



ISSN: 1984-3151

# PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO DO FORNO DE PONTAS, VISANDO PRESERVAR A SONDA DE OXIGÊNIO

## PROCESS OF THERMAL TREATMENT FROM THE OVEN FOR POINTED AIMING TO PRESERVE THE OXYGEN PROBE

**Carlos Luciano Zanini; William Martins Santos; Euzébio D. Souza; Arlete Vieira da Silva**

Centro Universitário de Belo Horizonte, Belo Horizonte, MG

[carloszanini15@uol.com.br](mailto:carloszanini15@uol.com.br); [martinsWilliams@ig.com.br](mailto:martinsWilliams@ig.com.br); [euzebio.souza@prof.unibh.br](mailto:euzebio.souza@prof.unibh.br); [arlete.silva@prof.unibh.br](mailto:arlete.silva@prof.unibh.br)

Recebido em: 29/06/2011 - Aprovado em: 07/07/2011 - Disponibilizado em: 25/07/2011

*RESUMO: Este trabalho se dedica ao estudo de um método de tratamento térmico em uma determinada ferramenta, utilizada na produção de tubos de aço sem costura. Após o tratamento, este material adquire características estruturais, que otimizam a produção em questões de ganhos em tempo, qualidade e produção. Este método de tratamento térmico é de domínio exclusivo de uma empresa siderúrgica pioneira em tubos de aço sem costura, no qual a tecnologia desenvolvida foi baseada em estudos e ensaios efetuados na Alemanha pelo Dr. Kron. Este processo é constituído por um conjunto de variáveis físicas, equipamentos eletrônicos e de instrumentação onde cada um interage em valores e patamares adequados formando uma oxidação no material, tornando-o adequado para a sua utilização como ferramenta de produção final.*

*PALAVRAS-CHAVE: Tratamento térmico. Forno de Pontas. Sonda de Oxigênio.*

*ABSTRACT: This work is dedicated to the study of a method of heat treatment on a particular tool used in the production of seamless steel tubes, in which his material after this treatment acquired structural features that optimize production gains on issues of time, quality and production. This method of heat treatment is the exclusive domain of a steel company pioneered seamless steel tubes, where the technology was developed on top of studies and tests made in Germany by Dr. Kron. This process consists of a set of physical variables, electronics and instrumentation in which each interacting in appropriate amounts and levels form an oxidation in the material making it suitable for use as a tool for producing the final product.*

*KEYWORDS: Heat Treatment. Oven Tip. Oxygen probe.*

---

## 1 INTRODUÇÃO

Através do tratamento térmico pode se alterar as propriedades mecânicas dos aços, isto é, torná-los mais duros, mais moles, mais maleáveis, etc.

De acordo com cada necessidade, as características do material “aço” são alteradas levando-se em consideração a temperatura, o tempo de exposição ou o tempo de resfriamento do material e, o caso a ser estudado: a atmosfera em que o material é exposto.

O tratamento térmico estudado possui particularidades que são necessárias para que a estrutura do aço da

ferramenta adquira as características para atender melhor as necessidades da produção.

O forno de tratamento térmico, Forno de Pontas, é formado por vários equipamentos eletrônicos, elétricos, automação e uma instrumentação bem diversificada. Este equipamento é assim denominado, pois as ferramentas a serem tratadas são mandris no formato de uma ponta de aço, utilizada para abrir tubos de aço sem costura.

Essas pontas são submetidas a grande força de impacto, de atrito e a altas temperaturas em sua

utilização, por isso, a necessidade do tratamento de sua estrutura ser diferenciada para cumprir seu papel perante a produção com maior eficiência e produtividade.

