

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**OTOMOTİV CAMLARININ TEMPERLENMESİ VE
ŞEKİLLENDİRİLMESİ**

Ulaş KAÇAR

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: YRD. DOÇ.DR. NURŞEN ÖNTÜRK

TEKİRDAĞ-2008

Her hakkı saklıdır

.....danışmanlığında, tarafından
hazırlanan bu çalışma/...../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından.
..... Anabilim Dalı'nda tezi
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı :

İmza :

Üye :

İmza :

Üye :

İmza :

Üye :

İmza :

Üye :

İmza :

Yukarıdaki sonucu onaylarım

(imza)

.....

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

OTOMOTİV CAMLARININ TEMPERLENMESİ VE ŞEKİLLENDİRİLMESİ

Ulaş KAÇAR

Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nurşen ÖNTÜRK

Cam tarih boyunca çok farklı alanlarda kullanılan bir malzemedir. Camın tarihi, işlenmesi ve son şeklini alması çok uzun ve yorucu bir süreçtir. Bunun yanında cam otomotiv sanayi içinde önemli bir malzemedir. Bu nedenle, bu tezde otomotiv sektöründe kullanılan camların temperlenmesi ve kendine özgü şekiller verilmesi detaylı olarak anlatılmıştır.

Anahtar kelimeler: Cam, Temperleme, Tavlama, Şekillendirme, Otomotiv

2008, 85 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

TEMPERING AND FORMING OF AUTOMOTIVE GLASSES

Ulaş KAÇAR

Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Main Science Division of Mechanical Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Nurşen ÖNTÜRK

Glass is a material used in different fields through history. History of glass, process and forming it are long and rocky roads. At the same time, glass is an important material for the automotive industry. So, in this thesis, tempering the glass used in automotive sector and forming it in its own way are explained in detail.

Keywords : Glass, Tempering, Annealing, Forming, Automotive

2008 , 85 pages

ÖNSÖZ

Cam tarih boyunca bilinmezliğini koruyan ve bir o kadarda ilgi gören bir maddedir. İlk ortaya çıkışından bu yana sürekli bir gelişim ve değişim içinde olmuştur. Bu değişim süreci içinde farklı üretim metodları sayesinde çok farklı sektörlerde kullanım alanı bulmuştur.

Ev eşyası olarak kullanımından başlayarak, otomotiv sanayisinde emniyet ve görsel bir unsur olarak kullanıma kadar çok geniş bir yelpazede kendine yer bulmaktadır.

Bu tez çalışmasında, cam üretimi, temperleme teknikleri ve bu temperleme teknikleri yardımıyla otomotiv camlarının üretimi anlatılmıştır.

Kendisiyle çalışmaktan onur duyduğum, çalışmalarım süresince yardımlarını ve ilgisini esirgemeyerek her türlü konuda yardımcı olan, bütün yaşamım boyunca insanlığını, işine verdiği değeri ve saygıyı örnek alacağım, çok değerli hocam Yard. Doç. Dr. Nurşen ÖNTÜRK'E sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasında bana sürekli desteğini ve yardımlarını esirgemeyen., yüksek lisans çalışmam boyunca sürekli desteğini hissettiğim sevgili eşim İlkin KAÇAR'A ve her türlü materyal ve yöntem uygulamaları konusunda faydalandığım Trakya Otocam Fabrikası yönetimine teşekkür ederim.

Ulaş KAÇAR

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Camın Tarihi	1
1.2. Cam	3
1.3. Camsı Durum	4
1.4. Camın Özellikleri	9
1.4.1. Fiziksel özellikleri	9
1.4.2. Elektriksel özellikleri	13
1.4.3. Optik özellikleri	13
1.4.4. Kimyasal özellikleri	13
1.4.5. Isıl özellikleri	13
1.4.6. Mekanik özellikleri	14
2. KAYNAK ÖZETLERİ	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM	18
3.1. Cam Üretimi	18
3.1.1. Kullanılan hammaddeler	18
3.1.2. Cam renklendirici hammaddeler ve kontrol altına alınması	25
3.1.3. Harman hazırlama	27
3.1.4. Cam üretim süreci	28
3.1.5. Camın ergitilmesi	32
3.1.6. Camın afinasyonu	33
3.1.7. Camın şartlanması	36
3.1.8. Camın şekillendirilmesi	36
3.2. Cam Türleri	38
3.2.1. Düz cam	38
3.2.2. Cam ev eşyası	42
3.2.3. Cam ambalaj	42
3.2.4. Cam elyaf	43

3.2.5. Sanayi kaplar	44
3.2.6. Özel camlar	45
3.2.7. Cam ürün standartları	47
3.3. Otomotiv Camlarının Temperlenmesi Ve Şekillendirilmesi	48
3.3.1. Tavlama teorisi.....	48
3.3.2. Temperleme.....	49
3.3.3. Otomotiv camlarının temperlenmesi	54
3.3.4. Otomobil camlarının şekillendirilmesi	56
3.3.5. Düz şekillendirme.....	56
3.3.6. C.R.B. sistemi ile şekillendirme.....	58
3.3.7. S.A.G. sistemi ile şekillendirme.....	60
3.3.8. D.B. sistemi ile şekillendirme	61
3.3.9. P.B. sistemi ile şekillendirme:.....	63
3.4. Temperli Otomobil Camlarına Uygulanan Güvenlik Testleri:	65
3.4.1. Parçalanma testi.....	66
3.4.2. 227 gr. bilya testi	66
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	67
4.1. Türkiye’de Cam Sektörü	67
4.2. Türkiye’de Otomotiv Sektörü	68
4.3. Otomotiv Camlarını Temperleme Metotlarının Önemi.....	69
4.4. P.B. Sistemi İle Örnek Uygulama:	70
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	74
6. KAYNAKLAR	77
EKLER	78
EK 1	78
EK 2	79
EK 3	80
EK 4	81
EK 5	82
EK 6	83
EK 7	84
ÖZGEÇMİŞ.....	85

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Sıvı – katı hal arasındaki ilişki ve cam dönüşümü	6
Şekil 1.2. Sıcaklığın dönüşüm bölgesinde yalancı denge durumuna ulaşması	8
Şekil 3.1 Genel Cam Bileşimi (Ortalama Değerler)	19
Şekil 3.2. Tipik sürekli fırın	29
Şekil 3.3. Sürekli bir fırının tipik bir fırın sıcaklık profili.....	35
Şekil 3.4.Tavlama için ideal tavlama süreci.....	49
Şekil 3.5 Cam kesitindeki gerilme dayanımı.....	52
Şekil 3.6. Temperleme ve tavlama sıcaklık zaman grafikleri.....	53
Şekil 3.7. Bombeli cam temperleme fırını.....	56
Şekil 3.8. Düz şekillendirme.....	58
Şekil 3.9. C.R.B. sistemi ile şekillendirme.....	59
Şekil 3.10. S.A.G. sistemi ile şekillendirme.....	61
Şekil 3.11. D.B. sistemi ile şekillendirme.....	63
Şekil 3.12. P.B. sistemi ile şekillendirme.....	65
Şekil 3.13. Maksimum ve minimum parçalanma numuneleri	66
Şekil 4.1. Isuzu arka camın fırın giriş kontrolü	70
Şekil 4.2. Erkek pres kalıbın cama basıp şekil vermesi ve camı alması	71
Şekil 4.3. Özel cam taşıyıcının camı alarak hava panosuna götürmesi	71
Şekil 4.4. Camın soğuması ve gabari kontrolünün yapılması	72
Şekil 4.5. Camın parçalanma testi için punç ile kırılması	72
Şekil 4.6. Camın parçalanma testi sonuçları	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 1.1. Çeşitli sıvıların ergime noktasındaki viskoziteleri.....	4
Çizelge 1.2. Tipik camların yoğunluğu.....	12
Çizelge 4.1. Dünya Cam Üretimi.....	67

1. GİRİŞ

Cam eskiçağ medeniyetlerinden çağımıza değin sanatın ve endüstrinin geliştiği ülkelerde çeşitli amaçlar için çeşitli şekillerde üretilmekte olan ilginç bir malzemedir. Saydamlığı, dış etkilere karşı büyük direnci ve elektrik yalıtımında etkin oluşu gibi pek çok kullanım alanlarına sahiptir. Cam kırılğan bir maddedir ve gerilme direncine oranla çok daha fazla sağlamlık gösterir.

1.1. Camın Tarihi

Modern uygarlığımızın diğer yaygın malzemelerinin diğer pek çoğunda olduğu gibi, camın bulunuşu da bir rastlantı sonucudur. Bu malzemeyle ilgili en eski bilgilerden biri Pliny tarafından sunulmuş olup, eski Fenike tüccarlarının deniz kenarlarında bir potasyum minerali olan trona üzerinde ateş yakıp yemek pişirirlerken tesadüfen buldukları şeklindedir. Odun ateşinin camlaşmayı sağlayacak sıcaklıklara ulaşip ulaşamayacağı hep tartışılmıştır. Yapılan deneylerde malzeme uygunsa camlaşmayı sağlayabilecek sıcaklıklara erişebileceği kanıtlanmıştır. Ateşin bulunması ve kontrol altına alınıp yüksek sıcaklıkların elde edilmesiyle ateşten faydalanılarak oluşan sanatlar ortaya çıkmış ve gittikçe hızlanan bir gelişim göstermeye başlamıştır.

İlk cam kap MÖ 1000 yıllarında Mısırlılar tarafından yapılmıştır. Camı kil kalıp üzerinde şekillendirdikten sonra kilin alınması gibi zor ve zaman alıcı bir işlem uygulanmıştır. Bu sebeple cam kıymetli eşya sayılmış ve özenle nesilden nesile aktarılmıştır. MÖ 300 ve MÖ 20 yılları arasında üfleme çubuğunun kullanılmasıyla daha önce yapılamayan şekil ve tasarımda cam ürünler imal edilmiştir.

Camcılığın Avrupa'ya yayılması cam teknolojisini geliştirmiş, bileşim ve dekor tekniği yönünden önemli gelişmeler gerçekleştirilmiştir. 1675 yılında İngiltere'de George Ravenscroft potasyumlu cama kurşun oksit ilavesiyle meşhur İngiliz kristalini geliştirmiştir. 1680 yılında Bohemya'da ergitici olarak potas içeren geleneksel camlara kalker flonksların ilave dekora uygun şeffaf bir cam elde edilmiştir. Sanayi çağının başlamasıyla cam üretim teknolojisinin gelişimi de büyük oranda hızlanmıştır. On sekizinci yüzyıl sonlarında

Avrupa’da karbonize maden suyu üretiminin artmasına bağlı olarak şişe talebi artmış ve ağaç kalıpların kullanılması ile şişe üretimi yaygınlaşmıştır. 1825 yılında cam presi geliştirilmiştir. Artan üretim talebine bağlı olarak cam üretiminin arttırılabilmesinde en önemli rolü belki de cam fırını teknolojisindeki gelişmeler oynamıştır. O zamana kadar cam küçük kapasiteli pota fırınlarında üretiliyordu. Bu konuda; 1863’de Siemens rejeneratif fırınının, 1870’te Beivs soğutma (tavlama) fırınının, 1873’te Siemens tank fırınının geliştirilmesi cam üretiminin arttırılabilmesini sağlamıştır. 1820-1920 dönemini cam üretiminde günümüz teknolojilerinin öncülerinin geliştirildiği dönem olarak düşünebiliriz. Bu dönemde hem düz cam hem de şişe ve cam kap üretiminde önemli teknolojik gelişmeler olmuştur.

İlk pencere üçüncü yüzyılın sonlarında camın büyük düz bir taş üzerine dökülmesiyle elde edilmiştir. Bir seferde üretilen cam miktarı yirminci yüzyıla kadar çok az arttı. Daha sonrasında teknolojik buluşlarda süreklilik sağlandı. İlki 1913’te başlayan ‘Düz Cam Çekme’ metodunun bulunuşuydu. İkincisi ise 1950’lerin sonunda ‘Float Cam Teknolojisi’ gelişimidir.

Cam geçirdiği aşamalarıyla da bugünkü durumuyla da bir yüksek sıcaklık sanatıdır. Yüksek sıcaklığın getirdiği teknik sorunlar çözülebildiği sürece cam malzemeyle bir oyun oynarcasına her türlü üretim gerçekleştirilebilir. Cam üretimine paralel olarak cam bilimi ve teknolojisi üzerindeki çalışmalar özellikle yirminci yüzyılın ortalarından bu yana yoğunlaşmış, gelişmiş cihazların sağladığı imkânlar sayesinde camın yapısal nitelikleri ile yapısal nitelik ve özellikleri arasındaki bağıntıların araştırılmasına yönelik çalışmalar ağırlık kazanmıştır. Günümüzde cam; klasik kullanım alanları dışında elektronik endüstrisinden, tip, nükleer enerji ve uzay teknolojisine kadar yapılan geniş bir uygulama alanı içinde değerlendirildiği gibi geleceğinde malzemesi olduğunu kanıtlamıştır.

Türklerin camcılıkla uğraşı Anadolu Selçukluları ile başlamış ve Cumhuriyet döneminde bir sanayi dalı olarak gelişimini sürdürmüştür. Türkiye’de ilk düz cam üretimi Çayırova Cam Sanayi’nin kurulmasıyla (1960) başlamıştır. Daha sonra Anadolu Cam Sanayi’nde bir düz cam fırını devreye girmiştir. Float teknolojisi 1980 yılında Trakya Cam’ın kurulmasıyla başlamış ve gelişmeye devam etmektedir.

Gerek dünyada gerek ülkemizde güçlü bir cam endüstrisi doğmuştur. Örneğin, Türkiye’de cam endüstrisi denince, Türkiye cam pazar payının büyük bölümünü elinde bulunduran Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. akla gelmektedir.

İnsanın cam yapmayı ne zaman keşfettiği tam olarak bilinmese de insanoğlunun camı kendi yararına kullanılması camın keşfinden çok daha eskilere gitmektedir. İlk kullanılan camlar bizzat doğanın kendisi tarafından oluşturulmuş camlardır. Camsı yapıda bir volkanik kayalık olan obsidieni avcılar balta, bıçak, ok ucu ve benzeri aletleri yapmak için kullanmışlardır.

Önce yarı otomatik sonra da otomatik mekanize üretime geçilmiştir. Daha önce bilinen üfleme yöntemi yanında üfleme-üfleme, presleme-üfleme ve presleme yöntemleri gelişmiştir. Camın geçirdiği teknolojik gelişim süresinde teknik sorunların ve sınırların aşılmasıyla kullanılan enerjinin geliştirilmesiyle yeni biçimlendirme teknikleri ortaya çıkmıştır. Örnek olarak parfüm ve tıbbi malzemelerin saklanmasında kullanılan cam kaplar ve kutsal vazolar görülmektedir. Rengi ve biçimsel özellikleriyle seramik sanattan etkiler taşıyan bu ürünler dönemlerinin seramik biçimlerinden fazla uzaklaşmamışlardır. O günün cam eşyası belirli işler için kullanılmaktaydı. Çünkü cam en çok 10-15 cm boyunda üretilebiliyordu. Bu küçük cam ürünler biçimleri bakımından günün şartlarına göre mükemmel olmasa da üzerlerindeki renk ve desen çözümlenmeleri açısından çarpıcıdır. Geçmişte üretilmiş cam örneklerine baktığımız zaman günümüzde kolay dediğimiz her örneğin bile o gün için ne kadar zorluklarla elde edildiğini unutmamak gerekmektedir. “800-1000 derecelere ulaşmak, bu derecelerde akıcılık kazanan camı işleyerek dayanıklı araçlar yapmak, gerekli iş için uygun ortam ve ustalığı elde etmek biçimlendirilen ürünleri soğutmak zamanla gelişmiştir (Kuşcuoğlu 1993).

1.2. Cam

Cam nedir? Bu soruya pek çok farklı tanımla cevap alınmıştır. Cama sadece, kırılğan, sert, parlak ve şeffaf bir malzemedir demek yeterli değildir. Daha detaylı bir tanım yapmak gerekirse; cam, yüksek sıcaklıkta eriyik halden hızlı bir biçimde oda sıcaklığına soğutulan ve bu esnada kristalleşme göstermeyen amorf (yarı düzenli yapıda) bir malzemedir.

Elementlerin ve bileşiklerin birçoğu eritildikleri zaman viskoziteleri yaklaşık su ile aynı olan sıvılar oluştururlar. Soğudukları zaman ise belli bir sıcaklıkta (ergime noktası) kristalleşirler. Fakat SiO₂, GeO₂, B₂O₃ ve BeF₂ gibi bazı maddelerde eritildikleri zaman

oldukça kolay akamaz (viskoz) sıvılar oluştururlar. Soğudukları zaman ise, her ne kadar eğer belli sıcaklıklarda bekletirilirlerse, belli oranlarda kristallenmeleri mümkünse de (çünkü termo dinamik olarak maddelerin kristal hali en dengeli halidir) genellikle kristallenme hızları çok yavaştır ve hızlı soğutma durumunda kristallenmeden soğutulabilirler.

Çizelge 1.1. Çeşitli sıvıların ergime noktasındaki viskoziteleri

MADDE	ERGİME NOKTASI (°C)	VİSKOSİTE (POİSE)
H ₂ O	0	0,02
LiCl	613	0,02
CdBr ₂	567	0,03
Na	98	0,01
Zn	420	0,03
Fe	1535	0,07
As ₂ O ₃	309	10 ⁶
B ₂ O ₃	450	10 ⁵
GeO ₂	1115	10 ⁷
SiO ₂	1710	10 ⁷
BeF ₂	540	10 ⁶

Kristallenme prosesinde, eriyiği oluşturan iyon ve moleküller yapı içinde yeniden düzenlenirler. Viskozitenin yüksek, kristallenme hızının düşük olması, bu tip maddelerde yapıyı oluşturan iyon veya moleküllerin hareketine karşı direncin yüksek olduğunu gösterir.

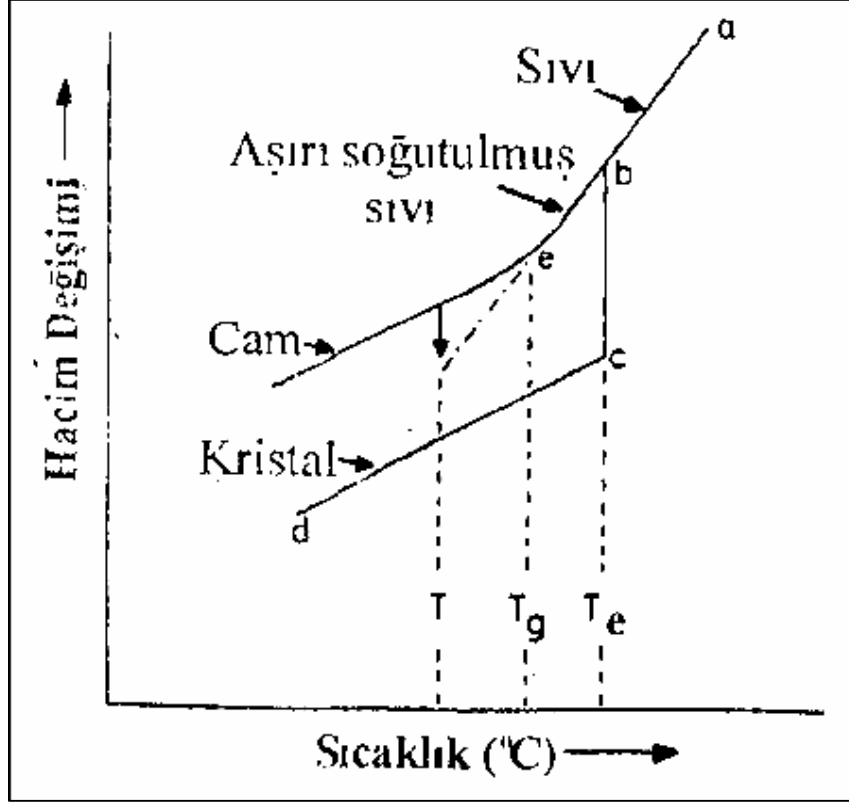
Eğer soğutma hızı yavaşsa kolay akamaz. Sıvı soğutulduğunda azda olsa kristallenme görülebilir. Fakat soğutma hızı yüksekse hiçbir kristallenme olmadan sıcaklığı istenen seviyeye düşürmek mümkündür. Sıcaklık düştükçe sıvının viskozitesi artar ve en sonunda öyle bir seviyeye ulaşır ki artık madde görünüş itibariyle bir katı olup cam olarak nitelenir.

1.3. Camı Durum

Eritildikten sonra soğuduğu zaman cam oluşturan bir maddenin davranışı hacim-sıcaklık eğrisi ile açıklanabilir. (Sekil 1.1) Eğer a noktasındaki bir eriyik, soğutma sırasında

tablonun üst sıralarındaki element veya bileşiklerde olduğu gibi kristalleşirse, buna bağlı olarak ergime noktasında (Te) hacminde önemli bir düşüş, yoğunlukta artış gözlenir. Eğer eriyik kristallenmeden soğumaya devam ederse hacminde böyle ani bir değişme görülmez ve hacim b-e çizgisi boyunca azalır. Maddenin b ve e noktaları arasındaki hali aşırı soğutulmuş olarak nitelenir. Bu durum soğutma ile hacimdeki küçültme kısmen atomların termal titreşim seviyelerindeki azalmadan kısmen de yapısal değişmelerden kaynaklanır. Sıvının kristallenmesi durumunda sıcaklığındaki yapısal değişme çok hızlı gerçekleşir. Normal olarak ergitme sıcaklığında cam oldukça viskoz bir sıvıdır (viskozite ~ 102 poise). Genel bir ifade ile sadece ergime noktasındaki viskozitesi yüksek olan sıvıların soğutuldukları zaman cam oluşturabileceğini söyleyebiliriz. Viskozitesinin yüksek olması, yapısal yeniden düzenlemeyi güçleştirir. Sıcaklığın düşmesi ile bu, daha da güç hale gelir ve öyle bir noktaya gelir ki viskozite artık daha fazla yapısal değişimin olamayacağı kadar yüksektir. e noktasında görüldüğü gibi hacim-sıcaklık eğrisinin eğimi azalarak, ergime noktasında kristalleşen maddenin hacim-sıcaklık eğrisine, cd, paralel hale gelir. Hacimdeki azalma tamamı ile atomların termal titreşim seviyelerindeki azalmadan kaynaklanır.

Eğimin değiştiği Tg sıcaklığı, camın dönüşüm sıcaklığı veya cama geçiş sıcaklığı olarak adlandırılır. Sadece Tg'nin altındaki sıcaklıklarda malzemeyi cam olarak tanımlamak uygundur. Bu sıcaklıkta gerçekleştiği kabul edilen cam dönüşümü, bir anda gerçekleşen bir olay olmadığı gibi, herhangi bir cam için Tg sıcaklığı da çok iyi belirlenmiş bir değer değildir. Bu nedenle “dönüşüm sıcaklığı” yerine “dönüşüm bölgesi” ifadesi de sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca Tg sıcaklığı soğutma hızına da bağlıdır. Soğutma hızı arttıkça Tg sıcaklığı azalır.



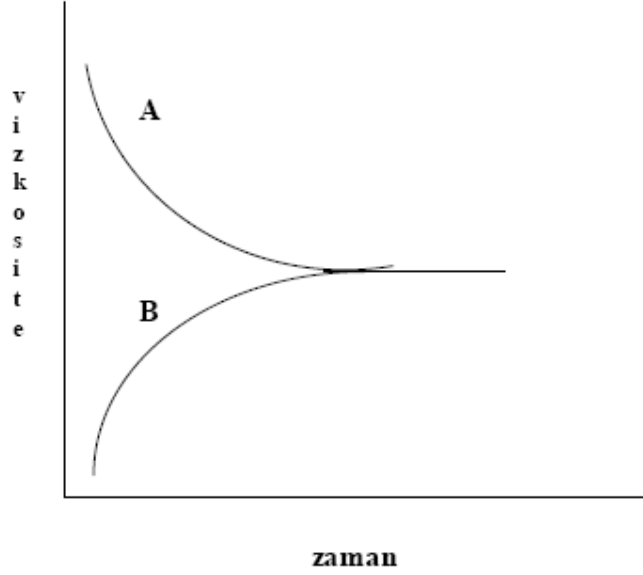
Sekil 1.1. Sıvı – katı hal arasındaki ilişki ve cam dönüşümü

Eğer cam T_g 'nin altındaki bir T sıcaklığında tutulursa hacmi aşırı soğutulmuş sıvının hacim sıcaklık eğrisinin bir uzantısı olan noktalı çizgi üzerinde bir değere ulaşana kadar yavaş yavaş azalacaktır. Noktalı çizgiye yaklaştıkça, yani cam aşırı soğutulmuş ergiyin T sıcaklığındaki karakteristik “dengeli” iç düzenlemesine yaklaştıkça hacimdeki değişme oranı azalır. Bu dengeli iç düzenleme, diğer sıvı benzeri yapılara veya düzenlemelere göre daha düşük enerjiye sahiptir. Fakat elbette bu, madde içindeki atom ve moleküllerin T sıcaklığında mümkün olan en düşük serbest enerjiye sahip oldukları anlamına gelmemektedir. Çünkü ergime noktası T_e 'nin altındaki herhangi bir sıcaklıkta mümkün olan en düşük serbest enerji düzenlemesi, maddenin kristal haline aittir. T_g 'nin oldukça altındaki sıcaklıklarda ise sıvı benzeri düzensiz camsı yapının, düzenli kristal yapısına dönüşme hızı yok denecek kadar küçüktür. T_g 'nin altında herhangi bir T sıcaklığındaki camın dengesi “yalancı denge” olarak nitelenebilir.

Dönüşüm bölgesinin altındaki sıcaklıklarda hacmin sıcaklığa değişim hızı cam ve kristalleşen maddeler için benzerdir. Fakat camın özgül hacminin değeri çok daha fazladır ve camı oluşturan sıvının soğutma hızı ile artar.

Soğutma sırasında bir sıvının cama dönüşümü ile ergime noktasında kristallenmesi arasındaki bir diğer fark da sıvının cama dönüşümü sırasında herhangi bir gizli ısının açığa çıkmamasıdır. Kristallenmedeki bu gizli ısı, kristallenme sırasında atom ve moleküllerin düzensiz bir düzenlenişten, oldukça düzenli bir düzenlenişe geçmesi ile gerçekleşen yapısal dönüşüm sonucu sistemin serbest enerjisinin azalmasından kaynaklanır. Hem sıvıdan katıya dönüşüm sürekliliği, hem de gizli ısının açığa çıkmaması camın moleküler düzenlemesinin sıvılardakine benzer olabileceğini düşündürmektedir. Bu nedenle cam sıklıkla “aşırı soğutulmuş sıvı” olarak nitelenmektedir. Cam için, kristalleşen katılar gibi kesin ve tanımlanabilir bir ergime sıcaklığından ve benzer şekilde altında hiç bir sıvının bulunmadığı bir kalıtsal sıcaklığından da bahsedilebilir.

Değişim bölgesi civarında ısı ileme tabi tutulan bir camın iç düzenlenişini ve fiziksel özelliklerini tartışırken “suni kalıtsal sıcaklığı” kavramından yararlanılabilir. Bu kavram camın yapısal düzenlenişinin belli bir T sıcaklığındaki ilk yapısal düzenlemesinden ne derece de uzaklaştığının numarik olarak ölçümünü sağlar. Eğer bir cam numunesinin T_g sıcaklığının üstündeki bir T₁ sıcaklığında denge durumuna getirildiği ve çok hızlı bir şekilde T_g sıcaklığının oldukça altındaki bir T₂ sıcaklığına soğutulduğu varsayılınsın. Sıcaklığın değişimi sırasında camın iç düzenlemesinin değişmesi için yeterli zaman olmayacak ve T₂ sıcaklığındaki cam, T₁ sıcaklığındaki denge düzenlemesi ile aynı iç düzenlemeye sahip olacaktır. T₁ sıcaklığı, T₂ sıcaklığındaki camın suni kati hal sıcaklığı olarak adlandırılır. Eğer cam T₁'den yavaş yavaş soğutulursa, T₂'ye geldiğinde camın suni kalıtsal sıcaklığı T₁'den daha düşük bir sıcaklıkta gerçekleşecektir. Suni kalıtsal sıcaklığı arttıkça cam numunesi ile malzemenin kristallenme biçimi arasındaki yapı farkı artar.



