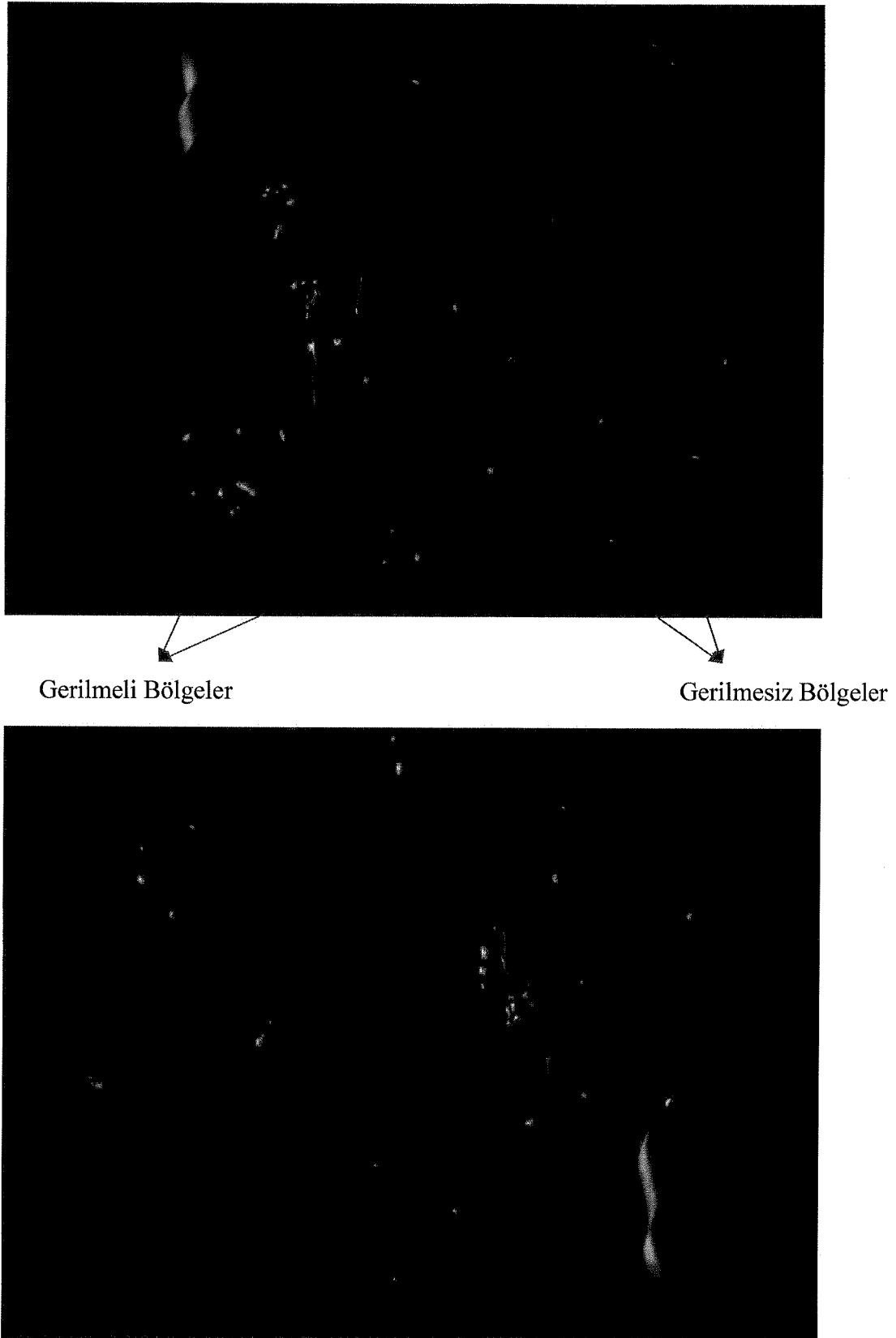
8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmalarda seçilen farklı gruptaki mamuller üzerinde tavlama işlemleri sonucunda oluşan durumlar incelenmiştir. Cam mamullerin kaliteleri ve üretime uygunluğu bakımından kontrolü, öncelikli olarak üretimi yapılan mamuller için üretim şartları dikkate alınmıştır. Üretim sırasında;

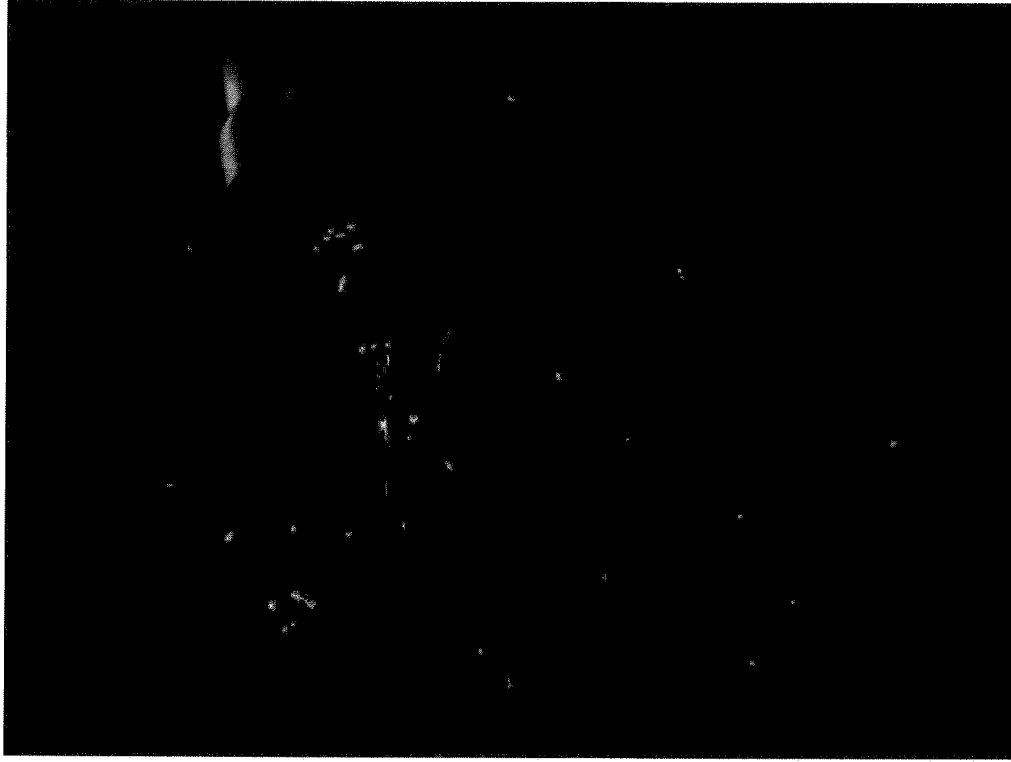
- Üretim için kullanılan sıvı camın sıcaklığının 1300-1400°C arasında sabit kalması sağlanmıştır.
- Üretimi yapılan mamul için kullanılan kalıbın sıcaklığının mamulun şekillendirilmesi sırasında yüzey kalitesinde bir problem oluşturacağı duruma izin verilmemesi açısından 150-200 °C sıcaklığa kadar ısıtılması sağlanmıştır.
- Mamulun üfleme işlemi ve buna bağlı olarak kalıp içerisindeki şekillendirme işleminin bitişi ile soğutma sonu fırınlarına verilmesi arasındaki sürenin 2 dakikadan fazla olmayacak şekilde korunması sağlanmıştır.

8.1. Deney-1 İçin Tavlama İşlemi

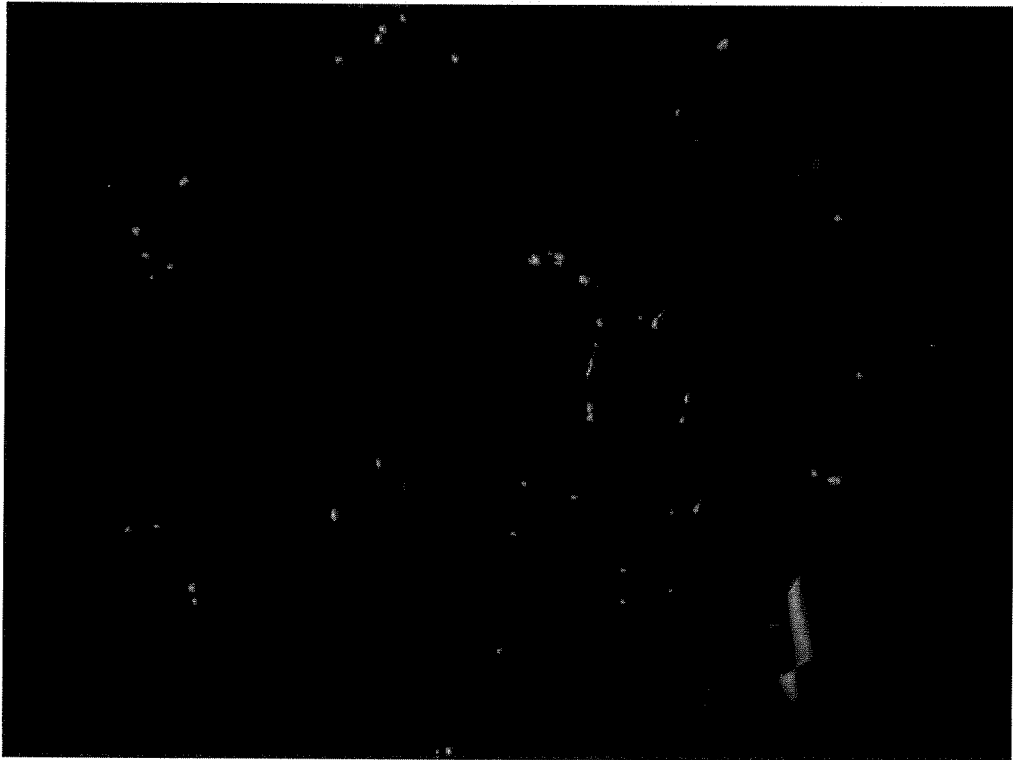
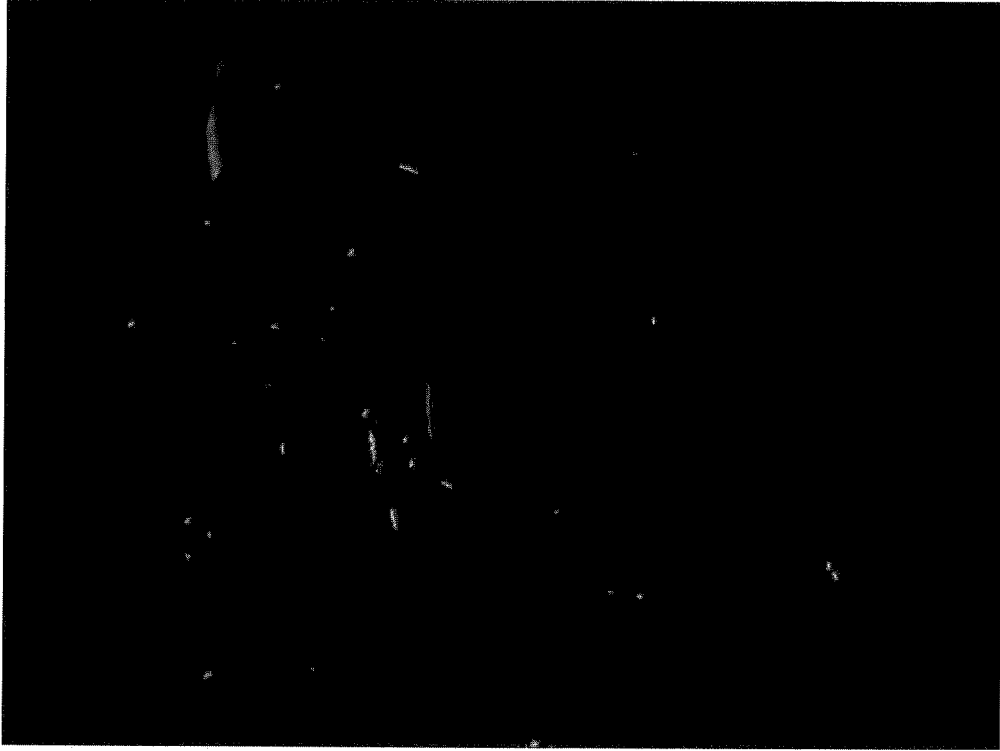
Tavlama işlemi öncesinde ilk deney çalışması için seçilen ürünlerin polariskop altındaki iç gerilme durumlarına bakılmıştır. Gerilme değerleri tespit edilmiştir. Şekil 7.4’de ilk deney için kullanılan 20 adet aynı özellikteki numunenin farklı sıcaklıklarda yapılan deneysel çalışmanın ilk numuneleri ve 24h’lik tavlama süresi içinde farklı sıcaklıklarda yapılan deneysel çalışmanın ilk numuneleri görülmektedir. İlk deney için kullanılan numuneler cidar kalınlıkları 10mm ve dip kalınlıkları minimum 25mm olan aynı kaliteye sahip cam mamullerdir. Bu numuneler ile 400°C sabit sıcaklıkta 6h, 12h, 24h, 36h karkez fırını içerisinde tavlama işlemi yapılmıştır. 4 ayrı zaman dilimi içinde deney numunelerinin ilk gerilme değerleri ve tavlama sonrası gerilme değerleri ölçülmüş, ortalamaları alınmış, polariskop altında gerilmeli bölgeler tespit edilerek gösterilmiştir. Daha sonra, yine aynı fiziksel özelliğe sahip mamüller üzerinde optimum sıcaklığın tespiti için seçilen 20 adet mamül için 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C sıcaklıklarda yapılan 24h’lik tavlama işlemi sonucunda optimum sıcaklık değerinin tespiti yapılmıştır. Yapılan ilk deneyle optimum tavlama süresi 24h, optimum tavlama sıcaklığı da 450 °C olarak tespit edilmiştir.