O tempo do tratamento térmico destas pontas é diferenciado de acordo com o laminador da qual a ponta é pertencente, pois cada laminador possui diâmetro de pontas diferentes, para que os tubos abertos tenham bitolas diversificadas. A responsabilidade pela qualidade do tratamento térmico pelas quais as pontas são submetidas é devida à sonda de oxigênio. Atualmente, a sonda possui uma vida útil muito abaixo do especificado nas características técnicas no manual do equipamento, sendo assim, o estudo será direcionado a aumentar o tempo de funcionamento da sonda de oxigênio, que hoje é de três meses, para no mínimo seis meses, como é especificado no manual, sem perder produtividade e qualidade do forno de pontas. Este estudo tem como objetivos específicos: analisar o tempo de vida útil atual da sonda de oxigênio, identificar os pontos críticos onde ocorrem falhas na sonda de oxigênio, propor alterações no processo produtivo do forno de pontas para preservar a vida útil da sonda de oxigênio e analisar a eficiência das alterações.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 FORNO DE PONTAS**

A função do forno de pontas é fornecer um tratamento termoquímico às pontas utilizadas nos laminadores de tubos de aço sem costura.

Estas pontas após o tratamento adquirem uma camada em sua superfície e internamente de óxido de ferro, que é de grande importância para o processo, no qual ela será ferramenta de produção do produto final.

Este forno foi dimensionado especialmente para este tipo de tratamento e para a ferramenta específica para tal produção, com o objetivo de otimizar o processo com menor tempo e maior ganho em termos de custo para o processo.

### **2.2 SONDA DE OXIGÊNIO**

Durante as operações de combustão acontece um fenômeno natural importantíssimo. As moléculas de oxigênio procuram migrar da alta concentração na atmosfera ambiente (ar de referência) para a baixa concentração na saída dos gases do forno. Este fenômeno natural é o princípio no qual os sensores de oxigênio operam.

#### **2.2.1 PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO**

Como consta em (METALTECH,2011), os sensores de oxigênio MMI são fabricados de zircônia estabilizada com ytrio, que possui a habilidade de conduzir os íons de oxigênio em temperaturas superiores a 650 °C (1200 °F). Eletrodos de platina em ambas as superfícies, interna e externa, do eletrólito zircônia promove uma superfície catalítica para a transformação de moléculas de oxigênio (O<sub>2</sub>) para íons de oxigênio (O=), o qual move através do eletrólito e recombina no eletrodo oposto.

O físico alemão NERNST HERMANN WALTHER, que ganhou Prêmio Nobel em 1920 pela Terceira Lei da Termodinâmica é responsável pelo desenvolvimento da Teoria das Soluções. Sua teoria, expressa pela Equação de Nernst, explica a voltagem desenvolvida por baterias eletrolíticas. Esta equação, aceita universalmente, pode ser aplicada para verificar o Oxigênio usando a célula de zircônia.

O movimento dos íons de oxigênio produz uma tensão (mV) através do sensor, a qual é função da diferença de concentração de oxigênio entre a superfície externa (atmosfera do forno - gases do forno) e sua superfície interna (ar de referência ambiente) e a

temperatura na qual o sensor opera (temperatura dos gases do forno). Esta tensão (mV) é expressa pela equação de Nernst. (METALTECH, 2011)

$$E = .0215 \times T \times \ln \frac{O_2(\text{reference})}{O_2(\text{furnace})}$$

Onde:

E = Tensão do sensor

T = Temperatura do Sensor em Graus Kelvin

O<sub>2</sub> (ar de referência) = concentração de oxigênio na superfície interna do sensor - ar ambiente: 20,9% Oxigênio.

O<sub>2</sub> (forno) = Concentração de oxigênio na superfície externa do sensor - atmosfera do forno.

A célula de zircônia, segundo o mesmo autor, atuando como uma bateria, gera uma tensão em resposta à alteração da porcentagem de oxigênio. Com uma porcentagem de oxigênio conhecida como ar de referência em um lado da célula, a tensão (mV) gerada será proporcional à porcentagem de oxigênio no lado oposto. Um termopar, de uma liga de platina, tipicamente "S" ou "B", fornece uma tensão, que é proporcional à temperatura da célula.

Segundo o mesmo autor, a célula utiliza ar atmosférico como gás de referência. Quando a referência é constante (ar de referência) e a temperatura é conhecida (utilizando-se termopar tipo "B" ou "S"), o nível de oxigênio no forno será determinado resolvendo-se a equação de Nernst.

Os Sensores de Oxigênio - MMI e a instrumentação eletrônica aplicam a Equação de Nernst quando utilizados em combustão. A linha de controladores de oxigênio lê e interpretam as duas tensões do sensor, a gerada pela célula de zircônia e, aquela, do termopar interno, através de um algoritmo, para fornecer a porcentagem de oxigênio. Na maioria das aplicações de combustão, os níveis de oxigênio determinados

podem estar em qualquer valor entre zero até 20% de O<sub>2</sub>.