Şekil 1.2. Sıcaklığın dönüşüm bölgesinde yalancı denge durumuna ulaşması.

Suni kalıtsal sıcaklığı ne olursa olsun, camı yapıda soğutulabilen bir malzeme, dönüşüm bölgesindeki herhangi bir sıcaklıkta, moleküllerin iç düzenlenişi yönünden herhangi bir sıcaklıkta, moleküllerin iç düzenlenişi yönünden bir yalancı denge durumuna ulaşabilir. Böyle bir durum şekilde görüldüğü gibi, camın ışığı kırma indeksi, viskozitesi ve yoğunluğu, zamana bağlı olarak belli bir denge değerine doğru değişir. Bu denge değeri, cam daha önce daha düşük veya daha yüksek bir sıcaklıkta dengelenmiş bile olsa aynıdır. Seçilen sıcaklık düştükçe yalancı dengeye ulaşmak için gerekli süre artar. Çünkü sıcaklık düştükçe malzeme içindeki atomların veya moleküllerin yeniden düzenlenebilmeleri için gerekli hareket yetenekleri azalır ve belli bir sıcaklığın altında da imkânsız hale gelir. Yani hep sabitlenir. Prensipte herhangi bir camın suni kati hal sıcaklığı, camın T_i sıcaklığının altındaki bir seri sıcaklıktan çok hızlı bir şekilde soğutulmuş numunelerin aynı özelliklerinin ölçülen değerleri ile kıyaslayarak deneysel olarak ölçülebilir. Fakat bu şekilde ölçülen suni kati hal sıcaklığı, belli ölçüde seçilen fiziksel özelliğe bağlı olduğu için cam numunesinin düzenliliğinin tespiti için birden fazla değişken kullanılmasında fayda vardır.

Camın oda sıcaklığında ölçülen özellikleri, çok büyük oranda değişim bölgesindeki soğutma hızına bağlıdır. Camın özelliklerinin kontrol edilmesi gerektiği zaman bu ısı etkilerinden yararlanılır (Yücesoy 1993).

1.4. Camın Özellikleri

Camın günlük hayatımızdaki ve teknoloji dünyasındaki kullanımını belirleyen özelliklerin başında camın mekanik özellikleri sayılabilir. Camın tanımlanan tüm malzemelerden farklı olan mekanik özellikleri, onun kalıcı deformasyonuna izin vermeyen molekül yapısından kaynaklanır. Bu temel özellik camın kırılma tokluğu düşük, kütleli mekanik dayanımı yüksek olmakla birlikte yüzey hatalarına aşırı derecede duyarlı olan, kırılmalı, kırıldığında yaralanmalara yol açabilen bir malzeme olmasına neden olur. Burada bu temel davranış biçimini ana hatları ile mikro ve makro düzeyde incelenecektir.

1.4.1. Fiziksel özellikleri

Normal katı ve sıvı halleriyle camsı hâl arasındaki bağlantı ergimiş haldeki maddelerin soğutulmaları sırasındaki mekanizma incelendiğinde anlaşılabilir. İnorganik element ve bileşiklerin çoğu, ergime durumunda, viskoziteleri hemen hemen suyun viskozitesine yakın sıvılar meydana getirirler. Bu tip sıvılar soğutuldukları zaman, ergime noktasında seri bir kristalizasyon başlar. Soğutmanın çok hızlı olduğu zamanlarda bile kristalizasyon oluşacaktır.

Ergidikleri zaman yüksek viskoziteli sıvılar meydana getiren birçok madde mevcuttur. Bunlar, donma noktalarının biraz altında tutulacak olursa, kristal faz, termodinamik olarak sıvı fazdan daha durağan olduğundan dolayı yavaş olarak kristalleşeceklerdir. Fakat sıcaklık derecesi sabit tutulacak yerde sıvı, donma noktasının üzerinde bir sıcaklık derecesinden sürekli olarak soğutulursa, soğutma hızı ile bağlantılı olarak, kristalizasyon oluşmayabilir. Soğutma hızı çok yavaş ise sıvı en azından bir dereceye kadar kristalleşecektir. Fakat daha yüksek soğutma hızlarında kristalizasyon olmadan sıcaklık derecesini istenen miktara indirmek mümkün olacak ve sıcaklık azalırken viskozite artacağından, madde katılaşacaktır. Meydana gelen bu katı madde camdır. Camın fiziksel özelliklerine sırasıyla bakılacak olursa;

Viskozite; camın en önemli teknolojik özelliğidir. Camın ergitme koşulları, işlenmesi, tavlama sıcaklığı, afinasyonu, üst kullanım sıcaklığı ve kristallenme hızı büyük oranda viskozite tarafından belirlenir.

Camın viskozitesi akışkanlığa karşı direnç olarak düşünülebilir. En önemli fiziksel ve teknolojik özelliklerden birisidir. Viskozite ergitme şartları, çalışma ve tavlama sıcaklıkları, saflaştırma davranışı, en yüksek kullanım sıcaklık değeri ve kristallenme oranını belirleyen bir faktördür. Üretim esnasında camlar üzerine yapılacak gerekli kontrollerin tespiti açısından da önem arz etmektedir. Cam viskozitesini, hem kimyasal bileşim hem de sıcaklık etkilemektedir. Viskozite basit bir modelle açıklanacak olursa; belirli bir yönde akmakta olan bir doğal sıvı ve örneğin bir kanal içinde akmakta. Hız tüm kesit içinde sabit olamaz. Ancak ortam sürekliliğini de yitirmez. Yani kanal içindeki sıvı ortamda kopmalar meydana gelmemektedir.

Çalışma noktası; cama kalıcı şeklinin verildiği viskozite değerindeki sıcaklık derecesi çalışma noktası olarak tanımlanır. Çoğu cam şekillendirme işlemleri çalışma noktasından daha çok çalışma aralığı kullanılarak yapılır. Çalışma aralığı yumuşama noktası ile çalışma noktası arasındadır. Çalışma noktası üzerinde çalışılır. Çalışma aralığı genel olarak 103 P - 106,6 P arasında değişmektedir.

Yumuşama noktası; camın viskozitesinin 107,6 P olduğu sıcaklık, yumuşama noktası olarak kabul edilir. Bu noktada cam kendi ağırlığını daha fazla taşıyamamaktadır.

Tavlama noktası; şekillendirme işlemleri sonunda camda olabilecek kalıntı gerilmelerin yaklaşık 15 dakika içinde giderildiği noktadır. 1012 P viskozite değerine karşılık gelen sıcaklık değeri tavlama noktasıdır.

Deformasyon noktası; viskozitenin 1014,5 P olduğu sıcaklık değeri deformasyon noktası olarak tanımlanır. Deformasyon noktasının altındaki sıcaklıklarda kırılma, plastik deformasyon başlamadan önce oluşacaktır.

Örneğin soda kireç camının karakteristik viskozite noktaları, ergime noktası 1400 °C, çalışma noktası 1000 °C, yumuşama noktası 700 °C, tavlama noktası 500 °C, deformasyon noktası 450 °C değerlerindedir.

Viskozitenin sıcaklıkla değişimi; erime noktasında viskozitede ani bir değişim gösteren kristal maddelerin aksine camların viskozitesi zamanla değişir ve sıcaklığın düşmesiyle hızı artar. Örneğin şişe camı ya da düz cam üretilen bir cam fırınında, en yüksek

çalışma sıcaklığında (yaklaşık 1500 °C) cam yaklaşık oda sıcaklığındaki şurupla aynı akıcılığa sahipken 500 °C'de aynı camın viskozitesi o derece artar ki malzeme genellikle elastik bir katı gibi davranır. Camın işlenmesi yönünden yumuşama noktası yüksek bir cam sert cam olarak adlandırılır. Düşük yumuşama noktalı bir cam ise yumuşak cam olarak adlandırılır. Viskozite sıcaklık eğrisi çok dik olan bir cam kısa cam olarak nitelendirilirken tersi uzun cam olarak nitelendirilir. Uzun cam havada soğumaya bırakıldığı zaman daha yavaş katılaştır. Camın katılma süresi sadece viskozitenin değişmesine değil, aynı zamanda camın ısıyı yayma kabiliyeti ve eriyikle ortam sıcaklığı arasındaki fark tarafından belirlenen camın soğuma hızına da bağlıdır.

Hızlı soğutulmuş bir camın viskozitenin zamanla değişmesinde yapısal yeniden düzenlenme ile yüksek sıcaklığa özgü bir karakteristiktan düşük sıcaklığa özgü bir karakteristikiğe geçiş söz konusudur. Yüksek viskoziteden dolayı camın yapı elemanlarının yeniden düzenlenmesi yavaş olduğu için değişim de yavaştır. Bu yeniden düzenlenmenin yapısal niteliği tam olarak bilinmemekle beraber kabaca sıcaklık arttıkça camın ağ yapısının sürekli olarak kırılıp parçalandığı düşünülebilir. Bir cam numunesi yüksek bir sıcaklıkta denge durumuna ulaşmasına göre daha çok kırılmış bağlara sahiptir. Nispeten daha düşük bir sıcaklıkta tutulduğu zaman ise, bu bağlar tekrar oluşacağı için viskozite denge değerine artar.

Yoğunluk, camın katı halinde birçok başka özelliğini etkilediği gibi, ergitme aşaması için de önemlidir. Camın kırılma indeksi genellikle yoğunlukla artarken, özgül hacimle azalır. Ergitme aşamasında fırın içindeki sıcaklık farklılaşması sonucu oluşan yoğunluk değişimi, camın ergimesi ve homojenizasyonu için önemli olan taşınım akıntılarını oluşmasını sağlar. Camın yoğunluğu, bileşime bağlı olarak 2,2-8,0 gr/cm³ arasında değişir. Silika camının oda sıcaklığındaki yoğunluğu 2,20 gr/cm³'tür.

Çizelge 1.2. Tipik camların yoğunluğu

CAM	YOGUNLUK(gr/cm ³)
Silika Cami	2,203
Soda Kireç Cami	2,5
Bora Silika Cami	2,23
Sise Cami	2,46
Düz Cami	2,50
Agir Kursun Cami	3,20
Yogun Filint	4,80
Radyasyon Kalkani	6,22

Camın yüzey gerilimi; bir sıvı yüzeyini arttırabilmek için gerekli birim uzunluğa karşılık gelen güçtür ve sıvı yüzeyinde bir birim uzunluğundaki kısmın sıvı içinde aynı uzunluktaki sıvının çevresi tarafından çekilmesine göre sıvı yönündeki çekilme kuvvetini ifade eder. Sayısal olarak değeri yeni yüzeyin oluşabilmesi için zorunlu birim yüzeye karşılık gelen 'yüzey enerjisine' eşittir. SI sisteminde birim Nm-1 'dir (10^{-3} Nm-1 = 1mN-1 = 1dyn cm-1).

Camın yüzey gerilimi gerek camın ergitilmesi ve afinasyonu gerekse şekillendirilmesi açısından önemli etkilere sahiptir. Camın viskozitesinin yüksek olduğu nispeten düşük sıcaklıklarda, viskozite, yüzey gerilimin etkilerini büyük oranda bastırır. Fakat sıcaklık arttığı zaman yüzey gerilimi büyük oranda aynı kalırken viskozite azalır. Dolayısıyla yüzey gerilimi yüksek sıcaklıkta daha büyük öneme sahiptir.

Yüzey geriliminin düşmesi kabarcıkların giderilmesine yardımcı olur. Çünkü habbelerin birleşerek büyümesi hızlıdır. Yüzey geriliminin başka önemli etkileri arasında; gerek cam hammaddelerinin gerekse refrakterlerin korozyonunda katıların cam eriyiği tarafından ısıtılması belirtilebilir. Yüzey gerilmesi camın şekillendirilmesi aşamasında keskin köselerin ve kenarların yuvarlaklaşmasına neden olarak, düzgün ve yumuşak yüzeylerin elde edilmesini sağlar, düz cam ve elyafların çekilebilmesi açısından önemlidir. Özellikle elyaf üretiminde yüzey geriliminin belli bir değerin üzerine çıkmaması gerekmektedir. Yüzey gerilimi oranı 0,01'den büyük olmalıdır. Yoksa cam damlacıklar halini alır.

1.4.2. Elektriksel özellikleri

Camın günlük kullanımında elektriksel özelliği çok önemlidir. Kullanılan şekli ile cam, elektriği geçirmez. Bakır ve kurşun gibi metallere farklı olarak; eğer bir cam çubuğun iki ucunu elektriğe bağlarsak akım geçmez. Bu nedenle camın, yüksek bir elektrik direncine sahip olduğu söylenir. Elektrik akımını geçirmemesini istediğimiz kullanım alanlarında çoğunlukla cam kullanılır. Camın bu önemli fiziksel özelliği, elektriksel direnç olarak bilinir.

1.4.3. Optik özellikleri

Camın içinden ışığın geçmesi, geçirgenlik olarak bilinir. Camın bir tarafından bakıldığında, diğer taraftaki cisimler net görülebiliyorsa, bu özellikteki cama saydam cam denir. Eğen ışık geçirildiği halde, cisimler net olarak görülemezse, bu özellikteki cama yarı saydam cam denir. Işığın bir yüzeyden geri dönmesi yansıma olarak bilinir. Yansıma, cam kullanımında önemli bir optik özelliktir ve bilhassa aynalar ve dekoratif camlar için önemlidir. Işığın cam tarafından emilmesi diğer önemli bir optik özelliktir. Yansımanın hiç olmadığı düşünüldüğünde gelen ışığın ancak bir miktarı camın diğer tarafına geçebiliyorsa bu durumda ışığın geri kalan kısmı cam tarafından emilmiştir. Kırılma yani ışığın sapması cam için dördüncü önemli bir özelliktir. Bu özellikten örneğin, optik aletlerde yararlanır.

1.4.4. Kimyasal özellikleri

Camın başka maddelerle, özellikle gazlar ve sıvılarla reaksiyon verme direncine kimyasal dayanıklılık denir. Camın kullanım alanları göz önünde tutulduğunda bu önemli bir özelliktir. İklim şartları etkisinde kalan cam, hasar görebilir; bu hava etkisine karşı dayanma olarak tanımlanır. Hava etkisine karşı direnç, dayanıklılığın diğer bir şeklidir.

1.4.5. Isıl özellikleri

Cam, ısı için iyi bir iletken değildir. İzolasyon özelliği veren; camların arasındaki mesafe ya da hava boşluklarıdır. Birçok madde için, ısı ile ilgili önemli bir özellik, ısı

genleşmedir. Isıl genleşme, bir madde ısıtıldığında, boyutlarında meydana gelen büyüme demektir. Bir cam parçasının bir tarafını ısıtırsanız ya da soğutursanız, sonuçta iki uç arasındaki sıcaklık farkı; camın iki tarafı arasındaki genleşme farkı ya da farklılığı demektir. Bir taraf, diğer taraftan daha uzun olmaya eğilim gösterecektir.

Camın içinde gerilmeler meydana gelecektir. Gerilmeler aşırı olduğu zaman camın kırılmasına sebep olacaktır. Bu ısıl gerilmeler nedeniyle kırılma direnci termik şok direnci olarak adlandırılır. Cam malzemeyi kimyasal olarak etkileyen sadece hidroflorik asittir. Hidroflorik asit özellikle cam yüzeylerin işlenmesinde yüzeyin matlaştırılması için kullanılır. İçine kireç katılmamış camlar su karşısında sabit değildirler. Bu tür camlara su camı da denir. Normal pencere camları ve su ile teması olabilecek her türlü camın su karşısında sabit olabilmesi için bunların bileşimine kireç katılması zorunludur.

1.4.6. Mekanik özellikleri

Camın fazlaca bir sabit basınca ya da ani bir darbe alınca, kırılmaya karşı göstereceği direnç önemli bir özelliktir. Bu özellik mekanik dayanıklılık olarak adlandırılır. Diğer önemli bir özellik; esnemeye karşı gösterilen direnç yani rijidliktir. (malzemenin şeklini muhafaza etme eğilimi) Cam üzerindeki bir çizik, camın daha kolay kırılmasına neden olur. Camın; muhtemel kırılmaları bertaraf etmesi için yeterli bir çizilme direncine ya da aşınma direncine sahip olması çoğunlukla önemlidir.

Camların mukavemeti, normal şartlarda gerilme altında tutulduklarında değişir. Bu değişim havadaki su miktarına gerilme miktarına, sıcaklığa, cam bileşimine ve yüzey işlemlerine bağlıdır. Malzemenin üzerindeki gerilme, belirli bir süre sonra yüzeyde çatlama ve bunu takip eden kopma olayına neden olur. Yorulma olayı adı verilen bu olay sadece dışarıdan uygulanan mekanik kuvvetlere değil aynı zamanda ısıl genleşme veya büzülmelemlerden doğan iç gerilmelerle de olabilmektedir. Yorulma olayında çatlama genellikle yüzeydeki bir pürüzde, bir çentikte, bir çizikte, bir kılcal çatlakta veya ani büyümesi sonucu kırılmaya neden olur.

Camı uygulanan gerilme büyük ise cam hemen kırılır. Gerilme çok küçük ise cam kırılmamaktadır, bu gerilmeye dayanır. Gerilmenin orta şiddette olması durumunda cam

hemen değil belli bir süre sonra kırılmaktadır. Gerilme büyüdükçe kırılmaya kadar geçen süre kısalır. Bu statik yorulma olarak tanımlanır. Statik yorulma deneyinde cam belirli bir yük altında tutularak kırılma zamanı tespit edilir (**Yoldaş 2005**).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kuşcuoğlu S. (1993). Camın Tarihçesi. Cam Teknolojisine Giriş,

Kaynak kitap bölümünde camın tarih içindeki başlangıcı ve tarihsel sürecine değinilmektedir. Bu tarihsel süreç içinde göstermiş olduğu gelişmelere de ayrıca yer verilmektedir. Camın ilk olarak bulunuşu ile başlayan bölüm, Atatürk'ün kurduğu Türkiye Şişe ve Cam Fabrikalarının o günkü fiili durumuna kadar inceleme yapmaktadır.

Yücesoy D. (1993). Camın Tanımı. Cam Teknolojisine Giriş,

Kaynak kitap bölümünde camın malzeme bilimine göre tanımı ve camın oluşumuna değinilmektedir. Ayrıca camın ağ yapısı, cam yapıcı maddeler, oluşturucu maddeler ve aracı oksitler incelenmektedir.

Engin S. (1993). Camın Hammaddeleri. Cam Teknolojisine Giriş,

Kaynak kitap bölümünde cam tipleri olan soda kireç camı, borosilikat camı ve kurşun camının hammaddeleri ve oranları incelenmektedir. Ayrıca bu hammaddelerin hangi oranda kullanıldıkları ve camın içine konulmaları sonucu cama hangi özelliği kazandırdıklarına değinilmektedir.

Yoldaş B (2005) .Camın Özellikleri. Teknik Bülten,

Kaynak makalede camın fiziksel, elektriksel, optik, kimyasal, ısı ve mekanik özelliklerine çok ayrıntılı bir biçimde değinilmektedir. Özellikle camda, en önemli özellikler olan optik ve mekanik özellikleri ile ilgili detayla çalışmalara yer verilmektedir.

Kuşcuoğlu S. (1993). Cam Üretim Prosesleri. Cam Teknolojisine Giriş,

Kaynak kitap bölümünde camın üretilmesi sırasında, sırasıyla harman hazırlama ve besleme, camın ergitilmesi, camın afinasyonu, camın şartlandırılması ve farklı cam türlerinin ne şekilde üretildiği incelenmektedir. Ayrıca cam üretim proses özellikleri, şekillendirilmesi tipleri ve oluşan hatalara değinilmektedir.

Engin S. (1993). Tavlama Teorisi. Cam Teknolojisine Giriş,

Kaynak kitap bölümünde tavlama teorisinin tanımı, camda bulunan gerilim ve bağıl deformasyon, kalıcı gerilimler, tavlamanın temel prensipleri ile tavlama rejimi konuları

ayrıntılı şekilde incelenmektedir. Ayrıca tavlamanın cam üzerindeki etkisi ile camın başlıca özelliği olması konusuna değinilmektedir.

Erkoca N. (2003). Cam, çeşitleri ve üretim aşamaları,

Kaynak tez çalışmasında, camın tanımı, özellikleri ve genel üretim tipleri ayrıntılı olarak incelenmektedir. Camın genel özellikleri, üretim tiplerinin avantaj ve dezavantajları, üretim tiplerinin gereklilikleri konularına değinilmektedir.

Durak T. (2008). Otomotiv Sanayi Nisan 2008 Raporu,

Kaynak raporda, Türkiye’de bulunan otomotiv fabrikalarının yapısal durumu, üretim kapasiteleri, yıllara göre üretim miktarları, yıllara göre satış rakamları, yıllara göre ihracat miktarları, yıllara göre ciro miktarları ile 2008 yılı Ocak-Nisan ayı tabloları ayrıntılı şekilde incelenmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Cam tarih boyunca çeşitli tekniklerle üretilmiş ve sürekli olarak insanoğlu tarafından geliştirilerek daha yoğun olarak kullanılmaya devam etmektedir. Camın saydam ve mukavemetli bir malzeme olmasından dolayı, hem görsel açıdan hem de işlevsel açıdan gerekliliği her geçen gün artmaktadır. Bu bölümde camın üretimi ile ilgili hammadde ve üretim teknikleri ele alınacaktır.

3.1. Cam Üretimi

Cam, çeşitli hammaddelerin belirli oranlarda karıştırılarak 1500 °C sıcaklığın üzerinde akışkan hale getirildikten sonra kontrollü olarak soğutulmasıyla oluşan bir maddedir. Bu madde günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Cam üretimi kullanılan hammaddelerden başlayarak tüm süreçler halinde anlatılmıştır.

3.1.1. Kullanılan hammaddeler

Bir cam numunesinde kimyasal analiz yapıldığında ve camın yapısına giren elementler oksitleri cinsinden hesaplandığında oksitlerin ağırlıkları toplamının alınan cam numunesi ağırlığına eşit olduğu görülür. Bu da camın oksitlerden oluşan bir madde olduğunun açık kanıtıdır. Ancak her elementin oksidi cam yapıcıdır veya kolaylıkla cam yapısı içine girebilir anlamına gelmeyebilir.

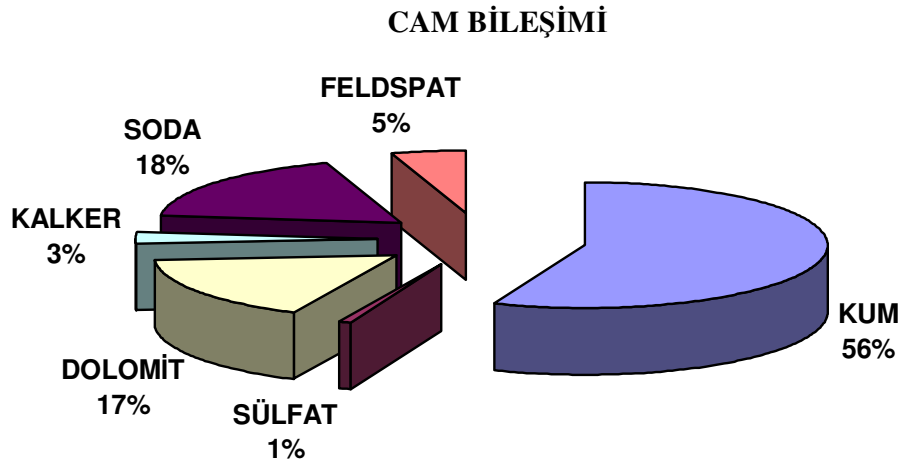
Cam yapıcı özelliğe sahip oksitler üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda;

Cam yapıcı oksitler; her biri dört oksijen atomu ile çevrelenebilecek büyüklüğe sahip ve kolaylıkla muntazam dizimde zincir ve ağ yapılar meydana getirebilir oksitlerdir. Bu oksitler başka maddeler ve oksitlerle karıştırılıp ergitildiklerinde soğuduktan sonra kristal hale dönüşmezler camsı halde kalırlar (silisyum oksit, arsenik tri oksit).

Tadil edici oksitler; camın yapısına giren ikinci sırayı tadil edici veya eritici oksitler alır. Bu oksitler cam yapıcı oksitlerle ergitildiklerinde cam yapılmasına katılırlar. Ama cam oluşturmazlar (sodyum oksit, kalsiyum oksit, magnezyum oksit).

Aracı oksitler; üçüncü ve son gruptaki oksitler, aracı oksitler olup kendi başına cam oluşturmazlar fakat ergime sırasında camın yapısına girebilirler (alüminyum oksit, çinko oksit).

Camın yapımında kullanılan hammaddeler, camın kullanımı, rengi ve diğer özelliklerine göre değişim göstermektedir. Bu hammaddeler genel olarak kum, dolomit, soda, feldspat, kalker, sodyum sülfat ve cam kırığı başlıkları altında toplanırlar.



Şekil 3.1 Genel Cam Bileşimi (Ortalama Değerler)

A – Kum (SiO_2) ;

Teknoloji olarak kum doğada bulunan kayaçların doğal süreçler sonunda ayrışarak, parçalanarak su veya rüzgâr ortamında çökelme ortamına taşınması ve birikmesiyle meydana gelen bir malzemedir. Bu anlamda ufalanmış her türlü kayaç parçası 0.15–2 mm aralığında ise kum olarak adlandırılır.

Cam sanayi denildiğinde akla silis gelmektedir. Esas bileşeni kuvars (SiO_2) olan kum genel olarak % 95 üzerinde SiO_2 içerir. Geri kalan kısım ise tali bileşenler veya minerallerden oluşur. Kuvars kristalleri bütün saatlerde ve radyo frekans kontrolünde kullanılır. Kuvars kumları, beyaz renkli, toz şeker görünümünde olup ince tanelidir. Kumun esasını oluşturan kuvars taneleri jeolojik zaman içerisinde oluşan ortamdaki kayaçlardan (magmatik,

başkalaşmış kayaçlar ve tortul kayaçlar) kaynaklanır. Aşınarak taşınan bu parçalar taşıma ortamına bağlı olarak küçülerek ufalanırlar ve de kaçınılmaz olarak yuvarlaklaşırlar.

Çökelmenin olduğu alanlarda çökelme esnasında küçük taneler üstte olacak şekilde boylanma gösterirler. Bazı mineraller bu uzun yolculuğa dayanamayıp yok olurlar ve nihayetinde en sağlam minerallerden biri olan kuvars çökeler. Çökelme havzasında biriken malzemeler jeolojik süreç içerisinde artan basınç nedeniyle kumtaşına dönüşebilirler.

Kum, bir başka deyişle SiO_2 camın iskeletini oluşturur. Camlar doğa ve kullanım koşullarına dayanabiliyorsa en büyük oranda doğa ve kullanım koşullarına dayanabiliyorsa en büyük oranda içindeki SiO_2 miktarı ile ilgilidir. Diğer oksit türleri ile (Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O_3 , ve K_2O) titiz bir seçim yapıldığı durumda camın şekillendirilebilirliği ve dayanıklılığı kontrol edilebilir. Cam eritme işleminde ast olan soda ile kumun bileşiminin doğru kurulmasıdır. Yeteri kadar soda ile kumun bileşiminin doğru kurulmasıdır. Yeteri kadar soda olursa ve de diğer oksitlerin katkısı ile 1710°C olan kumun eritme sıcaklığı 1500 - 1600°C 'lere kadar inebilir.

