

Upcast Fırın Teknolojilerinde Kuvars Kılıflı Termokupllar: Teknik Uygulama ve Verimlilik Rehberi

1. Giriş: Upcast Prosesinde Hassas Termal Kontrolün Stratejik Önemi

Yukarı yönlü sürekli döküm (Upcast) teknolojisinde termal kararlılık, nihai ürünün metalurjik karakterini belirleyen en temel değişkendir. Özellikle "oksijensiz bakır" (Cu-OF) üretiminde, sıvı bakırın $1150^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ bandındaki dar operasyonel pencerede tutulması, oksijen kazanımını sınırlayan atmosfer yönetiminin ve inklüzyon kontrolünün anahtarıdır. Sektör lideri standartlar (örneğin Aurubis FOXROD), oksijen içeriğini $<1-3$ ppm seviyelerinde hedeflemektedir. Bu seviyeye ulaşmak, döküm bölgesinde $\pm 5^{\circ}\text{C}$ bandında bir stabilite gerektirir.

Hassas sıcaklık ölçümü bu süreçte sadece bir veri girişi değil, çekme hızındaki dalgalanmaları önleyen ve "oksijensiz" karakteri garanti altına alan bir sigortadır. Bu hassasiyeti korumak adına kullanılan sensör mimarisi, eriyik ortamındaki agresif kimyasal ve termal etkilere direnirken sinyal bütünlüğünden ödün vermeyen "en güçlü halka" olarak tasarlanmalıdır.

2. Neden Kuvars? Materyal Avantajlarının ve Sensör Uyumluluğunun Analizi

Upcast fırınlarında S-tipi (Pt10Rh-Pt) kıymetli metal termokupl elemanları için koruyucu kılıf olarak "fused quartz" (erimiş kuvars) seçimi, malzemenin kendine has fiziksel diferansiyellerine dayanır:

* Elektriksel Yalıtım ve Sinyal Doğruluğu: Kuvars, yüksek sıcaklıklarda mükemmel bir elektriksel yalıtıcıdır. Bu durum, S-tipi elemanların sinyal iletiminde parazit oluşmasını ve "Secondary Ion Contamination" (ikincil iyon kontaminasyonu) riskini engeller. DIN EN 60584 Sınıf 1 limitlerinde hassas ölçüm için bu yalıtım kritiktir.

* Termal Şok Direnci ve CTE: Kuvarsin son derece düşük Isıl Genleşme Katsayısı (CTE), ani sıcaklık değişimlerinde (fırına daldırma/çıkarma) çatlama riskini minimize eder.

* Radyasyon Kaybı Yönetimi: Kuvars kılıflarda tercih edilebilen "sandblasted finish" (kumlanmış yüzey), yüksek sıcaklık banyolarında radyasyon kaybını azaltarak ölçüm doğruluğunu artırır.

Tablo 1: Kuvars Malzeme Özellikleri ve Ölçüm Performansına Etkisi

Parametre	Değer / Özellik	Ölçüm Doğruluğu Üzerindeki Etkisi
Maksimum Sıcaklık	1200°C (Azami)	Yüksek sıcaklık banyolarında yapısal stabilite.
Isıl Genleşme (CTE)	Çok Düşük ($\pm\%2$ Tolerans)	Termal stres kaynaklı mikro-çatlakların önlenmesi.
Kimyasal Yapı	Yüksek Saflıkta Fused Silica	Metal kontaminasyonunu engelleme (Cu-OF uyumu).
Yüzey Kondisyonu	Şeffaf veya Kumlanmış	Kumlanmış yüzey ile radyasyon hatasının minimize edilmesi.

3. Teknik Uygulama Notları ve Tasarım Parametreleri

Upcast fırınlarında termokupl konfigürasyonu, "zırh ve hassasiyet" dengesini kuran çok katmanlı bir mimari gerektirir. Mevcut endüstriyel tasarımlar (WRS12 serisi), bu dengeyi şu teknik parametrelerle sağlamaktadır:

- Yapısal Konfigürasyon (WRS12-0033U1): Bu tasarımda Ø6x1 mm kuvars iç kılıf, dışarıda Ø28x16x160 mm Sialon (ileri seramik) uç koruyucu ile desteklenir. Tutucu boru (holding tube) olarak Ø10x1 mm AISI 310 (1.4841) paslanmaz çelik kullanımı, mekanik mukavemet sağlar.
- Alternatif Konfigürasyon (WRS12-003XP1): Ø30x2 mm kuvars kılıfın Ø33.7x2x64 mm ölçülerinde 1.4828 veya 304 SS tutucu borularla kombinasyonu, geniş çaplı koruma gerektiren MP2 noktalarında tercih edilir.
- Daldırma Derinliği ve Ölçüm Noktaları: L=710 mm, 720 mm veya 760 mm nominal boylar, döküm fırını derinliğine göre seçilir. Kritik ölçüm noktaları genellikle MP1=10 mm (uç nokta) ve MP2=340 mm olarak set edilerek termal profil çıkarılır.
- Bağlantı Elemanları: Form AUZ (Ø32 mm) veya Form BUZ (M24x1.5) terminal başlıkları, IP65/IP68 koruma sınıfında veriyi korur. İletim hattında FEP-FEP izolasyonlu (2x0.75 mm²) kompanzasyon kabloları ve standart turuncu S-tipi konnektörler kullanılır.