Computando-se a equação de Nernst, tem-se uma medição praticamente instantânea da concentração de oxigênio presente nos gases do forno. É o sistema mais direto e simples disponível no mercado. Ele dispensa a necessidade de equipamentos eletrônicos intermediários, elimina a necessidade de calibração e evita a insensibilidade do balanço dos sistemas pela utilização de gases de referências especiais. Os sensores de oxigênio devem ser utilizados apenas para controlar o ar secundário, nunca o ar primário de combustão. Os sensores devem ser conectados a instrumentos apropriados de controle do ar secundário ou controle de processo, o qual apenas permitirá o Ajuste-Fino da mistura ar/combustível. A utilização de sensores de oxigênio para controle total independente do ar de combustão poderá resultar no fechamento total deste ar, que pode causar explosão, danos ambientais. (METALTECH, 2011)

### 2.2.2 FAIXA DE OPERAÇÃO

A resistência interna da célula, isto é a resistência através do eletrólito entre os eletrodos, diminui exponencialmente com o aumento da temperatura e é recomendado que a sonda seja usada a temperaturas acima de 700°C (1300°F).

A temperatura máxima na qual a célula pode ser usada é limitada por 2 fatores:

1. Início da condução eletrônica no eletrólito sólido, que irá reduzir o potencial medido abaixo do valor teórico.
2. A deterioração do eletrodo externo. O ponto onde ocorre a condução eletrônica é uma junção de ambos, pressão parcial do oxigênio e a temperatura e, para zircônia estabilizada. Isto ocorre a pressões baixas de oxigênio e a altas temperaturas. Logo que inicia a condução eletrônica, a mesma vai

rapidamente aumentar em intensidade com o aumento da temperatura ou com a diminuição da pressão parcial de oxigênio. ([www.metaltech.com.br](http://www.metaltech.com.br)).

É recomendado que o sensor seja utilizado dentro de uma faixa de 700°C a 1150°C (1300°F a 2100°F). (METALTECH, 2011)

### 3 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos foram iniciados por uma revisão bibliográfica, que teve por finalidade nivelar o conhecimento dos pesquisadores sobre o tema e obter dados para a discussão dos resultados. Os passos seguintes consistiram na realização de um levantamento de dados de campo na planta do processo. Para tal foram utilizados os equipamentos: Multímetro, gerador de sinais elétricos (CAPPO 10), medidor de pressão diferencial, analisadores de gases, pirômetro óptico, durômetro, termógrafo e osciloscópio. Após o levantamento dos dados identificaram-se os pontos deficientes na planta, para os quais foram propostas soluções para as anomalias apresentadas pelo forno de pontas, bem como, sugeridas mudanças no layout dos equipamentos e na instalação de novos equipamentos.

### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O forno de pontas consiste em um conjunto de equipamentos e componentes eletroeletrônicos, e uma grande quantidade e diversidade de instrumentação no qual trabalha em sincronismo resultando em um tratamento térmico inovado e particularmente definido para as necessidades do processo de produção.

Este tratamento faz com que a ferramenta que será utilizadas no caso, as pontas, ganhe uma camada muito dura de óxido de ferro em sua superfície penetrando internamente por alguns milímetros, capaz de suportar bem o impacto e o atrito que as mesmas são submetidas no processo de produção.

Este tratamento faz com que as ferramentas “pontas” adquiram umas características que são primordiais para o processo:

1. Maior resistência – As ferramentas se tornam mais duras capazes de abrir mais tubos por pontas.
2. Lubrificação a seco – A ferramenta ganha uma camada superficial muito lisa que suaviza o atrito entre a ferramenta e o tarugo no qual vai ser aberto para virar o tubo.
3. Reflexão térmica – O tarugo é aquecido para ser laminado por volta de 1100°C, a temperatura ideal de laminação do tarugo para ser aberto sem que ele se desfaça tornando-o mais macio. A camada que a ferramenta adquire tem a característica de conservar o calor do tarugo, não deixando que a ponta absorva o calor, mantendo-o na temperatura ideal para a laminação.