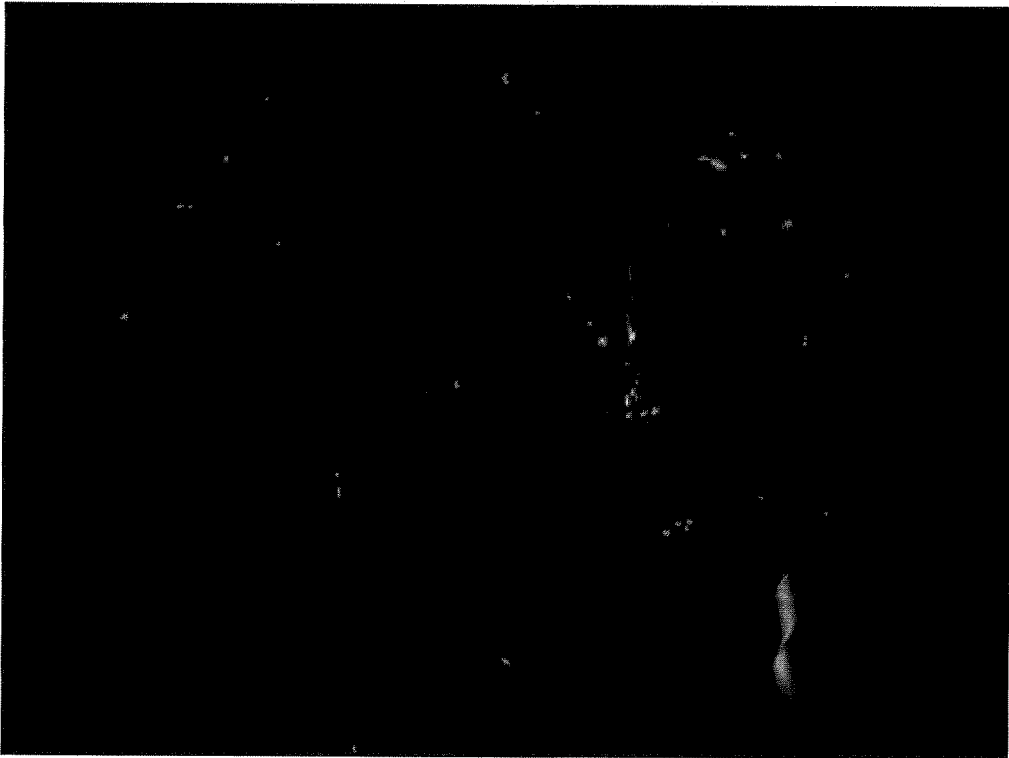
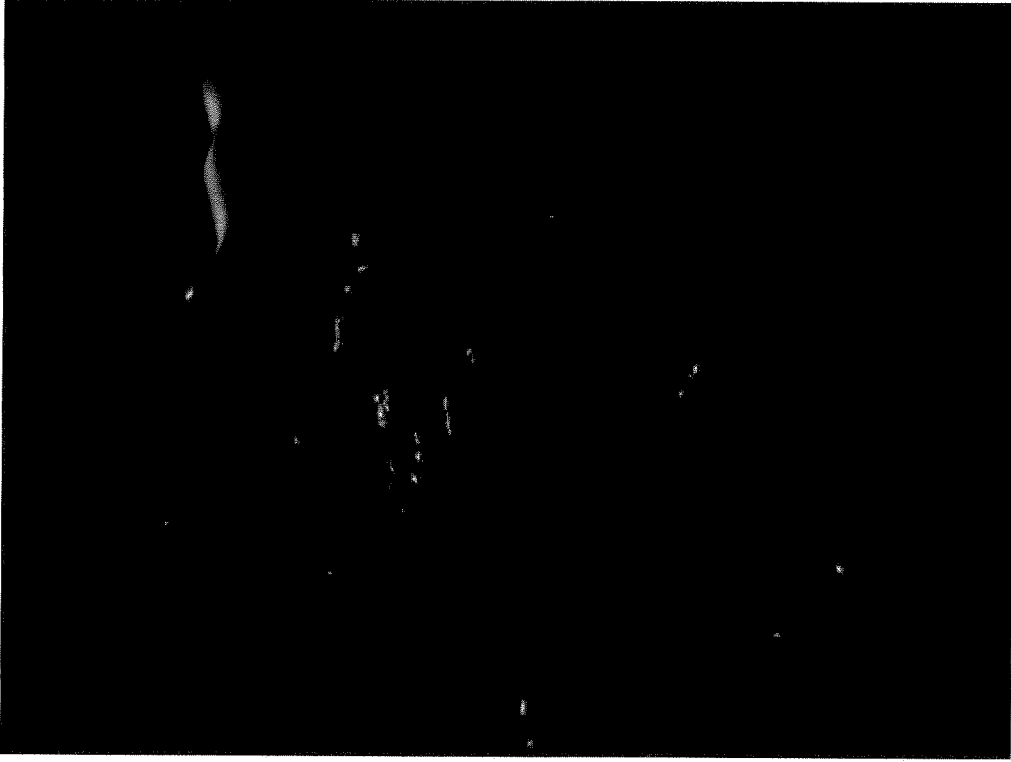
Şekil 8.1 400 °C ve 6h sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü



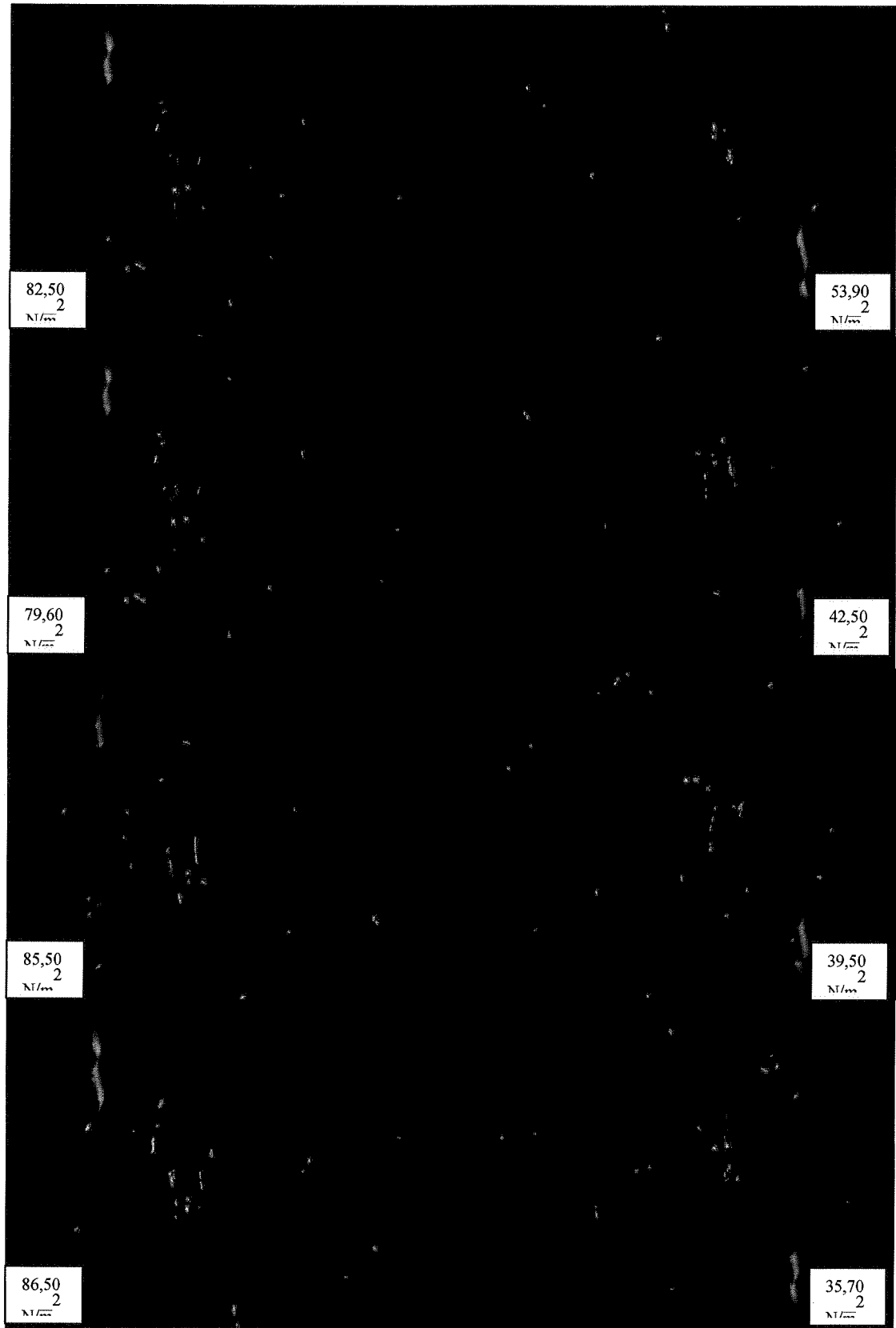
Şekil 8.2 400 °C ve 12h sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü



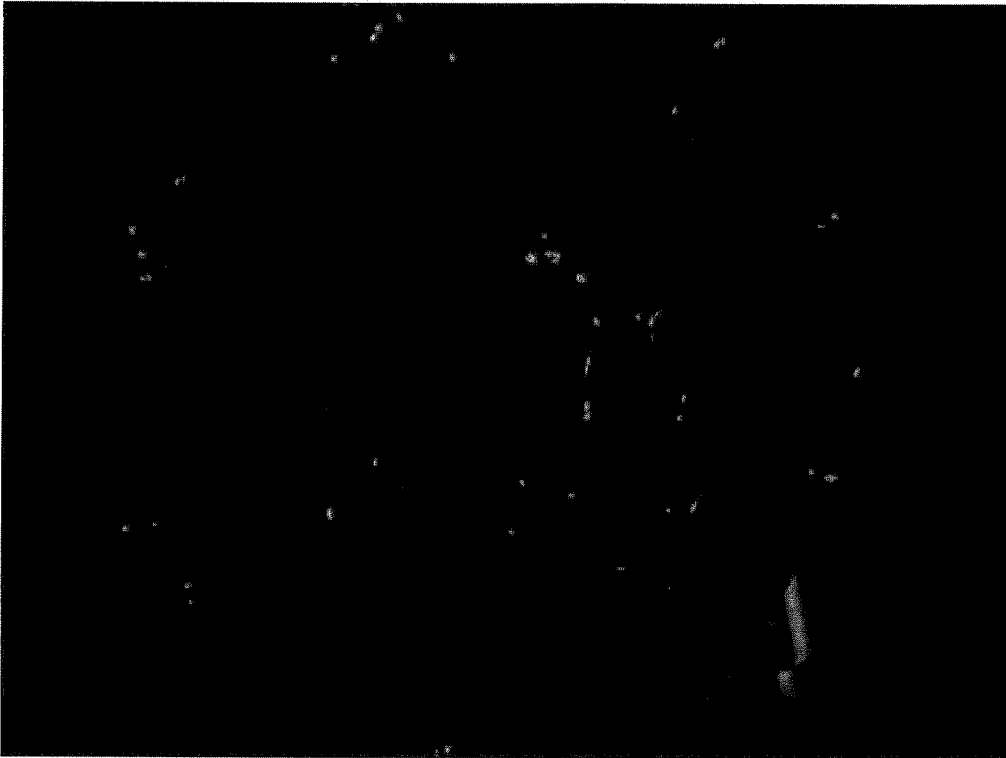
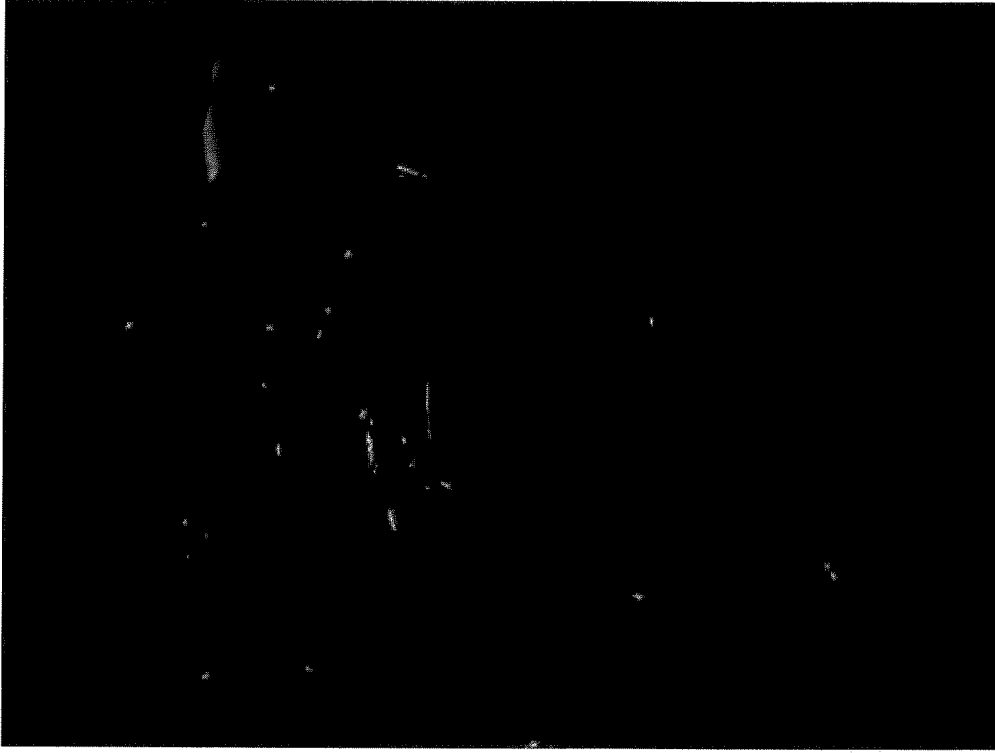
Şekil 8.3 400 °C ve 24h sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü



Şekil 8.4 400 °C ve 36h sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü



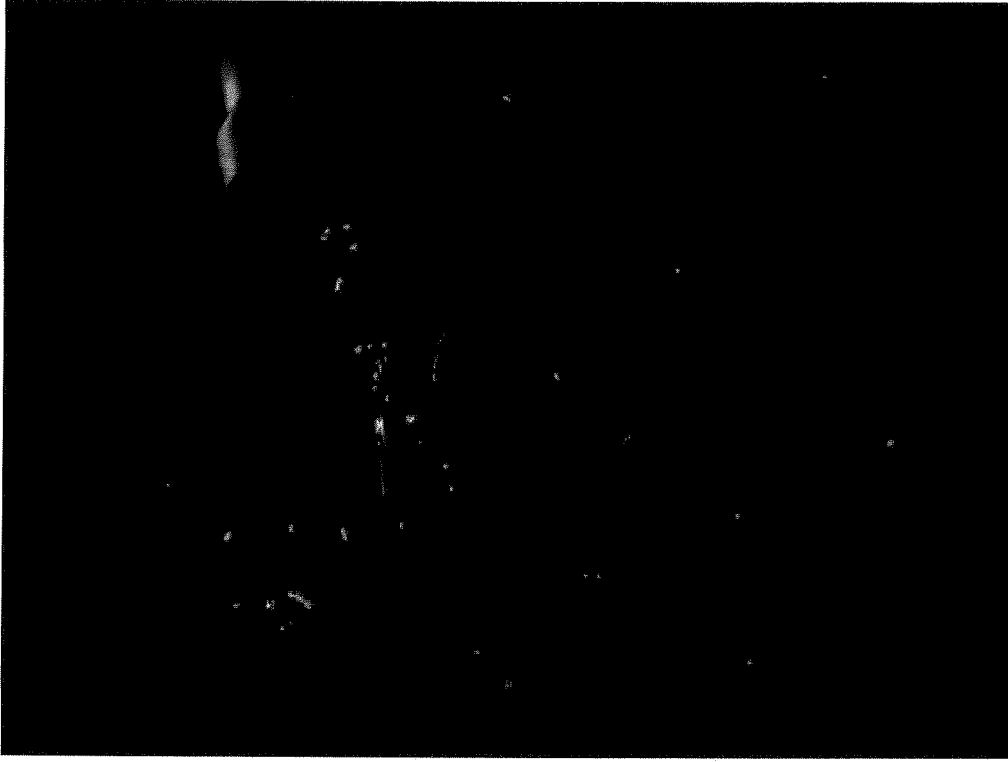
Şekil 8.5 Tavlama öncesi ve sonrası 1.grup deney numuneleri polariskop görüntüsü



