

ELEMENTOS REFRIGERADOS ¹

CONCEITOS BÁSICOS DE PROJETO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Joaquim Luiz Monteiro de Barros Júnior ²
Wilson Leandro da Silva ³

Resumo

Este trabalho tem como objetivo apresentar os conceitos básicos, teóricos e práticos, no intuito de se obter uma vida útil prolongada e adequada para os diversos elementos refrigerados utilizados nos Fornos Elétricos a Arco – EAF. Para tanto, serão apresentados informações e orientações técnicas de dimensionamento, operação e manutenção, com base em conhecimentos teóricos e práticos obtidos ao longo de vários anos de projeto, fabricação, assistência técnica e acompanhamento junto ao usuário final deste tipo de equipamento.

Palavras-chave: Elementos refrigerados; Fornos elétricos a arco.

COOLED ELEMENTS

BASIC CONCEPTS OF PROJECT, OPERATION AND MAINTENANCE

Abstract

The aim of this work is to present basic, theoretical and practical concepts, in order to obtain an adequate and longer life span to water-cooled elements used in EAF. Therefore, information and technical orientation on measurement, operation and maintenance will be presented, based on theoretical and practical knowledge obtained through several years of project, manufacturing, technical assistance and follow-ups with the final user of this kind of equipment.

Key words: Cooled elements; Electric arc furnace.

¹ Trabalho apresentado no XXXVII Seminário de Aciaria - Internacional, 21 a 24 de maio de 2006, Porto Alegre, RS

² Engenheiro Mecânico, com Mestrado em Eficiência Energética, Diretor Superintendente da KONUS ICESA S.A., Rio de Janeiro – RJ. E-Mail: Joaquimluiz@konus.com.br

³ Engenheiro Mecânico, Coordenador de Vendas Técnicas da KONUS ICESA S.A., Rio de Janeiro – RJ. E-Mail: wilson@konus.com.br

INTRODUÇÃO

O dimensionamento, a operação e a manutenção dos elementos refrigerados devem levar em conta que diferentes mecanismos hidráulicos, de transferência de calor e de resistência dos materiais que são induzidos ao mesmo durante os consecutivos ciclos de aquecimento e resfriamento que ocorrem ao longo da sua vida operacional. Este trabalho tem como objetivo ser mais um instrumento de consulta técnica no auxílio aos usuários deste tipo de equipamento, para o esclarecimento de possíveis dúvidas do dia a dia operacional.

Isto posto, tentaremos utilizar uma linguagem clara e acessível além de apresentar figuras e exemplos, sempre no intuito de uma forma prática, ajudar na orientação técnica e conceitual e principalmente na solução de alguns problemas comuns do cotidiano.

TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Existem três formas de transferência de calor:

- a **Condução** se dá através de sólidos e em fluidos (líquidos e gases) sem movimento,
- a **Convecção** se dá através de fluidos em movimento,
- e a **Radiação** não necessita de um meio para se propagar.

O calor normalmente é transferido simultaneamente por condução, convecção e radiação. Cada tipo de transferência de calor está sujeito a diferentes leis e devem ser tratadas separadamente.

A transferência de calor da parede do tubo para a água é basicamente determinada por três parâmetros:

- Turbulência
- Película Hidráulica
- Película Térmica

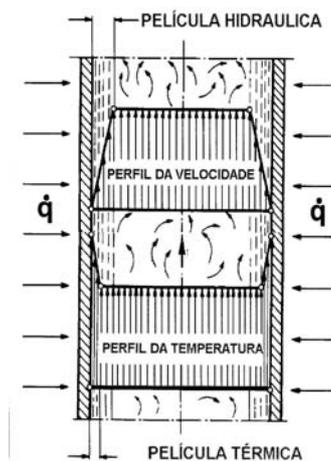


Figura 1. Perfis de velocidade e temperatura, dentro de uma tubulação.