Başta kum olmak üzere diğer hammaddeler de uygun şekilde tartılarak homojen karışımı sağlanırsa, iyi tasarlanmış fırın ve titiz işletmecilerle istenilen cam kalitesine ulaşılabilir. Bu arada motivasyonu yüksek personelin varlığı göz ardı edilemez. Bütün aktiviteler uyumlu ve sorunsuz ise sonuç kuskusuz iyi olacaktır. Cam eritme sürecinde eritme prosesinin genel karakterlerini kum belirler. Kumun tane iriliği değişken olmamalı zira erime hızını kumun tane iriliği ve yuvarlaklık derecesi belirler. İri taneler daha zor erir. Buna karşılık inceler daha kolay erirken habbe sorusuna neden olabilir. Dünya literatüründe kum için verilen tane iriliği aralığı $0,1$ - $0,5$ mm arasındadır.

Kumun genel olarak camın oluşmasındaki görevlerini tanımlayacak olursak;

Camın ana hammaddesidir,

Ergitilmiş haldeki camın akışkanlığını azaltır,

Camın termik şoka, yani ani ısı farklılıklarına karşı dayanıklılığını artırır,

Asitlerin etkisine karşı camın direncini artırır,

Viskozitesini artırır,

Camın sıcaktan dolayı genişmesini azaltır. Camın çalışma sıcaklığını artırır,

Camın mekanik mukavemetini artırır,

B – Dolomit ;

Dolomit, kireçtaşı (CaCO₃) Ca ile beraber Mg'un yer alması ile oluşan bir mineraldir. Özgül ağırlığı Mg oranına bağlı olarak 2,71 ile 2,87 Ton/m³ sertlik ise 3,5–4 arasındadır. Dolomitin; ham dolomit, kalsine dolomit ve yanmış dolomit olarak kullanım şekilleri vardır. Dolomit basta demir çelik sanayi olmak üzere cam, seramik, boya, gübre, çimento ve inşaat sanayinde, tarımda toprak ıslahı gibi birçok geniş alanda kullanılmaktadır. Dünyada ve Türkiye'de oldukça geniş bir yayılmaya sahip olup rezerv problemi olmayan bir maddedir.

Dolomitin genel olarak camın oluşmasındaki görevleri tanımlanırsa;

Cama CaO ve MgO verir,

Camın akışkanlığını azaltır,

Asitlere karşı mukavemetini ve camın sertliğini artırır,

Camı termik şoka karşı dayanıklı yapar,

CaO camın kimyasal direncini artırır, cama bozulmazlık sağlar,

MgO 'da cama dayanıklılık sağlar fakat CaO kadar etkili değildir.

C – Soda ;

Sulu çözeltide 36°C'nin altında billurlaşan Na₂CO₃+10H₂O bileşimindeki "billur sodası" büyük saydam billurlar teşkil eder. Bunlar 36°C'de billur suyunda erirler ve bu sıcaklığın yukarısında su ile her oranda karışırlar. Soda eskiden beri kimya endüstrisinin temel maddelerindendir.

Mersin soda sanayinde soda külü üretimi amonyak soda usulü olarak ta bilinen solvay yönetimi ile yapılır. Bu yöntem sentetik soda üretiminde genel olarak kullanılan bu yöntemde litrede 210-305 gr tuz ilave eden salamura (tuzlu su) soda üretim tesislerinde soda ve kireç sütü ile arıtılır. Arıtılmış bu salamura amonyak ile doyurulduktan sonra karbonlaştırma kolonlarında (Solvay Kolonları) kireçtaşı fırınlarında kok ve kireçtaşının yakılmasından elde edilen % 40'lik ve kolsinasyon geri kazanılan %70'lik CO₂ gazı ile reaksiyona sokularak NaHCO₃'a dönüştürülür.

Sodanın genel olarak camın oluşmasındaki görevlerini tanımlanacak olursa;

Ton başına cam içindeki en pahalı hammaddedir,
Ergime sıcaklığını düşürür,
SiO₂ yapısını bozarak camın daha düşük sıcaklıkta erimesini sağlar,
Yakıt tasarrufu sağlar,
Na₂O miktarı artarsa cam sudan kolay etkilenir,
Ergimiş camın akıcılığını artırır,
Camın ani ısı farklılıklarına karşı direncini azaltır,
Suyun tesirine karşı camın direncini azaltır,
Camın termik şoka karşı mukavemetini azaltır, çünkü genleşmesi fazladır,
Erimiş camın çalışma sınırlarını (viskozite) artırır,
Camın kimyasal dayanıklılığını azaltır,
Silis kumuna sodanın ilavesi (SiO₂ + Na₂O) iki madde arasında kimyasal bir reaksiyona neden olur. Silis kumu 1730 °C de erirken, soda silis karışımı 1000 °C 'nin altında erir.

D – Feldspat;

Yeryüzünde oluşturulan minerallerden biri olan feldspat mineral grubunun genel adıdır.

Feldspatlar izomorf karışımları ve oluşum özellikleri bakımından iki gruba ayrılırlar.

Alkali Feldspatlar; Ortoklaz KAlSi₃O₈, Sonidin KAlSi₃O₈, Mikroclin KAlSi₃O₈, Anartoz NaAlSi₃O₈, Albit NaAlSi₃O₈

Potasyum Feldspatlar; bu mineraller arasında kristolografik yapı değişiklikleri vardır. Büyük çaplı bir katyon olan K⁺'un bulunduğu yapılar mono klinik, Na⁺ bakımından zengin olanlar triklinikdir. Alkali feldspatlarda, K ile Na feldspatlar arasında kati çözelti oluşum alanları çok dar olup, K'nin yerini belirli ölçülerde Na alabilir.

Feldspat genel olarak camın oluşmasındaki görevlerini tanımlanacak olursa;

Ergitme ve afinasyonu (habbelerin camdan uzaklaştırılması) kolaylaştırır,
Cama Al₂O₃ verir (Kristallenmeyi önler ve camı sağlamlaştırır),
Camın akışkanlığını azaltır,
Camın ani ısı değişikliklerine karşı direncini artırır,

Camın mekanik direncini artırır,
Camın refrakter malzemedeki (fırın içi tuğlaları) aşındırıcı etkisini azaltır,
Sıyın tesirine karşı camın direncini artırır,
Camın erimesini zorlaştırır,
 Al_2O_3 camın kristallenme eğilimini azaltır ve sağlamlılığını artırır,

E – Kalker;

Kimyasal bileşiminde de en az %90 $CaCO_3$ (kalsiyum karbonat) içeren kayalara kalker ya da kireçtaşı adı verilmektedir. Ayrıca mineralojik bileşiminde en az %90 kalsit minerali bulunan kayalarda kalker adı verilmektedir. Kalker saf halde kalsit ve çok az miktarda aragonit kristallerinden oluşur. Kalsit ve aragonit kalsiyum karbonatın iki ayrı kristal şekli olup, teorik olarak %56 CaO ve %44 CO_2 içerir. Ancak doğada hiçbir zaman saf olarak bulunmamaktadır. İkincil derecede değişik madde ve bileşiklerin içinde yer olması nedeniyle orijinal halde sarı, kahverengi ve siyah renklerde görülmektedir.

Kalkerin sertlik derecesi 3, özgül ağırlığı 2,5-2,7 gr /cm³ arasındadır. Yeraltı sularında travertenler şeklinde, deniz ya da tatlı sularda ise kimyasal organik veya mekanik çökeltme sonucu kalker yatakları oluşur. Oluşum süreçlerinden de anlaşıldığı üzere kalker üç ana grup altında toplanabilmektedir. Yaygın olarak oluşan kireçtaşlarının çoğu organik, girintili ve kimyasal materyaller içermektedirler. Kalsit (hegzagonal ve $CaCO_3$) ve aragonit kristallerinin her ikisinde modern kireçtaşı oluşumlarında yer alabilmektedir. Fakat aragonit kristallerinin kalsit kristallerinin kalsit kristaline daha kolay dönüşebilmesi nedeniyle eski kireçtaşı oluşumlarında aragonit kristalleri bulmak çok güçtür.

Kalker genel olarak camın oluşmasındaki görevlerini tanımlanacak olursa;

Camı CaO verir.

Suyun tesirine karşı camın direncini artırır.

Camın mekanik özelliklerini ve mukavemetini artırır.

F – Sodyum Sülfat;

Sodyum sülfat Na_2SO_4 sülfat asidinin sodyum tuzudur. Sodyum sülfat 32°C'nin altında 10 molekül kristal suyu ile (Glaubert tuzu) ve bu sıcaklığın üstünde ise susuz olarak billurlaşır. Sodyum sülfat genel olarak camın oluşmasındaki görevlerini tanımlanacak olursa;

Cam meydana gelirken, SO₂ çıkışı ile ergimiş camın bünyesindeki habbeleri ve köpüğü giderir. Ergimeyi de kolaylaştırır.

G – Cam kırığı;

Cam kırığı, cam üretiminde kullanılan en önemli hammaddelerden biridir. Cam kırığının, ergitilmekte olan cam rengi üzerinde olumsuz bir etki yaratmayacak biçimde denetim altında tutulması gerekmektedir.

Cam kırığı genel olarak camın oluşmasındaki görevlerini tanımlanacak olursa;

Erimeyi kolaylaştırır, yakıt tasarrufu sağlar.

Tekrar tekrar kullanılabilirdiği için büyük bir ekonomik kazanç sağlar.

Camın akıcılığını artırır.

Harman tabakasının üzerine beslenen cam kırığı, ergimeyi hızlandırdığı gibi harman tozumasını da engeller.

H – Diğer bileşenler;

Alüminyum oksit (Al₂O₃) ; alüminyum oksit camda genellikle küçük oranda bulunur. %4 'den büyük olduğu durumlar çok nadirdir. Camda bulunan Al₂O₃ genellikle kalsine ve hidrata alümina, feldspat nefelin siyenit gibi benzer minareler ve yüksek fırın cürufu gibi formlarda bulunur.

Yüksek fırın cürufu; cam harmanına alüminyum kaynağı olarak ilave edilmese de belli bir cam kompozisyonuna ulaşmak ve bunu kararlı bir şekilde sürdürebilmek için yüksek fırın cürufu kullanılır. Bu hammaddeden gelecek alüminyum oksidin dikkate alınması gerekmektedir. Bu hammadde isminden de anlaşılacağı gibi cam yapımında kullanılan ve çoğu cam imalatçısı tarafından ergime ve afinyasyonu hızlandırıcı etkisi nedeni ile kullanılır. Bu hammadde kalsiyum oksit, silisyum dioksit ve alüminyum oksit içermektedir.

Potasyum oksit (K₂O) ; camda bulunan potasyum oksidin en büyük kaynağı her ne kadar bir miktar feldspat olsa da esas kaynağı potastır. Kurşunlu kristal camlarda feldspat uygun değildir. Bu nedenle sentetik olarak üretilmiş potasyum bikarbonat da zaman zaman kullanılır.

Kurşun oksit (PbO) ; cam yapımında kurşun oksidin ana kaynağı kırmızı kurşundur fakat litarj ve kurşun silikatlar da kullanılır.

Bor oksit (B_2O_3) ; borosilikat camların yapımında kullanılan bor oksidin ana kaynağı borik asittir. Yüksek miktarlarda sodyum oksit kullanımını tolere edilebilirse bu durumda bor oksit kaynağı boraktır. Cam laboratuvar ve ısıya dayanaklı cam ev eşyası yapımında kullanılan borosilikat camlar için bor oksit ve sodyum oksidi doğru oranda elde etmek üzere borik asit ve boraks karışımı kullanılır (**Engin 1993**).

3.1.2. Cam renklendirici hammaddeler ve kontrol altına alınması

Cama renk verme prosesi, içinde renk pigmentleri bulunan hammaddelerin camın içine karıştırılarak, beraber ergitilmesi yöntemi ile gerçekleştirilir.

Renk tanımlaması; renk, cam üzerine düşen bir ışık tayfının camla etkileşim sonucu değişmesinden kaynaklanır ve yorumu, elektromanyetik spektrum görünür. Işık olarak gördüğümüz dar bandı içinde, camın kimyası ve bizim psikolojimiz arasında ilişkiye bağlıdır.

Camla etkileşim süresince, gelen ışığın bir kısmı cam tarafından emilir, geriye kalan kısmı ise bölgelere göre daha çok emer veya dağıtırsa, spektrumun geri kalan kısmında camın ışık geçirimi daha fazla olacağı için, cam bu bölgeye tekabül eden ışığın renginde görünecektir.

Işığın cam tarafından emilmesi veya dağıtılması belli dalga boylarında selektif olarak gerçekleşmez ise, geçen ışığın miktarına bağlı olarak cam tamamen rensizlik ile siyah arasında, grinin değişik tonlarında olacaktır. Yani, eğer ışık geçirimi görünür tayfın bütün dalga boylarında aynı ise, camda herhangi bir renk oluşmaz. Beyaz, gri ve siyah, renk olmayıp sadece camdan geçen ışığın seviyesini ifade ederler.

Renklendirici maddeler; camlar, metaller ve metal oksitler ile renklendirilirler. Renk veren oksitler, tek başlarına veya değişik oranlarda kullanılarak çeşitli renkler verebilecekleri gibi birkaçının bir arada kullanımıyla da farklı renkler meydana getirirler. Oksitler camda çözünerek renk oluşturur. Renk veren oksitler; Cr_2O_3 (krom trioksit), Fe_2O_3 (demir trioksit), CuO (bakir oksit), MnO (mangan oksit), MnO_2 (mangan dioksit), CoO (kobalt oksit), Co_2O_3

(kobalt trioksit), Co_3O (kobalt tetraoksit), SnO_2 (kalay oksit), ZrO_2 (zirkonya), UO_3 (uranyum oksit), NiO (nikel oksit) vb.'dir.

Renklendirme birbirinden farklı yöntemlerle gerçekleştirilir. Birinci ve en yaygın yöntem, cam eriyiği içine bu eriyiği renklendirecek olan değişik renk vericilerin katılmasıdır. Böylece camın tamamı renklendirilmiş olur. Bu yöntemle renklendirilmiş levha camlarda ton farkı olmamasına karşın numaralı gözlük camlarında kenar ve orta kısımlar arasında ton farkı oluşur. Renklendirilen camlara katılan metal oksit miktarları %0,1–4,0 arasında değişir. Ek-1'de ki tabloda camın renklendirilmesinde kullanılan oksitler ve diğer renk vericilerin camdaki yüzdesi ve cama verdiği renkler görülmektedir.

Renklendirmede uygulanan ikinci yöntem, camın eşit kalınlıkta bir renkli cam tabakası ile kaplanmasıdır. Kaplanarak renklendirilmiş numaralı gözlük camlarında kenar ve orta kısımlar arasında ton farkı olmamaktadır.

Üçüncü yöntem ise, camın emaye boya ile boyanıp fırınlanmasıdır. Bu yöntemde seramik sırrı niteliğindeki emaye boya, cama uygulandıktan sonra fırına konur ve $550\text{--}600^\circ\text{C}$ sıcaklıkta ısıtılır. Böylece şeffaf olmayan boyalı cam elde edilir. Bazı hallerde emaye boya daha önceden kâğıt üzerine baskı yoluyla basılır ve bu baskı kâğıt cam malzeme üzerine yapıştırıldıktan sonra malzeme fırına konur. Cam eşya, özellikle meşrubat şişeleri ve bardaklar üzerine yazı ve desenler bu yöntemle yapılabilmektedir.

Renk oluşumuna etki eden faktörler; cam içindeki merkezlerinin konsantrasyonu değişik faktörlerden etkilenir. Renk merkezinin emme spektrumun belirlenmesinde merkez katyonun şarjı çok önemlidir. diğer çok önemli bir kriter de, cam içindeki oksijen miktarının kontrolüdür. Ayrıca; her biçimde mevcut toplam geçiş metali konsantrasyonu, oksijen miktarı, cam n bileşimine ve sıcaklığına bağlıdır. Dolayısıyla her ikisinin de çok iyi kontrol edilmesi gerekmektedir. Harman içindeki oksidan ve indirgen tepkenlerin oranı, camın ergime koşullarındaki denge durumundan farklı olabilir. Bu dengenin oluşabilmesi için ergitme zamanı önemlidir.

Renkli cam üretiminde, üretim koşullarının dengeli olması şarttır. Bu nedenle önemli değişkenlerin; harman bileşimi, fırın sıcaklığı ve ergime zamanının mümkün olduğu kadar sabit tutulması gerekmektedir. Çalışma parametrelerinin değiştirilmesinin çok dikkatli

yapılması şart olup, birçok durumda renkteki ufak değişmeler, eriyik içindeki oksijen miktarını kontrol etmek sureti ile düzenlenebilir. Bu amaçla, genellikle karbon, arsenik oksit, sodyum nitrat, sodyum sülfat veya diğer redoks ayarlayıcıları kullanılır.

Renksizleştirme; renksizleştirme, cam içinde arzu edilmeyen demirden kaynaklanan rengin giderilmesidir. Bunun için öncelikle; gerek hammaddelerden, gerekse sistemden gelebilecek demirin önlenmesi gerekmektedir. Her olasılıkta cam içinde bulunabilecek demirin sebep olacağı renk ise iki yolla önlenir. Ferros demirin neden olduğu yeşil renk, ferik demirin neden olduğu sarı tona göre daha az arzu edilir. Onun için öncelikle demirin Fe_{3+} oksitlenmesi gerekmektedir. Bunun için cam harmanına sodyum nitrat, arsenik oksit ve antimuan oksit gibi oksidan ajanlar katılır. Bu işlem, kimyasal renksizleştirme olarak betimlenir. FeO 'nun Fe_2O_3 'e oksitlenmesi aşağıdaki tepkimelere uygun olarak gerçekleşir. Demiri oksitlemek için seryum oksit de kullanılır.

Tamamen renksiz bir cam elde edilmesi ise, demirin arzu edilmeyen rengini bastırmak üzere çok az miktarda başka renklerin ilavesi ile sağlanır. Bu renksizleştirici renkler görünür spektrum demirin geçirgen olduğu kısımda soğuracak şekilde seçilir. Bu geçirimi düzenler ve görünür spektrumu dengeli hale getirir. Dikkat edilmesi gereken husus, bu ilave renklerin camın tamamı ile açık olmasını sağlayacak şekilde düşük oranda tutulması gereğidir. Demir seviyesinin çok yüksek olması, çok fazla renk giderici gerektirir. Bu, bütün görünür geçirim eğrisinin büyük oranda düşmesine ve grimsi bir camın oluşmasına neden olur. Renksiz bir cam elde edebilmek için, tayfsal bir dengelenmenin zorunluluğu bulunmaktadır.

3.1.3. Harman hazırlama

Harman hazırlama işleminde ilk önce besleme yapılan silolardaki hammaddeler tartım bunkerlerine taşınmaktadır. Taşıma işlemi kum dışındaki hammaddelerde helezonlarda yapılmaktadır. Kumlarda ise vibro besleyici tarafından yapılmaktadır. Dolum işlemine yakın besleme tüm hammaddelerin tartımı tamamlanınca hammaddeler kantar altı konveyöre kumdan başlayarak sandviç yapacak şekilde sırasıyla boşalma işlemine başlarlar. Tartımı yapılan hammaddeler karıştırıcılara kayışlı götürücüler ile taşınırlar. Karıştırıcıda tartımların kontrolü için bir genel tartım kontrolü yapılır. Karıştırıcılarda karıştırma süresi malzeme cins ve madde miktarına bağlı olup en iyi karıştırma süresi deneylerle saptanmaktadır. Bu süre üç

dakikadır. Karıştırma işlemi karıştırıcı içinde bıçaklar yardımıyla yapılmaktadır. Karıştırma işleminin tamamlanmasıyla hazırlanan harman konveyör bantlarla fırın bunkerine taşınmaktadır. Taşıma işlemi sırasında cam kırığı da sisteme set edilen miktarda konveyör bandı ile harmanı ilave edilmektedir, böylece cam kırıkları ve harman karışmaktadır. Cam kırıklı harman konveyör yardımı ile fırın bunkerine ulaşmaktadır.

3.1.4. Cam üretim süreci

Hammaddeler doğru oranda dikkatlice tartıldıktan sonra ve iyice karıştırıldıktan sonra genellikle fırının arka tarafında yer alan fırın silosuna nakledilirler. Bunun sonra karıştırılmış hammaddeler fırında beslenir ve dekompozisyon yoluyla oksitlerine dönüşmelerine yetecek sıcaklık derecelerine ısıtılırlar. Böylece önce dekompozisyon, ardından ergime dönüşmelerine yetecek sıcaklık derecelerine ısıtılırlar. Bir başka hammaddenin içinde çözünme yoluyla oksitlerine dönüşürler. Meydana gelen kimyasal reaksiyonlarda ortaya çıkan gazlar, yüzeye doğru yükselirken; ergimiş cama bir miktar karıştırarak terk ederler.

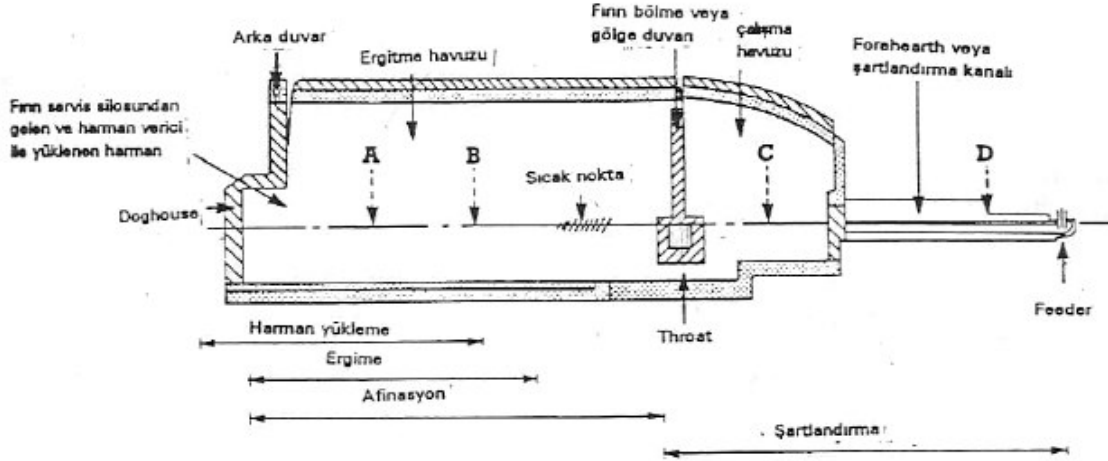
Bütün bu olayların meydana gelebilmesi yüksek sıcaklık gerektirdiğinden, elde edilen camın işlenebilmesi ve son ürün olarak şekillendirilmesi için soğutulması gerekmektedir. Bu işlemlerin hepsi fırının içinde meydana gelmektedir. Fırının içinde meydana gelen bu olaylar dört aşamada incelenebilir;

Harmanın fırına verilmesi (harman besleme),

Harmanın dekompoze olması, reaksiyona girmesi, ergimesi ve oksitler halinde çözünmesi (ergime),

Habbelerin camdan uzaklaştırılması ve ayrı ayrı eriyiklerin birbiri ile karışması (afinasyonu–arıtma),

Camın doğru bir şekilde çalışma sıcaklığına soğutulması (şartlandırma).



Şekil 3.2. Tipik sürekli fırın

Şekil 3.2'de görülen tipik bir sürekli fırının uzunlamasına kesitidir. Cam eldesi prosesinin muhtelif aşamalarının nerede olduğu görülmektedir. Bu fırın tipi üretilen tüm camların %60'ünün elde edildiği fırınların tipik bir örneğidir. Ergime fırın arka duvarından baslar ve sıcak noktanın bulunduğu yerde tamamlanır. Şartlandırma throat' ta başlamakta ve forehearth çıkışında tamamlanmaktadır.

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 başladığı söylenebilmektedir.

B Bölgesi; yüzen harman tabakası artık görülmeyip harman besleme tamamlanmıştır. Fakat halen geriye kalan çözünmemiş hammadde parçacıklarının çözünmesi için ergime işleminin bir müddet daha devam etmesi gerekmektedir. Buna rağmen ergitme havuzunda geriye kalan en önemli iş afinasyonun tamamlanmasıdır. Böylece ergimiş camdaki habbelerin sayısı kabul edilebilir düşük bir seviyeye inerek camın kimyasal açıdan homojen duruma gelmesini sağlar.

C Bölgesi; bu bölgede artık cam ergimesini ve afinasyonunu tamamlamıştır ve soğumaktadır (şartlanmaktadır) fakat halen şekillendirme prosesi için çok sıcaktır.

D Bölgesi; cam şekillendirme aşamasına yaklaşırken şartlandırma bu noktada gerçekten kritik bir hal almaktadır. Sıcaklığın tam istendiği gibi olması ve sıcaklık farklılıklarının görülmemesi gerekmektedir.

Ergitme Havuzu; fırında hammaddelerin eritmek amacıyla ısıtıldıkları ve erimiş camın afine olduğu kısımdır. Throat'lu bir fırında bu bölge genellikle fırın bölme duvarının olduğu bölgeye kadardır. Bu düz cam fırınında ise bu bölge gölge duvarına kadar uzanır. Çalışma Havuzu: fırında camın şartlandırılması ve dağıtılması amacı ile yapılmış bir bölümdür.

Forehearth; şekillendirme işleminden önce çalışma havuzundan gelen camın şartlandığı kısımdır. Genellikle derin olmayan bir kanal şeklindedir.

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

Fırın Bölme; fırının eritme havuzu ile çalışma havuzu arasında bir köprü veya seperasyon (ayırma) teşkil eden kısımdır.

Throat; bir cam fırınında eritme havuzu ile çalışma havuzunu dipten birleştiren bir kanaldır.

Fırın Arka Duvarı; genellikle harmanın beslendiği arka duvardır.

Sıcak Nokta; cam fırınında en yüksek sıcaklığın olduğu yerdir. Burada aynı zamanda eritme havuzundaki tüm cam akımları yüzeye doğru yükselmektedir. Bu nokta yaklaşık olarak fırın arka duvarında ileriye doğru eritme havuzunun tam boyunun %70 kadarlık mesafesinde oluşmaktadır. Bu uzaklık fırın çekisi arttıkça artmaktadır.

Harman besleme, randımanlı bir üretime imkân sağlayacak biçimde kontrollü ve verimli olarak harmanı servis silosundan fırına nakletme işlemidir. Kötü biçimde yapılan harman besleme işlemi camın erime ve afinasyonun da kötü olmasına yol açmaktadır. Örnek olarak sürekli beslenen fırın ve bu fırınlarda ki harman beslemeye bakılacak olursa;

Sürekli beslenen fırınlar;

İsminden de anlaşılacağı üzere sürekli fırınlar günün yirmi dört saati çalışırlar. Fırının bir ucundan çekilen ergimiş camın çekiş hızına uyumlu olacak şekilde diğer uçtan hammaddeler mekanik yöntemlerle fırına yüklenmektedir.

Üretim makinelerinin değişikliklerden etkilenmemesi için fırın içindeki cam seviyesinin sabit tutulması gerekmektedir. Cam seviyesi özel detektörlerle ölçülür ve bu ölçüm sisteminin verileri cam seviyesini otomatik olarak kontrol altında tutacak sisteme kumanda etmektedir. Düz cam ve sanayi cam kap fırınları gibi sürekli fırınlar mekanik üretim metotları veya büyük miktarda camın sürekli ve sabit bir hızla verilmesini gerektiren her tip çalışma şeklinde kullanım için çok uygundur.

Düz cam fırınları faaliyet gösteren tüm fırın tipleri içinde sadece %10 oluştururlarsa da çekiş kapasiteleri açısından en büyük olan fırınlar arasındadırlar. Düz cam fırınları ile diğer tipteki fırınlar arasındaki iki temel farklılıktan söz edilebilir.

1. Düz cam fırınlarında Throat bulunmaz.
2. Düz cam fırınları benzer kapasitedeki düz cam dışındaki diğer fırınlarla karşılaştırıldıklarında daha uzundurlar. Bazı sürekli fırınlarda üretim elle yapılmaktadır. Fakat bu tarif gereği tonaj bazında fırın çekisinin düşük olduğu anlamını taşır. Camın islenmesi ve n yüklenmesinin elle yapıldığı sürekli fırınların toplam kapasitesi, %1'ini geçmemektedir.

