

CAM ÜRETİMİNDE SICAKLIK ÖLÇÜMÜ UYGULAMASI

Mustafa Özcan¹, Fuat Büyüktümtürk², Koray TUNÇALP³

¹ Bahçeşehir Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Elektrik Bölümü, 34381, İstanbul

Tel : + 90 (212) 222 65 45 / 223, E-Posta : ozcanm2000@yahoo.com

² Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü, 34722, İstanbul

Tel : + 90 (216) 336 57 70 / 251, E-Posta : fuat@marmara.edu.tr

³ Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Mekatronik Eğitimi Bölümü, 34722, İstanbul

Tel : + 90 (216) 338 03 22, E-Posta : koraj@marmara.edu.tr

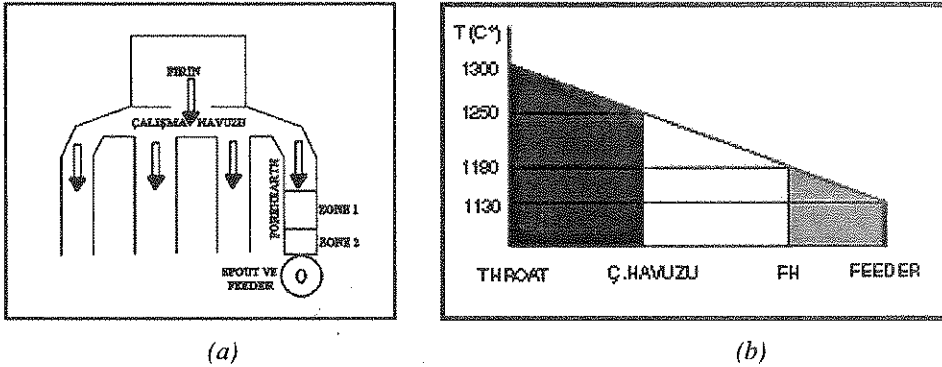
ÖZET

Sanayide proses kontrolünün gerçekleştirilmesi, işletme parametrelerinin ölçümü ile sağlanır. Bu parametreler çeşitli ölçüm cihazları ve yöntemleri kullanılarak elde edilir. Sıcaklık ölçümü proses kontrolünün sağlanmasında kullanılan temel ölçümler arasında yer alır. Çeşitli prensiplerle çalışan sıcaklık algılayıcıları kullanılarak gerçekleştirilen sıcaklık ölçümü sanayide proses kontrolü amacıyla uygulanır. Cam sanayiinde sıcaklık ölçümü üretim sürecinde sıcaklığın sahip olduğu önem nedeni ile incelenmesi gereken bir konudur. Bu çalışmada cam sanayiinde sıcaklık ölçümünün üretim sürecindeki önemi açıklanmış, sıcaklık ölçümünde kullanılan algılayıcılar, kullanım yerleri, uygulamada karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri belirtilmiş, cam sanayiinde gerçekleştirilen bir sıcaklık ölçümü uygulaması sonuçlarıyla birlikte açıklanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Sıcaklık Ölçümü, Cam, Termokupl, Pirometre, Forehearth

1. GİRİŞ

Amorf yapılı bir katı olup; şeffaf, bir çok madde ile kimyasal reaksiyona girebilme özelliği olan ve kırılma oranı cam, oda sıcaklığında tam bir elastik katı yapıdadır [1]. Temel yapısında; Silika kumu, soda külü ve kireç tozu bulunan cama istenen renk ve kararlılığı sağlayacak şekilde farklı malzemelerde eklenir. İstenilen ürünün imalatı için gerekli hammaddeler harmanlandıktan sonra fırınlara konular ve camın ergitme süreci başlar [2].