A IMPORTÂNCIA DA QUANTIDADE E DA QUALIDADE DA ÁGUA

A refrigeração de uma superfície é proporcional a velocidade do meio de refrigeração. Quanto maior a velocidade, maior o poder de refrigeração, desde que seja mantida constante as demais condições.

Ou seja, quanto maior a velocidade de água de refrigeração, menor será a temperatura do tubo.

O depósito interno atua como um isolante térmico entre o tubo e a água, dificultando a troca de calor e provocando o superaquecimento do tubo. O aumento da temperatura no tubo faz com que a fadiga térmica venha a danificar o painel rapidamente.

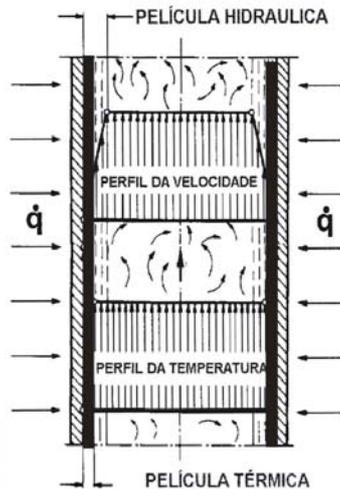


Figura 2. Perfis de velocidade e temperatura, dentro de uma tubulação com depósito interno.

A IMPORTÂNCIA DA PROTEÇÃO DA ESCÓRIA

Durante a operação do forno acontece a solidificação de escória que esta em contato com os painéis refrigerados. Quanto mais espessa for esta camada de escória, maior será o isolamento térmico que protege o painel refrigerado.

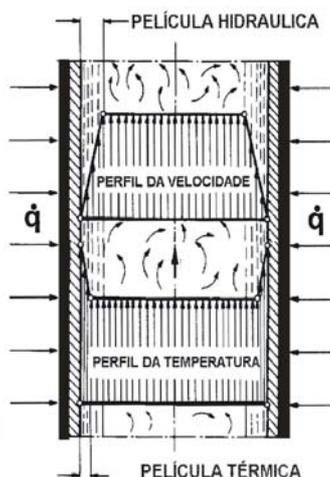


Figura 3. Perfis de velocidade e temperatura, dentro de uma tubulação com escória na parede externa.

INFLUÊNCIA DA ESCÓRIA / CAMADA INTERNA DE DEPÓSITO – TEMPERATURA

A espessura da escória é fortemente influenciada pela camada de depósito interno. Quanto espessa esta camada, maior será a temperatura na parede do tubo e

consequentemente menor será a espessura da camada de escória acumulada na superfície externa dos painéis.

A título de ilustração, o gráfico abaixo foi feito variando-se a espessura de camada de depósito (de 0 até 1 mm de espessura de camada) para uma dada quantidade de calor incidente no tubo (100.000 Kcal/m²h., 200.000 Kcal/m²h. e 300.000 Kcal/m²h). Com estas informações foi calculada a espessura da camada de escória que se formará e a temperatura externa da parede do tubo decorrente para cada caso.