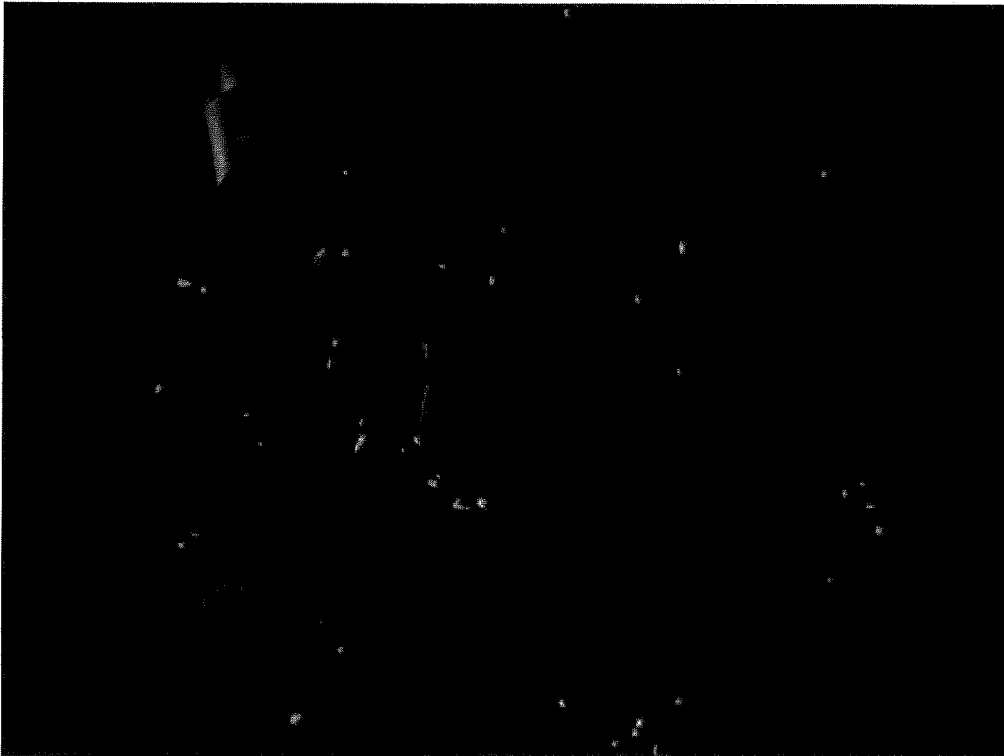
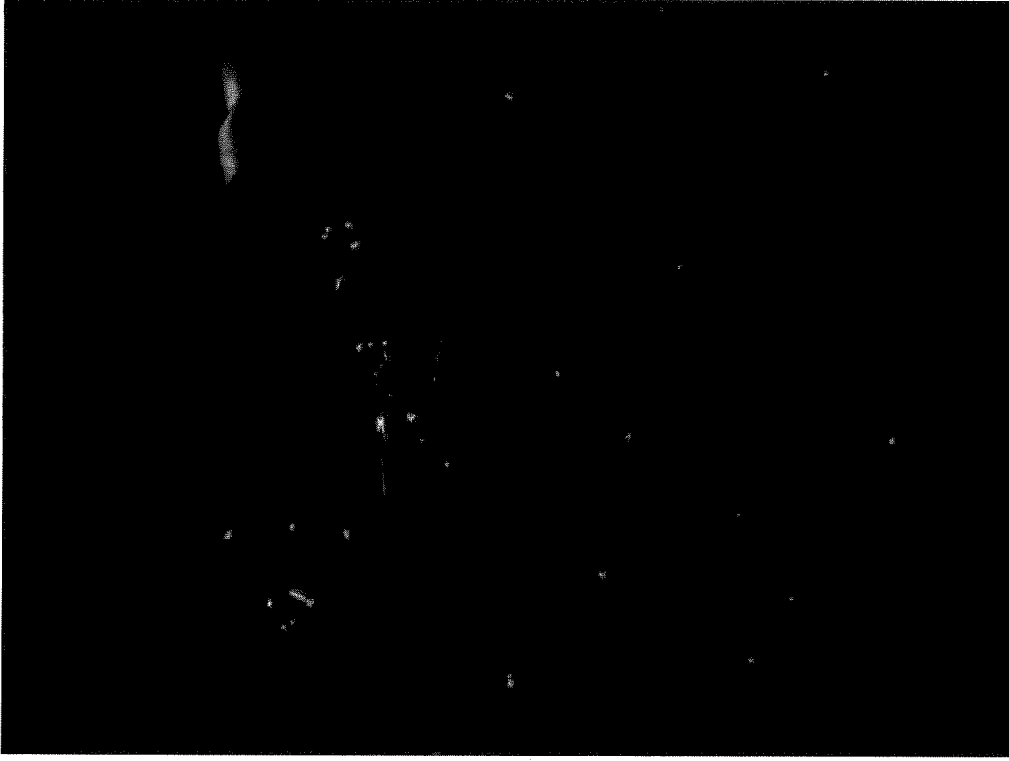
Şekil 8.6 24h ve 350°C sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü



Şekil 8.7 24h ve 400°C sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü



Şekil 8.8 24h ve 450°C sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü



Şekil 8.9 24h ve 500°C sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü

Şekil 8.5’de görüldüğü gibi 1. grup deney numunelerinin her gruptan ilk numunelerinin tavlama öncesi ve sonrasındaki polariskop altında iç gerilme durumları gözlemlenmektedir. Ayrıca tavlama öncesi ve sonrası gerilme değerleride şekil üzerinde belirtilmektedir. İlk deney numuneleri için tavlama öncesinde kırmızı ve sarı olarak görülen bölgeler iç gerilmenin olduğu bölgelerdir. Yeşil ve mavi olarak görülen alanlar ise iç gerilme olmayan bölgelerdir. Tavlama sonrasında ise her numune için farklılıklar gösterse de gerçek anlamda gerilmenin giderildiği görülebilmektedir. Tavlama öncesinde kırmızı ve sarı görülen bölgeler tavlama sonrasında renk değiştirmiştir. Yani renk değiştiren bölgeler mavi ve yeşile dönmüştür. Buradan görülen iç gerilmenin belli oranlarda giderilmiş olduğudur. Polariskop üzerinde tavlama öncesinde ve sonrasında okunan iç gerilme derecesine bağlı olarak Tablo 8.1 oluşturulmuştur.

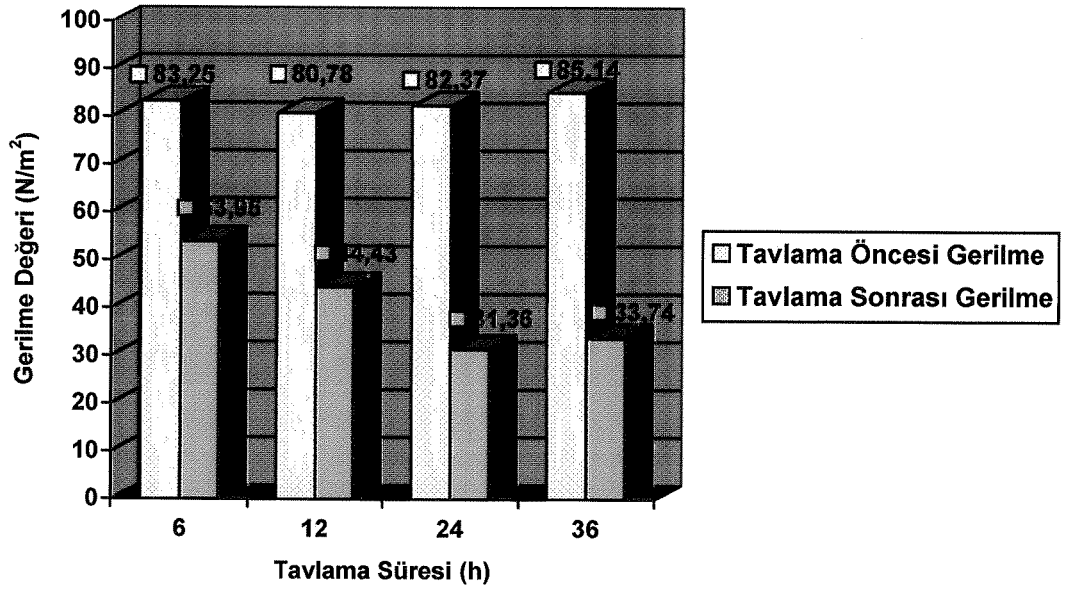
İlk deney numunelerinde görüldüğü gibi gerilmeli bölgeler sarı ve kırmızı renklindedir. Gerilme giderme işlemleri ilk olarak 400°C sabit sıcaklıkta ve farklı tavlama sürelerinde, daha sonra optimum tavlama süresinde farklı tavlama sıcaklıklarında yapılmıştır. Şekil 8.1, Şekil 8.2, Şekil 8.3, Şekil 8.4’de 400°C sabit sıcaklıktaki, Şekil 8.6, Şekil 8.7, Şekil 8.8, Şekil 8.9’da 24h sabit sürede tavlama öncesinde ve tavlama sonrasındaki ilk grup numunelerinin polariskop altındaki görüntülerinde gerilmenin belli oranlarda giderildiği görülebilmektedir. Fakat polariskop altındaki inceleme sırasında görsel olarak fark edilen değerler laboratuvar ortamında polariskop üzerindeki gerilme derecesine bağlı olarak hesaplanmıştır. Tablo 8.1’de beş deney tekrarı sonrasında 400 °C sabit sıcaklıkta, Tablo 8.2’de ise beş deney tekrarında 24h sabit tavlama süresinde elde edilen değerler ve ortalamaları verilmektedir.

Tablo 8.1 Deney-1 için tavlama süresine bağlı tavlama öncesi ve sonrası gerilme değerleri

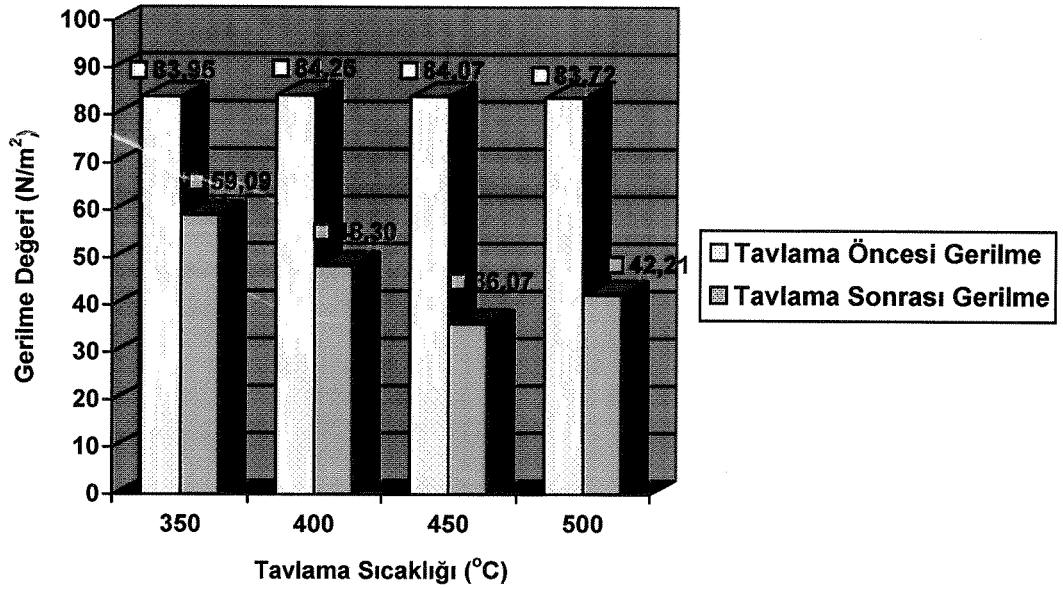
| | Numune-1 İç Gerilme (N/m ²) | Numune-2 İç Gerilme (N/m ²) | Numune-3 İç Gerilme (N/m ²) | Numune-4 İç Gerilme (N/m ²) |
|-----------------|---|---|---|---|
| Tavlama Süresi | 6h | 12h | 24h | 36h |
| Tavlama Öncesi | 82,50 | 79,60 | 85,50 | 86,50 |
| | 83,90 | 81,60 | 83,60 | 82,40 |
| | 85,25 | 83,75 | 79,80 | 83,30 |
| | 81,50 | 80,55 | 77,60 | 85,90 |
| | 82,90 | 78,70 | 85,35 | 87,60 |
| Ortalama | 83,25 | 80,78 | 82,37 | 85,14 |
| Tavlama Sonrası | 53,90 | 42,50 | 30,50 | 35,70 |
| | 52,10 | 45,20 | 31,05 | 33,60 |
| | 58,40 | 44,60 | 33,05 | 32,80 |
| | 51,95 | 46,35 | 29,80 | 31,65 |
| | 53,40 | 43,50 | 32,40 | 34,95 |
| Ortalama | 53,95 | 44,43 | 31,36 | 33,74 |

Tablo 8.2 Deney-1 için tavlama sıcaklığına bağlı tavlama öncesi ve sonrası gerilme değerleri

| | Numune-1 İç Gerilme (N/m ²) | Numune-2 İç Gerilme (N/m ²) | Numune-3 İç Gerilme (N/m ²) | Numune-4 İç Gerilme (N/m ²) |
|-------------------|---|---|---|---|
| Tavlama Sıcaklığı | 350°C | 400°C | 450°C | 500°C |
| Tavlama Öncesi | 83,70 | 88,45 | 84,45 | 88,85 |
| | 82,80 | 87,65 | 87,55 | 83,65 |
| | 85,70 | 79,40 | 88,95 | 83,45 |
| | 81,80 | 82,35 | 77,90 | 81,75 |
| | 85,70 | 83,45 | 81,50 | 80,90 |
| Ortalama | 83,95 | 84,25 | 84,07 | 83,72 |
| Tavlama Sonrası | 60,45 | 50,90 | 35,40 | 41,40 |
| | 59,45 | 44,55 | 43,05 | 44,90 |
| | 55,50 | 49,80 | 38,90 | 43,70 |
| | 61,30 | 47,65 | 32,55 | 42,55 |
| | 58,75 | 48,60 | 30,45 | 38,50 |
| Ortalama | 59,09 | 48,30 | 36,07 | 42,21 |



Şekil 8.10 Deney-1 tavlama öncesi ve sonrası tavlama süresine bağlı gerilme durumu



Şekil 8.11 Deney-1 tavlama öncesi ve sonrası tavlama sıcaklığına bağlı gerilme durumu

Deney-1 için kullanılan numuneler Uluslararası Cam Teknolojileri Laboratuvarı tarafından belirlenmiş AQL kalite değerlerine göre mevcut ağırlık ve çaptaki ürünlere uygun olan gerilme değerini tavlama öncesi 75-95 N/m² arasında olarak belirlemiştir. Deney-1 de kullanılmış olan numunelerdeki gerilme değerleri de mevcut ağırlıklarının farklılıklarından ve üretim sırasındaki soğuma hızına bağlı olarak değişim göstermektedir. Fakat bu değerler standartlar içerisinde kabul edilmektedir.

