

5 Conclusões

A calibração de termômetros de radiação infravermelha é rastreada ao SI (Sistema Internacional) pelos padrões nacionais e a infraestrutura do Laboratório de Pirometria do Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) até 1500°C.

As condições de calibração de termômetros de radiação infravermelha são normalmente diferentes das condições de medição na indústria. E uma análise das condições de medição deve ser feita para se estimar os erros sistemáticos e as incertezas associadas à medição.

Durante a pesquisa bibliográfica, ficou evidenciado que existe pouca literatura nacional sobre termômetros de radiação infravermelha.

A maioria dos artigos e informações técnicas foram obtidas dos principais fabricantes de termômetros de radiação infravermelha. A Internet foi a principal fonte de informações.

Um termômetro de radiação infravermelha Raytek, modelo Marathon, foi calibrado inicialmente no Inmetro até 1500°C, para servir de padrão de transferência na calibração dos sensores de temperatura do forno de sinterização da INB (Indústrias Nucleares do Brasil), operando a cerca de 1750°C.

A calibração no Laboratório de Pirometria (Lapir) foi realizada de duas formas, a primeira, sem qualquer obstrução entre o termômetro de radiação infravermelha e a cavidade de corpo negro, a segunda, colocando-se entre o termômetro de radiação infravermelha e a cavidade de corpo negro, um vidro temperado com espessura de 2mm, isto para simular a condição de medição na indústria.

Contrariando nossa intuição, as leituras do termômetro de radiação infravermelha realizadas com a obstrução durante a calibração, foram maiores do que os valores verdadeiros convencionais de temperatura. Este fato se deve ao tipo do termômetro de radiação infravermelha ser de razão espectral e, também, devido à atenuação da radiação eletromagnética devido à presença do vidro não ser constante nas duas faixas de operação do termômetro de radiação infravermelha.

Utilizando-se o método dos mínimos quadrados, uma curva de calibração do termômetro de radiação infravermelha foi desenvolvida, juntamente com a incerteza de medição do mesmo em diferentes temperaturas, caracterizando o padrão de transferência.

A transmissividade do vidro temperado com espessura de 2mm e do vidro da janela de inspeção do forno de sinterização foram medidas na faixa de comprimento de onda de operação do padrão de transferência, $0,75\mu\text{m}$ a $1,1\mu\text{m}$, utilizando-se um espectrômetro Perkin-Elmer, modelo Lambda 19.

Para os valores verdadeiros convencionais de temperaturas da calibração do padrão de transferência, foi determinada: a potência emissiva hemisférica total para a radiação térmica da cavidade de corpo negro e a potência emissiva hemisférica da radiação térmica atenuada pelo vidro temperado com espessura de 2mm, para sua respectiva faixa de comprimento de onda de operação.

Utilizando a *distribuição de Plank* e o valor medido de transmissividade para o vidro temperado, determinou-se numericamente a potência emissiva hemisférica da radiação térmica atenuada pelo vidro, e esta foi comparada com os resultados da calibração, resultando em uma diferença máxima, em módulo, de 1°C , validando a metodologia utilizada.

Durante o processo de calibração dos sensores de temperatura (termopar tipo C) do forno de sinterização da INB, a cerca de 1750°C , a temperatura indicada pelo padrão de transferência foi corrigida pela metodologia validada,

usando-se para tal a transmissividade medida do vidro da janela de inspeção do forno de sinterização.

O sinal do termopar tipo C foi medido com um multímetro, e devido ao fato de não ser possível colocar a junção de referência em um banho de gelo, sua temperatura foi medida por uma termoresistência (Pt 100). O valor correspondente em [°C] foi calculado utilizando a norma ASTM E 988[24].

A incerteza de medição da temperatura do forno de sinterização pelos termopares foi estimada, através da contribuição de cada fator relacionado no processo de medição, em $\pm 8^{\circ}\text{C}$.

Foi demonstrada a necessidade de se fazer a correção da temperatura medida pelo padrão de transferência através do vidro da janela de inspeção do forno de sinterização, uma vez que uma diferença máxima de 22°C foi encontrada, e teve influência na qualidade do produto sinterizado.

Com a aplicação da correção obteve-se um produto sinterizado com características dentro das especificações de projeto, evitando a resinterização do produto, gerando uma significativa economia de energia elétrica e de recursos financeiros, diminuindo o custo de produção.

Finalmente, na faixa de 1500°C e 1750°C a curva de calibração do padrão de transferência foi extrapolada, devido a uma característica linear do instrumento, o que forneceu um desvio médio quadrático do ajuste de $0,65^{\circ}\text{C}$, assim um erro máximo de cerca de $1,30^{\circ}\text{C}$ poderia ser obtido, bem inferior, portanto, à incerteza de medição com o termopar tipo C do forno de sinterização ($\pm 8^{\circ}\text{C}$).