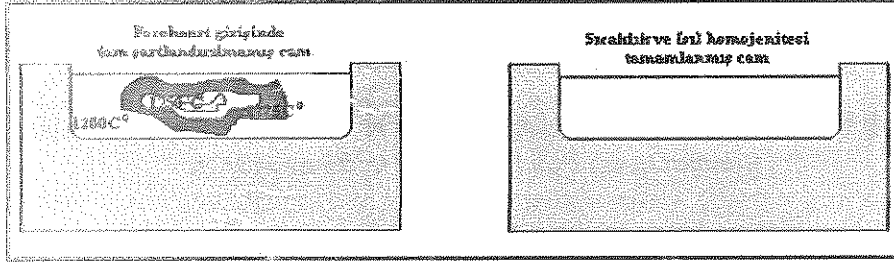


Şekil 1. (a) Koşullandırma bölümleri (b) Koşullandırma sürecindeki sıcaklık değişimleri

2. CAM ÜRETİM SÜRECİ

Cam üretim süreci; ergitme, koşullandırma ve şekillendirme aşamalarından oluşmaktadır. Üretim sürecinin ikinci aşamasını oluşturan koşullandırma aşaması, Çalışma havuzu, Forehearth (FH) ve Feeder ana birimlerinde gerçekleştirilmektedir.

Etkin koşullandırmada amaç nitelikli damla oluşturmaktır. Nitelikli damla oluşumuna etki eden faktörler ise Sıcaklık, ısı ve kimyasal homojenite, ağırlık ve şekildir. Camın fırından çıktığı noktadan itibaren çalışma havuzu, FH, spout ve feeder aşamalarından geçip damla aşamasına gelinceye kadarki koşullandırma sürecinde belirgin sıcaklık düşüşü ve dolayısıyla da ısı kaybı söz konusudur. Bu aşamalarda yapılması gereken cam kütesinin belirtilen ısıyı ısı homojenitesinden ödün vermeden kaybetmesidir.



Şekil 2. Sıcaklık dağılımı ve ısıl homojenite ilişkisi

FH çıkışında camın sıcaklık açısından sabit ve homojen olması gerekir. Feedere verilen camın sıcaklığındaki 38 °C'lik bir düşme camın akışkanlığını yaklaşık olarak iki kat azaltır ki, bu da camın akışkanlık derecesine göre ayarlanmış damla kesim makinelerinde uyumsuzluğa ve imalat kayıplarına neden olur. Üretilen ürünlerin ağırlıkları farklılaşır ve çeşitli ek üretim maliyetleri oluşur [1]. Teorik olarak camın eritilmesi için gerekli olan enerji 1 ton / 2,2.10⁶ Btu olmakla beraber günümüzde verimsizlik ve kayıplar nedeniyle bu enerji ihtiyacı iki katına kadar çıkmaktadır. Bu oran cam sanayinde enerji kayıplarının miktarının ve dolayısıyla maliyetinin artırıcı etkisi nedeniyle dikkat çekicidir. [3].

3. CAM ÜRETİMİNDE KULLANILAN SICAKLIK ALGILAYICILARI

3.1 Cam Üretiminde Kullanılan Piroetreler

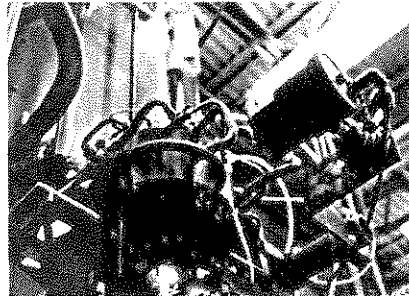
Cam üretim sürecinde fırın sıcaklık değerlerinin ölçümünde seyyar pirometrelerin kullanımı tercih edilmektedir. Bu pirometrelerle gerçekleştirilen ölçümlerde emissivitesi bilinen bir noktaya doğru tutulan pirometre ile sıcaklık ölçümü gerçekleştirilir. Damla halindeki cam eriyiğin sıcaklığının ölçümü camın ağırlığının, viskozitesinin ve kalıplarda alacağı şeklin belirlenmesi bakımından önemlidir. Bu ölçümün gerçekleştirilmesinde emissivitenin damla büyüklüğünden etkilenmemesi ve damla içinin gerçek sıcaklığını göstermesi bakımından iki renkli (oransal) pirometreler tercih edilir [4].