Belirtilen tavlama sonrasında numuneler incelendiğinde; 1.numune düzeneği için gerilme değerinde yaklaşık %35'lik bir düşüş olduğu, 2.numune düzeneği için %45'lik, 3.numune düzeneği için %62'lük bir düşüş ve 4.numune düzeneği için %60'lık bir düşüş yaşandığı görülmektedir. Değerlerden görüldüğü gibi en yüksek gerilme düşüşü 24h tavlama yapılan 3.numune düzeneğinde görülmektedir. 6h-12h'lik tavlamalarda tavlama süresi arttıkça yani 24h tavlama süresine erişinceye kadar gerilme değerlerinde düşüş görülmektedir. 24h tavlama sonrasında tavlamanın stabil bir gerilme oluşturmaya başladığı gözlemlenebilmektedir. Şekil 8.11 üzerinde 24h olarak sabit tutulan tavlama süresi içerisinde yapılan deney ile elde edilen optimum sıcaklık değerleri verilmektedir. Şekil 8.11 üzerinden görüldüğü gibi optimum sıcaklık yani maksimum iç gerilim düşüşü 450°C'de oluşmuştur.

8.2. Deney-2 İçin Tavlama İşlemi

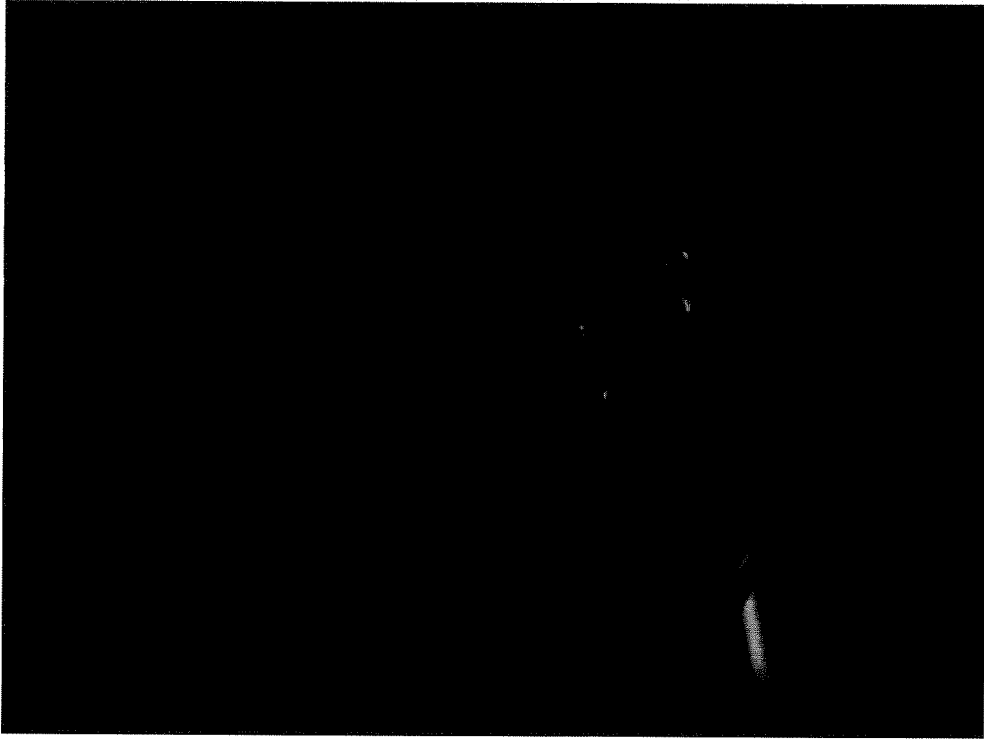
Deney-2 için kullanılan numuneler cidar kalınlıkları 2mm, dip kalınlıkları 30 mm olan cam mamullerdir. Burada amaçlanan 4 farklı sıcaklıkta karkez fırınında 24h süre ile tutularak iç gerilmeye oluşacak değişimin incelenmesidir. Numunelerin karkez fırını içerisinde tutulacak tavlama sıcaklıkları 350°C, 400°C, 450°C, 500°C olarak belirlenmiştir. Deney-1'de aynı standart ölçüler içerisindeki numuneler üzerinde yapılan tavlama işlemi sırasında optimum tavlama süresi olarak 24h belirlendiği için tavlama süresini 24h olarak belirlenmiştir. Burada kullanılacak olan 4 farklı numunenin tavlama öncesi ve sonrası polariskop altındaki görüntüleri verilmektedir. Görüntüler üzerinde tavlama öncesindeki iç gerilmeli bölgeler ve tavlama sonrasında gerilmenin giderildiği bölgeler görülmektedir.

Kullanılan numuneler için belirtilen 10mm cidar ve 30mm dip kalınlığında iç gerilme değeri tavlama öncesinde standartlara göre 65-80 N/m² olarak belirtilmektedir.

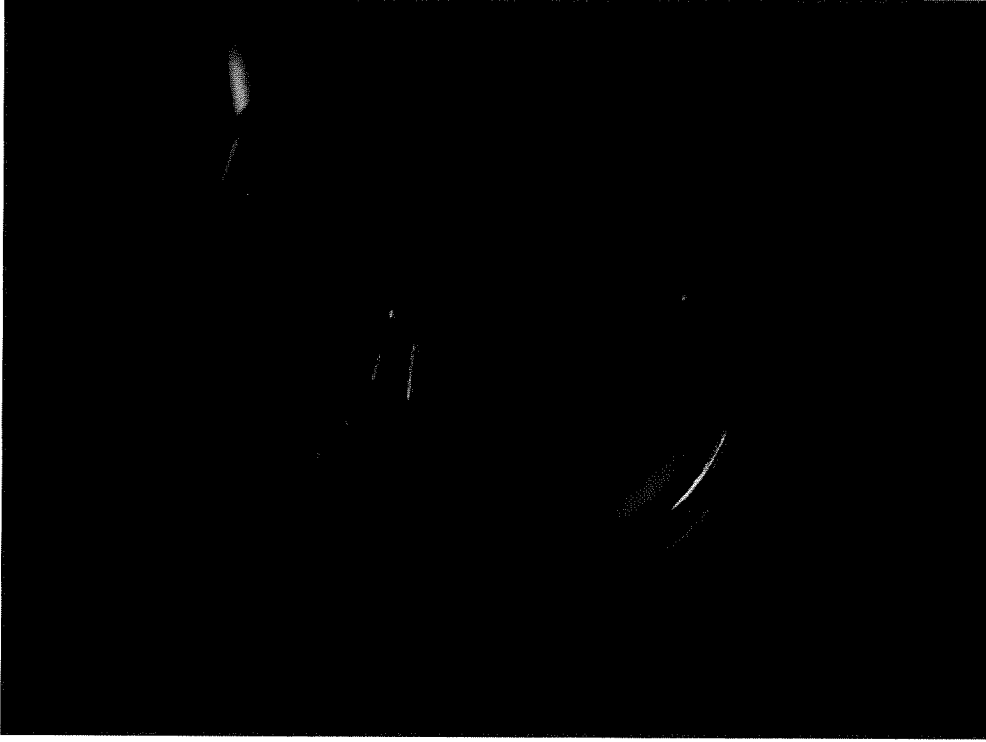
Yapılan ölçümlerde mevcut numuneler için gerilme değerleri tavlama öncesi ve tavlama sonrası durum için Tablo 8.2’de verilmiştir.

Şekil 8.17’de deney-2 için tavlama öncesi ve tavlama sonrası numunelerin polariskop altındaki iç gerilme durumları gösterilmektedir. Burada görüldüğü gibi ilk durumda iç gerilmeli (kırmızı ve sarı) olan bölgeler tavlama sonrasında kısmen gerilmesiz (mavi-yeşil) hale gelmiştir.

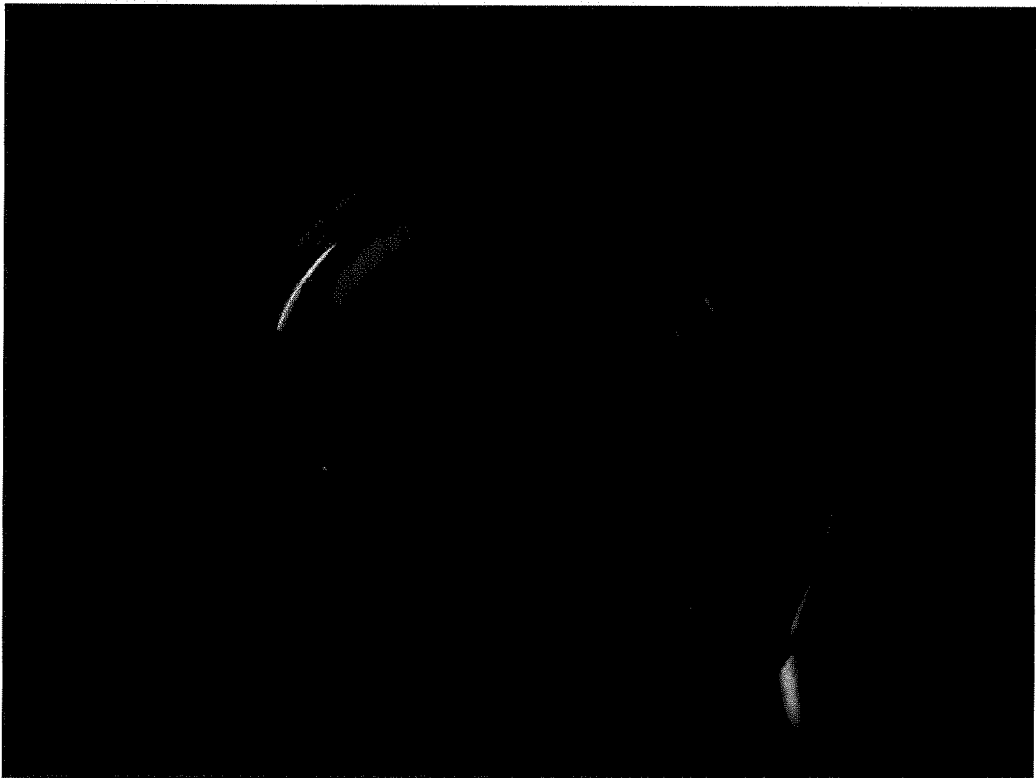
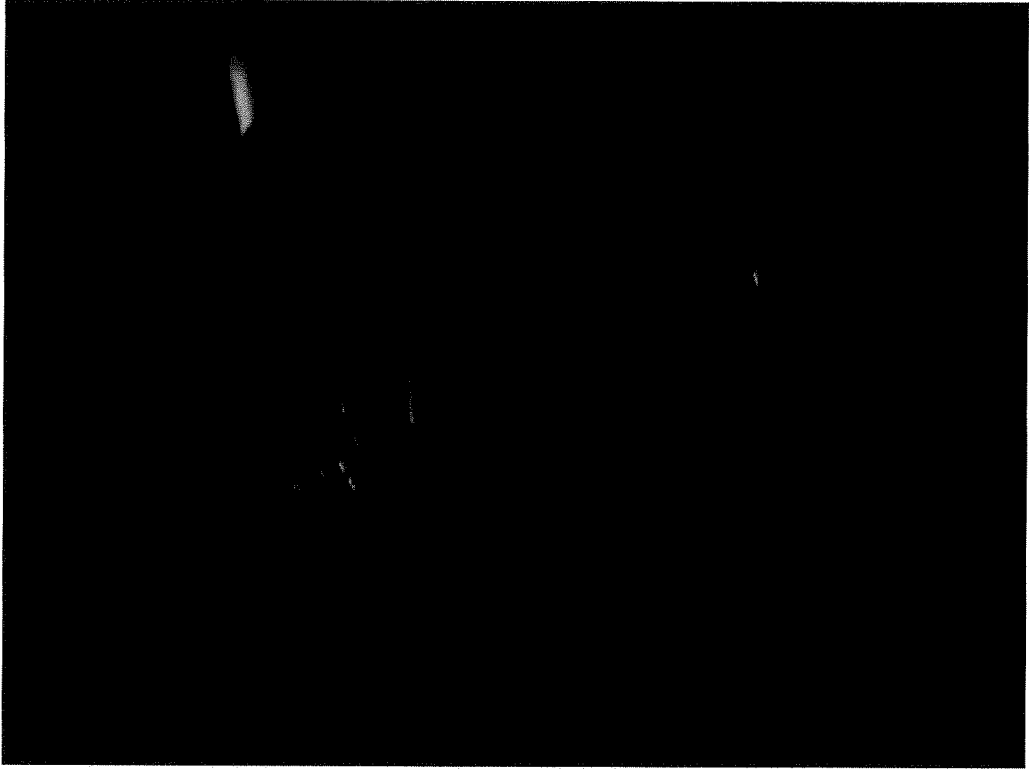
Burada asıl amaç, deney-1’de elde edilen sonuçların irdelenmesi ve tekar kontrol amaçlı olarak gerçekleştirilmesidir. İlk deney düzeneğine yakın ölçülerde kullanılan numuneler seçilirken bu neden göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan deneyle optimum tavlama sıcaklığı ve optimum tavlama süresi için elde edilecek ortalama değerler deney-1 ile kıyaslandığında benzer sonuçlar elde edildiği görülecektir.