4. Kritik Risk Yönetimi: Devitrifikasyon ve Kontaminasyon Kontrolü

Kuvarşın en büyük operasyonel riski, cam fazın kristal yapıya dönüşümü olan "devitrifikasyon" sürecidir.

- Alkali Tetikleyiciler: Normalde 1000°C üzerinde başlayan bu süreç; Sodyum (Na), Potasyum (K), Kalsiyum (Ca) ve Magnezyum (Mg) kontaminasyonu ile 600°C seviyelerine kadar inebilir. Musluk suyundaki mineraller dahi bu süreci başlatmak için yeterlidir.
- "Temiz El" Disiplini: Yüzeydeki parmak izleri, yüksek sıcaklıkta devitrifikasyon odakları oluşturur. Bu durum malzemenin opaklaşmasına, kırılabilirliğin artmasına ve "hair-line" (saç teli) çatlakların oluşmasına yol açar. Bu çatlaklar üzerinden sızan safsızlıklar, termokupl elemanında "drift" (kayma) hatasına sebep olur.
- Gelişmiş Çözümler: Agresif süreçlerde kuvars ömrünü uzatmak için "EtchDefender" gibi özel kaplamalar veya modifiye edilmiş yüzey teknolojileri stratejik birer opsiyondur.

5. Performans ve Ömür Optimizasyonu İçin Öneriler

Saha operasyonlarında maksimum verim için aşağıdaki disiplinlerin uygulanması şarttır:

- Dekontaminasyon Protokolü: Kuvars kılıflar asla çıplak elle tutulmamalı; montaj öncesinde alkol bazlı temizleyicilerle yüzeydeki mineral ve yağ kalıntıları arındırılmalıdır.
 - Kimyasal Kısıtlamalar: Kuvars, Hidroflorik Asit (HF) içeren ortamlarda tüm sıcaklıklarda korozyona uğrar. Florür veya yüksek alkali tuz saldırısı olan proseslerde Alümina veya SiC alternatifleri değerlendirilmelidir.
 - Kritik Yedek Yönetimi: Build-to-order (siparişe özel) üretim süreci nedeniyle 2 ila 6 haftalık teslim süreleri öngörülmesi, üretim duruşlarını engellemek adına stok seviyeleri optimize edilmelidir.
- Satın Alma ve Uygulama Öncesi 5 Kritik Soru:

1. Tedarikçi, malzemenin %99.99 saflığını ve tolerans paylarını (±%2) belgeleyen bir COA (Analiz Sertifikası) sunabiliyor mu?
2. Proses ortamında HF veya alkali metal (Mg dahil) yoğunluğu nedir?
3. Termal genişleme payı, dış seramik (Sialon) ve iç kuvars kılıf arasında hesaplanmış mı?
4. Radyasyon kaybını önlemek için "sandblasted finish" opsiyonu değerlendirildi mi?
5. Ölçüm noktaları (MP1/MP2), döküm hızı ve seviye kontrolüyle senkronize mi?

6. Sonuç: Yatırım Geri Dönüşü ve Kalite Güvencesi

Doğru konfigüre edilmiş kuvars kılıflı bir termokupl sistemi, sadece bir sarf malzemesi değil; hattın enerji ve kalite dengesini koruyan bir sigortadır. Upcast bakır dökümünde enerji gereksinimi yaklaşık 370 kWh/t seviyesindedir. Termal kontroldeki bir zafiyet sonucu oluşacak %10'luk bir verim kaybı, yıllık 10.000 tonluk bir üretimde 370.000 kWh ek maliyet ve yüksek hurda oranı demektir.

S-tipi hassasiyetini kuvarsin izolasyon gücüyle birleştirmek, Cu-OF kalitesinde süreklilik ve minimize edilmiş duruş süresi sağlar. Bu teknik yaklaşım, düşük kaliteli sensörlerin yarattığı gizli maliyetleri ortadan kaldırarak operasyonel karlılığı ve küresel pazardaki rekabet gücünü maksimize eder.