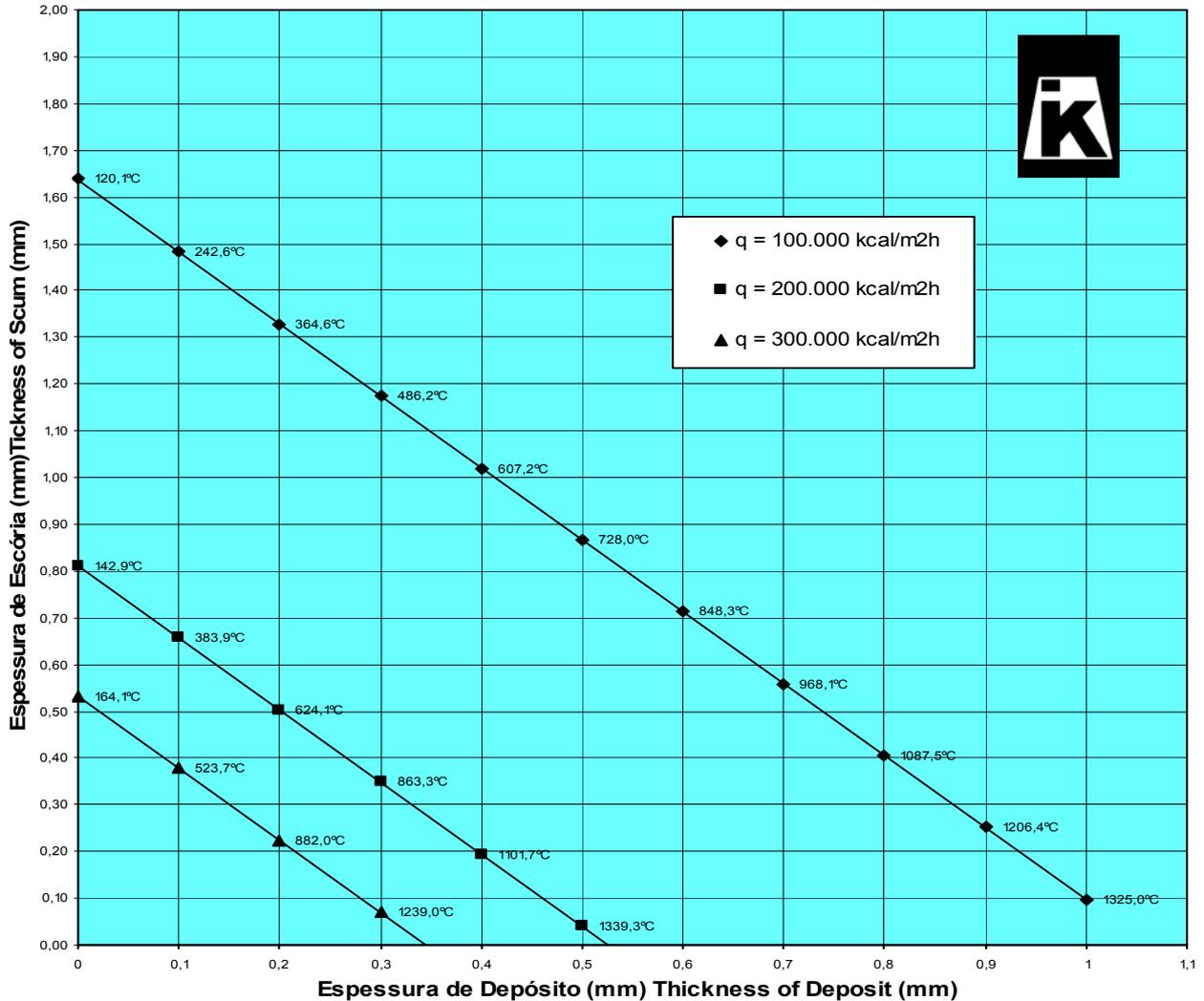


Figura 4. Influencia da escória / Camada interna de depósito na temperatura.

SISTEMA DE PINAGEM PARA RETENÇÃO DE ESCÓRIA

O posicionamento, a quantidade e a forma de soldagem são pontos importantes e que afetam diretamente na efetividade do sistema de retenção de escória.



Figura 5. Sistema de pinagem para retenção de escória.

PINOS RETENTORES DE ESCÓRIA

Vantagem do sistema da soldagem com a pistola especial.