Şekil 8.12 350 °C ve 24h sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü



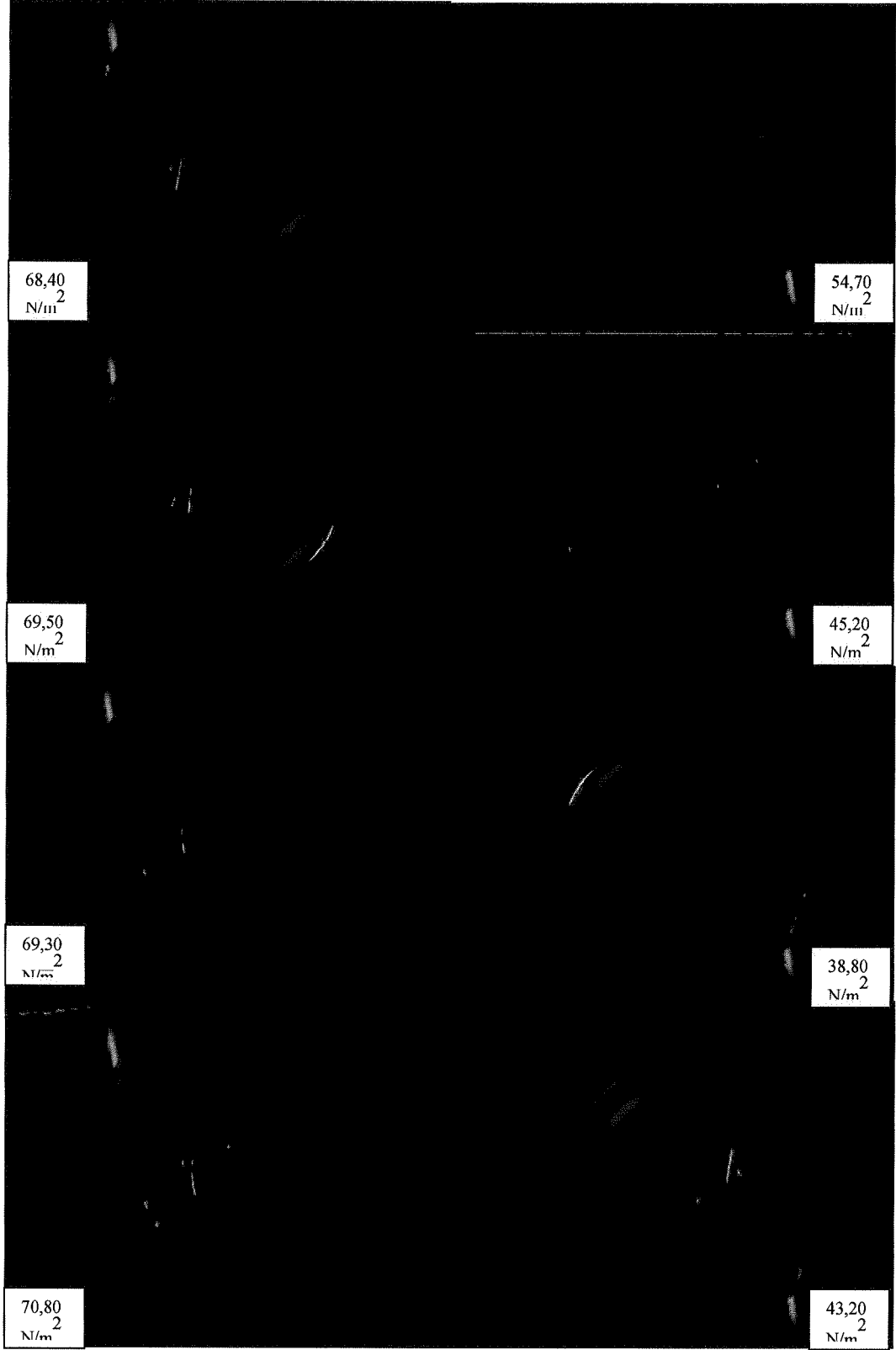
Şekil 8.13 400 °C ve 24h sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü



Şekil 8.14 450 °C ve 24h sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü



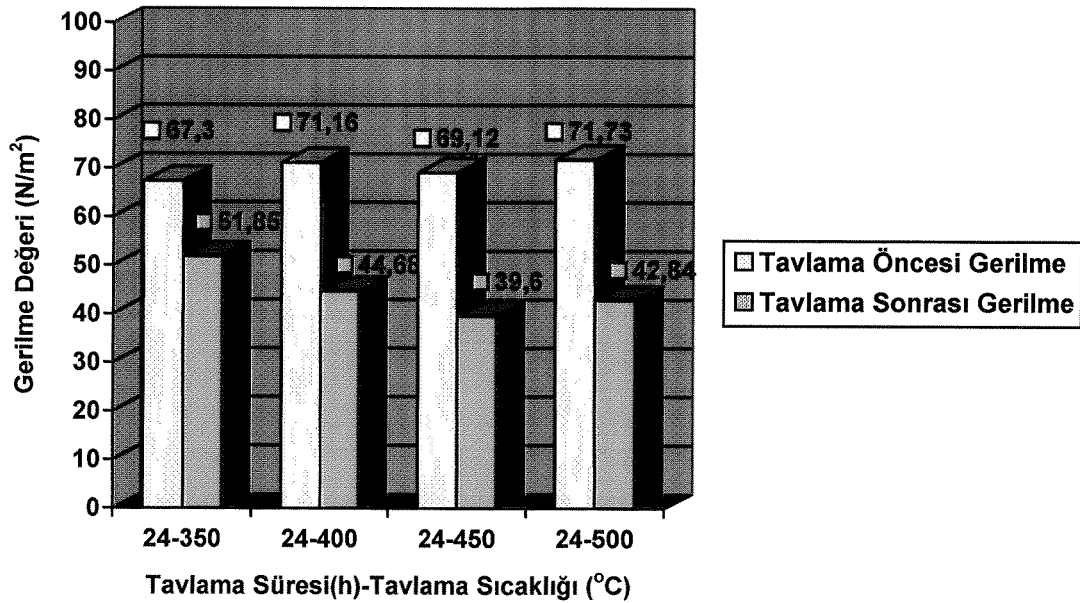
Şekil 8.15 500 °C ve 24h sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü



Şekil 8.16 Tavlama öncesi ve sonrası 2.grup deney numuneleri polariskop görüntüsü

Tablo 8.3 Deney-2 için optimum sıcaklık ve süre için tavlama öncesi ve sonrası gerilme değerleri

| | Numune-1 İç Gerilme (N/m ²) | Numune-2 İç Gerilme (N/m ²) | Numune-3 İç Gerilme (N/m ²) | Numune-4 İç Gerilme (N/m ²) |
|--------------------------------|---|---|---|---|
| Tavlama Süresi ve Sıcaklığı | 24h 350 °C | 24h 400 °C | 24h 450 °C | 24h 500 °C |
| Tavlama Öncesi | 68,40 | 69,50 | 69,30 | 70,80 |
| | 65,75 | 72,55 | 71,25 | 72,55 |
| | 62,45 | 73,40 | 62,85 | 70,05 |
| | 70,05 | 68,90 | 70,15 | 72,05 |
| | 69,85 | 71,45 | 72,05 | 73,20 |
| Ortalama | 67,30 | 71,16 | 69,12 | 71,73 |
| Tavlama Sonrası | 54,70 | 45,20 | 38,80 | 43,20 |
| | 53,20 | 43,50 | 40,95 | 41,25 |
| | 49,95 | 45,80 | 40,75 | 44,50 |
| | 51,15 | 47,35 | 39,80 | 43,40 |
| | 50,45 | 41,55 | 37,65 | 41,85 |
| Ortalama | 51,85 | 44,68 | 39,60 | 42,84 |



Şekil 8.17 Deney-2 tavlama öncesi ve sonrası gerilme durumu

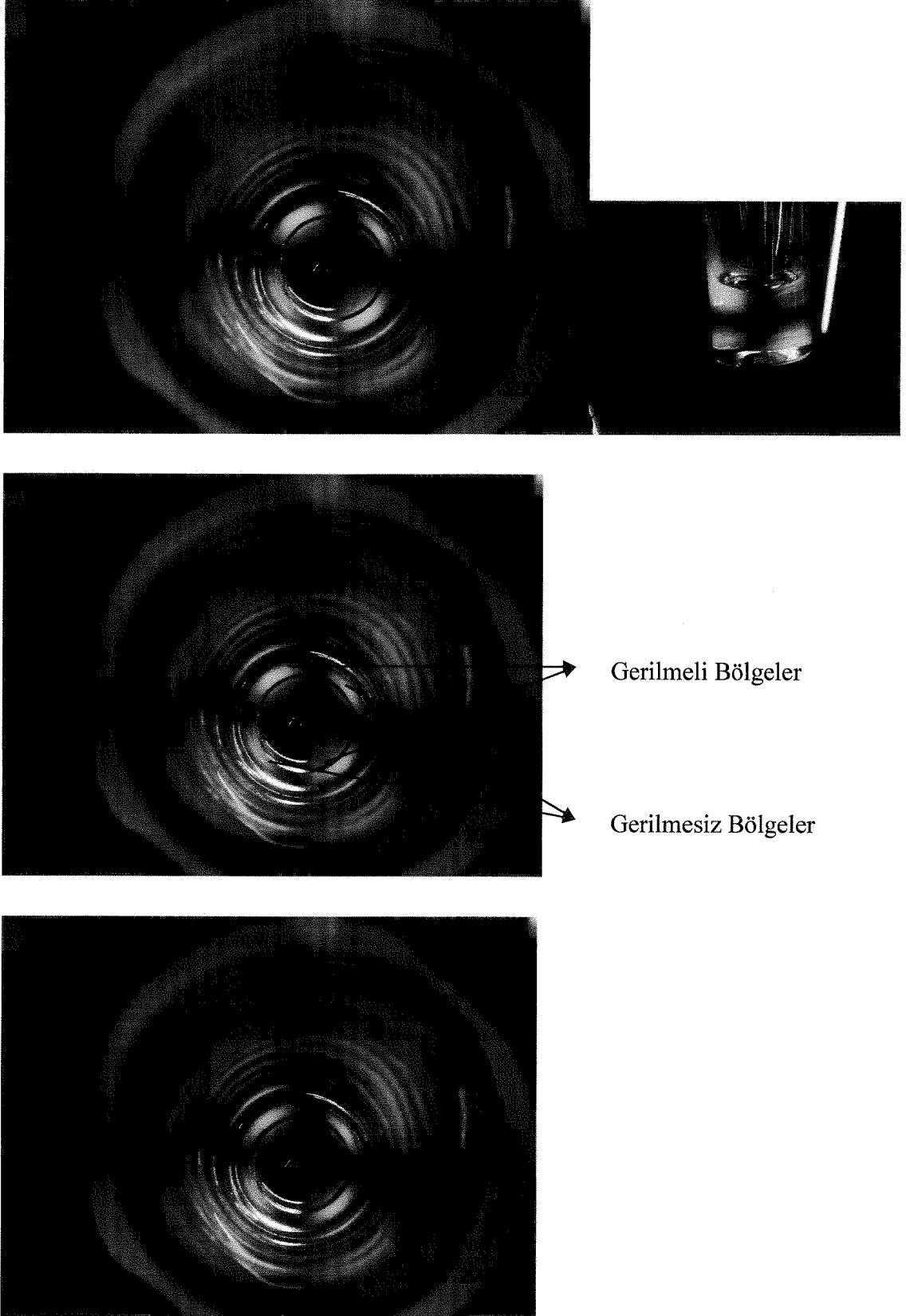
Tablo 8.2 ve Şekil 8.12’de görüldüğü gibi 4 farklı sıcaklıkta 24h tavlama yapılan numuneler içerisinde ilk beş numunede 350°C de yapılan tavlama ile iç gerilme değerinde ortalama %22’lik bir düşüş, 400°C’de tavlama yapılan numunelerde ortalama %37’lik düşüş, 450°C’de tavlama yapılan numunelerde ortalama %42’lik gerilme düşüşü ve 500°C’de tavlama yapılan numunelerde ise ortalama %40’lık bir düşüş oluşmuştur. Buradan çıkarılan sonuca göre en iyi tavlama sıcaklığı 450 °C olarak tekrar değerlendirilebilmektedir. Böylece ilk deneyde elde etmiş olduğumuz sonuçlar irdelenmiş ve en fazla gerilme düşüşü 24h’lik tavlama süresiyle 450°C’de belirlenmiştir.

8.3. Deney-3 İçin Tavlama İşlemi

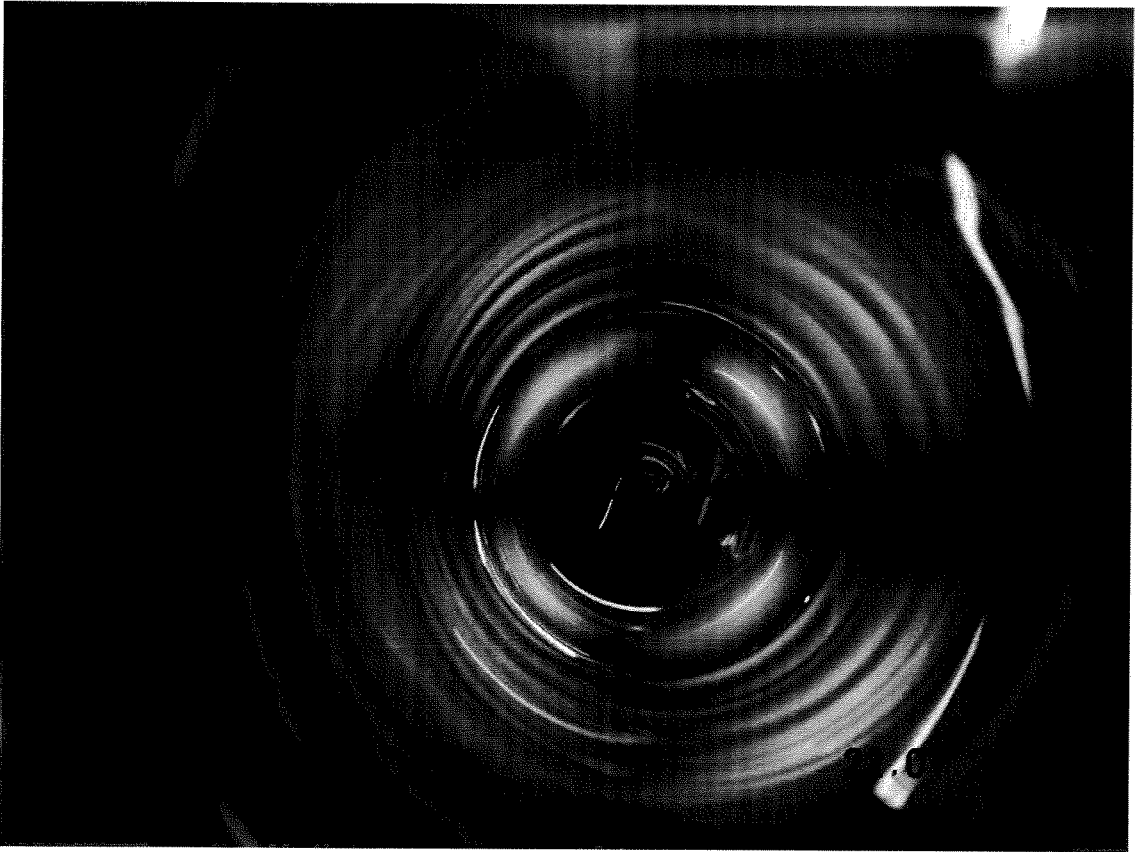
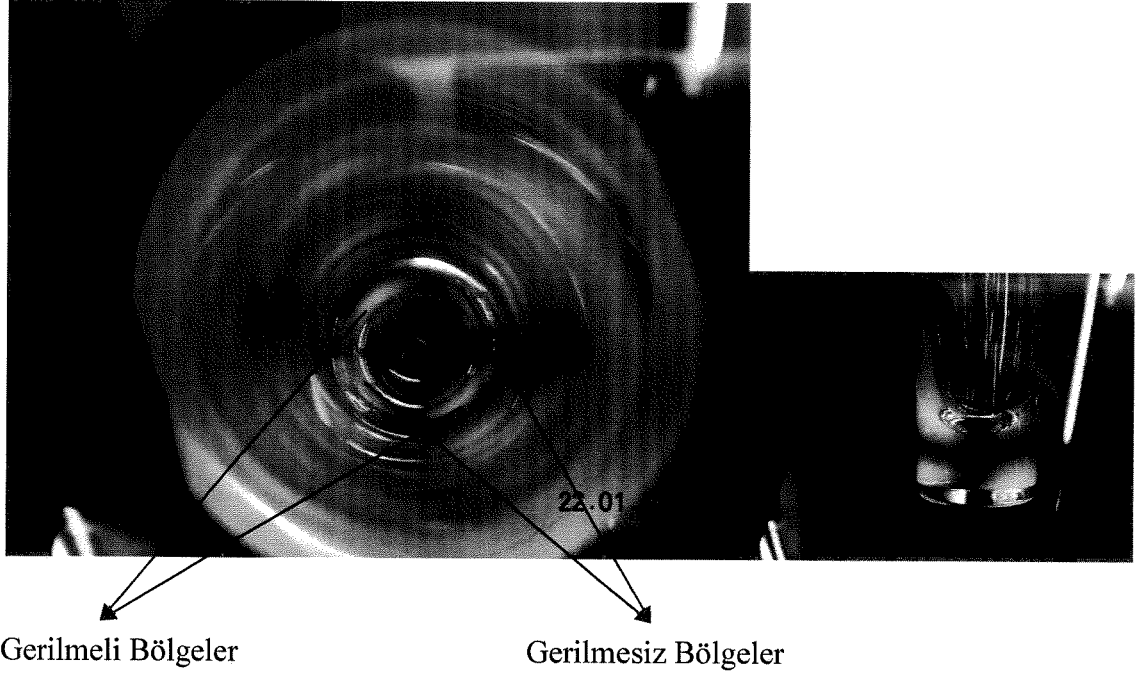
Deney-3’de, cidar kalınlıkları aynı, 5mm, dip kalınlıkları farklı, biri 40mm diğeri 25mm olan iki adet numune üretim sonrasında soğutma sonu fırınından alınıp iç gerilmelerine bakıldıktan sonra gerilme durumları karşılaştırılmıştır. Soğutma sonu fırınında 6h’lik bir süre içerisinde 500°C sıcaklıktan oda sıcaklığına kadar soğutulmuş gelen numuneler için iç gerilme değerleri Tablo 8.4’de verilmiştir. Dip kalınlığının iç gerilme durumuna etkisi iç gerilme değerlerinden görülebilmektedir. Her iki numune için karkez fırınında 24h’de 450°C sabit sıcaklıkta tavlama işlemi uygulanmıştır.