Kalıp ve kesicilerin sıcaklıklarının ölçümünde de iki renkli pirometreler kullanılır. Bu ölçümlerde yeni kalıplar üzerinde ölçüm yapılmaması dikkat edilmesi gereken unsurların başında gelir. Yeni kalıplar temiz ve parlak olduklarından yansıtıcılıkları yüksek olacak ve dolayısıyla emissiviteyi düşük olacaktır. Kullanıma bağlı olarak kalıplar aşındığında yansıtıcılığı azalacağından emissiviteyi yükselecek ve tekrarlanabilir olacaktır. Sıcaklık ölçümü bu durumda yapılmalıdır [4].

Tablo 1. Cam emissivite değerleri

Malzeme	Spektral aralık				
	0.7 - 1.15 µm	1.4 - 1.8 µm	2 - 2.5 µm	4.9 - 5.5 µm	8 - 14 µm
İnce cam	0.05-0.10	0.05-0.20	0.60-0.85	0.70-0.90	0.75-0.95

Pirometre ile sıcaklık ölçümünde emisyon katsayısı (ε) veya emissivite tablolardan bakılarak sisteme girilmelidir. Malzemelerin emissivite değerleri sıcaklık ve dalga boyuna bağlı olarak değişir. Sıcak malzemelerde yansıtma katsayısı yüksektir. Cam görünür ışıkta ve yakın kızılötesi bölgede (yaklaşık 3 µm) şeffaftır. Bu durumda geçirgenlik katsayısı (τ) yüksek olduğundan emissivitesi (ε) düşüktür. Cam yüzey sıcaklığının ölçümünde 5,14 µm etrafındaki dalga boylarında ölçüm yapılmalıdır. Bu alandaki değerler su buharı emilim bandından veya karbon dioksit den etkilenmezler. 7 µm üzerinde camın yansıtıcılığı artar [5].

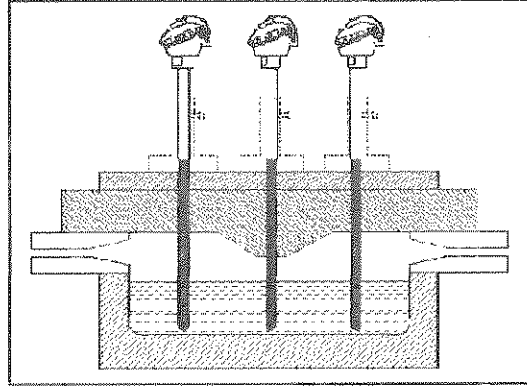


Şekil 3. Piroetre ile gerçekleştirilen damla sıcaklığı ölçümü

3.1 Cam Üretiminde Kullanılan Termokupllar

Koşullandırma aşaması kararlı, sabit bir sıcaklık ve homojen bir cam elde edilmesinin sağlanmasını temin açısından pirometreler, tek seviyeli ve üç seviyeli termokupllar gibi farklı algılayıcı kombinasyonlarının tesisine ihtiyaç duyulan bir bölümdür.

Kaliteli bir damla için gerekli homojenite ve sabit sıcaklık değeri feeder öncesi son bölgede gerekli olduğundan bu bölüme noktasal ve hızlı cevap verebilme özelliği olan termokuplların yerleştirilmesi gereklidir. Burada tesis edilecek termokuplların üç seviyeli termokupllar olması ve eriyiğin farklı noktalarına yerleştirilmesi homojenitenin sağlanması açısından gereklidir.



Şekil 4.3- Seviyeli termokuplların FH içerisinde tipik montajı [6].

Teorik olarak üç adet üç seviyeli termokupldan alınacak dokuz adet sıcaklık değeri kullanılarak homojenite değeri hesaplanabilir. Bu bölümde set sıcaklık değerinin ani kontrolü amacıyla farklı tip pirometrelerin yüzey sıcaklığının ölçümünde kullanımı yaygındır.