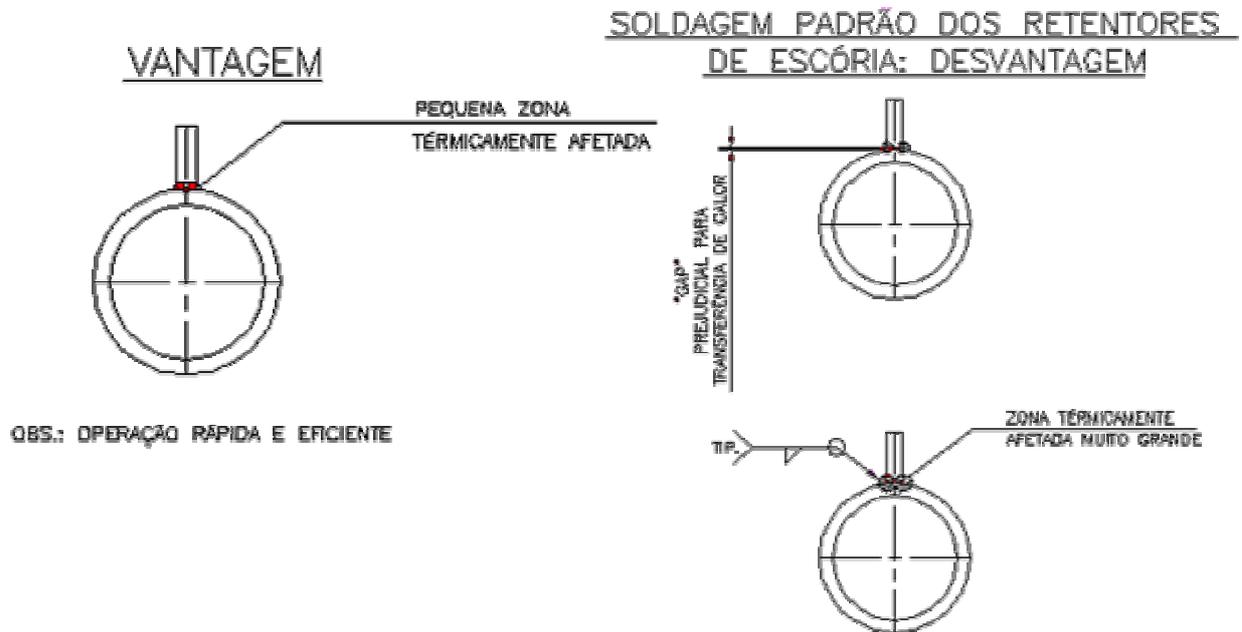


Figura 6. Vantagens / Diferenças dos pinos como retentores de escória.

FADIGA TÉRMICA

Para definirmos fadiga térmica, é preciso entender primeiramente o que é a fadiga: O termo FADIGA é usado para descrever a falha de um material sob repetitiva tensão aplicada menor que a resistência limite do material.

O aquecimento desigual de partes de um componente pode produzir tensões térmicas que podem levar a falha por fadiga. É o que chamamos de fadiga Térmica. A fadiga térmica é proveniente do (super) aquecimento e resfriamento repetido dos tubos dos elementos refrigerados (ciclos de aquecimento / resfriamento durante as etapas da corrida e durante as corridas).

FLUÊNCIA

Fluência é definida como a deformação do material decorrente da aplicação de uma carga constante através do tempo. Mesmo que a temperatura não seja mencionada na definição acima, a fluência em materiais aplicados em equipamentos industriais, geralmente só apresentam valores significativos a altas temperaturas. Geralmente para os aços, este fenômeno ganha importância em temperaturas acima de 350°C. Existem diversos casos onde isso ocorre, particularmente quando tensões térmicas estão envolvidas, aonde o material é restringido de se dilatar e a fluência tem a função de reduzir as tensões devido à restrição. Com isso a deformação elástica é substituída pela deformação plástica ou deformação por fluência. Isso é conhecido como alívio de tensões.

A magnitude das tensões térmicas correspondentes devido às deformações térmicas é influenciada pelo fato que se a temperatura aumenta, a tensão de escoamento do material diminui.

As trincas por fluência ou fadiga que se desenvolverão devido ao carregamento térmico cíclico irão depender das condições de temperatura e tensão que aparecerão durante os ciclos térmicos, da resistência do material nessas condições e do número de ciclos.

DEFORMAÇÕES TÉRMICAS DEVIDO AO AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO

As deformações térmicas irão aparecer tanto por tração quanto por compressão.