Sürekli fırınlarda harman besleme;

Harman besleme, harmanın fırın harman silosundan etkili bir biçimde fırına doğru nakledilmesi ve aynı zamanda ergime esnasında da kontrolüdür. Hangi tip harman yükleme mekanizması kullanılırsa kullanılsın, bunun olabildiğince sürekli çalışması ve fırın genişliği boyunca iyi bir harman örtüsü dağılımı sağlaması gerekmektedir. Fırının ergimemiş hiçbir harman parçacığının fırındaki sıcak noktanın ötesine geçmesine izin verilmeyecek şekilde işletilmesi gerekmektedir.

Harman yükleme hızının mümkün olduğunca sabit olması gerekmektedir. Sebebi, bu işlemdeki herhangi bir değişim ergime prosesini olumsuz yönde etkileyip hem cam kapasitesi hem de camın ısı şartlandırılmasında istenmeyen sonuçlar yaratmaktadır.

Çalışmadaki sürekliliğe ek olarak harman yükleme sisteminin radyasyonla veya fırın duvarındaki açıklıklardan alev çıkması yoluyla meydana gelebilecek ısı kayıplarını minimumda tutması istenmektedir. Alev çıkması, sıcak hava veya baca gazlarının fırın dışındaki çevreye çıkmasına verilen isimdir.

3.1.5. Camın ergitilmesi

Camın ergitilmesi hammaddelerin fırın içinde ergimiş cama dönüşmeleri anlamına gelmektedir. Bütün cam türleri ısı enerjisi kullanarak elde edilmektedir ve cam eldeki prosesinin bu aşamasına ergime denir. En yüksek ergitme verimine ulaşmak önemli bir hedefdir. Bunu sağlamak için yalnızca doğru hammaddelerin seçilmiş olması yeterli değildir. Tane iriliklerine de doğru olması gerekmektedir.

Cam genellikle 1300°C ve 1600°C'ler arasında elde edilir. Camı oluşturan bazı hammaddelerin bu sıcaklığın üzerinde ergidikleri görülür. Camın ergimesi hammaddeleri sadece ergime sıcaklıklarının üzerine ısıtmak kadar basit bir işlem değildir. Ergitme işlemi ısı transferi, karışma, fiziksel ve kimyasal reaksiyonlar gibi muhtelif olguları kapsar.

Cam ergime reaksiyonları;

Cam hammaddelerin birbiri ile reaksiyona girmeleri ve birbirlerinin içinde çözünmeleri ile meydana gelir. Bu hammaddelerin birbiri ile nasıl reaksiyona girdikleri oldukça karmaşıktır. Bazı reaksiyonlar düşük sıcaklıkta başlar ve nihai cam oluşumu yüksek sıcaklıklarda tamamlanır.

Fırın içine henüz verilmiş bir harman kümesi fırın sıcaklığının harmanınkinden yüksek olması nedeni ile harman sıcaklığı yükselmeye başlar. Sıcaklık yükselirken şu reaksiyonlar meydana gelir;

Hammaddelerdeki serbest suyun (rutubet) buharlaşması,

Hammaddelerin bozunması sonucu CO₂, SO₂, SO₃, H₂O (su buharı) gibi gazların oluşarak ortamdan uzaklaşması,

Tek tek hammaddelerin veya bunların kombinasyonunun ergimesi ve reaksiyona girmesi sonucu sıvı fazların oluşması,

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

Camda harman reaksiyonlarında açığa çıkan gazların bir kısmının çözünmelerinin yani sıra ergimiş camın üstündeki fırın atmosferinden küçük miktarda gazlarda çözünür.

Cam yapımında kullanılan elementlerin birçoğunun birden fazla değerliği (birden fazla oksidasyon seviyesi) vardır. Bazı durumlarda değerlik farkı radyasyon yolu ile ısı iletimini örneğin iki farklı oksidasyon seviyesi gösteren ferro ve ferri de (+ iki ve + üç değerlikli demir) olduğu gibi etkilemektedir. Camın oksidasyon seviyesindeki değişim cam eldesi prosesinin ergime ve afinasyonu aşamalarını etkilemektedir (**Kuşcuoğlu 1993**).

3.1.6. Camın afinasyonu

Harmanın reaksiyona girmesi ve ergimiş camın oluşması için sıcaklığın yeterli yüksekliğe çıkarılması gerekmektedir.

Reaksiyonlar sonucu oluşan gazlar, ergimiş camın içinden yükselir ve cam yüzeyini terk eder. Cam, mamul haline getirilme aşamasında şekillendirilebilmesi için gereken sıcaklığa soğutulur. Camın içinde, kabarcık şeklinde herhangi bir gaz kalmasına habbe denir.

Böylece habbeler, çeşitli yüzdelerde CO₂, SO₂, SO₃, NO, H₂O, N₂ ve O₂ içerirler. Normalde CO₂ en yüksek yüzdeye sahiptir. Çünkü karbonatlar, en çok kullanılan gaz çıkarıcı harman maddeleridir. Başka kaynaklardan gelen NO₂ ve H₂ içeren gaz habbeleri de vardır. Bunlar hava habbeleridir. Hava, fırınının içine harman tanecikleri arasında girer ve ergimiş cam tarafından hapsedilir. Afinasyonu, cam hazırlama prosesinin ergime aşamasında camın gaz kabarcıklarından temizlenmesi ve kimyasal açıdan homojen hale gelmesidir.

Afinasyon (Arıtma) maddelerinin ilavesi;

Gaz habbelerinin uzaklaştırılmasında habbelerin hızını yükselten faktörler, arıtma maddelerinin ilavesi ile sağlanır. Arıtma maddelerini başlıca üç etkisi;

1. Gaz çıkarma reaksiyonları

2. Camın fiziksel özelliklerinde değişme

3. Gazların camda çözünmesi

Gaz çıkarma reaksiyonları, ergimedede harmana, ergime hızını arttırıcı bazı maddeler ilave edilir. Aynı maddeler çoğunlukla prosesin daha sonraki aşamasında gaz çıkarma yolu ile afinasyonu da hızlandırır. Bu cins ergitme ve arıtma maddelerinin örnekleri sülfatlardır. En yaygın bulunanları sodyum sülfat (Na_2SO_4), alçıtaşı (CaSO_4) dır.

Ergimiş cam içinde sodyum sülfat reaksiyonları özellikle diğer kimyasal maddeler mevcutken karmaşık olabilir. Sodyum sülfat, kimyasal ve fiziksel yollardan bir arttırıcı gibi davranmaktadır.

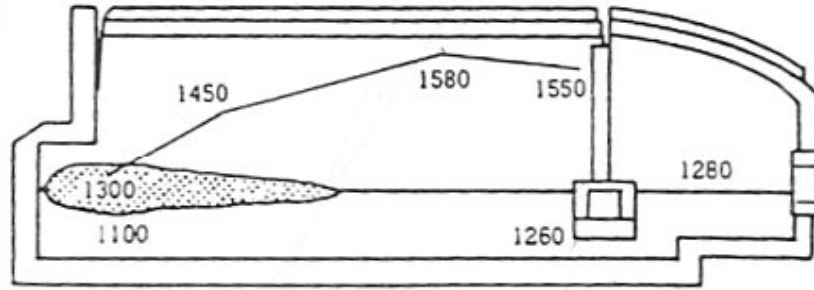
Sodyum sülfat 885°C civarında ergimektedir. 1200°C dan sonra bozunmaya başlamaktadır. Daha yüksek sıcaklıkta bozunması daha da hızlanmaktadır. 1450°C da çok çabuk bozunmaktadır. Sodyum sülfat bozunduğunda, sodyum oksit (Na_2O), kükürt dioksit (SO_2) ve oksijen (O_2) vermektedir. Bozunma, fırının ergime bölgesinde olmaktadır. Bu bozunma, ergime prosesinde, afinasyona yardımcı olması bakımından geç meydana gelmektedir. Bazı gazlar (SO_2 ve O_2) yolları üzerindeki daha küçük habbeleri toplayarak cam yüzeyine çıkarlar. Bazıları camda bulunan küçük habbelerin içine nüfus ederek onları büyütürler ve böylece cam yüzeyine çıkmalarını çabuklaştırır. Bazıları ise ergimiş camın içinde çözünürler, ya da yutulurlar.

Sülfat fazlalığı, ergimiş camın yüzeyinde bir köpük oluşturur. Bu durum, indirgen şartlar yaratarak ya da daha az sülfat kullanılarak giderilebilir. Sülfatlar, yükseltgen maddeler olarak sınıflandırılır ve harmandaki örneğin yüksek fırın cürufu ya da karbonlu maddeler gibi indirgen ortam oluşturucu maddelerin yarattığı ortamı dengelemek amacı ile kullanılır. Sülfatlar ergime ve afinasyonu kolaylaştırmak amacı ile kullanıldığında; cam sıcaklığı ile birlikte, afinasyonu sonunda ve cam hazırlama prosesinin şartlandırma aşamasında bazı hususlara dikkat etmek gerekmektedir. Bunun nedeni, camda bir miktar sülfatın kalması ve cam bir miktar soğutulduktan sonra tekrar ani olarak ısıtıldığında yeniden kaynama (habbeciklenme) yaratmasıdır. Tekrar kaynama camda çözünmüş SO_3 gibi gazların çok sayıda habbecik halinde tekrar ortaya çıkmasıdır. Ani olarak tekrar ısıtmanın anlamı, başlangıçta camda çözünmüş olarak bulunabilecek gaz miktarından daha fazla olması nedeni ile fazla gazın camdan habbecik olarak ayrılması ve yeni bir dengeye ulaşılmasıdır.

Camın fiziksel özelliklerinde değişme, fırındaki kum taneleri ve gaz kabarcıkları yüzey gerilimi nedeni ile bir araya gelerek birleşirler ve yüzeye doğru yükselirler. Kum taneleri ile zenginleşen cam yüzeyinde ergitici (Flux) maddelerinin azlığı nedeni ile ergime daha uzun zaman aldığı gibi kum taneciklerinin oluşturduğu örtünün cama olan ısı transferini azaltması nedeni ile afinasyonu süresi de daha uzun olur. Ortamda bir miktar sülfat bulunması, kum taneleri, gaz habbeleri, ergimiş cam ortak yüzeyindeki yüzey gerilimini 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.

Gazların camda çözünmesi;

Afinasyonu sıcaklığın düşmeye geçmesiyle de devam eder. Şekil 3.3'de tiptik bir soda-kireç-silis camı ergitme fırınının sıcaklık profili gösterilmiş, sıcaklıklar °C olarak verilmiştir. Afinasyon aşamasının sonlarına doğru gaz habbeleri hala yüzeye doğru çıkarak dışarı atılır. Ancak sıcaklık düşmesi sürekli olduğundan habbelerin çıkma hızı düşer. Bunun nedeni; camın viskozitesinin yükselmesi ve habbelerin küçülmesidir.



Şekil 3.3. Sürekli bir fırının tipik bir fırın sıcaklık profili

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

3.1.7. Camın şartlanması

Ergitmenin ve afinyasyonun başarılı bir şekilde gerçekleşebilmesi bakımından camın üretim için çok yüksek olan bir sıcaklığa kadar ısıtılması gerekmektedir. Bu nedenle üretim prosesleri için uygun olan sıcaklıklara kadar üniform olarak soğutulmalıdır.

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

Sürekli bir tank fırınından damlanın elle veya diğer yöntemlerle alındığı durumlarda şartlandırmanın tümü çalışma havuzunda gerçekleşir. Pota fırınlarında ise şartlandırma, aynı pota içinde ergime ve afinyasyon aşamaları tamamlandıktan sonra gerçekleşir. Ancak üretilen camların % 90'ından fazlasının sadece kısmen şartlandırılması, çalışma havuzunda meydana gelir. Son şartlandırma; kanal, forehearth veya çalışma havuzu ile irtibat sağlayan diğer tipteki bağlantı yapıları içinde gerçekleşir.

3.1.8. Camın şekillendirilmesi

Cam sıcakken akışkandır, soğutulduğu zaman serttir. Bu nedenle, üretim proseslerinin çoğunda cam sıcakken şekillendirilir ve soğuyuncaya kadar bu şeklini muhafaza etmesi sağlanır.

Şekillendirme modülleri aşağıdaki gibidir;

Döküm prosesi

Presleme prosesi

Üfleme prosesi

Float şekillendirme prosesi

Merdanelerle şekillendirme prosesi

Cam çekme prosesi

Bu proseslere sırasıyla bakılacak olursa;

Döküm prosesi; suyu, bir kabın içine döktüğünüz zaman, su kabın şeklini alır. Aynı şekilde, ergimiş camı metal bir kalıba döktüğünüz zaman cam kalıbın şeklini alır. Cam soğuk ve rijit olduğu zaman, kalıbın şeklini muhafaza eder.

Presleme prosesi; daha yaygın kullanılan şekillendirme prosesidir. Ergimiş cam, bir kalıp içinde konur ve metal bir mastır (iç kalıp) ile aşağıya doğru itilir. Cam; mastır ve kalıp arasında, kalıbın ağzına yerleştirilmiş metal şekillendiriciye kadar yükselir. Bu metal şekillendirici parçaya Ring adı verilir. Soğutulduğu ve proses bittiği zaman ürünün içi belli bir oranda boştur. Presleme ile geniş bir aralıkta ürün üretimi mümkündür. Kavanoz, tabak ve sigara tablası pres ürünlere örnek olarak verilebilir. Preslemeden sonra mastır, ürünün dışına alınabilmelidir. Bu nedenle şişe gibi boyun kısmı, gövdesinden daha dar ürünlerin üretiminde bu proses kullanılamaz. Bu tip ürünlerin üretiminde üfleme prosesi olarak bilinen farklı bir proses kullanılır.

Üfleme prosesi; cam eşya üfleme prosesinde mastır olarak hava kullanılır ve geri çekme problemi ortadan kalkar. Orijinal üfleme prosesinde ergimiş cam, üfleme çubuğu olarak adlandırılan çelik tüpün (pipo) bir ucuyla alınır. Diğer ucuna da üfleyici, ağzını koyar ve camın içine hava üfler. Hava üflenince fıska, armut şeklini alır. Bu şekil şişenin başlangıç şeklindedir. Buna fıska adı verilir. Fıskanın şekli alet kullanımı ile değiştirilebilir. Geleneksel cam üfleme üretiminde yüzeye tahta ile şekil verilir.

Fıska, kalıbın içinde üflendiği zaman kalıbın şeklini alır. Kalıplar, geleneksel tahtadan yapılıdır. Günümüzde ise genellikle demirden yapılmaktadır.

Şişelerin makinelerde üflenerek üretiminde; camın elle alınması yerine kalıplara otomatik olarak düşürülmesi dışında hemen hemen proses aynıdır.

Merdane ile şekillendirme prosesi; desenli cam yapmak için kullanılan prosestir. Ergimiş cam, su soğutmalı bir çift metal merdane arasından geçirilir. Bu merdanelerden birinde desen vardır.

Cam çekme prosesi; bir kaşığı koyu bir pekmez tenekesine daldırıp çekersek pekmez yüzeyi ile kaşık arasında pekmezden bir iplik oluştuğunu görürüz. BU iplik gittikçe inceler ve sonunda kopar. Bir demir çubuk ergimiş cama batırılıp kaldırılırsa aynı şekilde yüzeyden bir cam ipliği yukarı çekilir. Bu ipliği, sıvı yüzeyin yukarısında hemen soğutursanız incelmeye ve kırılmaz. Sürekli olarak demir çubuk yukarı çekilirse ve soğutulursa yüzeyden sürekli cam çubuk çekimi sağlanır. Bu, cam çubuk yapımının kullanılan metotlardan biridir. Bu cam çubuğun ortasına hava üflenirse cam tüp üretilmiş olur.

Float prosesi; geçmişte camın şekillendirilmesinde pek çok yol kullanılıyordu. Romalılar ergimiş camı taş levhalara döküyorlardı. Sonra pencereler için düz cam yapmak amacıyla soğutmaya bırakıyorlardı. Günümüzde, benzer bir yöntem kullanılmaktadır. Ergimiş cam, taş levhalar yerine kalay banyosuna dökülmektedir. Bu işlem Float prosesi olarak adlandırılır (**Erkoca 2003**).

3.2. Cam Türleri

Cam yapımı insanoğlunun ilk öğrendiği becerilerden olduğu halde dünyanın en geniş sanayi dallarından biri haline gelmesi ancak yirminci yüzyılda gerçekleşmiştir. İlk zamanlar, üretimin hassas teknikler (şekillendirilecek malzemenin yüksek sıcaklıklarda ve kısa sürede işleme tabi tutulması gibi) gerektirmesi, camın fiziksel-kimyasal özellikleri ve şekillendirme tekniklerinden kaynaklanan pek çok problem yüzünden sektörün gelişimi yavaş olmuştur. Ancak cam kimyası hakkında edinilen bilgilerin artmasıyla pek çok karmaşık probleme cevap bulunması, otomasyona geçilmesi, ürün miktarının artıp maliyetin azalması gibi unsurlar 1880- 1920 yılları arasında çok yavaş ilerleyen bu sektörün gelişimini sonraları kat kat arttırmıştır.

Cam ürünleri genel olarak üç gruba ayrılır;

1. Düz cam (pencere camı, dış cephe kaplama malzemesi, yüzey gerilmeli camlar, tabakalı camlar vs.)
2. Cam kaplar (laboratuvar camları, züccaciye vs.)
3. Presleme, çekilme, üfleme yoluyla üretilmiş ürünler ve diğerleri (cam fiberler, optik camlar, aynalar vs.)

3.2.1. Düz cam

Bu proses İngiliz Pilkington firması tarafından geliştirilmiş ve 1959 yılında uygulamaya geçirilmiştir. Eritme ve dinlenme bölgesinden geçen cam, ergimiş kalay banyosuna verilmektedir. Bu banyo altta refrakter kaplı bir hazne ve üstte azot/hidrojen karışımı bir atmosferi barındıran kapalı bir çelik bölümden oluşmaktadır. Cam, ergimiş kalay banyosunun üstünde kontrollü şekilde ilerler ve soğuyarak tavlama tüneline rulolar üstünde hareket edecek şekilde yönlendirilir. Tavlama tüneline çıkan cam hat üstünde soğuyarak,

otomatik kesim ve mamul toplama bölümüne gelir; burada nihai ürün kesilmiş ve ambalajlı şekilde toplanır.

Başlıca özellikleri;

Üstün kalitede düzcamı 2-25 mm kalınlık aralıklarında üretme imkanı,

Kapasite sınırı olmaması, yüksek tonajda cam çeken tesislerin bu prosesi kullanabilmeleri,

Kalınlık ve ebat değişimlerini asgari üretim kaybı ile yapabilmesi, üretim kayıplarının sadece şerit kenarlarında ince bir kısımdan ibaret olması,

Ufak bakımların dışında, tüm kampanya döneminde bu prosesle kesintisiz olarak üretim yapılabilmesi,

İşgücü ihtiyacının asgari olması, komple üretim hattının otomatik kontrol imkânı,

Yüzey kaplama proseslerinin hat üstü izlemesine olanak tanınması şeklindedir.

Ülkemizin tek düzcam üreticisi Şişecam'a bağlı düzcam fabrikalarında, alanında daha eski bir teknoloji olan Pittsburgh-dikey çekme prosesi ile üretilen sheet cam üretimi 1997 yılında durdurulmuş olup, düzcam üretiminin en yeni teknolojisi olan float yöntemi ile üretime devam edilmektedir. Günümüzde dünyada düzcam alanında yapılan yatırımların yaklaşık tümü float yöntemine dönüktür. Ülkemizde bu yöntemle Avrupa üreticilerinin kalitesinde düzcam üretimi yapılmaktadır.

Büyük düzcam üreticileri düzcam tüketimini arttırmaya yönelik olarak güneş ve ısı kontrol camları (enerji tasarrufuna yönelik), yüksek performanslı camlar gibi katma değeri yüksek ürünlere ağırlık vermekte ve ürün çeşitlerini arttırmaktadır. Türkiye düzcam sektörü de rekabet gücünü korumak adına bu paralelde yüksek teknolojiye dayanan ve değer artışı meydana getiren bu ürünlere ağırlık vermektedir.

Günümüzde düzcam olarak üretilen alt düzcam türlerine bakılacak olursa;

Tavlanmış cam; üretilen düz camlarda gerilmelerin mevcut olduğu tespit edilmiştir. Camdaki gerilmeleri gidermek için cam tavllanır. Bu işleme tabi tutulmuş cama tavllanmış cam adı verilir. Cam şekillendirildikten sonra sürekli çalışan bir tavlama fırınından geçirilerek oda sıcaklığına kadar soğutulur. İşlem, camın sahip olabileceği gerilmelerin büyük bir bölümünün

giderilerek uygun boyutlarda kesilebilmesini sağlar. Düz camların çoğu, tavllanmış olarak satılır ve daha sonra gerçekleştirilebilecek başka işlemlere uygun hale gelir.

Temperlenmiş cam; temperlenmiş cam, özel bir ısı işlem uygulanmış camdır. Cam, yumuşama sıcaklığına ısıtıldıktan sonra hızlıca oda sıcaklığına soğutulur. İç kısımlar hala sıcak iken yüzeyler hızlı soğuma sonucu büzülme gösterirler. İç kısım soğumaya başladığında yüzeyler çoktan katılmıştır. İşlem sonunda cam yüzeyinde basma gerilmeleri oluşur. Temperlenmiş cam güvenlik camı grubuna girmektedir. Darbelere karşı tavllanmış camdan dört kat daha fazla dayanıma sahiptir.

Renklendirilmiş cam; Camda renk verici oksitlerin çözündürülmeleriyle değişik renklere sahip camlar elde edilir. Renkler mavi, gri- mavi, yeşil ve bronz olabilmektedir. Bu ürünler, yüzeye gelen ısının emilmesiyle güneş enerjisinden faydalanmanın yani sıra açık ve net görüntü de sağlar. Bu tür cam, tavlama ve temperleme işlemine tabi tutulabilir.

Isıl işlemle kuvvetlendirilmiş cam; ısı işlemle kuvvetlendirilmiş cam, temperlenmiş cam için kullanılan benzer bir ısı işlemle üretilir. Sıcaklıklar ve soğutma hızı yüzeyde daha düşük seviyede basma gerilmesi oluşacak şekilde belirlenir. Kırılma esnasında parçacıklar temperlenmiş camın parçalarından daha büyük, tavllanmış camın parçalarından ise daha küçüktür.

Yansıtma camı; düz camlar binalarda cephe malzemesi olarak kullanıldıklarında ışık geçiriminin yani sıra pek çok açıdan da koruma sağlarlar. Güneş enerjisinden daha fazla faydalanmak amacıyla özel kaplama işlemi uygulanmış yansıtıcı camlar kullanılmaktadır.

İzolasyon camı; ısı ve ses yalıtımı amacıyla aralarına neme alınmış hava konarak uygulanan düz camlardır. İki cam tabakası arasında nemsiz hava kullanımıyla nem yoğunlaşması engellenir. Ayrıca dışarıdan nem sızması da önlenmiştir. Camlardan birisi en fazla mukavemet sağlamak üzere tabakalandırılır veya temperlenebilir. Dış cephede kullanılacak tabakanın bir veya iki yüzeyine ışın saçılımı artırıcı kaplamalar yapılabilir. Bu işlemlerden sonra izolasyon camı elde edilir. Cam kalınlıkları ve ara boşluktaki hava, istenilen izolasyona göre ayarlanır.

Kaplama malzemeleri; bu gruba giren malzemeler çeşitli formda, renk ve boyutta; cam mozaik, çatı örtü malzemesi, armatürlü ondüle levhalar ve saydam, koruyucu bir silikat tabakası olarak uygulanır.

Duvar ve döşeme blokları; ışık devamlılığının arzu edildiği iç mekânların duvar ve döşemelerinde renkli, renksiz, düz veya pürüzlü döşeme cam tuğlaları kullanılmaktadır. Tuğla formunda ve presleme metoduyla üretilen cam blokların boyutları kullanım yerlerine bağlı olarak değişebilmektedir. Tıpkı duvar tuğlası gibi aralarına harç konarak örtülebilirler. İç mekânın dışarıdan görülmesi isteniyorsa düz cam istenmiyorsa desenli olarak üretilebilirler. Işık ve ses geçirimini önlemek amacıyla fiberlerle takviye edilmiş camlarla yapılan bloklar mevcuttur.

Tabakalı cam; iki ya da daha fazla sayıdaki düz cam arasına plastik tabaka veya tabakalar yerleştirilerek oluşturulurlar. Yüksek darbe direnci eldesi için merkezi pozisyona poli karbonat konur. Bu uygulamada, ek olarak cam ile poli karbonat arasına da plastik bir bileşen yerleştirilir. Söz konusu tabakanın katı cam ve poli karbonat arasındaki ısıl genişleme farkını dengelemesi gerekmektedir.

Tel takviyeli cam; metalik tel, çeşitli şekil ve desenlerde hazırlandıktan sonra eriyik haldeki camın içine yerleştirilebilir. Bu cam alev almayı geciktirici karakterde olup ısıl kuvvetlendirme ve temperleme işlemine tabi tutulamaz.

Ayna camı; düz cam gibi üretilip tavlama, ısıl kuvvetlendirme ve temperleme işlemine tabi tutulur. Ayna camının ön yüzünün vakum altında kaplanması arka yüzeyinin kaplanmasından daha etkilidir. Böylece yansıma süresince gelen ışın, camı iki defa geçmek zorunda kalmaz. Arka yüzey kalay, gümüş gibi bir metal kullanılarak yapılan kaplama sonucu opak bir hal alır.

Solar cam; düşük demir oksit içeriğine sahip soda-kireç camıdır. Dolayısıyla kızıl ötesi ışık geçirimi %93'e kadar çıkabilir. Güneş enerjisinden faydalanılarak su ısıtmada ve yapıların ısınmasında kullanılır. Görüntü açısından normal pencere camından farksızdır. Temperlenebilir veya ısıl kuvvetlendirme işlemi uygulanabilir.

Kimyasal yöntemlerle kuvvetlendirilmiş cam; kimyasal yöntemlerle kuvvetlendirilmiş camlar, cam yüzeyinde iyon değişimleri sağlayan kimyasal işlemlerle üretilirler. Pahalı bir yöntemdir.

Cam yüzeyinde iyon değişimine uğramış tabakanın kalınlığı, gerek temperlenmiş gerekse ısı olarak kuvvetlendirilmiş camdakinden daha azdır.

3.2.2. Cam ev eşyası

Cam eritme fırınlarında hazırlanan cam, ya el üretimi yapılan bölmelerden çeşitli el aletleri kullanılarak alınır, şekillendirilir veya yaygın şekilde uygulandığı üzere otomatik üretim hatlarında çeşitli ev eşyası haline getirilir. Cam ev eşyası üretiminde belirleyici olan otomatik üretimde belli başlı prosesler; pres, pres-üfleme, üfleme-üfleme, savurma, ayaklı bardaklar (çekme ve takma ayaklı bardaklar), pres-üfleme gıda kabı prosesleridir. Ülkemizde tüm bu prosesler en yeni teknolojilerin desteğinde kullanılmaktadır. Kullanılan teknolojiler, ABD ve AB ülkelerinde kullanılan en üst düzey teknolojiler ile benzerdir. Bazı teknolojiler, örneğin çift damla pres-üfleme teknolojisi Türkiye dışında henüz kullanılmamaktadır. El imalatında da dünyadaki güncel teknolojik olanaklardan faydalanılmaktadır. Temelde teknolojiler aynı olmasına karşın, dünyadaki firmalar arasındaki farklılıklar bu teknolojileri kullanma becerisinde ve bu teknolojilere destek veren yan teknolojilerin (elektronik sanayi, yazılım gibi) yeterliliğinde kendini göstermektedir. Dolayısıyla firmaların know-how birikimi ve buldukları ülkelerdeki yan teknoloji desteği büyük önem kazanmaktadır.