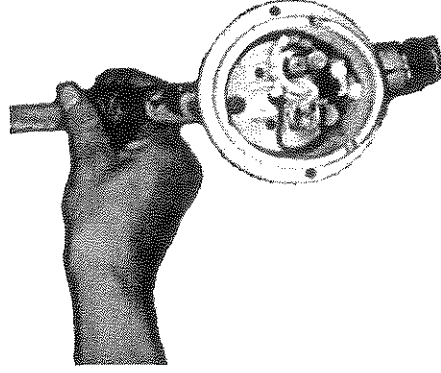
Yüksek sıcaklık uygulamalarında B, R ve S olmak üzere üç tipten oluşan platin içeren termokupllar kullanılmaktadır. Bu termokupllar platin ve rodyum alaşımli platinden oluşur ve bu özelliklerinden dolayı kimyasal olarak kararlıdır. Mekaniki etkilere karşı tavlama suretiyle dayanımları artırılır. B tipi termokupl saf platin içeren bir tele sahip olmadığından diğer iki tip termokupla göre, yüksek sıcaklıklarda kullanımda daha uygundur. Bu termokuplların en önemli dezavantajı yüksek maliyetleridir [7]. Cam sanayiinde sıcaklık ölçümü amacıyla yaygın olarak B tipi termokupl kullanılır [8].

4. ÖRNEK UYGULAMA

Konuyla ilgili uygulama, Anadolu Cam Sanayii A.Ş. İstanbul Topkapı Fabrikası'nda yapılmış ve kullanılan termokuplların ve pirometrenin kalibrasyonları Şişecam Cam Araştırma Merkezi Kalibrasyon Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Uygulama aşamasında, proseste ürünler için gerekli sıcaklık değerleri 1148–1215 °C aralığında değişmekte olduğundan cam sanayiinde yaygın kullanıma sahip B tipi termokupl kullanılmıştır. Temassız bir sıcaklık algılayıcısı olan termokuplun genel olarak seçilme nedeni ise FH'daki camın homojenitesinin kontrolüdür.

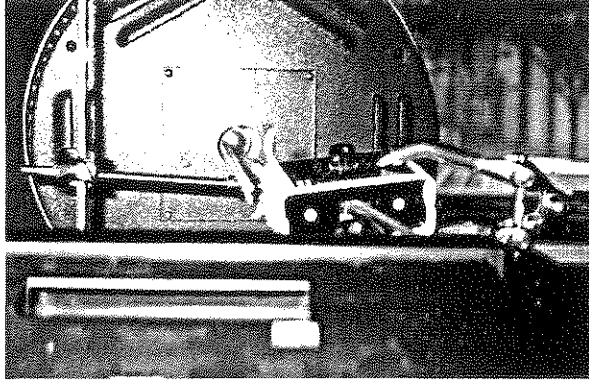
Camın ısıtılması ve soğutulması brülörler aracılığıyla yüzeyden gerçekleştirildiğinden ve değişen ürünlere bağlı olarak FH'da ani sıcaklık değişimleri meydana geldiğinden, bu sıcaklık değişimlerini hızlı olarak algılamak ve sıcaklık değerini kontrol etmek amacıyla akışkan cam yüzeyi sıcaklığını ölçmede temassız bir algılayıcı olan, cevap verme süresi yüksek kızılötesi radyasyon pirometresi kullanılmıştır.

B tipi termokupl oluşturmak üzere, 86 cm boyunda 0.5 mm² kesitli termokupl iletkenleri kesilmiş ve 1 metre uzunluğunda dış çapı 4 mm olan çift delikli bir seramik malzeme içerisine termokupl iletkenleri yerleştirilerek asetilen-ok-sijen kaynağı aracılığıyla jonksiyon ergitilerek birleştirilmiştir. Oluşturulan bu yapı sırasıyla 1 m boylarındaki 8 ve 15 mm çaplarındaki iki seramik izolatör içerisine konulmuş, klemens kutusuyla birleştirilmiş ve kompanzasyon kablolarıyla olan bağlantısı gerçekleştirilerek kalibrasyona hazır hale getirilmiştir.