Podemos exemplificar uma situação com dois níveis de intensidade.

O aquecimento provoca deformação térmica e tensão elástica correspondente, que são diretamente proporcionais ao aumento de temperatura. Quando mantido à temperatura final de aquecimento, alívio deverá ocorrer e as tensões diminuirão com o passar do tempo. Com o resfriamento, o material deverá reduzir no mesmo montante que expandiu quando aquecido, desta forma tensões residuais de tração deverão surgir, na mesma magnitude do alívio de tensão quando aquecido. A repetição do ciclo fará com que haja alívio até que as tensões cíclicas geradas sejam totalmente de tração.

O nível de alívio que ocorrerá a cada ciclo dependerá da tensão, temperatura e o do tempo que a temperatura é mantida, assim como a resistência à fluência do material.

FADIGA E FLUÊNCIA ASSOCIADOS

Tensões estáticas e dinâmicas deverão ocorrer as altas temperaturas e desta forma é necessário considerar os efeitos de fadiga e fluência. Ocorrerá deformação no

material devido a uma tensão constante sobreposta a uma tensão cíclica em um determinado período de tempo.

A fluência surgirá com a manutenção a uma dada alta temperatura da tensão constante gerada pelo aquecimento e resfriamento que gera tensões térmicas.

ESTUDO TÉRMICO DOS PAINÉIS REFRIGERADOS DE CARÇAÇA

Com a tabela abaixo, consegue-se calcular a carga térmica total e unitária por painel refrigerado de toda a carcaça e abóbada do forno. Com isto se dimensiona corretamente a vazão de água necessária em cada ponto do forno.

Tabela 1. Tabela orientativa dos painéis refrigerados do EAF com seus respectivos dados construtivos e operacionais.

Posição	Tipo	Área (M²) Aço Cobre		Tem. Ent. Média (C)	Tem. Saída Média (C)	Tem. Saída Média (C)	Vazão (MB/H)	Vazão (MB/H/M2)	Carga Térm. Média (KW)	Carga Térm. Máx.(KW)	Carga Térm. Méd.(KW/M2)	Carga Térm. Méd. (KW/m2)
1	A	2,21	0,00	25	46	75	12,9	5,8	315	750	142	339
2	B	2,21	0,27	25	43	88	12,2	4,9	255	894	103	360
3	C	2,25	0,32	25	48	96	19,8	7,7	530	1635	206	636
4	C	2,25	0,32	25	47	99	19,0	7,4	486	1635	189	636
5	E	1,80	0,00	25	35	43	13,0	7,2	151	272	84	151
6	D	2,13	0,00	25	40	53	18,0	8,5	314	586	147	275
7	D	2,13	0,00	25	37	52	18,9	8,9	264	593	124	279
8	D	2,13	0,00	25	37	70	16,8	7,9	234	879	110	413
9	C	2,25	0,32	25	40	56	17,0	6,6	297	613	115	238
10	B	2,21	0,27	25	40	70	13,5	5,4	235	706	95	285
11	A	2,25	0,32	25	47	86	15,3	6,0	391	1085	152	422
12	C	2,21	0,00	25	44	65	16,2	7,3	358	753	162	341

CONTROLE DE PAINÉIS REFRIGERADOS

Com o formulário abaixo o setor de manutenção consegue ter um histórico da vida dos painéis refrigerados por tipo e por posição no forno. Esta informação é um importante instrumento no processo de melhoria e solução de problemas.