3.2.3. Cam ambalaj

Cam eritme fırınından istenilen renkte, genelde beyaz, yeşil veya bal renginde alınan cam dinlendirme bölgesi sonuna yerleştirilmiş olan 'forehearth' ve 'feeder' olarak tanımlanan kanaldan geçirilerek üretim makinesine beslenir. Forehearth'ın esas fonksiyonu, uzun zaman aralığında camın şartlandırılarak benzer ağırlık ve sıcaklıkta sürekli beslenmesini sağlamaktır. Çeşitli en ve uzunluklarda ihtiyaca göre inşa edilmekte olup, 150t/gün kapasiteye kadar çıkan kanallar vardır. Cam, çanağın alt kısmındaki orifisten belli stroklarla bir plancerin itmesi ile akar, kesme bıçakları ile istenilen ağırlıkta damlalar kesilerek oluklar ve kepçe vasıtası ile makineye beslenir.

Cam ambalaj üretimi 'IS' makinesinde gerçekleştirilir. Bu makine, yan yana monte edilen bağımsız seksiyonlardan oluşmaktadır. Her seksiyonda basınçlı hava ile çalışan mekanizmalar mevcuttur. Bu seksiyonları bir tahrik şaftı birleştirir ve zaman tamburu ayarına

bağlı olarak çalıştırır. Damlanın her seksiyona bağlı kalıp içine zaman ayarlı düşmesi ile üretim sürdürülür.

Makinede üretim şekillendirmeyi iki kademedede gerçekleştirir. Üretilen cam ambalaj türüne göre üfleme-üfleme veya pres-üfleme yöntemleri uygulanır ve istenilen şekle uygun şekillendirilir. Üretilen ürünler konveyör ile tavlama fırınlarından geçirilir, çeşitli ikincil işlemler yapılır, kalite kontrolü tamamlanan ürünler hat sonunda ambalajlanır. Cam ambalaj üretiminde, yeni teknoloji yaratacak radikal gelişmeler beklenmemekte, bunun yerine makine ve buna bağlı üretim hatlarında iyileştirmelere yönelmektedir. İyi bir cam dağılımı sağlayan NNPB (Dar Boyun Pres Üfleme) yöntemiyle üretimin yaygınlaşması ürün ağırlıklarını azaltmakta ve maliyet düşüşü sağlamaktadır. Ülkemizde de NNPB yöntemiyle üretim yapılmaktadır.

Cam Ambalajdaki gelişmeler özetle şöyledir;

Hafif şişelerin dayanıklılığını arttırmak için çeşitli yüzey sertleştirme teknikleri uygulanmaktadır,

Enerji tasarrufu sağlayan sistemler geliştirilmektedir, (Elektrik boosting uygulamaları)

Renkli şişe üretimini hızlandırmak ve renkten renge geçiş maliyetini düşürmek amacıyla forehearthda (şartlandırma kanalı) renklendirme uygulamaları yapılmaktadır,

Maliyetleri düşürmek ve çevre kirliliğinin önlenmesine katkıda bulunmak amacıyla cam ambalajın toplanmasını ve geri dönüşümünü sağlayacak yöntemler geliştirilmektedir,

3.2.4. Cam elyaf

Cam eritme ve üretimi, bir fırında kum, kalker, borik asit vs. girdilerin tartımlı karışımlarının ergitilmesi ile başlar. Elyaf üretimi gelişme süreci içinde belli başlı iki yöntem mevcuttur. İlki olan erimiş cam damlalarından meyilli yivli oluklardan şekillendirilerek elde edilen cam bilyalardan elyaf çekme yöntemidir. Bugün Dünya'daki ve Türkiye'deki modern uygulamalarda girdilerin otomatik olarak kapalı sistem ile tartım sonrasında başlayan eritme işlemi, sürekli olarak üretim yapan "unit melter"de devam etmektedir. Sürekli sistem ile yapılan üretimde sağlanan stabil ürün kalitesi, bilya üretiminde sağlanamamaktadır.

Elyaf çekme işlemi, elektrikle ısıtılan platin/rodyum karışımı bushingler vasıtası ile bushing üzerinde bulunan 200 veya bu sayının katları kadar fazla sayıda nozullardan yapılır.

Bu şekilde elyaf çekimi sonucunda elde edilen bobinler; fitil, keçe, kırılmış demet, dokunmuş fitil, iplik ürünlerini meydana getirmek için kullanılır.

3.2.5. Sanayi kaplar

Sanayi kapları fizik, kimya, biyoloji vb. alanlarda kullanılan camın gereçler olup önceleri tamamen Al_2O_3 içeriği yüksek soda-kireç camlarından üretilmekteydi. Avrupa'da bu biçim hala gereç camı olarak bilinmektedir. Son yıllarda laboratuvarlarda alüminası yüksek soda-kireç camları yerine borosilikat camlarından üretilen gereçler kullanılmaktadır. Bu camlar kimyasal dayanım ve ısı şok dayanımı açısından çok kuvvetlidirler. Alümina silikat camını ısı şok dayanımı boro silikat camı kadar fazla değildir ancak iyi bir kimyasal dayanıma sahiptir. %96'lık silika camı da yüksek sıcaklık laboratuvar gereçleri yapımında kullanılmaktadır.

Cam gereçleri, yapılacak işleme uygun olarak şekillendirilmektedir. Kaynatma, saflaştırma, filtrasyon ve benzeri işlemler için gerekli şekillerde, standartlarda belirtilen boyutlarda üretilen beher, balon joje, flaks, pipetler ve benzeri pek çok cam gereç mevcuttur. Bazen cam gereçlerin çeşitli parçalarda birbirine bağlanmaları gerekmektedir. Sıcaklıklarının arttırıldığı, kirlenme yada sızma tehlikesinin söz konusu olduğu durumlarda bu bağlantılar büyük öneme sahiptir. Karmaşık şekilli ara bağlantı camlar ile düzenekler oluşturabilmektedir. Sanayi camlarında ve laboratuvarlarda hacimleri sabit ve ölçümlendirilmiş gereçler bulunmaktadır. Bunlardan bazıları büret, volümetrik beher, tüpler ve pipetlerdir.

Volümetrik (hacmi belli) ürünlerin boyut açısından yüksek hassasiyet göstermeleri gerekmektedir. Mesela, 100 ml'lik kapasite için $100 \pm 0,16$ ml olabilmektedir. Filtrasyon (filtre etme-süzme), gaz yıkama, gaz absorplama (emme) ve benzeri işlemlerde faydalanılmak üzere tercih edilen cam gereçler, yüksek sıcaklıkta cam tozunun veya fiber camının yoğunlaştırılması ile üretilen boşluklu (porlu) bünyelerdir. Cam parçacıkları, fiber boyutları ile şekillendirme ve pişirme işlemlerinin hassas kontrolü sayesinde istenilen por (delik) açıklığı sağlanır. Bu yöntemle üretilen cam ürünler düşük genleşmeli boro silikat esaslı camlardan elde edilirler. Fakat delikli yapılarından dolayı ısı şok dayanımları biraz düşüktür. Ürünler direkt alev ya da aşırı yüksek sıcaklık değişimlerine uğrayan camda istenmeyen gerilmeler oluşabilir. Ürünler disk ve pota şeklinde de üretilebilirler.

Cam tüpler pek çok farklı işlevleriyle laboratuvarların vazgeçilmez gereçlerinden olup farklı çaplarda, 3 mm'den 3800 mm'ye kadar değişen borulardaki silindirik şekilli ürünlerdir. Termometrelerde de cam tüplerden oluşur. Bunlardan birisi sıvı civanın tutulması, diğeri ise dış çerçeve görevini üstlenir. Tavlanmış cam tüpün içi vakum altında cıva ile doldurulur.

3.2.6. Özel camlar

Özel camlar, normal camlardan farklı olarak çok özel amaçlar için kullanılır ve bu özellikleriyle diğcr camlardan ayrılırlar. Bu camlar diğcr normal camlara göre katma değeri çok daha yüksek ve işlevsel camlardır. Özel camlara bakılacak olursa;

Isıya dayanıklı camlar; borosilikat, alüminosilikat veya %96 saflığındaki silika camından üretilebilirler. 230°C'ye kadar olan uygulamalar için borosilikat, 900°C için ise %96'lık silika camı tercih edilir. Saf silika camları uzay aracı pencerelerinde kullanılmakta olup dünya atmosferine tekrar girişinde oluşan ısıya dayanabilmektedir. Bu camlar, taşlanıp patlama işlemine tabi tutulabilirler.

Teknik tabaka camı; yüksek saflığa sahip olması gereken bu camlar, lensler ve elektronik sanayinde çip altlığı şeklinde özel uygulamalar için kullanılır.

Elektrik iletkenliğine sahip camlar; elektrik iletkenliğine sahip camlar, bileşimlerinde iyon hareketleriyle elektrik taşınımını gerçekleştiren alkali iyonları ve geçiş elementlerini içermektedirler. Özellikle uçakların ön camları için tercih edilirler. Hava taşıtları çok yükseklerde seyrettikleri için sıfırın altındaki sıcaklıklara maruz kalmakta ve özelliklede pilot kabininin camında buzlanma tehlikesi ortaya çıkmaktadır. Görüş açısının kaybedilmemesi için bu cephe camının buzlanması kesinlikle önlenmelidir. Camın içine yerleştirilen ince metalik tellerden elektrik akımı geçirilerek cephenin buzlanma sorunu ortan kaldırılır.

Elektrik ampulleri; kursun alkali, soda-kireç, kurşun-borosilikat, alüminosilikat, %96'lık silika camlarından yapılırlar. Ampul üretiminde kullanılacak camlarda aranan belli başlı özellikler;

1. Işığv ve diğcr radyasyonları iletmesi,
2. Gaz geçirgenliğinin olmaması,
3. Yüksek sıcaklıklara dayanabilmesi,
4. İyi yalıtım özelliklerine sahip olması,

5. Kolayca şekillendirilebilmesi,
6. diğer metal ve camla kaynaklanabilme,
7. Yeteri derecede bir kimyasal dayanıma sahip olmasıdır. Bunların yanı sıra elektrik özellikleri de önemlidir. Uygulama alanlarına göre geniş bir cam bileşim aralığı mevcuttur.

Fiberler, çeşitli yarıçaplarda ve uzunlukta olabilen, boşluklu ya da boşluksuz çubuklardır. Cam fiberler, ergitilmiş camdan çekilerek üretilirler. Cam bileşiminin seçiminde, kimyasal koşullar, atmosfer şartlarına dayanım ve kullanım ihtiyaçlarının gerektirdiği özellikler göz önünde bulundurulur. Kullanım şekillerine göre fiberler, düşük alkali içerikli borosilikat, alüminasilikat, alkalisiz zirkonya silikat, saf silika vb. pek çok cam grubundan üretilirler. Üretilen cam fiberler, tek başlarına veya başka malzemelerle birlikte kullanılabilirler. Örneğin; cam, iletişimde cam fiber olarak tek başına, yalıtım uygulamalarında ise polimer esaslı malzemelerle birlikte uygulama alanı bulur. Yalıtım fiber cam üretiminde kolay eriyebilirlik ve şekillendirme özelliklerine sahip borosilikat camı kullanılır. Plastik ve çimentoların kuvvetlendirilmesinde zirkonyo içerikli cam fiberler kullanılmaktadır. %96'lık silika fiberler ise çok yüksek bir kimyasal dayanım ve yüksek sıcaklık kararlılıkları sayesinde uzay araçlarında uygulama alanı bulurlar. Genel olarak cam fiberler inşaat, otomotiv, havacılık, iletişim sektöründe yaygın kullanım alanına sahiptirler. Ses ve ısı yalıtımı, kuvvetlendirme, yüksek sıcaklıklara dayanım, kimyasal dayanım gibi özellikler sağlamaları veya geliştirmeleri mevcut kullanım alanlarının her geçen gün daha da artmasını sağlamaktadır.

Yalıtım malzemeleri; ses ve ısı yalıtımı için kullanılırlar. Çeşitli bileşimdeki camların çok hızlı soğutularak yün haline getirilmeleriyle hazırlanırlar. Cam yünü 538°C'ye kadar ısı yalıtımında kullanılabilir. Kaya yünün en yüksek kullanım sıcaklığı ise 1038°C'dir. Bu sıcaklığın üzerinde gerek cam gerekse kaya yününün ısı yalıtımı iyi değildir. Daha yüksek sıcaklıklar için alümina-silikat fiberleri (1260°C), alümina-silikat-krom fiberleri (1480°C) kullanılmaktadır. Isı yalıtımı için bakalit (fenol formaldehit) ile bağlanmış cam yünü (250°C) veya bakalitleşmemiş cam pamuğu (550°C), kullanım yerine göre mukavva, polietilen ve galvanizli tel takviyeli levha, rulo veya boru formunda binalarda kullanılır.

Sırlar; üzerine kaplandığı malzemelerin mekanik mukavemetini, kimyasal dayanımını, çizilme ve sürtünme direncini artıran, ürüne albeni kazandıran ince cam tabakasıdır. Seramik sektöründe yaygın olarak kullanılır. Sır, kaolin, feldspat, kuvars, boraks, renklendiriciler, apaklaştırıcılar ve sır akışkanlığını kontrol eden elektrolitler çeşitli oranlarda karıştırılarak

elde edilir. Seramik ürünler mat görünümlü, gözenekli veya gözeneksiz, gevrek kalkerli bir bünyeye sahiptirler. Genelde, seramik ürünler kaolin, feldspat ve kuvars ham maddelerinden üretilirler. Şekillendirilip pişirildikten sonra sırlanarak satılacak ürüne dönüştürülürler.

3.2.7. Cam ürün standartları

Düzcam'da kullanılan ürün standartları şöyledir:

- ISO 9002 Belgesi
- Otocamı için ISO 14001 Belgesi
- Otocamında ECE R43 onay Belgesi
- TSE Kalite Uygunluk Belgeleri
- TSE Kalite Yeterlilik Belgeleri

Cam Ambalaj'da ise TSE Kalite Uygunluk Belgeleri, TSE Üretim Yeterlilik Belgeleri mevcuttur. Şişe kafa standartlarında ve ölçüsel toleranslarda DIN, GMF gibi normlar uygulanmaktadır ve hitap edilen yurt içi ve yurt dışı pazarların ihtiyaç duydukları teknik özelliklere sahip cam ambalaj üretimi ve bunların üretimin çeşitli noktalarında kontrolüne yönelik sistemler oluşturulmuştur. Üretim tesisleri ISO 9002 belgesine sahiptir. ISO 9000 kalite güvence sisteminin çevreye yönelik olan ISO 14000 belgesi alınmaktadır. Cam Ev Eşyası'da soda camı, kristal ve borosilikat camdan üretilen ev eşyaları konusunda Türk Standardları Enstitüsü tarafından yayınlanmış herhangi bir ürün standardı bulunmamaktadır. Ürünlerin gıda kabı olarak kullanıldıkları durumda kontaminasyon kontrolü için TS 4403 (ISO 7086) standardı, kalite kontrol çalışmalarında numune planı hazırlama ve kabul edilebilirlik sınırları konusunda ise TS 2756 (ISO 2859) standardı esas alınmaktadır.

Şişecam Cam Ev Eşyası Grubu'na bağlı fabrikalar , 'Paşabahçe' markalı kurşunlu kristal ürünler için TS 6500, 'Teknikcam' markalı ölçülü balonlar için TS 1491, yuvarlak dipli balonlar ve erlenler için ise TS 1493 standarda uygunluk belgeleri ile imalata yeterlilik belgelerine sahiptir.

Şişecam Cam Ev Eşyası Grubu'na bağlı fabrikaların tümünde ve pazarlama-satış hizmetlerinde ISO 9000 Kalite Güvence Sistemi sertifikasyonu bulunmaktadır. Bu fabrikalarda, ISO-14000 Çevre Yönetim Sistemine yönelik hazırlık çalışmaları sürdürülmektedir.

3.3. Otomotiv Camlarının Temperlenmesi Ve Şekillendirilmesi

Otomotiv camları günümüzde sadece bir kaplama malzemesi dışında, hem güvenlik ve görsellik öğeleri haline gelmiştir. Bu nedenle her geçen gün cam dizaynına dayalı otomobil yapısı oluşmaktadır. Bunun yanında güvenlik unsurları da sürekli artmaktadır.

3.3.1. Tavlama teorisi

Bir cam levha yüksek sıcaklıklarda imal edildikten sonra oda sıcaklığına öyle bir şekilde soğutulmalıdır ki içindeki gerilim giderilsin ve kolayca kesilebilsin. Cam mamullerdeki istenmeyen iç gerilim kuvvetlerini önlemek veya ortadan kaldırmak için uygun bir sıcaklık derecesinden başlanılarak yapılan bu kontrollü soğutma işlemine “Tavlama” denir. Düz camın veya cam kapların tavlama bölgelerindeki yavaş soğutma ile gerilimleri minimuma indirmektedir.

Tavlama, fiziksel anlamda bir bütün olarak ele alındığında;

- a) kimyasal homojenite,
- b) ısı homojenite,
- c) optik yönden bağımsızlık (optik izotropi),
- d) kalıcı gerilimin kontrol altında tutulması,
- e) dakikalardan saatlere varan tavlama süresi,

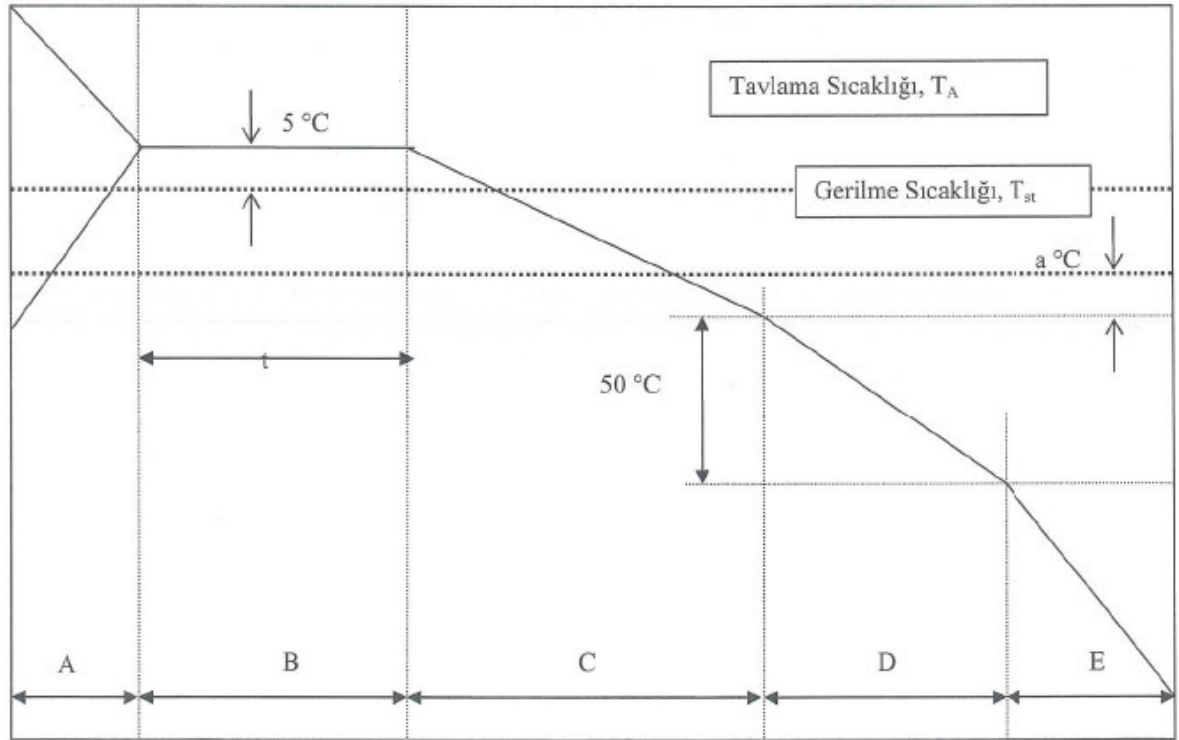
ile tanımlanmaktadır. Dolayısıyla yapısal homojenite, kalıcı gerilim seviyesi ve tavlama süresi, tavlama süreci üzerinde belirleyici unsurlar olarak değerlendirilmektedir.

Tavlama sürecinin basamakları; tavlama sürecini doğrudan etkileyen temel parametrelerin ışığında, etkin ve yeterli düzeyde bir tavlamanın temel basamakları;

- i) camın tavlama sıcaklığının (T_A) 5-10 °C üzerine kadar ısıtılması veya soğutulması,
- ii) ısıtma/soğutma hızının kontrol edilmesiyle birlikte iç çekme gerilimlerinin sınırlandırılması,
- iii) cam kalınlığına bağlı olarak ortaya çıkan gerilimlerin arzu edilen düzeye çekilmesi amacıyla en az 5 dakika süreyle tutulması,

- iv) elde edilen gerilim düzeyinin korunması amacıyla gerilme noktasının (T_{st}) hemen altına kadar düşük hızla soğutulması,
- v) geçici gerilmelerin sınırlandırılarak kabul edilebilir bir düzeye getirilmesi amacıyla bir önceki basamağa göre 2-5 kat daha hızlı soğutulması,
- vi) camın, gerilme sıcaklığının altından başlayarak daha hızlı bir soğutmayla ortam sıcaklığına getirilmesi,

olarak sıralanmaktadır. Tavlama için ideal tavlama süreci ve rejimi kapsamlı olarak şekil 3.4.'de verilmektedir (Engin 1993).



Şekil 3.4. Tavlama için ideal tavlama süreci (A-camın tavlama sıcaklığının 5 °C üzerine kadar ısıtılması veya soğutulması, B-"t" zamanı için sıcaklığın sabit tutulması, C-"a" sıcaklığı kadar gerilme sıcaklığının altına kadar soğutulması, D-sonraki 50 °C için soğutulması, E-son soğutma)

3.3.2. Temperleme

Bir cam levha yüksek sıcaklıklarda imal edildikten sonra, oda sıcaklığın öyle bir şekilde soğutulmalıdır ki içindeki zorlanmalar giderilsin ve kolayca kesilebilsin. Cam

mamullerdeki istenilmeyen iç gerilim kuvvetlerini önlemek veya ortadan kaldırmak için uygun bir sıcaklık derecesinden başlanılarak yapılan bu kontrollü soğutma işlemine “tavlama” (annealing) denir.

Düz camın veya cam kapların tavlanmalarındaki başlıca amaç "tavlama bölgesindeki yavaş soğutma ile zorlanmaları minimuma indirmektir. Camın temperli hale getirilmesi ise tavlanma bölgesinden camı hızla soğutarak yüksek derecelerde zorlanmaların cama kasten verilmesidir. Temperlenmiş hale gelmiş bir camın yüzeyleri yüksek miktarlarda basınç gerilmesi (compression) içinde olup, mekanik ve termik şoklara karşı iyi tavlanmış bir camdan 5-10 kat daha fazla dayanıklıdır.

Düz cam çoğunlukla iyi tavlanmış bir halde tedarik edilip kolaylıkla kesilebilir ve işlenebilir. Cam tamamen temperli hale getirildiği takdirde, daha sonra bir kesme ve düzeltme işlemi yapılamaz, dolayısı ile cam, temperli hale getirilmeden önce istenilen maksada uygun olarak önceden hazırlanmış bir halde olmalıdır. Temperli hale gelmiş bir camın maliyeti, arzu edilen birtakım özelliklerin bitmiş mamule verilmesiyle tayin edilmelidir. Temperli camın, mekanik mukavemetinin fazlalığı, cam kapılar, vitrin camları, lomboz camları vs. gibi kullanış yerlerinde değerli olurken, termik şoka ve gradyanlara dayanma kabiliyeti de, fırın pencere camlarında, otomatik yıkayıcı ve kurutucularda, ark ışıklarında ve özellikle otomotiv sanayinde kullanılmasında önem taşır. Temperli hale gelmiş cama, ayrıca yüksek mukavemetinden ve kırıldığı zaman düzgün parçalara ayrılmasından ötürü-sabin olduğu emniyet özelliğinden dolayı otomobil ve televizyon camları için oldukça önemli yer işgal eder.

“Temperli hale getirilmiş cam” nedir? Cama bilinçli bir şekilde zorlanmalar (strain) sokulduğu zaman, cam temperli hale getirilmiş cam niteliğini taşır. Camı iyi bir şekilde temperli hale getirebilmek için, bütün cam yüzeyi soğutulmalıdır ki, tamamen yüzeyin altında bulunan çekme gerilme (tension) kuvvetleri bu şekilde yüzeyde meydana gelecek olan basınç gerilmesi ile dengelenebilsin.

Isıl temperlemenin temel basamakları şu şekildedir;

- i. camın dönüşüm sıcaklığının üzerine çıkılarak düzenli olarak ısıtılması,
- ii. sıcak cam yüzeyinin hava ile düzenli olarak soğutulması,
- iii. viskoz akış kaynaklı geçici gerilimlerin ortadan kaldırılması

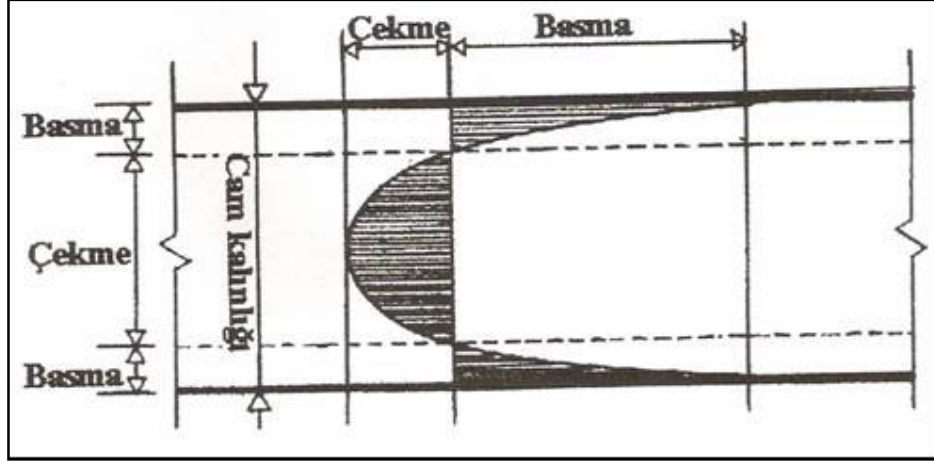
- iv. cam kalınlığı boyunca kalıcı bir sıcaklık dağılımının oluşturulması,
- v. camın oda sıcaklığına getiriliş sürecinde kalıcı ve yararlı gerilimlerin oluşturulmasıdır.

Camın gerçek bir şekilde temperli hale gelebilmesi için bütün cam yüzeyinin basınç gerilmesi (compression) altında olması gereklidir. Temperli hale getirme işleminde, camda kalmış bulunan gerilme kuvvetlerinin değerlerinin, tavlama işleminde olduğu gibi azaltılması yerine, yükseltilmesi istenilir.

Temperli hale getirmedeki amaç, camın mekanik dayanıklılığının artırılmasıdır. Temperli hale getirme, camın zorlanma noktasının üzerinde bir sıcaklık derecesinden hızla soğutulmasını gerektirir. Soğutmanın ilk safhalarında, yüzey içeriden daha hızlı bir şekilde soğur ve bir kaç saniye içinde, yüzey ile orta kısım arasındaki sıcaklık derecesi farkı maksimuma çıkar. Sonra iç taraf, yüzeyden daha hızlı olarak, oda sıcaklığında isothermal şartlar tespit edilene kadar soğur. Bundan dolayı, başlangıçta yüzeyin ısıl büzülmesi (thermal contraction) , orta kısmından fazladır. Bu diferansiyel büzülme yüzeyde çekilme gerilmesi (tensile stress) ve orta kısımda da basınç gerilmesi (compressive stress) yaratır.