Şekil 5. Termokupl klemens kutusu ve kompanzasyon kablosu bağlantısı.

Kalibrasyon işlemi sıcaklığı 23 ± 2 °C ve nem oranı %55 BN olan laboratuvar koşullarında gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon 600-1600 C° ölçüm aralığında, ölçme belirsizliği ± 3 C° olan LAND TCAL 1600 kalibrasyon fırını kullanılarak karşılaştırma yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. B tipi termokupl, kalibrasyon öncesi 4.5 saat süreyle yatay ve dikey olarak Maksimum kullanım sıcaklığının 1.2 katı olan 1560 °C sıcaklıkta tavlandıktan sonra, çalışma aralığı 1000 °C - 1300 °C olarak belirlenen termokupllar için, 1300 °C sıcaklıkta kararlı halde bulunan kalibrasyon fırınının homojen bölgesine karşılaştırma amaçlı kullanılacak B tipi termokupl ile beraber yerleştirilmiştir. 25 °C'luk kalibrasyon aralığına göre kalibrasyon başlamıştır.

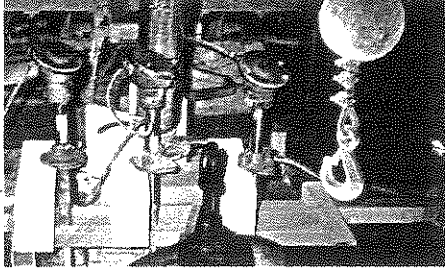


Şekil 6. Termokuplların kalibrasyon fırını içerisine yerleştirilmesi

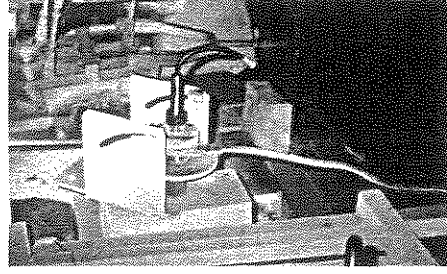
Kalibrasyon tamamlanarak kalibrasyon sertifikası düzenleniş, sertifika sonuçları ve proses dikkate alındığında değerlerin uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Kalibrasyonu yapılacak pirometre, Matrix Technologies firmasına ait olan FIBER TEMP II düşük aralık (982 °C - 1315 °C) kızılötesi radyasyon termometresi (IRT)'dir. Kalibrasyon 900-1600 C° ölçüm aralığında, ölçme belirsizliği ± 2 C° olan LRC 2 kalibrasyon fırını kullanılarak karşılaştırma yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Siyah yüzeyin sıcaklığını tespiti amacıyla B tip termokupl kullanılmıştır. Çalışma aralığı 1000-1300 °C olarak belirlenen pirometre için, 1300 °C sıcaklıkta fırın kararlı hale geldikten sonra 100 °C'lik kalibrasyon aralığına göre kalibrasyona başlamıştır. Kalibrasyon tamamlanarak kalibrasyon sertifikası düzenlenmiş, sertifika sonuçları ve proses dikkate alındığında değerlerin uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Termokupllar ve pirometrenin yerleştirileceği F.H. ikinci bölgesinin eni 110 cm, boyu 113 cm ve derinliği ise 58 cm olup, cam eriyiğinin tabandan olan yüksekliği ise 12 cm dir. Termokupllar spout ucundan 12 cm içeri mesafeye kenarlardan 40 cm içeri olmak üzere eriyiğin ortasına (6cm) daldırılmış, pirometre ise orta termokupldan 20 cm geriye eriyik yüzeyini görececek şekilde yerleştirilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 7. (a) Termokuplların montajı (b) Pirometrenin montajı

Eriyik içerisinde habbe (hava kabarcığı) oluşmasını önlemek amacıyla termokupllar eriyiğe daldırılmadan önce kademeli olarak ısıtılmıştır. Pirometre kafasını soğutacak olan üfleme havası borusu tesis edilmiş ve Pirometre kablosunun üzeri dış etkilere karşı cam yünü kaplanmıştır. Bu aşamalardan sonra termokuplların ve pirometrenin saha bağlantıları yapılarak kontrol sistemine tanıtılmış ve veriler alınmaya başlanmıştır.

5. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada forehearth son bölgesine eşit derinliklerde ve mesafelerde tesis edilen üç adet tekli termokupl ile homojenitenin kontrolü ve pirometre ile ani sıcaklık değişimleri kontrol edilmeye çalışılmıştır. Tesis edilen termokupllar ve pirometre karşılaştırmalı bir sıcaklık ölçümüne imkan sağlarlar.

Kararlı durum için monte edilen termokuplların gösterdiği değerler incelendiğinde cam eriyiğinin homojenitesinin farklı olduğu görülmüştür. Genelde orta termokuplun, diğer termokupllara göre yaklaşık 12 °C daha soğuk olduğu tespit edilmiştir. Kontrol, pirometreden okunan değerlere göre yapıldığından, set değeri ile pirometre değerini karşılaştırmak anlamsızdır. Bal rengi camda derinliğe bağlı olarak meydana gelebilecek sıcaklık farkı 1,5 – 2,5 °C/cm'dir. Termokupllar ile pirometre arasındaki mesafe 6 cm olduğundan 9 °C – 15 °C arasındaki sıcaklık farkları normal sınırlar olarak kabul edilir. Bu durumda alınan veriler incelendiğinde termokupllar ile pirometre arasındaki sıcaklık farkı bu sınırlar içerisinde olduğundan pirometrenin de doğru değer gösterdiği söylenebilir.

Termokuplların yaklaşık iki ay gibi kısa bir süre sonra devre dışı kaldığı görülmüştür. Bunun nedeninin izolasyon seramiğinin yüksek sıcaklıklara bağlı olarak erimesi ve yüksek sıcaklıkta iletken hale gelen cam eriyiğinin termokupl iletkenlerine temas etmesiyle oluşan kısa devredir. Bu durumda ölçme sistemindeki değerler belirlenen sıcaklık aralığının dışına çıkar ve doğru ölçüm yapmak mümkün olmaz.

Termokuplların çalışma ömrünün kısa oluşu maliyeti artırıcı bir etkendir. Ayrıca termokupllar tesis edilirken ortam sıcaklığındaki termokuplun eriyik haldeki cama daldırılmaları halinde, cam içerisindeki çözünmüş gazlar nedeniyle habbe oluşumuna neden olurlar ve oluşan habbeler cam damlasında boşluklar meydana getirirler. Bu nedenle termokupl montajlarında dikkatli olunmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Özcan, M. : "Sıcaklık Algılayıcılarının İncelenmesi, Kalibrasyonu ve Cam Sanayiinde Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi F.B.E. , İstanbul, Türkiye, 2004.
- [2] <http://www.united-glass.co.uk/concept.asp> (Erişim tarihi: 30 Haziran 2005).
- [3] http://www2.automation.siemens.com/glass/pdf/GlassFocus_2002_E.pdf (Erişim tarihi: 30 Haziran 2005).
- [4] <http://www.ircon.com/web/pdf/glassgob.pdf> (Erişim tarihi: 30 Haziran 2005).
- [5] IMPAC Electronic : "The Pyrometer Handbook", IMPAC Electronic GmbH , Frankfurt, GERMANY, (1999).
- [6] http://www.pyrosales.com.au/glass_industry_sensors.asp (Erişim tarihi: 30 Haziran 2005).
- [7] Nicholas, J.V.; White, D.R.: "Traceable Temperatures", John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, England, (1994).
- [8] OMEGA Engineering : "Temperature Handbook", 21st century 2nd edition; OMEGA Engineering Inc., Stamford, CANADA, (2000).