Tavlama sonrası 40mm dipli mamullerde hala iç gerilme oluştuğu görülmektedir. Bu durumun giderilmesi için sadece bu mamuller için aynı şartlar sağlanarak (24h – 450°C) tekrar tavlama işlemleri uygulandığında iç gerilmenin kısmen giderildiği tespit edilmiştir. Şekil 8.17’de 40mm dip kalınlığına, 5mm cidar kalınlığına sahip mamullerden ilk deney yapılan numune için tavlama öncesi, 1.tavlama sonrası ve 2. tavlama sonrası polariskop altındaki görüntüsü verilmektedir. Burada da görüldüğü gibi ilk tavlama sonrasında iç gerilmelerde kısmen bir azalma görülmektedir fakat hala kırmızı ve sarı bölgeler mevcuttur. Bu durumda iç gerilme değerleri kontrol edilmiştir. Tekrar yapılacak tavlamanın mamul üzerinde nasıl bir değişim oluşturacağına bakılmıştır. 2. tavlama sonrasında iç gerilmenin neredeyse tamamen giderildiği gözlemlenebilmektedir. Bu deney beş tekrar sonrasında elde edilen ortalama değerlerle bir sonuca ulaşılmıştır. Şekil 8.18’de ise ilk numune için tavlama öncesindeki polariskop görüntüsü ve tavlama sonrasındaki polariskop görüntüsü mevcuttur. Yapılan ilk tavlama için iç gerilmedeki azalma polariskop görüntüsünde görüldüğü gibi, gerilmeli olan bölgelerin (kırmızı ve sarı) gerilmemiş hale dönüştürülmesi için yeterli olmuştur. Dolayısıyla ikinci tavlama için 25mm dip kalınlığındaki mamul için gerek duyulmamıştır.

Kullanılan numuneler için belirtilen 25mm dip kalınlığında 5mm cidar kalınlığındaki cam mamul için iç gerilme değeri 55-80 N/m², 40mm dip kalınlığında 5mm cidar kalınlığındaki cam mamul için iç gerilme değeri 62-98 N/m² olarak belirtilmektedir.



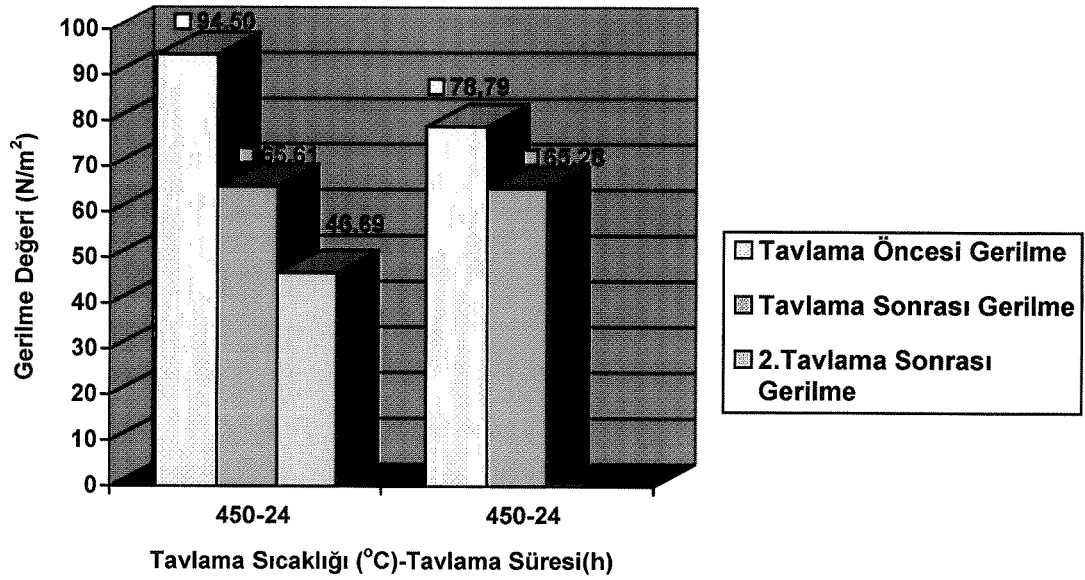
Şekil 8.18 450°C-24h'de tavlama öncesi, 1. ve 2.tavlama sonrası polariskop görüntüsü



Şekil 8.19 450 °C ve 24h sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü

Tablo 8.4 Deney-4 için tavlama öncesi ve sonrası gerilme değerleri

| | Numune-1 İç Gerilme (N/m ²) | Numune-2 İç Gerilme (N/m ²) | Numune-1 1.Tavlama Sonrası İç Gerilme (N/m ²) |
|--------------------------------|---|---|--|
| Tavlama Süresi ve Sıcaklığı | 24h 450°C | 24h 450°C | 24h 450°C |
| Tavlama Öncesi | 95,20 | 79,80 | 65,50 |
| | 94,80 | 77,40 | 63,80 |
| | 92,70 | 76,80 | 62,25 |
| | 96,10 | 80,05 | 66,60 |
| | 93,70 | 79,90 | 68,05 |
| Ortalama | 94,50 | 78,79 | 65,61 |
| Tavlama Sonrası | 65,50 | 42,50 | 47,40 |
| | 63,80 | 40,90 | 46,05 |
| | 64,10 | 43,50 | 47,80 |
| | 66,60 | 44,20 | 46,80 |
| | 68,05 | 43,80 | 45,40 |
| Ortalama | 65,61 | 42,98 | 46,69 |



Şekil 8.20 Deney-4 tavlama öncesi ve sonrası gerilme durumu

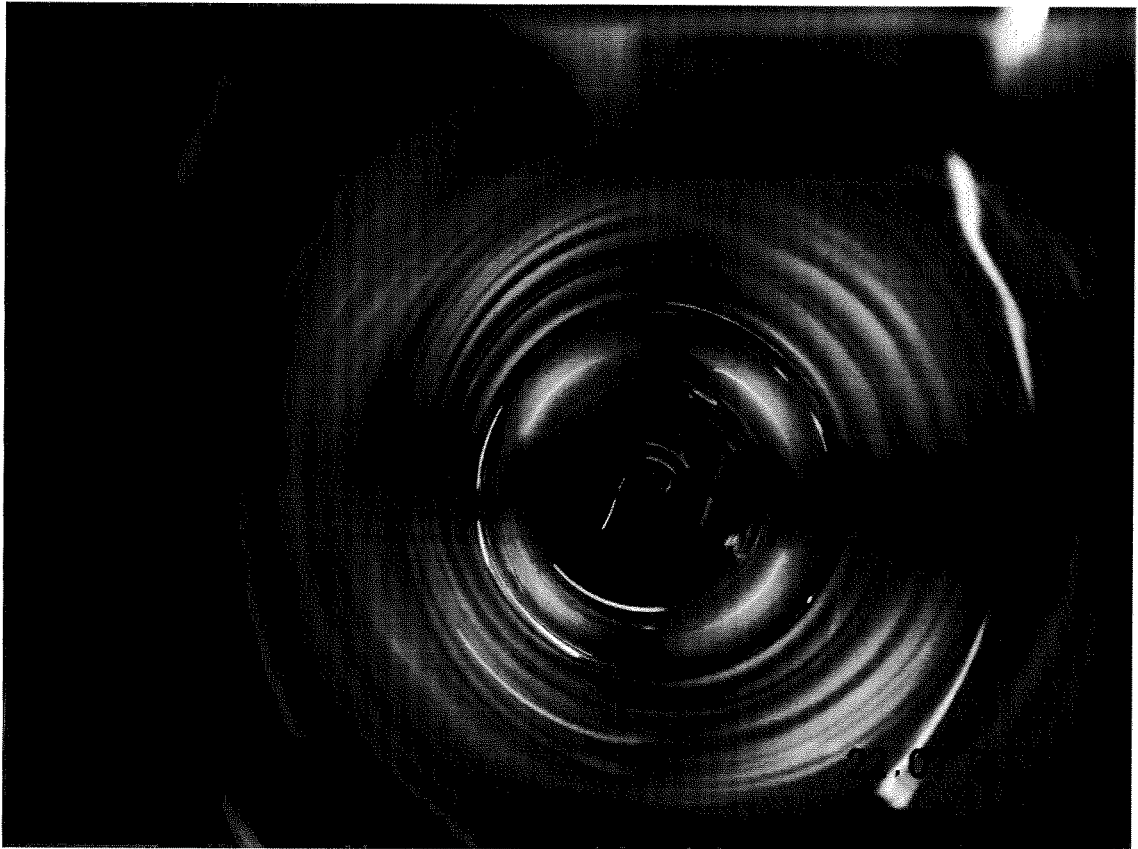
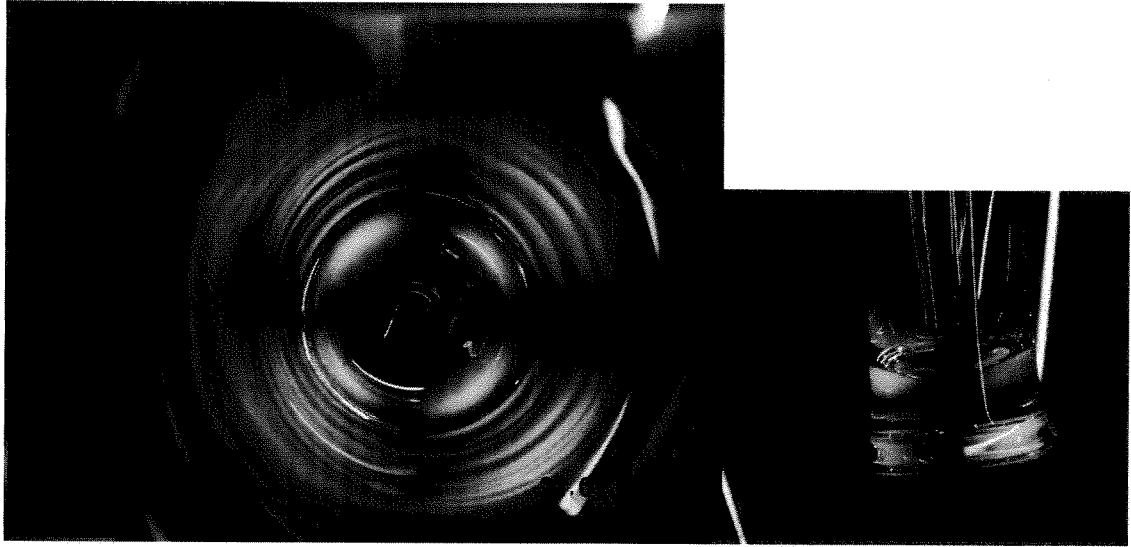
Tablo 8.4’de görülen ve Şekil 8.20’de grafiksel gösterimi yapılmış olan 3.grup deney için oluşan tavlama değerleri belirtilmektedir. Buna göre ilk tavlaması yapılan 40mm dip kalınlığındaki numunelerde tavlama sonrasında iç gerilmede ortalama olarak %31’lik azalma, 25mm dip kalınlığındaki numunelerde tavlama sonrasında iç gerilmede ortalama %47’lik azalma oluşmuştur. Burada dip kalınlığındaki farktan dolayı 40mm dip kalınlığına sahip mamullerin iç gerilme durumunun yeterli oranda giderilmediği görüldüğünden aynı tavlama koşulları (24h, 450°C) sağlanarak tekrar tavlama gerçekleştirilmiştir. Bu durumda ikinci tavlama için iç gerilmedeki azalma yaklaşık olarak %28’dir. Toplam olarak iki tavlama sonucunda 40mm dip kalınlığına sahip numunelerde yaklaşık %50’lik iç gerilme düşüşü gerçekleşmiştir. 2. tavlama işlemi sonrasında polariskop altındaki görüntü gerilmenin giderildiğini gösterdiği gibi polariskop derecesi ile yapılan gerilme değeri tespiti ile gerilmenin yeterli oranda giderildiği görülmüştür. Tavlama sonrası 40mm dipli mamuller için gerilme durumlarının değerleri ve ortalamaları Şekil 8.20’de, gerilme değerleri Tablo 8.5’de görülmektedir.