Elastik bir kat da bu gerilimler gerçekten gözüktür, sadece orta kısmın soğuma hızının yüzeyinkinden fazla olduğu soğumanın son safhalarında ters işaretli gerilimler tarafından serbest bırakılır.

Sıcak cam elastik bir madde değildir. Yüksek sıcaklık derecelerinde gerilimler gevşemiş haldedir, sıcaklık derecesi yükseldikçe gevşeme derecesi de fazlalaşır. Böylece, başlangıçta verilen gerilimlerin çoğu, (cam hâlâ sıcak iken) gevşerler, hâlbuki soğumanın son safhalarında verilen gerilimlerin çoğu, (cam daha soğuk iken) kalır. Neticede, temperli hale getirme işlemi cam plakanın yüzeylerinde, iç kısımlardaki çekme gerilmesiyle dengelenmiş kalıcı bir basınç gerilmesi bırakır. Şekil 3.5 'de camda yaratılan kalıcı basma ve çekme gerilmeleri görülmektedir.

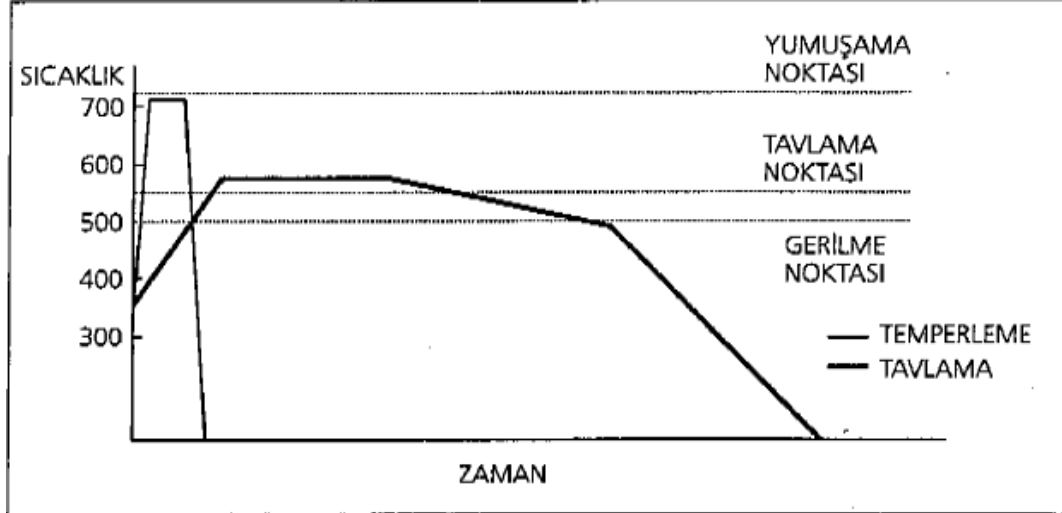


Şekil 3.5 Cam kesitindeki gerilme dayanımı

Temperli hale getirme işlemini açıklayabilmek için, sınırsız (infinite) alanı olan bir cam plakasının elimizde olduğunu varsayalım, bu cam plakayı üniform olarak ısıtıp, temperli hale getirmek için yüzeylerini yine üniform olarak hızlı soğutarak, babinet-kompensatöründe görülen kesimini gözleyelim. Babinet-kompensatörü optik bir sistem olup, tavllanmış (annealed) cam bu sistemde dikey bir nötr çizgi gösterir. Camda gerilmeler (strain) mevcut olduğu zaman çizgi basınç gerilmesi (compression) için sağa, çekme gerilmesi (tension) için sola doğru gider. Şekil 3.6 de duracam haline gelme esnasında mevcut olan gerilme kuvvetlerini ve sıcaklık derecesi gradyanını göstermek için yaklaşık şematik çizimler verilmiştir.

Temperlenmiş bir camın yüzeyleri yüksek miktarda basınç gerilmesi içinde olup, mekanik ve termik şoklara karşı iyi tavllanmış bir camdan 4-5 daha fazla dayanıklıdır. Temperli camlarda basınç gerilmesinin minimum 10.000 Psi (700 bar) olması gerekmektedir. Yüzeyde oluşan basma gerilmesi yüzeydeki mikro çatlakların kapanmasına sağlar. Bu da termik ve mekanik mukavemeti artırır.

Temperli cam ayrıca yüksek mukavemetinden ve kırıldığı zaman düzgün parçalara ayrılmasından ötürü sahip olduğu emniyet özelliğinden dolayı otomobil camlarında oldukça önemli bir nokta teşkil eder.



Şekil 3.6. Temperleme ve tavlama sıcaklık zaman grafikleri

Temperlenmiş hale getirme derecesi ve kontrolü;

Ne dereceye kadar temperli hale getirmek bunun kontrolü ile ölçülmesi konusunda söylenecek en önemli söz; temperli hale gelme işleminde temperli camın düzgünlüğünün, derecesinden daha önemli olduğudur. Plakamın üzerinde herhangi bir noktada zayıflık kalırsa, diğer kısımların da temperleme esnasında zayıf kalmasına ve kırılmaya yol açacaktır. O yüzden temperlenecek camın düzgünlüğü ve temperleme esnasında yapılacak işlemler çok önemli durumdadır.

Temperli hale gelme derecesi, camın mukavemetini az miktarda veya çok miktarda arttırması (istenilen seviyede) uygun bir soğutma şiddetinin seçimi ile ayarlanabilir. Temperleme derecesi, cam soğutulduğunda, yüzeydeki en son uzama miktarıyla doğru orantılıdır. Soğutma zamanında cam yüzeyinin sıcaklık derecesi uzamaya karşı direncini tayin edecektir. Cam yüzeyi yeteri kadar ısıtılmalıdır ki, yeterli miktarda uzayabilsin ve soğutma hızı ise toplam uzamayı veya temperleme derecesini tayin eder.

Kısacası, camın temperlenmesi esnasında cama kazandırılacak mukavemet derecesi 2 faktöre bağlıdır. Bunlardan birincisi cama yeterli miktarda ısı verilmesi, ikincisi ise camı soğutma şiddetidir.

A - Isı faktörü

Temperleme esnasındaki başarının esası, uygun olarak ısıtma karakteristiğine bağlıdır. Alanı büyük olan düz cam akkor sıcaklığında bir fırına kırılmadan ani olarak sokulabilir, zira bütün yüzeyler derhal basınç gerilmesi altına girer ve kalınlık sabit olduğundan, bütün yüzeyler esas itibari ile aynı derecede ısınırlar. Şayet camın köşelerine ve kenarlarına çok yakın yerlerine delikler yerleştirilmiş ise, camın delikler ve kenarlar arasında kalan dilimleri ve kenarlar, daha geniş yüzey alanlarından dolayı çok hızlı ısınacaklar ve kırılacaklardır. Delikler kenarlardan en az cam kalınlığının altı katı kadar bir mesafede olmalıdır. Merkez tabakada ki çatlaklar, ısıtma esnasında çekme gerilmesi altında olacaklarından, kırılmalara sebep olabilirler.

Isıtma için genellikle elektrik fırınları kullanılır zira bunlar daha düzgün ısı yayılımı sağlarlar ve kontrolleri de daha kolaydır. Isıtma elementleri küçük veya büyük cam parçalarına otomatik olarak ısı sağlamak için ve fırının tabanındaki soğuk havayı denkleştirmeye yardım etmek için çeşitli ayrı bölmelere bölünürler. Bunlara fırın zonu denir.

B - Soğutma faktörü

Cama verilen ısının cam kalınlığına ve rengine uygun olarak verilmesinden sonra camdaki temperleme kalitesini sağlamak için gerekli ikinci faktör de soğutma şiddetidir. Soğutma üst ve alt hava panosuna hava sağlayan 2 adet fan tarafından yapılır. Bu fanlar ortalama 750 KW gücündedir. Bu fanların çalışma devirleri fırın bilgisayarı tarafından operatörün girdiği güç % dilimine göre ayarlanır. Cam inceldikçe cama verilmesi gereken soğutma şiddeti de artar. Çünkü cama verilen havanın camın üst katmanı ile orta katmanı arasındaki sıcaklık farkını maksimuma çıkarabilmesi için kalın cama göre çok daha çabuk ve şiddetli olmalıdır. Çünkü orta katmanda (cam ince olduğu için) çabuk soğuma eğilimindedir.

3.3.3. Otomotiv camlarının temperlenmesi

Otomotiv camları gün geçtikçe daha farklı dizayn ve bombeli şekillerde karşımıza çıkmaktadır. Çünkü cam otomobile farklı bir dizayn ve güzellik katan bir unsurdur bu nedenle otomotiv camları da gün geçtikçe daha farklı şekillerde karşımıza çıkmaktadır. Bu farklı

camları şekillendirmek ve bu şekilde temperlemekte gün geçtikçe zorlaşmakta ve farklı fikirlerin doğmasına sebep olmaktadır. Otomotiv camlarının temperlenmesi öncesi yapılması gereken 2 basamak daha vardır bunlar;

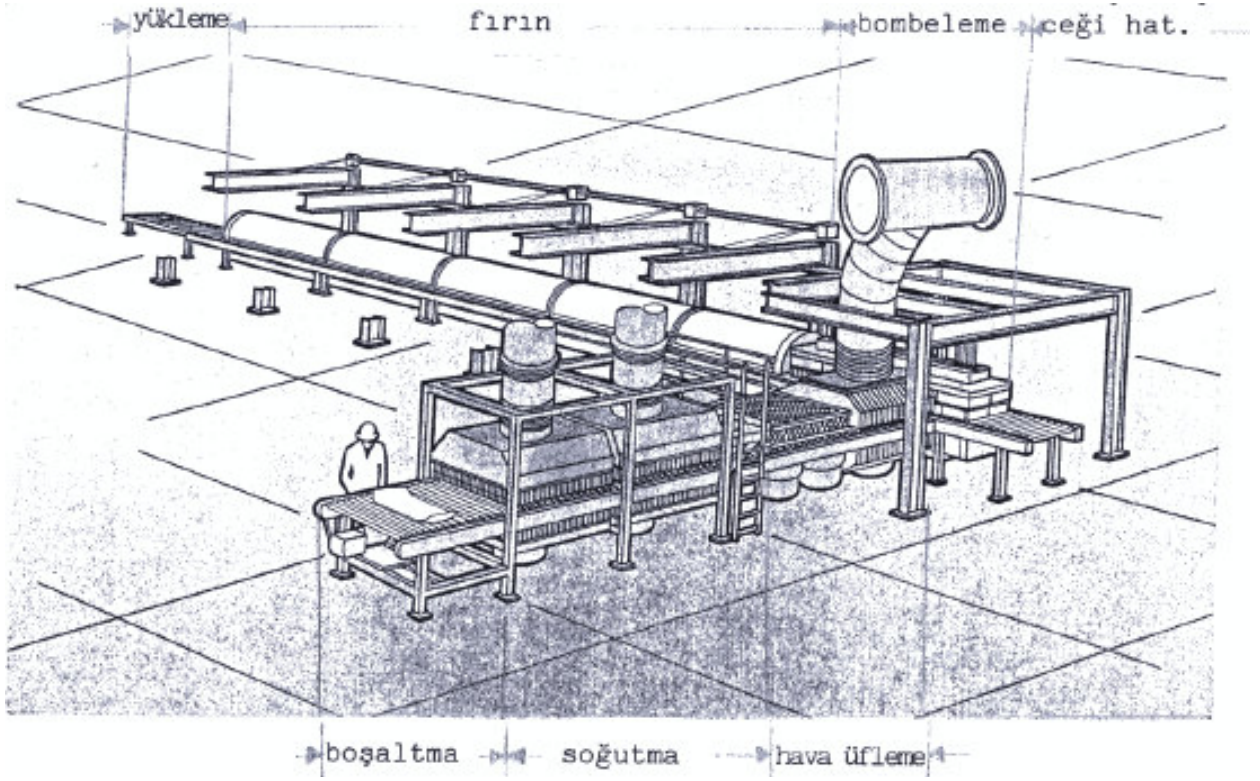
Kesim; otomotiv camları bilindiği gibi çok farklı boyut ve şekillerde görülmektedir. Bu camlar ebadına göre kare veya dikdörtgen olarak ham cam halinde getirilmekte ve özel CNC tezgâhlarda otomatik olarak kesimi yapılmaktadır. Kesimi yapılan camın kenarda kalan fazla parçaları makine tarafından özel aparatlarla kırılmaktadır.

Rodaj; kesilen camlar yine aynı CNC tezgah üzerinde bulunan rodaj kafası ile rodajı yapılarak keskin olan kenar sathları dokunulduğu zaman eli kesmeyecek şekilde rodaj diski tarafından aşındırılmaktadır. Camın kenarı keskin düz şekilden yaklaşık C şekline gelmektedir. Rodaj prosesi aynı zamanda Temperleme için olmazsa olmaz bir prosestir. Rodaj olmayan camın temperlemesi yapılamaz.

Baskı; kesim ve rodajı tamamlanan cam yıkandıktan sonra baskı prosesine gelir. Baskı prosesinde firma tarafından istenen şekilde firma logosu, üretici logosu, araca yapışma yüzeyi için tram baskı ve uygun görünüm için degrade baskısı yapılır. Bu baskı özel olarak sadece o cam için hazırlanmış olan baskı kalıbı üzerine dökülen baskı yüz boyasının camın yüzeyine tatbiki şeklinde yapılır. Daha sonra baskı boyasının camın yüzeyinden kolayca akmaması için ön kurutma yapılır. Tüm kesim, rodaj ve baskı prosesini tamamlayan cam artık fırın tarafından temperlenmek üzere hazırdır.

Temperleme fırını yapısı;

Temperleme fırını 6 ana bölümden oluşur. Camın fırına beslendiği yükleme bölümü, camın ısıtıldığı sıcak bölüm fırın bölümü, camın şeklinin verildiği bükme bölümü, cama ani hava verildiği hava panosu bölümü, camın ortam sıcaklığına indirildiği soğutma bölümü ve camın toplandığı toplama bölümüdür.



Şekil 3.7. Bombeli cam temperleme fırını

3.3.4. Otomobil camlarının şekillendirilmesi

Otomobil camları, camın araçtaki konumuna, firma tarafından istenen bombe ve tolerans değerlerine göre üretim yapmak üzere projesi hazırlanır. Bu projede bulunan ebat bilgisi, bombe değerleri ve verilen toleranslar ışığında hangi şekillendirme tekniğinin kullanılacağına karar verilir.

3.3.5. Düz şekillendirme

Otomobillerde bazı camlar düzdür. Bu nedenle bazı camları düz olarak temperlemek gerekmektedir. Kesim prosesinden getirilen camlar fırın yükleme bölümünde bulunan referans noktasına koyulur. Fırın bilgisayarına girilen parametre değerleri sayesinde bu referans bölümünden camlar otomatik olarak fırın içine alınır. Fırın içinde seramik rulolar üzerinde hareket eden ve temperleme sıcaklığına kadar ağır ağır ısıtılır. (650 °C - 700 °C)

Cam, fırında son zona geldiğinde, ısınmasını tamamlanmış ve temperleme sıcaklığına ulaşmıştır. Bu noktadan sonra son zondaki ruloların hızlanması sayesinde cam hızlı bir şekilde fırın dışına hava panosu bölgesine gönderilir. Burada amaç fırın içinde ısıtılan camın sıcaklığının mümkün olduğunca daha az kaybetmesidir. Hava panosu bölgesine ulaşan cam aniden yavaşlatılır ve üzerine camın sıcaklığına, kalınlığına ve rengine uygun olarak belirlenen seviyede hava verilir.

Hava fırının yakınında bulunan özel büyük fanlar tarafından dış ortamdan alınarak sağlanır ve bu hava özel büyük çaplı borular ile fırının hava panosu bölgesine iletilir. Hava panosu ise bu havayı cam üzerine, hava panosu üzerinde bulunan küçük hava deliklerinden basınçlı bir şekilde verir. Fanların çalışma basıncı fırın bilgisayarına girilen miktar seviyesinde olur.

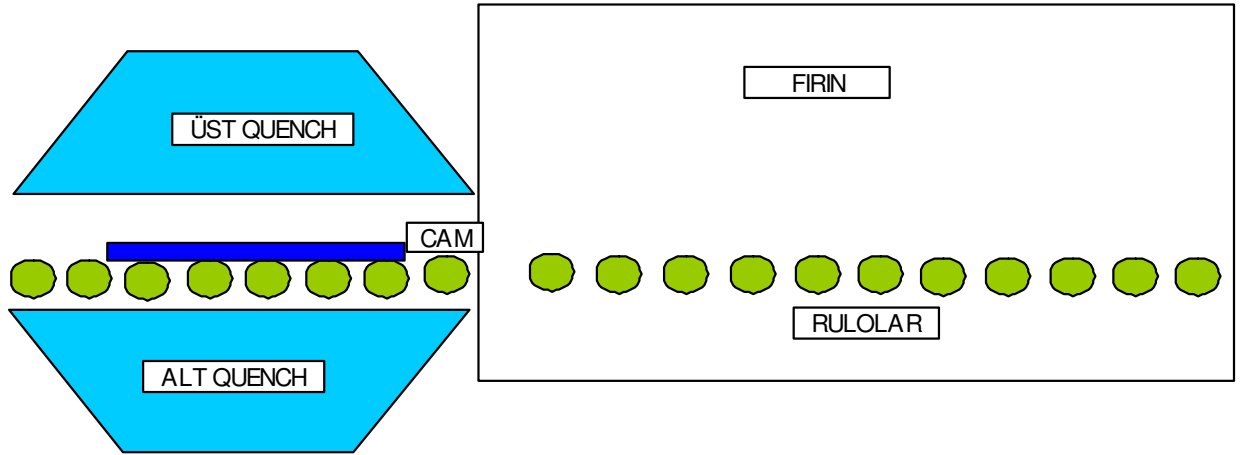
Fırından 650°C - 700°C arasında çıkan cam hava panosu bölgesinde yaklaşık olarak 10-15 sn içinde $200-250^{\circ}\text{C}$ ye kadar düşürülür ve böylece temperlemesini tamamlamış olur. Burada önemli olan parametre Δt değerinin minimum 50°C olmasıdır. Buradan sonra cam yine rulolar üzerinde yavaş yavaş soğutma bölgesine hareket eder ve burada da cama verilen hava ile ortam sıcaklığına indirilir.

Soğutma bölgesinde verilen havanın miktarının fazla olması camda oluşturulmuş olan çekme ve basma gerilmesi dengesinin bozulmasına ve camın kırılmasına veya şekil değiştirmesine sebep olur. Bu nedenle soğutma da verilen havanın dengesini mutlaka iyi ayarlamak gerekmektedir.

Isıtma faktörü; bu tarz temperleme de ısıtma faktörü son derece önemlidir. Her ne kadar düz temperleme diğer temperleme tiplerine göre kolay gibi gözükse de aslında sanıldığı kadar kolay değildir. Çünkü cama verilmesi gereken ısı camın tüm yüzey ve noktalarında aynı olmalıdır. Çünkü camın herhangi bir noktasında oluşacak sıcaklık farkı soğutma sırasında camda istenmeyen bombe oluşmasını sağlayacaktır. Bu nedenle başarılı bir düz temperlemenin ilk basamağı tüm yüzeyde oluşturulacak homojen bir ısıtma faktörü ile başlamaktadır.

Soğutma faktörü; bu tarz temperleme de soğutma faktörü ısıtma faktörüne paralel olarak yapılması gereken ve son derece dikkatli olunması gereken bir prosestir. Camın

ısıtılması sırasında homojen olarak cama verilen ısının aynı şekilde camın soğutulması sırasında camdan homojen şekilde uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu sayede cama verilen gerilimler dengelenmiş ve camın yüzeyi tam olarak düzlenmiş olacaktır. Cama verilen hava miktarlarında (alt ve üst havada) yaratılan bir dengesizlik camda istenmeyen yüzey ve kenar dalgalanmaları yaratacaktır.



Şekil 3.8. Düz şekillendirme

3.3.6. C.R.B. sistemi ile şekillendirme

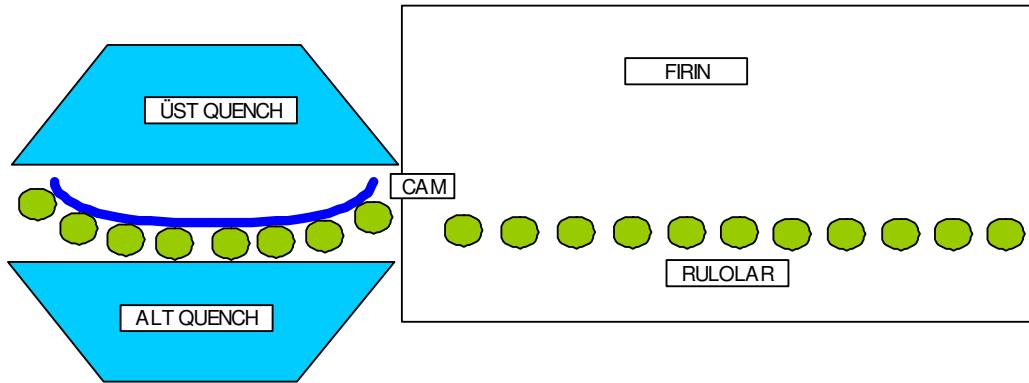
C.R.B. sistemi ile şekillendirme de homojen silindirik bombeli camların temperlenmesi gerçekleştirilir. Burada ki sistem düz temperlemeye çok benzerdir. Kesim prosesinden getirilen camlar fırın yükleme bölümünde bulunan referans noktasına koyulur. Fırın bilgisayarına girilen parametre değerleri sayesinde bu referans bölümünden camlar otomatik olarak fırın içine alınır. Fırın içinde seramik rulolar üzerinde hareket eden ve temperleme sıcaklığına kadar ağır ağır ısıtılır. (650 °C - 700 °C) Cam, fırında son zona geldiğinde, ısınmasını tamamlanmış ve temperleme sıcaklığına ulaşmıştır. Bu noktadan sonra son zondaki ruloların hızlanması sayesinde cam hızlı bir şekilde fırın dışına C.R.B. bölgesine gönderilir. Burada amaç fırın içinde ısıtılan camın sıcaklığının mümkün olduğunca daha az kaybetmesidir. C.R.B. bölgesinde cam durdurulur ve camın radiusuna uygun olarak yukarı hareket eden rulolar tarafından cama tam şekli verilir ve bu esnada hava panosu'dab yüksek debili hava verilir. Camın radiusu fırın bilgisayarına girilir ve bu değer bilgisayar tarafından hesaplanarak C.R.B. 'ye aktarılır, büküm işlemi tam otomatik ve hatasız gerçekleşmiş olur.

Fırından 650 °C - 700 °C arasında çıkan cam hava panosu bölgesinde yaklaşık olarak 10-15 sn içinde 200-250 °C ye kadar düşürülür ve böylece temperlemesini tamamlamış olur.

Burada önemli olan parametre Δt değerinin minimum 50 °C olmasıdır. Buradan sonra cam yine rulolar üzerinde yavaş yavaş soğutma bölgesine hareket eder ve burada da cama verilen hava ile ortam sıcaklığına indirilir. Soğutma bölgesinde verilen havanın miktarının fazla olması camda oluşturulmuş olan çekme ve basma gerilmesi dengesinin bozulmasına ve camın kırılmasına veya şekil değiştirmesine sebep olur. Bu sistemle silindirik bombeli otomobil camları ile silindirik bombeli büyük otobüs camları temperlenir.

Isıtma faktörü; bu tarz temperleme de ısıtma faktörü son derece önemlidir. Camda olması gereken homojen bombe miktarına göre cama verilen ısı değişmektedir. Çünkü derin bombeli ve büyük camları çöktürmek daha zor olacağı için cama verilmesi gereken ısıda bununla birlikte doğrusal olarak artacaktır. C.R.B. sisteminde önemli bir başka noktada camın kenarlarına verilen ısı miktarıdır. Bu ısı miktarlarının iki kenarda da birbirine orantılı olması gerekmektedir. Çünkü bu ısının dengesiz olması soğutma esnasında istenmeyen kenar dalgalanmasına neden olabilmektedir.

Soğutma faktörü; bu tarz temperleme de soğutma faktörü ısıtma faktörüne paralel olarak yapılması gereken ve son derece dikkatli olunması gereken bir prostedir. Soğutma esnasında cama C.R.B. bölgesinde verilen bombe değerinin korunması için cama verilen alt hava ve üst havanın bu bombe değerine göre uygun şekilde ayarlanması gerekmektedir. Aynı şekilde kenar bölgelerde istenmeyen kenar dalgalanmalarının oluşmaması da bu hava oranlarına bağlıdır.



Şekil 3.9. C.R.B. sistemi ile şekillendirme

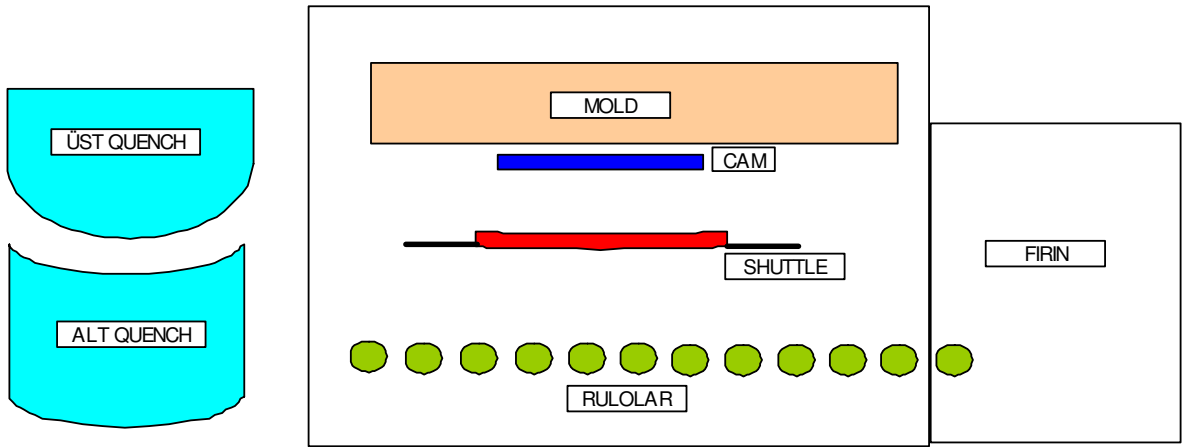
3.3.7. S.A.G. sistemi ile şekillendirme

S.A.G. bükme sistemi ile şekillendirmede otomobil yan camlarının şekillendirilmesi ve temperlenmesi gerçekleştirilir. Otomobil yan camları çok fazla derin bombeli olmayan (maksimum 50 mm bombeli camlar) camların üretimi gerçekleşir.

Kesim prosesinden getirilen camlar fırın yükleme bölümünde bulunan referans noktasına koyulur. Fırın bilgisayarına girilen parametre değerleri sayesinde bu referans bölümünden camlar otomatik olarak fırın içine alınır. Fırın içinde seramik rulolar üzerinde hareket eden ve temperleme sıcaklığına kadar ağır ağır ısıtılır. (620 °C - 700 °C) Cam, fırında son zona geldiğinde, ısınmasını tamamlanmış ve temperleme sıcaklığına ulaşmıştır. Bu noktadan sonra son zondaki ruloların hızlanması sayesinde cam hızlı bir şekilde fırın içinde bulunan mold bölgesine gönderilir. Cam sıcak mold bölgesine geldiğinde düz mold aşağı hareket eder ve camın altından verilen sıcak hava sayesinde cam düz molda tutunur. Düz mold üzerinde bulunan hava delikleri sayesinde vakum etkisi yaratılarak camın mold üzerinde kalması sağlanır. Sonra özel taşıyıcı (shuttle) camın alt kısmına (düz moldun altına) geldiğinde düz mold üzerinde bulunan vakum etkisini keserek camı bırakır. Yerçekimi kuvveti sayesinde cam özel taşıyıcı (shuttle) üzerine düşer. Burada özel taşıyıcı (shuttle)'nın orta kısmı boştur, camı sadece kenar kısımlarından tutmaktadır. Özel taşıyıcı (shuttle) üzerine düşen cam kendi ağırlığının etkisi ile şeklini alır. Cam şeklini alırken özel taşıyıcı (shuttle) fırın dışına çıkıp alt ve üst hava panosu arasına girer ve tam bu esnada hava panosu tarafından hava verilerek temperlenmiş olur. Burada özel taşıyıcı (shuttle) 'nın camı alıp hava panosu bölgesine ulaşması esnasında geçen süre çok önemlidir. Çünkü bu süre zarfında cam istenilen bombe değerine ulaşır. Eğer bu süre uzun tutulursa cam fazla bombe alır veya kısa tutulursa cam daha az bombe alır. Bu nedenle bu sürenin optimum seviyede ayarlanması gerekmektedir.