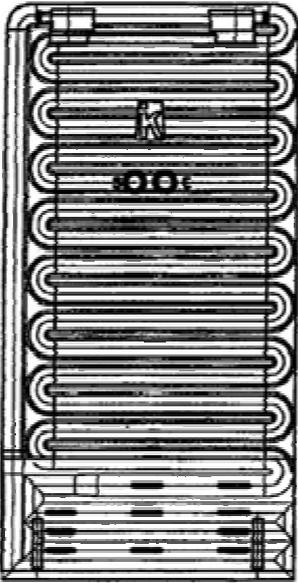
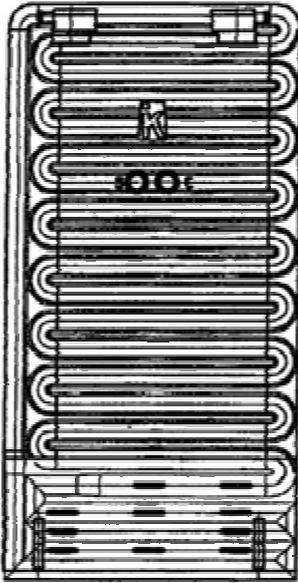
			
DESCRIÇÃO DA OCORRÊNCIA		DESCRIÇÃO DOS ITENS SUBSTITUIDOS	
CLIENTE	PAINEL	Nº CORRIDAS	DATA :
			RESPONSÁVEL - CLIENTE
DATA DE CHEG. NA KONUS	FORNO	DATA	DOCUMENTO Nº
DATA DE SAÍDA DA KONUS	TIPO DE REFORMA NO PAINEL		
	PREVENTIVA (SEM OCORRÊNCIA NO PERÍODO DE UTILIZAÇÃO)		
	CORRETIVA (DURANTE UTILIZAÇÃO HOUVE OCORRÊNCIA)		
	MODIFICAÇÃO (ALTERAÇÃO TÉCNICA)		
DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS A SEREM EXECUTADOS			
LIMPAR	OBSERVAÇÕES :		
DESEMPENAR			
TROCAR CONEXÕES			
REPOR PINOS E CHAVETAS			
TROCAR CAP'S / CURVAS			
PINTAR			
TESTE HIDROSTÁTICO			
PARECER TÉCNICO (QUANTO AS CONDIÇÕES GERAIS DO PAINEL)			

Figura 7. Folha de controle dos Elementos Refrigerados.

CONCLUSÃO

Elaborando um bom projeto de forma adequada as reais necessidades de cada forno e fabricando os elementos refrigerados com uma tecnologia e, materiais adequados e procedimentos de soldagem qualificados, consegue-se aumentar significativamente a vida útil dos mesmos.

Vimos também que a qualidade, vazão e velocidade da água de refrigeração é muito importante não só para o aumento da vida útil, mas também para uma operação sem interrupções seja por alta temperatura seja por vazamentos nos elementos refrigerados.

Cabe ressaltar por último que um controle com o histórico operacional e de manutenção dos elementos refrigerados no EAF é um importante instrumento no auxílio, não só na solução dos problemas, mas também nas ações que devem ser implementadas para evitar os mesmos.

BIBLIOGRAFIA

- 1 Wagner, Walter. Manual Konus Icesa de Transferência de Calor. Alemanha: Verlag.Resch GMBH, 1997
- 2 Holman, J.P. Transferência de Calor. São Paulo. Mc Graw-Hill, 1983.
- 3 Weber, Ralph, Elsner, Emil. Water Cooling Systems on Electric Arc Furnaces.In: ILAFA 18, 1997, Punta Del Leste.
- 4 Weber, Stephan, Tranferência de calor na Atmosfera de um Forno Elétrico.In: Encontro Internacional de Política Energética – Konus Icesa, 1997, São Paulo.

*Joaquim Luiz Monteiro de Barros Júnior*²
*Wilson Leandro da Silva*³

Abstract

The aim of this work is to present basic, theoretical and practical concepts, in order to obtain an adequate and longer life span to water-cooled elements used in EAF. Therefore, information and technical orientation on measurement, operation and maintenance will be presented, based on theoretical and practical knowledge obtained through several years of project, manufacturing, technical assistance and follow-ups with the final user of this kind of equipment.

Key words: Cooled elements; Electric arc furnace.

¹ *Paper presented at the XXXVII Steelmaking Seminar, May 22 – 24, 2006, Porto Alegre – Rio Grande do Sul*