8.4. Deney-4 İçin Tavlama İşlemi

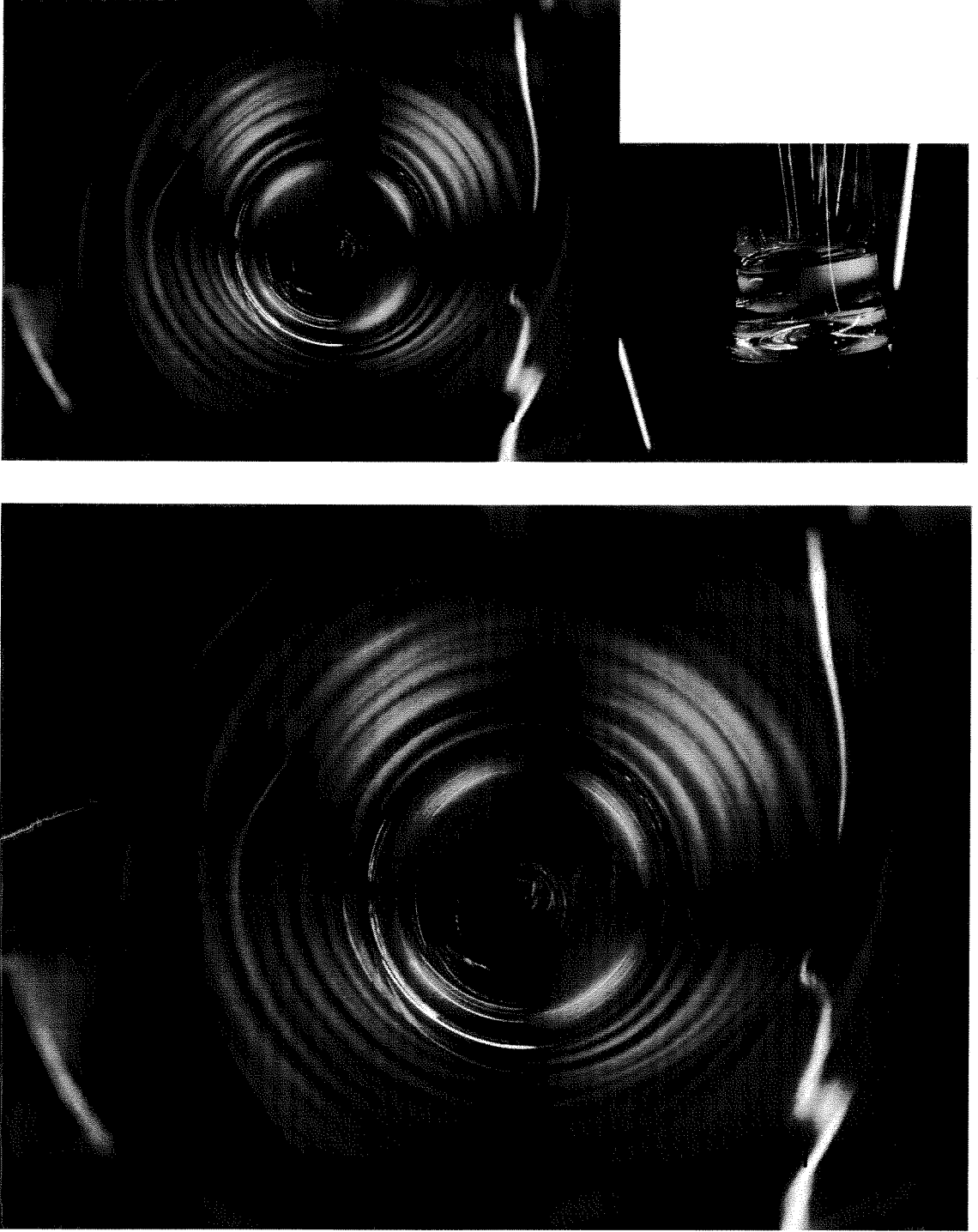
Deney-4 için kullanılan mamuller 15 adet aynı formda farklı 3 renkte numunelerdir. 1. grupta numuneler sade, 2. grupta numuneler mavi ve 3. grupta numuneler ise pembe renktedir. 3 farklı kimyasal ile yapılmış olan renklerde amaç üretim sonrası soğutma sonu fırınında tavlanaarak 500 °C sıcaklıktan oda sıcaklığına soğutularak 6h'lik sürede i yapıdaki gerilme değerlerinin karşılaştırılmalı kontrolünü yapmaktır. Aynı soğutma koşullarında ve aynı zamanda soğuyan farklı 3 renkteki numuneler karşılaştırılmıştır. Mamullerin soğutma sonu fırınından çıktıktan sonraki gerilme değerleri Tablo 8.5'de verilmektedir. Soğutma sonu fırınından çıktıktan sonra tespit edilen gerilmeyi gidermek amacı ile 1. ve 2. deney sonuçlarından elde edilen optimum süre olan 24h ve optimum sıcaklık olan 450°C sıcaklıkta tavlama işlemine tabi tutulmuştur. Tavlama sonrası gerilme durumları da Tablo 8.5'de verilmektedir. 3 farklı renkli numuneler için tavlama öncesi ve sonrası polariskop altındaki gerilme durumları Şekil 8.21, Şekil 8.22, Şekil 8.23'de görölmektedir.

Şekil 8.24'de 3 farklı durum için numunelerin tavlama öncesi ve sonrası gerilme durumları gözlemlenebilmektedir. Tavlama öncesinde i gerilme oluştuğu kırmızı ve sarı bölgeler tavlama sonrasında kısmen giderilmiş, mavi ve yeşil bölgeler dönuşmüştür. İ gerilmedeki sayısal değerlerin sonuçları da Tablo 8.5'de belirtilmektedir.

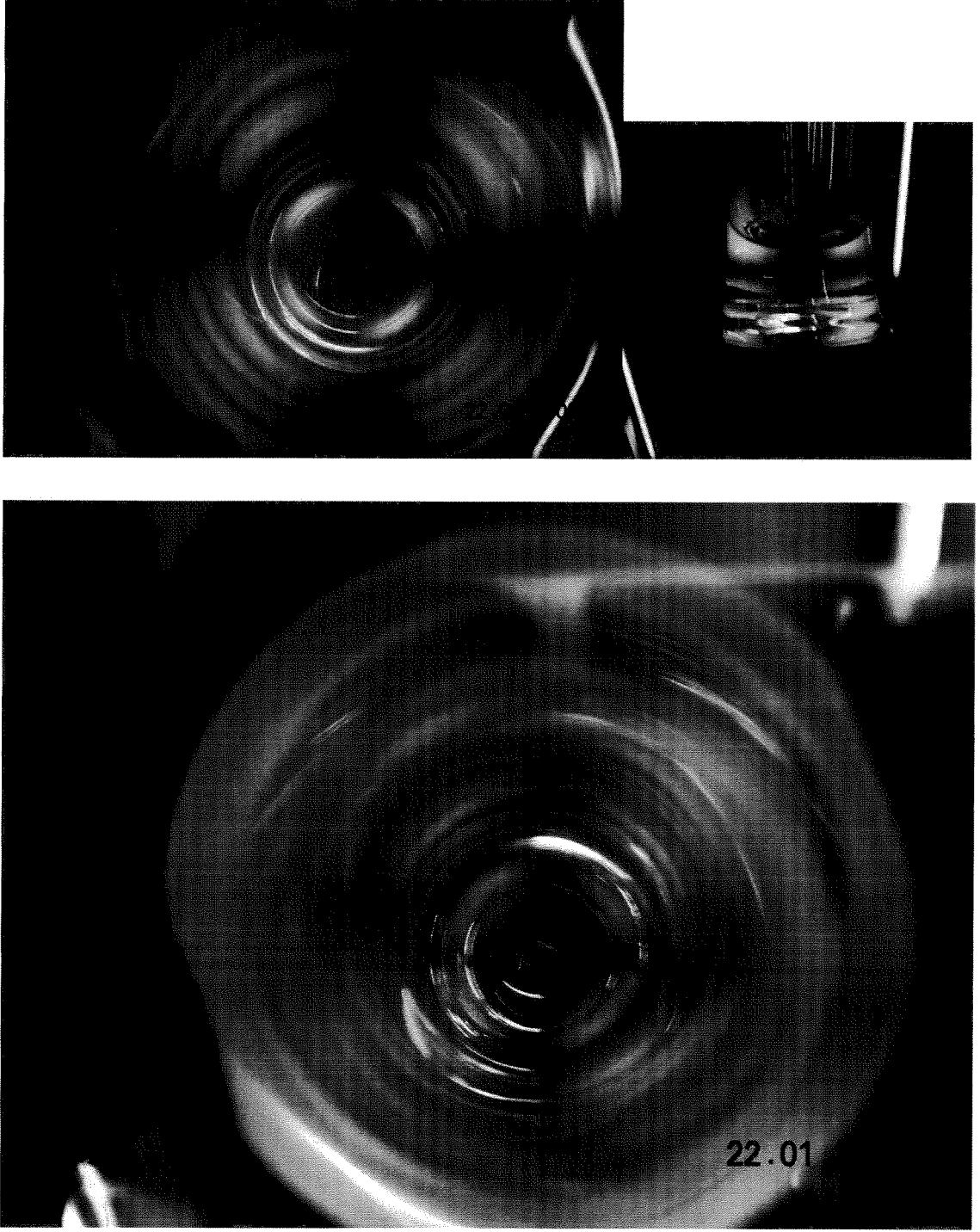
Kullanılan numuneler için belirtilen sade, mavi ve pembe renkler için iç gerilme değerleri tavlama öncesinde ISO standartlarına göre sade için 55-75 N/m², mavi için 77-100 N/m², pembe için 65-92 N/m² olarak belirtilmektedir.



Şekil 8.21 450 °C ve 24h sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü



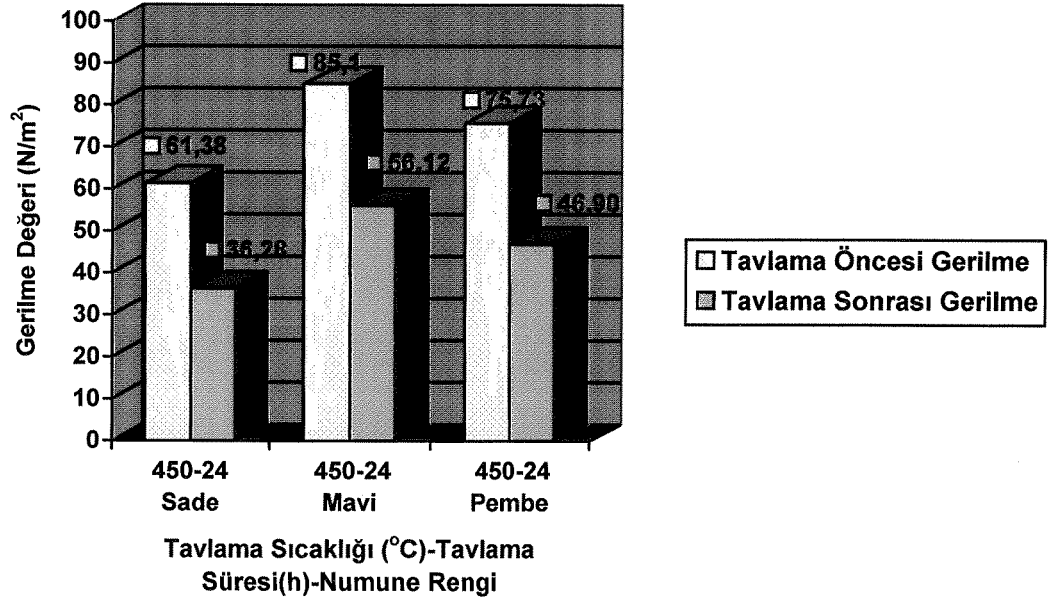
Şekil 8.22 450 °C ve 24h sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü



Şekil 8.23 450 °C ve 24h sürede tavlama öncesi ve sonrası polariskop görüntüsü

Tablo 8.5 Deney-4 için tavlama öncesi ve sonrası gerilme değerleri

| | Numune-1 İç Gerilme (N/m ²) | Numune-2 İç Gerilme (N/m ²) | Numune-3 İç Gerilme (N/m ²) |
|--------------------------------|---|---|---|
| Renk | Sade | Mavi | Pembe |
| Tavlama Süresi ve Sıcaklığı | 24h 450°C | 24h 450°C | 24h 450°C |
| Tavlama Öncesi | 62,50 | 83,70 | 75,40 |
| | 59,60 | 85,20 | 78,50 |
| | 61,70 | 89,80 | 73,35 |
| | 58,40 | 84,35 | 76,60 |
| | 64,70 | 82,45 | 74,80 |
| | Ortalama | 61,38 | 85,10 |
| Tavlama Sonrası | 36,80 | 55,20 | 45,75 |
| | 37,40 | 57,40 | 47,05 |
| | 35,20 | 58,10 | 48,15 |
| | 36,20 | 53,40 | 47,15 |
| | 35,80 | 56,50 | 46,40 |
| | Ortalama | 36,28 | 56,12 |



Şekil 8.24 Deney-4 tavlama öncesi ve sonrası gerilme durumu

Tablo 8.5’de ve Şekil 8.24’deki grafikte görüldüğü gibi sade numunelerde iç gerilmedeki düşüş yaklaşık %40 olarak, mavi numunelerde iç gerilmedeki düşüş %34 ve pembe renkli numunelerde iç gerilmedeki düşüş %38 olarak gerçekleşmiştir. Sonuç olarak renkli camlarda oluşan iç gerilmenin kimyasal yapılarından dolayı gerilme giderme işleminin sabit optimum durumlarda sade cam numunelerine göre daha az olduğu tespit edilmiştir.

9. SONUÇLAR

Bu çalışmada el imalatı olarak üretimi yapılan farklı ölçülere sahip cam mamuller üzerinde farklı sıcaklık ve zaman aralıklarında üretim sonrasında tavlama işlemleri yapılarak iç gerilmedeki değişimler incelenmiştir. Cam mamuller için gerilme durumunun tespitinde aşağıdaki yöntemler uygulanmaktadır.

- Polariskop görüntüsü
- Polariskop derecesi ile iç gerilme değer tespiti
- Çizik yöntemi
- Cidar dağılımına göre damar tespiti

Yukarıda belirtilen yöntemlerden en doğru sonuca götürecektir ve sayısal verilere ulaşılmasını sağlayacak yöntem polariskop derecesi ile gerilme değer tespitinin yapılmasıdır. Yapılan çalışmada polariskop görüntüsü ile iç gerilme tespiti yapıldıktan sonra, polariskop derecesi ile sayısal iç gerilme değerleri kontrol edilmiştir. Seçilen mamullerde cidar kalınlıklarını, dip kalınlıklarının ve renkteki değişimin mamullerin iç gerilmelerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan deneylerde tavlamanın etkisi ile iç gerilmede oluşan değişimler detaylı olarak açıklanmıştır.