Isıtma faktörü; bu tarz temperleme de ısıtma faktörü son derece önemlidir. Genellikle otomotiv yan camlarının temperlemesi yapıldığı için (3,2 - 4 mm gibi) ısıtma biçimi ve süresi camda farklı etkiler yaratmaktadır. Özellikle cam üzerinde yüzey dalgalanması ve kenar kısımlarda kenar dalgalanması yaratmamak ve cama istenilen bombenin verilebilmesi için en uygun ısıtma şeklinin uygulanması gerekmektedir. Bunun yanında camların kalınlığının (özellikle ince camlarda) temperleme üzerinde direkt etkili olması (Δt değeri bakımından) ısıtma faktörünü daha da önemli kılmaktadır.

Soğutma faktörü; bu tarz temperleme de soğutma faktörü ısıtma faktörüne paralel olarak yapılması gereken ve son derece dikkatli olunması gereken bir prostir. Soğutma faktöründe önemli parametrelerden birincisi camın bombesinin tam olarak oluştuktan sonra soğutmanın başlaması ve camın oluşan gerilimler sonucu çekmesinin bombe değeri üzerine etkisidir. Bu iki bileşkenin orantılı olması ve cama istenen bombenin verilmesi en önemli soğutma parametresidir. Çünkü camın sıcaklığının ve ağırlığının etkisi ile çökmeye devam ettiği safhada, cama erken verilecek hava camın bombesinin istenenden düşük olmasını, aynı şekilde cama geç verilecek hava da cama istenenden daha fazla bombe verilmesine neden olacaktır.



Şekil 3.10. S.A.G. sistemi ile şekillendirme

3.3.8. D.B. sistemi ile şekillendirme

Deep bükme sistemi ile şekillendirme de daha çok otomobil arka camlarının şekillendirilmesi gerçekleşir. Burada amaç derin bombeli camların (maksimum 250 mm) kolayca şekillendirilmesi ve temperlenmesidir.

Deep bükme sistemi ile S.A.G. bükme sistemi birbirine benzerdirler. Kesim prosesinden getirilen camlar fırın yükleme bölümünde bulunan referans noktasına koyulur. Fırın bilgisayarına girilen parametre değerleri sayesinde bu referans bölümünden camlar otomatik olarak fırın içine alınır. Fırın içinde seramik rulolar üzerinde hareket eden ve temperleme sıcaklığına kadar ağır ağır ısıtılır ($620^{\circ}\text{C} - 700^{\circ}\text{C}$).

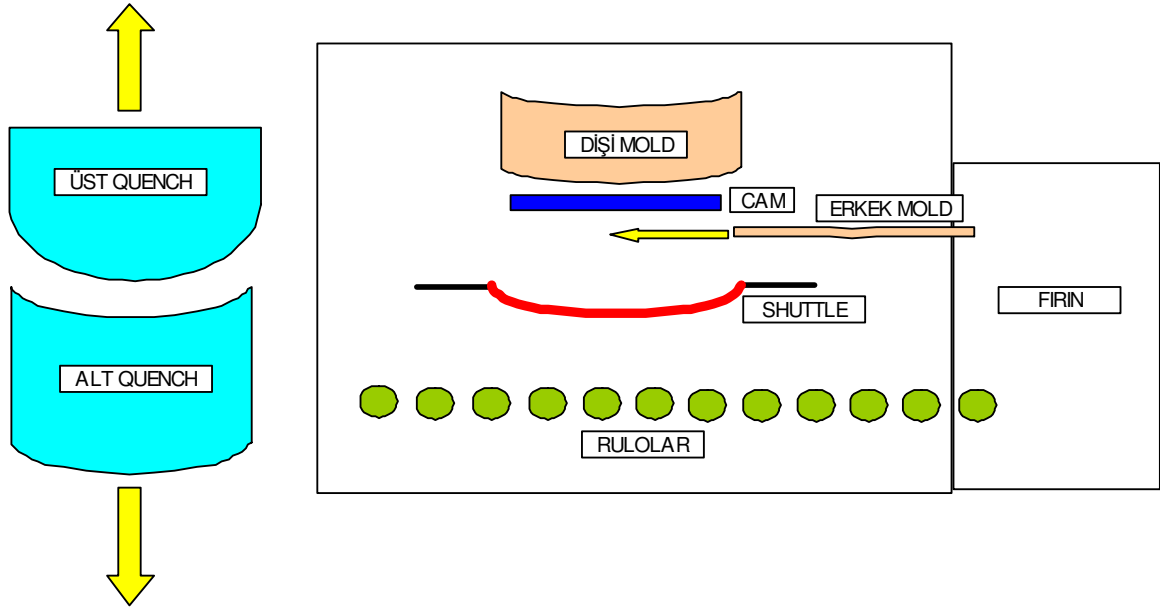
Cam, fırında son zona geldiğinde, ısınmasını tamamlanmış ve temperleme sıcaklığına ulaşmıştır. Bu noktadan sonra son zondaki ruloların hızlanması sayesinde cam hızlı bir şekilde fırın içinde bulunan sıcak mold bölgesine gönderilir. Burada erkek mold camın şeklindedir ve cam erkek mold' a camın altından verilen sıcak hava sayesinde tutunduğunda, dişi mold erkek moldun altına gelerek camın tamamen erkek mold' a tutunması için cama alttan baskı yapar. Erkek mold üzerinde bulunan hava delikleri sayesinde vakum etkisi yaratılarak camın mold üzerinde kalması sağlanır. Sonra özel taşıyıcı (shuttle) camın alt kısmına (erkek moldun altına) geldiği anda erkek mold üzerinde bulunan vakum etkisini keserek camı bırakır. Yerçekimi kuvveti sayesinde cam özel taşıyıcı (shuttle) üzerine düşer. Burada özel taşıyıcı (shuttle)' nın orta kısmı boştur, camı sadece kenar kısımlarından tutmaktadır. Özel taşıyıcı (shuttle)' da camın birbirine çok yakın bir şekildedir. Özel taşıyıcı (shuttle) üzerine düşen cam, kendi ağırlığının etkisi ile son şeklini alır.

Cam şeklini alırken özel taşıyıcı (shuttle) fırın dışına çıkıp alt ve üst hava panosu arasına girer. Üst ve alt hava panosu olması gereken pozisyondan daha aşağı ve yukarı seviyededir. Özel taşıyıcı (shuttle) hava panosu arasına geldiği anda üst hava panosu aşağı, alt hava panosu da yukarı hareket ederek normal pozisyonlarına gelir ve cama hava vererek temperleme işlemi gerçekleşmiş olur. Burada özel taşıyıcı (shuttle) 'ın camı hava panosu bölgesine götürmesi kritiktir. Çünkü özel taşıyıcı (shuttle) gerekenden daha yavaş veya hızlı hareket ederse camın nominal bombe değerlerinden sapmalar meydana gelir.

Isıtma faktörü; bu tarz temperleme de ısıtma faktörü son derece önemlidir. Genellikle otomotiv yan camlarının temperlemesi yapıldığı için (3,2 - 4 mm gibi) ısıtma biçimi ve süresi camda farklı etkiler yaratmaktadır. Özellikle cam üzerinde yüzey dalgalanması ve kenar kısımlarda kenar dalgalanması yaratmamak ve cama istenilen bombenin verilebilmesi için en uygun ısıtma şeklinin uygulanması gerekmektedir. Bunun yanında camların kalınlığının (özellikle ince camlarda) temperleme üzerinde direkt etkili olması (Δt değeri bakımından) ısıtma faktörünü daha da önemli kılmaktadır.

Soğutma faktörü; bu tarz temperleme de soğutma faktörü ısıtma faktörüne paralel olarak yapılması gereken ve son derece dikkatli olunması gereken bir prostestir. Soğutma faktöründe önemli parametrelerden birincisi camın bombesinin tam olarak oluştuktan sonra soğutmanın başlaması ve camın oluşan gerilimler sonucu çekmesinin bombe değeri üzerine

etkisidir. Bu iki bileşenin orantılı olması ve cama istenen bombenin verilmesi en önemli soğutma parametresidir. Çünkü camın sıcaklığının ve ağırlığının etkisi ile çökmeye devam ettiği safhada, cama erken verilecek hava camın bombesinin istenenden düşük olmasını, aynı şekilde cama geç verilecek hava da cama istenenden daha fazla bombe verilmesine neden olacaktır.



Şekil 3.11. D.B. sistemi ile şekillendirme

3.3.9. P.B. sistemi ile şekillendirme:

Pres bükme sistemi ile şekillendirme de hem yan camlar hem de derin bombeli arka camların şekillendirmesi sağlanabilir. Pres bükme sisteminde cama istenilen bombe değerlerini vermek diğer sistemlere göre daha kolaydır.

Kesim prosesinden getirilen camlar fırın yükleme bölümünde bulunan referans noktasına koyulur. Fırın bilgisayarına girilen parametre değerleri sayesinde bu referans bölümünden camlar otomatik olarak fırın içine alınır. Fırın içinde seramik rulolar üzerinde hareket eden ve temperleme sıcaklığına kadar ağır ağır ısıtılır. (620 °C - 700 °C) Cam, fırında son zona geldiğinde, ısınmasını tamamlanmış ve temperleme sıcaklığına ulaşmıştır. Bu noktadan sonra son zondaki ruloların hızlanması sayesinde cam hızlı bir şekilde fırın dışında

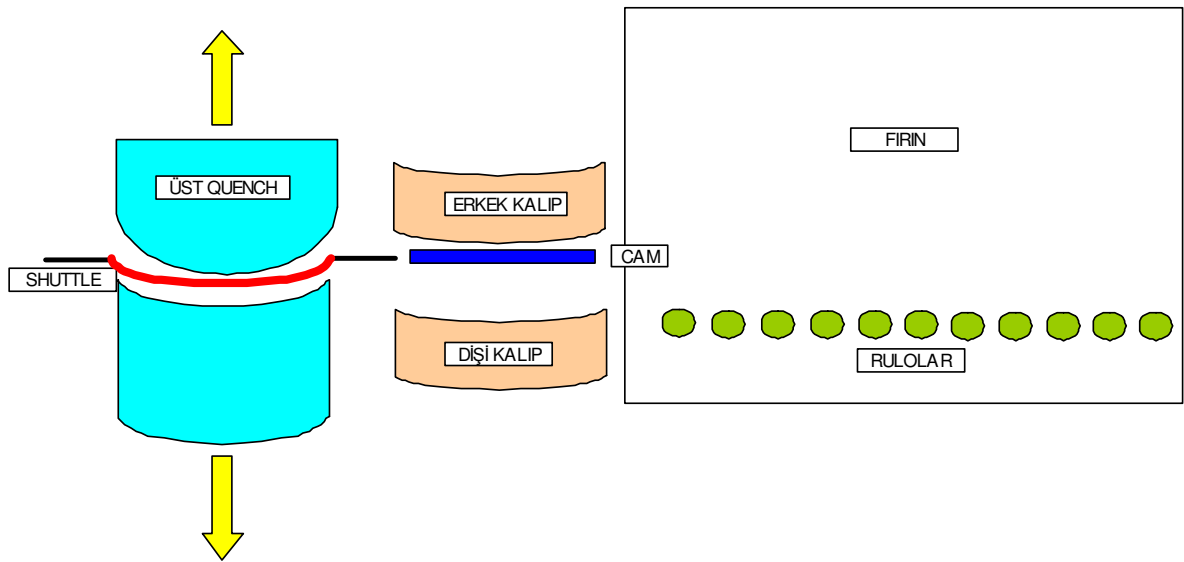
bulunan erkek ve dişi kalıbın bulunduğu kalıp bölgesine gönderilir. Pres bölgesine gelen cam sensörler yardımı ile tam olarak dişi kalıp üzerine geldiği anda durdurulur. Dişi kalıp camı alttan üzerine alarak, cam ile birlikte yukarı kaldırır. Dişi kalıp yukarı kalkınca erkek kalıp aşağı inerek dişi kalıp üzerine basınç yapar ve cama son şeklini verir. Erkek kalıp üzerinde bulunan vakum delikleri sayesinde camı dişi kalıp üzerinden alarak normal pozisyonuna gelir. Bu esnada özel taşıyıcı (shuttle) erkek kalıbın altına gelir. Erkek kalıp vakumu keserek camı özel taşıyıcı (shuttle) üzerine bırakır, camı alan özel taşıyıcı (shuttle) hava panosu bölgesine gider. Burada özel taşıyıcı (shuttle)' nın orta kısmı boştur, camı sadece kenar kısımlarından tutmaktadır. Özel taşıyıcı (shuttle) üzerine düşen cam kendi ağırlığının da etkisi ile son şeklini alır. Cam son şeklini alırken özel taşıyıcı (shuttle) alt ve üst hava panosu arasına girer ve tam bu esnada hava panosu tarafından hava verilerek temperlenmiş olur. Burada özel taşıyıcı (shuttle) 'nın camı alıp hava panosu bölgesine ulaşması esnasında geçen süre çok önemlidir. Çünkü bu süre zarfında cam istenilen bombe değerine ulaşır. Eğer bu süre uzun tutulursa cam fazla bombe alır veya kısa tutulursa cam daha az bombe alır. Bu nedenle bu sürenin optimum seviyede ayarlanması gerekmektedir.

Pres bükme sisteminde, S.A.G. bükme ve D.B. bükme sistemlerinden farklı olarak cam fırın içinde (sıcak bölgede) değil fırın dışında (soğuk bölgede) şekillendirilmektedir. Bu nedenle cama verilecek ısının, camın soğuk bölgede şekillendirme ve hava panosu alanına gidinceye kadar olan zaman aralığında kaybedeceği ısı hesap edilerek verilmesi gerekmektedir. Bu tam olarak hesap edilmeden yapılırsa cam taşıma esnasında aşırı ısı kaybından kırılabilir veya tam temper almayabilir. Pres bükme sisteminin bir diğer avantajı ise, S.A.G. ve D.B. sisteminde yapılması imkansız olan çok derin bombeli ve asimetrik şekilli camların kolayca yapılabilmesidir.

Isıtma faktörü; bu tarz temperleme de ısıtma faktörü son derece önemlidir. Genellikle otomotiv yan ve arka camlarının temperlemesi yapıldığı için ısıtma biçimi ve süresi camda farklı etkiler yaratmaktadır. Özellikle cam üzerinde yüzey dalgalanması ve kenar kısımlarda kenar dalgalanması yaratmamak ve cama istenilen bombenin verilebilmesi için en uygun ısıtma şeklinin uygulanması gerekmektedir. Bunun yanında camların kalınlığının (özellikle ince camlarda) temperleme üzerinde direkt etkili olması (Δt değeri bakımından) ısıtma faktörünü daha da önemli kılmaktadır. Bu sistemde ısıtma faktörüne, camın fırın dışında uygulanan proses zamanında kaybettiği ısısında etkisinin hesaplanması gerekmektedir. Çünkü

P.B. sisteminde pres bölümü D.B. sisteminden farklı olarak soğuk bölümde yani fırın dışında olduğu için cam hava panosu bölgesine gelinceye kadar belirli bir miktar ısı kaybedecektir.

Soğutma faktörü; bu tarz temperleme de soğutma faktörü ısıtma faktörüne paralel olarak yapılması gereken ve son derece dikkatli olunması gereken bir prosestir. Soğutma faktöründe önemli parametrelerden birincisi camın bombesinin tam olarak oluştuğundan sonra soğutmanın başlaması ve camın oluşan gerilimler sonucu çekmesinin bombe değeri üzerine etkisidir. Bu iki bileşkenin orantılı olması ve cama istenen bombenin verilmesi en önemli soğutma parametresidir. Çünkü camın sıcaklığının ve ağırlığının etkisi ile çökmeye devam ettiği safhada, cama erken verilecek hava camın bombesinin istenenden düşük olmasını, aynı şekilde cama geç verilecek hava da cama istenenden daha fazla bombe verilmesine neden olacaktır.



Şekil 3.12. P.B. sistemi ile şekillendirme

3.4. Temperli Otomobil Camlarına Uygulanan Güvenlik Testleri:

Avrupa otomotiv pazarında geçerli olan ve güvenlik parçalarına ait standartların yer aldığı ECE R43 (Avrupa Otomotiv Güvenlik Standardı) normlarına uygun olarak testlerin yapılması zorunludur. Camda güvenlik parçası olduğu için testlerinin bu normlara uygun olması gerekmektedir. Bu testlere ECE regülasyon testleri adı veriliyor.

3.4.1. Parçalanma testi

Her cam modeli çalışılırken 1 adet cam alınarak tam orta noktasından punch yardımı ile kırılır. Camın maksimum ve minimum kırılmasının olduğu iki yer belirlenerek 5X5 cm kare şeklinde alan kalemle işaretlenir. Testin başarılı sayılabilmesi için şu şartlar sağlanmalıdır;

Bu işaretlenen yerde bulunan cam parçacığı sayılır. Cam parçacığı sayısı minimum 40 adet, maksimum 450 adet olmalıdır. Hiçbir parça 3 cm² 'den büyük olmamalıdır. İnce-uzun parçalar bıçak kenarı gibi keskin olmamalı ve yöneldiği kenar ile 45 °'den büyük bir açı yapmamalıdır. İnce-uzun parçalar 7.5 cm'den uzun olmamalıdır.

Bu test ile camın parçalanma miktarı tespit edilmeye çalışılmaktadır. Burada optimum parça miktarı 2 amaç için istenmektedir. Birincisi camın çok büyük parçalara ayrılıp kazazedeleri kesmesi istenmemektedir. İkincisi ise çok küçük parçalara ayrılıp havaya dağılarak kazazedelerin göz ve solunum yoluna gitmesi istenmemektedir.



Şekil 3.13. Maksimum ve minimum parçalanma numuneleri

3.4.2. 227 gr. bilya testi

227 gr. ağırlığında ve 38 mm çapındaki bilye, kalınlığı 3,5 mm' den daha ince olan camlar için 2 m' den, kalınlığı 3,5 mm' den daha fazla olan camlar için ise 2,5 m' den camın üzerine bırakılır. Test için kullanılacak cam 300X300 mm ebatlarında olmalıdır. Bilye bu yükseklikten bırakıldığında camın kırılmaması gerekmektedir.

Bu test ile camın temper mukavemeti tespit edilmektedir. Camın araç seyir halinde iken çok küçük etkenler ile kırılarak dağılması istenmemektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Türkiye’de cam ve otomotiv sektörü otocam üretim faaliyetleri nedeniyle iç içe geçmiş durumdadır. Günümüzde otomobil, hafif ve ağır ticari araçlarda cam sadece bir kaplama malzemesi özelliğinden çıkıp daha çok araca görsel ve yapısal farklılık katan bir unsur halini almıştır.

4.1. Türkiye’de Cam Sektörü

Cam sektörü yaklaşık 2 milyar dolar düzeyindeki üretim değeri ile Türkiye ekonomisinin % 0.6-0.7’sini üretmektedir. Cam ürünlerinin dış ticaret hacmi de 1 milyar dolar düzeyindedir. Bu da toplam dış ticaret hacminde benzer bir paya karşılık gelmektedir. Ana cam ürünleri üretiminde çalışan sayısı yaklaşık 20 bin kişidir. İkincil işlemler ve kayıt altına alınmamış faaliyet alanlarındaki istihdamla birlikte bu rakamın 25 bin düzeyinde olduğu tahmin edilmektedir. Bu da 25 milyonluk işgücünün % 1’ine karşılık gelmektedir.

Kuruluş sayısı, mevcut kapasite ve kullanımı;

Ülkemiz cam üretim kapasitesi (işlenmiş camlar hariç tutulmak üzere) 2 milyon ton düzeyindedir. Bu rakamın % 42’si düzcam, % 30’u cam ambalaj, %18-20’si cam ev eşyası, kalan yaklaşık % 10’luk kesim de cam elyafı, cam/kaya yünü ve diğer cam üretim kapasitesinden oluşmaktadır. Yaklaşık 117 milyon tona karşılık gelen dünya cam üretiminde ise söz konusu dağılım aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.1. Dünya Cam Üretimi

	Üretim	Pay %
Cam Ambalaj	60.0	51
Düzcam	37.4	32
Cam Ev Eşyası	5.0	4
Camelyafı	2.4	2
Diğer	12.4	11
Toplam	117.2	100

Türkiye’de cam üretiminin tamamı özel sektör tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu konuda şu anda İş Bankası iştiraki olan Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. sektörün

neredeyse tamamını elinde tutmaktadır. Ancak Şişecam dışındaki kuruluşların büyük bir kısmı henüz kurumsallaşmamıştır. Sektörde yabancı sermaye payı oldukça düşüktür. Ancak son zamanlarda Schott-Orim JV örneğinde olduğu gibi yabancı sermaye ilgisi yoğunlaşmaktadır.

Cam üretim faaliyetleri, önceleri sadece Marmara ve Doğu Akdeniz ile sınırlıyken, coğrafi açıdan giderek daha yaygın bir yapı kazanmaktadır. Ölçek ekonomileri düzeyinde faaliyet gösterilen ana üretim alanlarında (düzcamlar, cam ambalaj, otomatik cam ev eşyası...) yurt dışı yatırım fırsatlarını da değerlendiren sektör yurt içinde Orta Anadolu bölgesinde (Eskişehir vb.) ve Bursa ilinde büyümektedir. Dünyada ölçek büyüklükleri görünümünü etkileyen en önemli unsur ise, cam üretiminin giderek yaygınlaşmış hale gelmesidir. Böylelikle özellikle ana üretim alanlarında daha az sayıda cam kuruluşu, kendi alanlarına hâkim olmaktadır. Bir örnek vermek amacıyla dünyadaki düzcamlar sektöründeki kuruluşların coğrafi yaygınlık, çalışan sayısı, kapasite ve ciro açısından karşılaştırması Ek-2 'deki çizelgede verilmiştir.

Sektörde ölçek ekonomilerinin geçerliliği, rekabet gücünü belirleyen en önemli ekonomik unsurlardandır. Uluslararası rekabet, cam fırınları belli kapasitelerin üstünde ise ancak mümkün olabilmekte; küçük kapasiteli tesisler niş piyasalarda varlığını sürdürmektedir. Öte yandan girdi alınan sektörlerin olgunlaşmaması, entegre ve büyük 5 kapasiteli tesis yatırımlarını, dolayısıyla sermaye ihtiyacını büyütmektedir. Son olarak kâr paylarındaki düşme sürekli büyüme ihtiyacı yaratmaktadır. Dünya sıralamasında önde giden cam kuruluşlarının parasal büyüklüklerinin karşılaştırıldığı Ek-3' teki tabloda da, uzun vadeli geleceği güvenceye almanın büyüklükle eş anlamlı olduğu açıkça görülmektedir. Ortalama büyüklüğün 3 milyar dolar düzeyinde olduğu bu sıralamada bir milyar dolar kritik eşik olarak görünmektedir. Ülkemizdeki cam sektöründe önde gelen firmalar ise Ek-4 'de ki tabloda verilmiştir (**Durak 2008**).

4.2. Türkiye'de Otomotiv Sektörü

Otomotiv endüstrisi ülkemizde her geçen gün gelişme içindedir. Özellikle 2001 yılından sonra otomotiv sanayi düzenli bir büyümenin içine girmiştir. Bu büyümeye paralel

olarak otomotiv yan sanayi de bundan nasibini almıştır. Ek-5, Ek-6 ve Ek-7 'de ki tablo ve grafiklerde otomobil sektörünün büyüme rakamları görülebilir.

Ülkemiz yabancı otomotiv devlerinin sıklıkla tercih ettiği ülkeler arasındadır. Bunların nedenlerine bakılacak olursa;

Avrupa ülkeleri ve Ortadoğu arasında merkezi konumu,

Alt yapımçı firma sayısının çokluğu,

Alt yapımçı firmaların niteliklerinin yeterli olması,

Yetişmiş ve ucuz işgücü,

Oturmuş bir kalite seviyesinin yakalanmış olması,

4.3. Otomotiv Camlarını Temperleme Metotlarının Önemi

Tez çalışmasında belirtilen otomotiv camları temperleme metotlarının önemine bakılacak olursa;

Öncelikle her cam tipine uygun bir temperleme metodu mutlaka vardır. Fakat günümüzde bu temperleme metotları geliştirilerek zor olarak algılanan temperleme metotları kolaylaştırılmakta veya daha kolay olan diğer temperleme metotlarına dönüştürülmektedir.

C.R.B. sistemini ortaya çıkmadan önce silindirik bombeli camlar S.A.G. veya D.B. sisteminde yapılmakta iken, C.R.B. sisteminin bulunmasıyla beraber birçok cam çeşidi bu metotla üretilmeye başlanmıştır. Bu sayede S.A.G. veya D.B. sisteminde bulunan, çok yüksek maliyetli kalıp ve mold maliyetleri ortadan kaldırılmıştır. Bunun yanında ayrıca S.A.G. veya D.B. sistemindeki saatler süren model değişim süreleri 10-15 dakikalar seviyesine indirilmiştir.

C.R.B. sistemi değişime uğrayarak sadece simetrik bombeli camları değil, aynı zamanda asimetrik bombeli camları da yapar hale gelmiştir. Bu sayede S.A.G. veya P.B. sisteminde yapılabilen asimetrik bombeli camlar C.R.B. sisteminde de (bombe ve ebatlar yapılabilirlik sınırları içinde olmak kaydıyla) yapılabilmeye başlanmıştır. Bu sayede yine, ilk yatırım maliyetlerinde ve model değişim sürelerinde çok büyük kazançlar sağlanmaktadır.

D.B. sisteminde yapılan (üretilmesi çok aşırı zor camlar) arka ısıtmalı camların üretimi hem maliyetler açısından hem de üretim kolaylığı açısından aşırı zor olmaktadır. P.B.

sisteminin geliştirilmesi ile ilk yatırım maliyetleri (erkek, dişi kalıp) büyük oranda düşürülmüştür. Ayrıca P.B. sisteminde, istenen bombelerin verilmesi D.B. sistemine göre çok daha kolaydır.

4.4. P.B. Sistemi İle Örnek Uygulama:

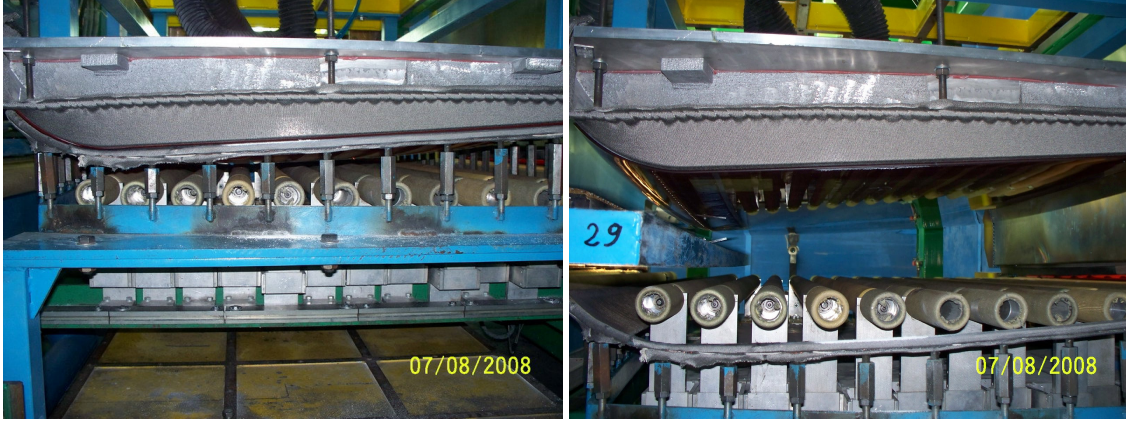
Pres bükme sistemi ile yapılan bir cam örneği incelenecek olursa; bu uygulamada Isuzu firmasına ait bir aracın arka camının pres bükme sistemi ile üretilmesi ve güvenlik testlerinin yapılması incelenecektir.

Kesme hatlarında kesilip tram baskısı yapılan camlar temperlenmek üzere fırına getirilir. Fırın girişinde camların giriş kontrolleri yapılarak, fırının yükleme rampasına bırakılır.



Şekil 4.1. Isuzu arka camının fırın giriş kontrolü

Cam fırın içinde rulolar sayesinde ilerler ve son zona geldiğinde, son zon rulolarının hızlanması sayesinde fırın dışına atılır. Fırın dışına çıktığında tam olarak dişi kalıp üzerinde geldiği anda dişi kalıp camı alarak havaya kaldırır. Bu esnada erkek kalıp dişi kalıp üzerindeki cam basar ve camın erkek kalıbın şeklini almasını sağlar. Daha sonra erkek kalıp üzerinde bulunan vakum delikleri sayesinde cam erkek kalıp üzerinde bağlı kalır.



Şekil 4.2. Erkek pres kalıbın cama basıp şekil vermesi ve camı alması

Erkek pres kalıp üzerinde bağlı kalan cam, erkek pres kalıp ile beraber yukarı hareket eder. Bu yukarı hareketin ardından özel cam taşıyıcı (shuttle) erkek kalıbın tam altına gelir. Tam altına geldiği anda erkek kalıp tam olarak özel cam taşıyıcının üzerine iner ve vakumu keserek camı özel cam taşıyıcının üzerine bırakır. Camı alan cam taşıyıcı hava panosu arasına girerek camın hava yemesini sağlar ve temperleme gerçekleşmiş olur.



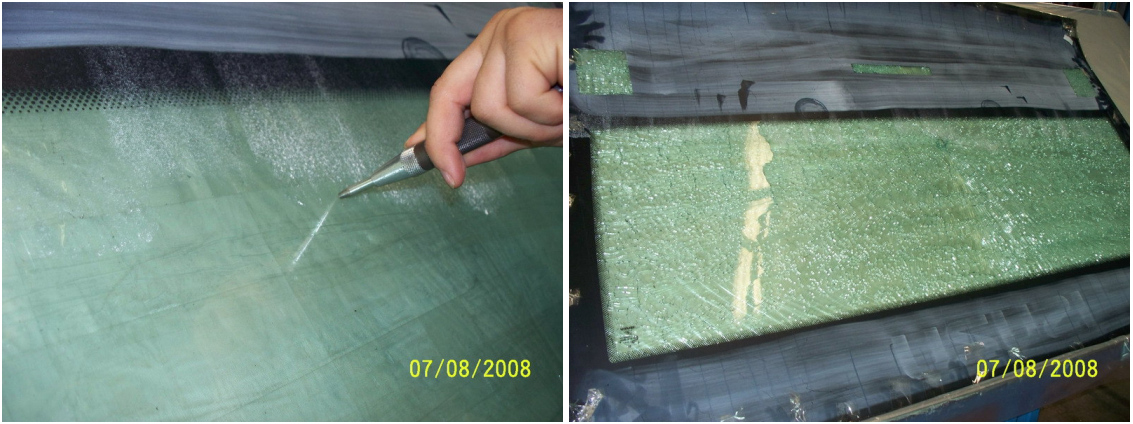
Şekil 4.3. Özel cam taşıyıcının camı alarak hava panosuna götürmesi

Temperleme işlemi tamamlanan cam soğutucular altında ilerleyerek son kontrol noktasına gelir ve camın yüzey kontrolü yapılarak kenar noktalarının kontrolü için gabari üzerine oturtulur ve gabari ölçümü yapılır.



Şekil 4.4. Camın soğuması ve gabari kontrolünün yapılması

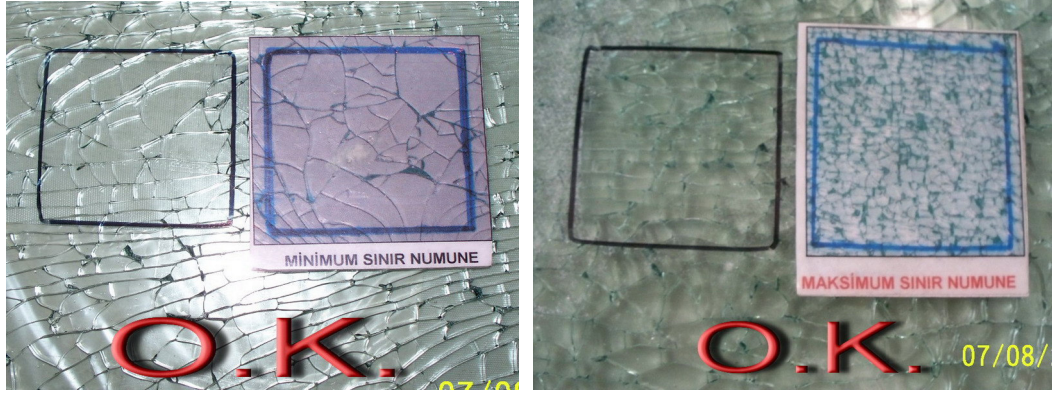
Soğutulup gabari kontrolü yapılan cam, gerekli kontroller tamamlandıktan sonra cam test sehpasına alınarak parçalanma testine tabii tutulur. Temperli camlara yapılan birinci test olan parçalanma testi fırın başında yapılır. Diğer test olan 227 gr. bilya testi ise laboratuarda yapılır.



Şekil 4.5. Camın parçalanma testi için punç ile kırılması

Fırından çıkan ilk cam parçalanma testine tabii tutulur ve eğer cam testi geçer ise üretime onay verilir. Fakat cam testi geçemez ise fırın parametrelerine müdahale edilerek bir adet daha cam üretilir ve tekrar teste tabii tutulur. Bu süreç cam parçalanma testini geçinceye kadar bu şekilde devam eder. Cam üzerinde en büyük ve ek küçük parçaların olduğu iki bölüme 5*5 cm ebatlarında iki adet kare çizilir ve maksimum ve minimum sınır numune

ölçekleri ile kıyaslanarak camın testi geçip geçmediği kontrol edilir. Bu üretimde üretilen cam aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere testi geçmiştir.



Şekil 4.6. Camın parçalanma testi sonuçları

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında otomotiv camlarının temperlenme tipleri ve yöntemleri ile bu camlara uygulanan güvenlik testleri incelenmiştir. Öncelikle camın temperleme tipi, (C.R.B., S.A.G., veya Deep Bükme) firma tarafından istenen bombe değerlerine göre en uygun fırın ve yöntem belirlenerek başlanır. Bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajları incelenecek olursa;

Düz temperleme;

Avantajları;

Düz temperleme uygun sıcaklık ve soğutma değerleri uygulandığı zaman kolay bir temperleme yöntemidir,

Fırında düşük çevrim zamanı ile çalışılabilir, (cam kalınlığına bağlı olarak)

Parçalanma testi kriterlerini tutturmak daha kolaydır,

Yatırım maliyeti gerektirmeyen bir temperleme yöntemidir, (Fırın dışında, kalıp, kontrol fikstürü vb.)

Model değişimi süresi yoktur.

Dezavantajları;

Kolay bir temperleme yöntemi olmasına rağmen sıcaklık ve soğutma faktörü uygun şekilde yapılmadığı zaman camda ters bombe veya ikinci bombe gibi problemler görülebilir.

Firmalar tarafından çok fazla tercih edilen bir yöntem değildir.

C.R.B. sistemi ile temperleme;

Avantajları;

Fırında düşük çevrim zamanı ile çalışılabilir, (cam kalınlığına bağlı olarak)

Parçalanma testi kriterlerini tutturmak daha kolaydır,

Yatırım maliyeti gerektirmeyen bir temperleme yöntemidir, (Fırın dışında, kalıp vb.)

Model değişimi süresi çok düşüktür. (10-15 dk kadar)

Dezavantajları;

Kolay bir temperleme yöntemi olmasına rağmen sıcaklık ve soğutma faktörü uygun şekilde yapılmadığı zaman camda ters bombe veya ikinci bombe gibi problemler görülebilir.

S.A.G. sistemi ile temperleme;

Avantajları;

Sadece fırın içinde düz mold ve fırın dışında özel taşıyıcı (shuttle) kullanılarak cam üretilebilir.

Yatırım maliyeti düşüktür, çünkü sadece fırın içi için düz mold yeterlidir ve her tip cam için kullanılabilir.

Model değişim zamanı 1-2 saat ile sınırlıdır.

Dezavantajları;

Düz mold üzeri kaplama malzemesi belirli aralıklarla değiştirilmelidir. Bu de zaman ve maliyet dezavantajı getirir.

Sadece belirli bombelerdeki kapı camlarını yapabilmektedir.

Özel taşıyıcı (shuttle) her cam gelişinde camı almak için fırın içine girmektedir. Bu hem fırın kapaklarının açılması, hem de soğuk bir kütle olan özel taşıyıcının ısı soğurması nedeniyle fırında ısı kaybına neden olmaktadır.

Deep bükme sistemi ile temperleme;

Avantajları;

Çok derin bombeli (özellikle araç arka camları) araç camları kolaylıkla yapılabilir.

Firmalar tarafından en fazla istenen cam tipleri (özellikle derin bombeli) bu fırından çıkmaktadır.

Dezavantajları;

Yatırım maliyetleri (özellikle erkek ve dişi kalıp) çok yüksektir.

Model değişim süreleri çok uzundur. (7-8 saat gibi)

Erkek ve dişi kalıp fırının sıcak bölgesinde olduğu için kalıplara müdahale çok zordur.

Erkek ve dişi kalıp fırının sıcak bölgesinde olduğu için bazı durumlarda kalıp izi cam üzerinde çıkmaktadır.

Kalıp sistemi fırın içinde yer aldığı için, fırın içinde ısınması gereken kütle miktarı artmakta ve ekstra elektrik sarfiyatı olmaktadır.

Özel taşıyıcı (shuttle) her cam gelişinde camı almak için fırın içine girmektedir. Bu hem fırın kapaklarının açılması, hem de soğuk bir kütle olan özel taşıyıcının ısı soğurması nedeniyle fırında ısı kaybına neden olmaktadır.

Pres bükme sistemi ile temperleme;

Avantajları;

Hem çok derin bombeli (özellikle araç arka camları) araç camları, hem de daha az bombeli araç kapı camları kolaylıkla yapılabilir.

Pres sistemi (erkek ve dişi kalıp) fırın dışında olduğu için gereksiz ısı kaybı olmamaktadır.

Özel taşıyıcı fırın dışında çalıştığı için gereksiz ısı kaybı olmamaktadır.

Özel olarak istenen camlarda (yerçekimi etkisi ile çöktürme yönteminin yetersiz kaldığı durumlarda) yapabilirliğinin olması,

Yatırım maliyetleri (dişi ve erkek kalıp) deep bükme sistemine göre çok daha ucuzdur.

Dezavantajları;

Model değişim süreleri çok uzundur. (7-8 saat gibi)

Kalıp sistemi fırın dışında olduğu için dış etkenlerden çok çabuk etkilenir. (ısı değişikliği gibi)

Tüm bu karşılaştırmalar sonucunda düz temperleme ve C.R.B. sistemi ile temperleme yöntemleri alınır, C.R.B. sistemi ile temperleme fırınlarında düz temperleme de yapılabildiği için bu tarz fırınları tercih etmek daha etkin gözükmektedir. Ayrıca yeni uygulanmaya başlanan C.R.B. bükme sistemi teknolojileri sayesinde camın sadece simetrik büküm ile değil aynı zamanda asimetrik olarak ta bükülmesi sağlanmaktadır. Bu sayede bazı tip camlar pres bükme sistemine gerek kalmadan üretilebilmektedir. Pres camlarının bazılarının C.R.B. sistemi ile üretilmesi camın ilk maliyetlerini (erkek kalıp, dişi kalıp ve özel cam taşıyıcı maliyetleri) büyük oranda düşürmektedir. Ayrıca pres sistemde 4-6 saat süren model değişim süresi C.R.B. sistemine geçişle beraber 10 dakikalara düşmektedir.

S.A.G. bükme, Deep bükme ve Pres bükme sistemlerini kendi arasında düşünülürse, pres bükme sisteminin çok daha etkin bir yöntem olduğu görülmektedir. Kalıp yatırım maliyetlerinin düşüklüğü, pres sisteminin fırın içinde yer almaması, fırın içine giriş çıkış olmaması (bu nedenle ısı kaybı olmamaktadır) ve en önemlisi müşteri isteklerine her durumda karşılık verebilecek yapabilirlikte olması nedeniyle diğer sistemlere göre daha etkin bir yöntem olduğu görülmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Kuşcuoğlu S. (1993). Camın Tarihçesi. Cam Teknolojisine Giriş, N.Palaz. Şişecam Eğitim Müdürlüğü. İstanbul. 1-32
2. Yücesoy D. (1993). Camın Tanımı. Cam Teknolojisine Giriş, N.Palaz. Şişecam Eğitim Müdürlüğü. İstanbul. 40-82
3. Engin S. (1993). Camın Hammaddeleri. Cam Teknolojisine Giriş, N.Palaz. Şişecam Eğitim Müdürlüğü. İstanbul. 90-182
4. Yoldaş B (2005) .Camın Özellikleri. Teknik Bülten, 35: 4-33.
5. Kuşcuoğlu S. (1993). Cam Üretim Prosesleri. Cam Teknolojisine Giriş, N.Palaz. Şişecam Eğitim Müdürlüğü. İstanbul. 221-308
6. Engin S. (1993). Tavlama Teorisi. Cam Teknolojisine Giriş, N.Palaz. Şişecam Eğitim Müdürlüğü. İstanbul. 402-496
7. Erkoca N. (2003). Cam, çeşitleri ve üretim aşamaları. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üni.Fen Edebiyat fakültesi, Eskişehir.
8. Durak T. (2008). Otomotiv Sanayi Nisan 2008 Raporu. Otomotiv Sanayicileri Derneği.

EKLER

EK 1

Cama katılan katkı maddeleri ve yüzdeleri

Renk verici madde	Camdaki %'si	Elde edilen renk
Bakir (Cu)	0,03–0,1	Karmen kırmızısı
Bakir oksit (CuO)	0,2–2,0	Mavi-yeşil
Kadmiyum sülfür selenit	0,03 0,1	Karmen kırmızısı turuncu
Kadmiyum sülfür	0,03–0,1	Sarı
Demir oksit	4,0	Sarı-yeşil
Krom oksit (Cr ₂ O ₃)	0,05–2,0	Yeşilden sarı-yeşile kadar
Altın (Au)	0,01-0,03	Karmen kırmızısı
Karbon ve kükürt bileşiği	-	Amber
Demir oksit	1,0–2,0	Amber
magnezyum oksit (MgO)	2,0-4,0	Amber
Uranyum oksit (UO ₃)	0,1–0,1	Sarı flüoresan yeşili
Selenyum (Se)	-	Pembe
Selenit	-	Amber
Mangan oksit (MnO)	5,0–3,0	Pembe
Nikel oksit (NiO)	0,05–0,5	Kahverengi ve mor
Neodmiyum oksit	2,0	Pembe
Kobalt oksit	0,1–0,1	Mavi

EK 2**Dünyadaki Önemli Düzcam Üreticileri**

	Coğrafya	İstihdam (Bin kişi)	Kapasite (Bin Ton)	Ciro (Mio \$)
Asahi	3 kıta	38	6.250	7.064
Pilkington	5 kıta	27,5	4.660	4.970
Guardian	4 kıta	25	4.000	3.200
Saint Gobain	5 kıta	23	3.860	5.458
Luoyang Co.	ÇHC	9,5	1.725	620
PPG	ABD	10	1.610	2.200
NSG	Japonya	8,5	1.135	2.337
Taiwan Glass	Taiwan	8	1.040	400
Trakya Cam	Türkiye	4	870	384
Visteon	ABD	4	660	563
Vitro	2 ülke	3,5	645	1.094
Diğer		158	20.224	15.373
Toplam		302	43.914	41.181

EK 3

Dünyadaki Önemli Cam Firmalarının Satışları

	<u>Sirket Adı</u>	<u>Ülkesi</u>	<u>Kuruluş</u>	<u>Toplam Satışlar</u>	<u>Cam Satışları</u>	<u>Pay %</u>
1.	Saint Gobain	FRA	1665	39.778	14.228	36
2.	Asahi	JAP	1907	14.190	7.064	50
3.	Owens-Illinois	ABD	1779	6.128	5.366	88
4.	Pilkington	ING	1826	4.970	4.970	100
5.	Owens Corning	ABD	1938	5.675	3.405	60
6.	Guardian	ABD	1932	3.950	3.200	81
7.	NEG	JAP	1949	2.899	2.899	100
8.	Hoya	JAP	1941	2.864	2.556	89
9.	Schott	ALM	1884	2.462	2.462	100
10.	NSG	JAP	1918	2.466	2.337	95
11.	Vitro	MEX	1909	2.272	2.245	99
12.	PPG	ABD	1883	9.513	2.204	23
13.	Corning	ABD	1850	3.854	2.172	56
14.	Şişecam	TÜR	1935	1.629	1.356	83
15.	Johns Manville	ABD	1858	2.500	1.300	52
16.	Arc International	FRA	1825	1.500	1.144	76
17.	Central Glass	JAP	1936	1.730	1.098	63
18.	Rexam	ING	1881	5.567	860	15
19.	Anchor	ABD	--	747	747	100
20.	Hanglass	KOR	1957	628	628	100

Türkiye Cam Sektöründe Önemli Firmalar

Kuruluş Adı	Yeri	Üretim Konusu	Yabancı Serm.%	2005	
				İşçi Sayısı	Kapasite
Düzcam					
Trakya Cam Sanayii ⁴	Muhtelif	Düz ve buzlu cam, emniyet camı, otomotiv camı, işlenmiş camlar, ayna...	% 0.006	2.232	830 bin ton düzcam, 45 bin ton buzlu cam 1 milyon araç/set otocamı 6 milyon m2 ayna 1 milyon m2 lamine cam 1.7 milyon m2 temperli 850 bin m2 kaplamalı cam
Diğer İşlenmiş (Emniyet Camı) Üreticileri ⁵	Muhtelif	Emniyet Camları			
Schott-Orim	Bolu	Emniyet Camları	% 50	450	
Diğer Isıcam Üreticileri ⁶	Muhtelif	Isıcam			
Koyunlu Ayna	Ankara	Ayna			
Cam Ambalaj					
Anadolu Cam ⁷		Şişe, kavanoz, gıda kapları...		1.826	545.000 Ton/Yıl
Marmara Cam	Kırklareli	Şişe, kavanoz, gıda kapları...		200	15.000 Ton/Yıl
Cam Ev Eşyası					
Paşabahçe Cam ⁸		Otomatik Cam Ev Eşyası	% 0.588	2.419	315.000 Ton/Yıl
Denizli Cam	Denizli	El Üretimi Cam Ev Eşyası		744	10.000 Ton/Yıl
Koncam	Konya	El Üretimi Cam Ev Eşyası		496	4.500 Ton/Yıl
Güral	Kütahya	El Üretimi Cam Ev Eşyası		200	14.000 Ton/Yıl
Toprak Cam	Bilecik			--	4.000 Ton/Yıl
Netcam	Kırklareli			--	
Arda Cam	İstanbul			30	
Akcam	İstanbul			20	

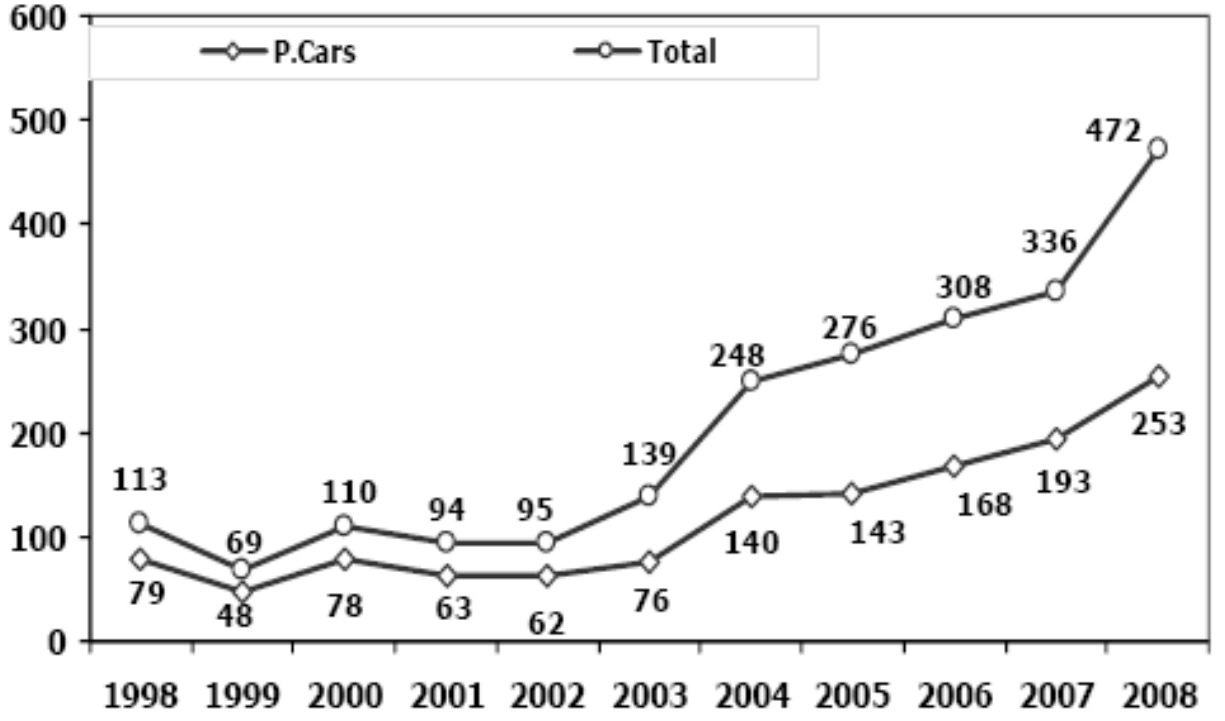
EK 5

2008 Nisan Ayı Otomobil Üretim Özeti

KONULAR/ MATTERS		AYLIK/MONTHLY			4 AY/ 4 MONTHS			YILLIK/YEARLY		
		2007	2008	2008/2007 (%)	2007	2008	2008/2007 (%)	2007	2008	2008/2007 (%)
Üretim/Production	Toplam/Total	89.299	120.992	35,5	336.081	471.894	40,4	1.015.255	1.235.227	21,7
	Otomobil/P.Cars	53.228	65.610	23,3	193.085	252.958	31,0	570.736	694.756	21,7
Pazar/Market	Toplam/Total	45.633	50.956	11,7	147.773	179.694	21,6	604.730	666.127	10,2
	Otomobil/P.Cars	25.204	30.313	20,3	79.938	104.244	30,4	334.549	381.771	14,1
İthalat/Import	Toplam/Total	25.666	27.800	8,3	84.409	100.921	19,6	340.966	372.264	9,2
	Otomobil/P.Cars	16.806	19.313	14,9	55.262	69.069	25,0	226.045	250.532	10,8
İhracat/Export	Toplam/Total	65.292	92.222	41,2	254.699	368.336	44,6	742.109	934.007	25,9
	Otomobil/P.Cars	42.488	52.349	23,2	155.129	204.289	31,7	462.087	553.513	19,8
İhracat / export (\$)	Toplam/Total **	1.527.159.685	2.254.599.434	47,6	5.684.175.713	8.668.480.983	52,5	15.841.102.658	22.246.550.097	40,4
	Otomobil/P.Cars	562.994.411	769.967.691	36,8	2.035.750.076	2.974.777.518	46,1	6.097.069.579	7.788.650.782	27,7

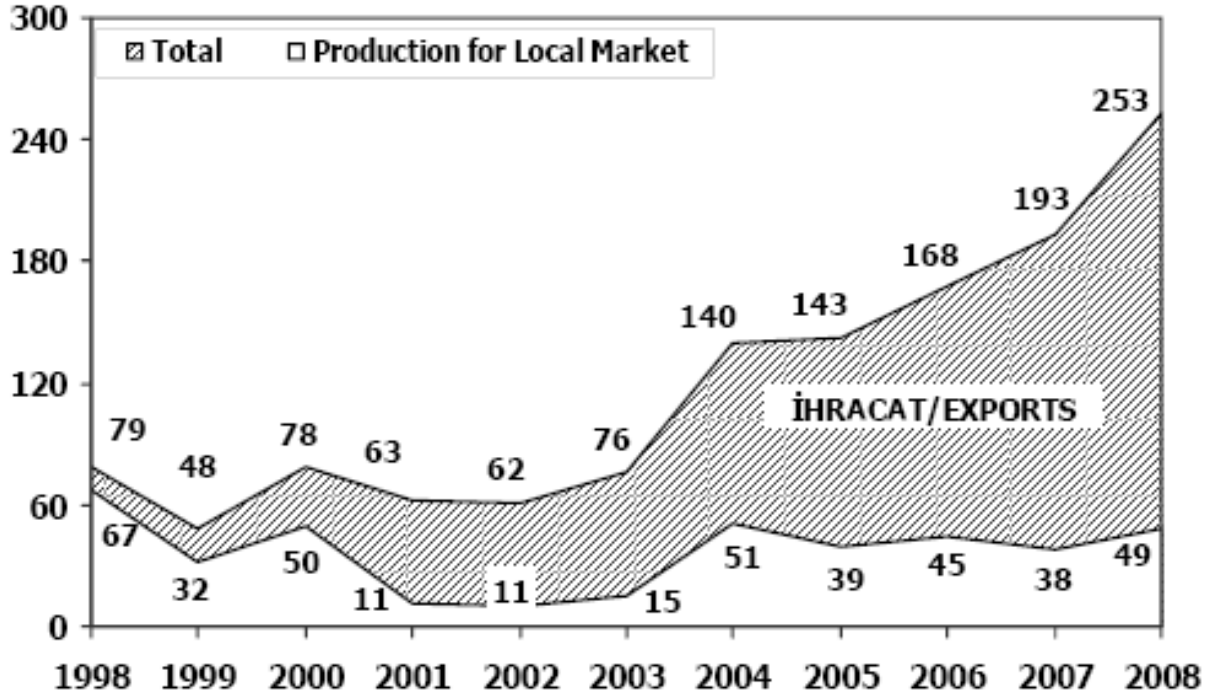
EK 6

Toplam Üretim ve Otomobil Üretimi (x1000) (Ocak-Nisan)



EK 7

Otomobil Üretimi ve İhracat (x1000) (Ocak-Nisan)



ÖZGEÇMİŞ

1979 Uşak doğumlu olan Ulaş KAÇAR ilk, orta ve lise öğrenimini aynı şehirde tamamlamıştır. 1997-2001 yılları arasında Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği bölümü eğitimini tamamlamıştır. 2001-2003 yılları arasında askerlik görevini Yedek Subay olarak Hava Kuvvetleri Komutanlığı- Ankara 'da Uçuş Plan Subayı olarak tamamlamıştır. 2003-2005 yılları arasında Zorlu Holding Linen Fabrikasında planlama uzmanlığı yapmıştır. Halen 3,5 yıldır İş Bankası Şişecam İşletmeleri Trakya Otocam Fabrikasında işletme mühendisi olarak görev yapmaktadır.