Cidar kalınlığı 10mm, dip kalınlığı 25mm olan cam mamul için tavlamanın iç gerilme etkisi: 40 ayrı numune için 5 tekrar yapılarak oluşturulan tavlama koşullarında 400 °C’de 6h, 12h, 24h, 36h’lik zaman dilimlerinde yapılan tavlama işlemi sonucunda en fazla gerilmenin 3.durumda giderildiği görülmüştür. Yani optimum tavlama süresi olarak 24h’lik tavlama süresi optimum sonuçtur. 40 numunenin geriye kalan 20 adeti ile de optimum tavlama sıcaklığının tespiti için 24h’lik tavlama süresinde 4 farklı sıcaklıkta; 350°C, 400 °C, 450 °C, 500 °C olmak üzere tavlama işlemleri 5 tekrarla gerçekleştirildi. Burada elde edilen sonuç ise optimum tavlama sıcaklığının 450°C olarak tespit edilmesi oldu. Bu durumda sonuç olarak; 24h’lik tavlama süresinde ve 450 °C tavlama sıcaklığında belirtilen özellikteki mamuller için uygun şartların sağlandığı görülmüştür. Tavlama işlemleri için seçilmiş olan mamuller genel olarak cidar ve dip kalınlığı bakımından üretimin yoğun olarak çalıştığı benzer ürünler dikkate alınarak

seçildiğinden, aynı şartları sağlayan tavlama koşullarında 24h'lik sürede ve 450 °C sıcaklıkta tavlama işleminin uygun olduğu tespit edilmiştir.

Cidar kalınlığı 2mm, dip kalınlığı 30mm olan cam mamul için tavlamanın iç gerilme etkisi: 20 ayrı numune için 5 tekrar yapılarak oluşturulan tavlama koşullarında 24h olarak bir önceki deneyde belirlenmiş olduğumuz tavlama süresi dikkate alınarak farklı sıcaklıklarda tavlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde ilk deney sonuçlarını da farklı fiziksel özelliğe sahip mamüller üzerinde uygulama durumu oluşturulmuştur. Tavlama sıcaklığı olarak 350°C, 400°C, 450°C, 500°C belirlenmiş ve tavlama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Tavlama sonucu elde edilen iç gerilme değerleri karşılaştırıldığında 450°C sıcaklıkta gerilmenin en yüksek değerde giderildiği tespit edilmiştir. Bu durumda deneylerin yapılmış olduğu benzer gruptaki üretimler için 24h'lik tavlama süresinde 450°C tavlama sıcaklığında tavlama işleminin yapılması iç gerilmede maksimum düşüşler sağlanacağını göstermektedir.

Cidar kalınlığı aynı, dip kalınlıkları farklı mamullerde tavlamanın iç gerilmeye etkisi: Cidar kalınlıkları 5mm olan aynı anda üretimi yapılmış 10 adet mamul üzerinde 5 tekrar ile 25mm ve 40mm dip kalınlığında cam mamuller için üretim sonrası sabit sıcaklık ve sürede (24h, 450°C) tavlama işlemi yapılmıştır. Tavlama işlemi sonunda iç yapıdaki gerilme durumları polariskop altında incelenmiştir. Fakat 40mm dipli mamullerde yapılan tavlama işlemlerinde iç gerilmedeki azalma miktarının yeterli olmadığı ve iç gerilmenin mamullerde çatlamaya neden olabilecek sınırdaki olduğu görüldüğü için sadece 40mm dip kalınlığına sahip mamuller için aynı tavlama koşulları sağlanarak tekrar tavlama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Tavlama sonucu iç gerilme değerlerine bakıldığında gerilmede istenilen oranda düşüş olduğu görülmüştür. Sonuç olarak anlaşılmıştır ki; cidar kalınlıkları aynı olsa da dip kalınlığı yaklaşık olarak 30mm üzerindeki mamuller için uygulanacak tavlama süresinde değişiklikler oluşturmak gerekmektedir.

3 farklı renkte aynı ölçülerdeki cam mamullerde tavlamanın iç gerilme etkisi: Sade, mavi ve pembe olmak üzere 3 farklı renkli camdan üretimi yapılmış olan numunelerin iç gerilme değerleri karşılaştırılıp tavlama işlemi uygulanmıştır. Tavlama öncesi iç yapıdaki gerilme durumları incelendiğinde en yüksek gerilmenin mavi renkteki camdan yapılan mamullerde olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ise mavi rengin yapımında kullanılan Co kimyasalının etkisidir. Pembe renkte olanlarda ise Fe oranının yüksek

olması camın iç gerilmeindeki değeri sade camdaki değere göre arttırmaktadır. Yapılan tavlama işlemlerinde 5 tekrar yapılan deneyler, 24h süre ile 450°C'de tavlama işlemlerine tabi tutulmuştur. Yapılan tavlama en yüksek iç gerilme düşüşünün sade numunelerde olduğu görülmüştür. Daha sonra pembe ve mavi renkli cam ile üretilmiş olan mamullerde azalan oranda iç gerilme düşüşü gerçekleşmiştir.

Tüm çalışmalarda üretim içerisinde, üretimi oldukça yoğun yapılan ve benzer üretimler olan mamuller kullanılmıştır. 3.grup deneyde ise farklı dip kalınlığındaki bir mamulde tavlama koşullarının değiştirilmesi gerektiği ortaya çıkarılmıştır. Tavlama işlemleri için mamuller belli sınıflara ayrılmalıdır. Bu sıralamada öncelikle mamulün boyutu, cidar, dip kalınlık değerleri ve renk durumu dikkate alınmalıdır. Bu şekilde gruplandırılarak yapılabilecek tavlama işlemleri ile iç gerilmedeki değişimler daha kısa sürede oluşturulabilmektedir. Yapılmış olan 1.grup deneyde optimum tavlama süresi ve tavlama sıcaklığı, 2.grup deneylerde optimum tavlama süresi ve sıcaklığının irdelenmesi sağlanmıştır. 1.grup ve 2. grup deneyler üzerinde belirlenen optimum süre ve sıcaklık 3.grup üzerinde farklı renkteki cam mamuller üzerinde deneysel olarak denenmiş, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca 4. grup numuneler üzerinde optimum süre ve sıcaklıkta yapılan deneylerde dip kalınlığındaki farklılıktan dolayı yeterli şartların sağlanamadığı görülmüştür. Bu durumda aynı sıcaklık sabit kalarak zaman parametresinin değişimi ile istenilen gerilme giderme durumunun gerçekleştiği gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- Andler, D. (1985) Semiconducting Glasses, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 50(8): 205-214.
- Asquin, L., Furlani, E., Bruckner, S. and Machio S. (2007) Production and Characterization of Sintered Ceramics From Paper Mill Sludge and Glass, *Chemosphere*, 71(6): 83-89.
- Avramov, I. (2007) The Role of Stress Development and Relaxation on Crystal Growth in Glass, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 353: 218-220.
- Bernardo, E., Cedra, R., Floeran, M. and Hreglich, S. (2006) Reutilization and Stabilization of Wastes By The Production of Glass Foams, *Ceramics International*, 33(4): 963-968.
- Bureau, T.A. (1987) Glass Melting Tank Furnaces, *Sheffield Publishing*, Germany, 74s.
- Cannillo, V., Lusvanghi, L., Siligardi, C. and Sola, A. (2006) Effects of Different Production Techniques On Glass-Alumina Functionally Graded Materials, *Journal of European Ceramic Society*, 89: 1937-1945.
- Cheng, T., Huang, M.Z. and Tzeng C.C. (2006) Production of Coloured Glass Ceramics From Incinerator Ash Using Thermal Plasma Technology, *Chemosphere*, 68(10): 1937-1945.
- Cone, C. (1983) Heat Transfer in Glass Potes, *Benham Publishing*, Britain, 34-42s.
- Cornet, J. and Rossier, D. (2003) Properties and Structure of As-Te Glasses (I)-Glass Forming Ability and Related Properties, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 12: 58-59.
- Cossavella, M., Morcant K. and Panait A. (2006), Stress Analysis of the Adhesive Resin Layer In a Reinforced Pin-Loaded Joint Used In Glass Structures, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 123(8): 92.
- Dankwerst, P.V. (1982) Definition and Measurements of Some Characteristics of Mixtures, *German Glass Industry*, Frankfurt, 279s.
- Douglas, R.W. (1956) Teisen Glass Furnaces, *Society of Glass Technology*, Birmingham, 136s.
- Erol, M., Küçükbayrak, S. and Meriçboyu, A.E. (2006) Comparison of the Properties of Glass, Glass-Ceramic and Ceramic Materials Produced From Coa Fly Ash, *Journal of Hazardous Materials*, 153(1-2): 418-425.
- Etherington, (1994) Modern Furnace Technology, *Charles Griffin & co.ltd.*, London, 258s.

- Frory, F.C. and Taylor C.S., (1982) Laboratory Glass Blowing, *Stahleisen Publishing*, New York, 109s.
- Graham, P.W. (1987), The Container Industry Utilizes Protective Coatings, *Glass Ind. Nov.*, 22s.
- Guignard, M., Werner, U., and Zwanziger, J.W. (2007) Glass Former-Glass Modifier Interactions and the Stress-Optic Response, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 354(2-9): 79-83.
- Guo, J., Rao, Q. and Xu, Z. (2007) Distribution of the Microcrystallites Generated In Borate Glass Irradiated By Femtosecond Laser Pulses, *Journal of Hazardous Materials*, 153(1-2): 728-734.
- Holloway, D.G. (1973) The Physical Properties of Glass, *Whkeham Pub.*, London, 87s.
- Huff, N.T., Shetterly, D.M. and Hibbits, L.C. (2003) Glass to Metal Heat Flow During Glass Container Forming, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2(38-39): 873-878.
- Jebsen, H. (1991) Cords in Glass, *Glustech. Ber.*, 269s.
- Kaischew, R. (2007) Recent Investigations on Nucleation and Crystal Growth Processes, *Journal of Crystal Growth*, 52(1): 3-13.
- Kocabağ, D. (2002) Cam Kimyası, Özellikleri, Uygulaması, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 417s.
- La Course, W.C. (1972) The Strength of Glass in Introduction to Glass Science, *Plenum Pres.*, London, 451-512s.
- Laws, K.J., Gun B. and Ferry, M. (2006) Materials Science and Engineering S425, *Charles Griffin & Co. Ltd.*, London, 114-120s.
- Leea, J.W., Tomozowa, M. and MacCronea, R.K. (2007) Building Science, V10, *Northend Ltd.* 72s.
- Marden, A.L. (1993) Flow of Glass in Tanks, *Chapmann & Hall*, 155-255s.
- Marques, W.M. and Tulyaganov P.U. (2006) Mold Surface Temperatures During Glass Container Forming, *Ceramics International*, 34: 1145-1152.
- Mohan, S.V., Raghavulu S.V. and Sarma, P.N. (2007) Biochemical evaluation of bioelectricity production process from anaerobic wastewater treatment in a single chambered microbial fuel cell (MFC) employing glass wool membrane, *Composites Science and Technology*, 68(5): 1156-1164.
- Moresea, F. and Müllera, W. (2006) The Ring Structure of Boron Trioxide Glass, *Construction and Building Materials*, 22(4): 557-565.
- Morey, G.W (1994) The Properties of Glass, *Rehinhold Pub. Co.*, 67-81s.

- Müller S., H., Wagner, J and Lenhart, A. (1994) Practical Strength of Glass Containers, Part 1. Influence of the Type of Defect, *Glass Tech. Ber Glass Sci. Technol*, 134-142s.
- Naruse, A. (1998) Theoretical Considerations On the Optimum Dimension of The Throat of a Glass Tank Furnace, *Society of Glass Technology*, 235s.
- Persson, H.R. (1983) Glass Technology, Manufacturing and Properties, *Cheong Moon Gak Publ.Co.*, Seoul-Korea, 25-27s.
- Peters, A. (1993), Determination of Reducing Components In Glassmaking Raw Materials, *Glasstech Berichte*, 159-164s.
- Philips, C.J. (1980) Glass, Its Industrial Applications, *Reinhold Pub.Co.*, 68-77s.
- Poutos, K.H., Alani, A.M., Walen P.J. and Sangha, C.M. (2006) Relative Temperature Changes Within Concrete Made With Recycled Glass Aggregate, *Construction and Building Materials*, 22(4): 557-565.
- Rawson, H. (1980) Properties and Applications of Glass, *Elsevier*, 156-174s.
- Rehren, Th.(2007) A Review of Factors Affecting the Composition of Early Egyptian Glasses and Faience: Alkali and Alkali Earth Oxides, *Journal of Archaeological Science*, 35: 1345-1354.
- Rosin, P. and Tehling, R. (2001) The Glass Diagram of Combustion, *Society of Glass Technology*, Berlin, 31s.
- Rubio, J.C., Albarao A.M., Faria, P.E. (2007) Effects of High Speed In the Drilling of Glass Fibre Reinforced Plastic: Evaluation of the Delamination Factor, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48(6): 715-720.
- Sardeshpande, V., Gaitande, U.N. and Bonerjee, R. (2006) Characterization of the Porosity of an Acid Leached Silicoaluminate Glass Fibre, *Energy Conversion and Management*, 48(10): 2718-2738.
- Schneekloth, W. (1963) Methods of Investigating Glass Currents in Tank Furnaces, *Society of Glass Technology*, 651s.
- Schroersa, J., Pekerb, A. and Patonb, N. (2007) Rationales In Old World Base Glass Compositions, *Ceramics International*, 34: 1145-1152.
- Shand, E.B. (1958) Glass Engineering Handbook, *McGraw Hill Book Co.*, 67-81s.
- Silvestri, A., Molin, G. and Salviulo, G. (2006) The Colourless Glass of *Iulia Felix*, *Journal of Archaeological Science*, 35(2): 331-341.
- Stumm, O. (1972) Glass Flow in a Continuous Tank Furnace, *Society of Glass Technology*, Germany, 252s.
- Şişecam, (1998) Cam Teknolojilerine Giriş Cilt 1-2, *Şişecam Eğitim Müdürlüğü* 458-412s.

- Tite, M.S., Shortland, A., Maniatis, Y. and Haris, S.A. (2005) The Composition of the Soda-Rich and Mixed Alkali Plant Ashes Used In the Production of Glass, *Journal of Archaeological Science*, 33(9): 1284-1292.
- Wagner J. Müller (1985) Practical Strength of Glass Containers, Part 2, Influence of Handling, *Glasech, Ber. Glass Sci. Technol.*, 196-201s.
- Vereshagin, V.I. and Sokolova, S.N. (2006) Granulated Foam Glass–Ceramic Material From Zeolitic Rocks, *Composites Science and Technology*, 18(9): 1989-2002.
- Zuberek, R., Szymczak, H. and Gutowski, M. (2007) Internal Stress Influence On Fmr In Amorphous Glass-Coated Microwires, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 316: 890-892.
- Zünther, R. (1985) Glass Melting Tank Furnaces, *Society of Glass Technology*, Germany, 323s.

ÖZGEÇMİŞ

Adı, Soyadı : Sidem KANER
Doğum Tarihi : 17.08.1982
Doğum Yeri : DİYARBAKIR
Bitirdiği Lise, Yılı : Konya Meram Anadolu Lisesi, 2000
Bitirdiği Üniversite, Yılı : **Pamukkale Üniversitesi Makine
Mühendisliği Bölümü, 2004**