Todo o controle do processo se dá levando-se em consideração a temperatura indicada pelo termopar, instalado na sonda de oxigênio e, o valor de oxigênio indicado na atmosfera do forno. Essas duas variáveis são que orientam o PLC para o controle dos patamares.

Patamares são os segmentos existentes dentro de uma receita, na qual o programa do PLC vai rodar. Existe em torno de vinte receitas diferentes, cada uma com nove segmentos. Cada segmento dura em torno de 120 minutos.

De acordo com o segmento em que o PLC está executando é que são incluídos no processo os gases para forçar a oxidação do material. O controle do nível de oxigênio se dá com a introdução de vapor dentro da campânula: mais vapor, maior é o nível de oxigênio e vice-versa. A combinação da temperatura, do nível de oxigênio e dos gases do processo é que resulta na

camada de óxido de ferro, que o material passa a adquirir após o tratamento.

O forno de pontas possui uma base como mostra a Figura 1.



FIGURA 1 - Forno de pontas

O material a ser tratado é depositado na base do forno e coberto por uma campânula, suas arestas são seladas com areia para não deixar que a atmosfera dentro da campânula vaze para fora da mesma, como apresenta a Figura 2.

Após o preparo da base com o material a ser tratado e a campânula ser instalada e selada, o forno é posicionado por cima da base para que o tratamento possa ser iniciado.

A qualidade do tratamento térmico adquirido hoje no forno de pontas é excelente devido a vários anos de estudos, análises e melhoramentos que foram efetuados no processo e no próprio forno. A forma usada para verificar a qualidade do tratamento térmico tem como base a amostragem de cada remessa tratada. É usada uma amostra, que juntamente com as peças, é submetida ao tratamento e, no final, é encaminhada ao laboratório para análise da qualidade.



FIGURA 2 - Pontas na base para serem tratadas

As pontas antes de serem submetidas ao tratamento são expostas à máquina de jato de granalhas, através deste processo elas adquirem texturas ou ranhuras que facilitam o tratamento de oxidação do aço e são encaminhadas para o forno. (Figura 3)



FIGURA 3 - Ponta antes do tratamento térmico

Após o tratamento elas adquirem características e formas conforme ilustra a Figura 4.



FIGURA 4 - Peça após o tratamento

#### 4.1 PROBLEMAS NA SONDA DE OXIGÊNIO

A sonda de oxigênio é o sensor que monitora o percentual de oxigênio dentro do forno, ela envia um sinal em mV de acordo com o oxigênio presente na atmosfera do forno, cujo controle é realizado dentro dos valores estipulados para cada patamar que o tratamento necessita. (Figura 5)



FIGURA 5 - Sonda de Oxigênio instalada no forno

A vida útil da sonda de oxigênio é de seis meses de acordo com o fabricante, mas, instalada no forno, com três meses ela já apresentava problemas.

Foi constatado que a sonda danificada apresentava umidade no interior de sua carcaça. (Figura 6)



FIGURA 6 - Presença de água internamente na Sonda de oxigênio

A umidade presente dentro da sonda de oxigênio fazia com que o sinal variasse, causando picos que geravam problemas no controle do oxigênio na atmosfera do forno.

Conjecturou-se que a entrada de água na sonda de oxigênio só poderia se originar do vapor que em um determinado momento do tratamento é inserido na atmosfera do forno para aumentar o nível de oxigênio dentro da campânula.

Foi verificado que a saída de vapor dentro da campânula fica localizada muito próxima da ponta da sonda de oxigênio, contrariando o manual de instalação que recomenda que a mesma fosse localizada a uma distância mínima da saída do vapor. A sua localização fazia com que o jato de vapor fosse direcionado diretamente para a ponta da sonda, condensando o vapor. A água oriunda da condensação penetrava no interior da sonda. (Figura 7)

Foi elaborado um projeto, testado e comprovada sua eficiência, que será implantado quando o forno for submetido a uma parada programada para reforma de seu revestimento refratário. Neste projeto a localização da entrada do vapor no forno vai ser alterada mudando para uma posição no forno que ficará mais distante da sonda de oxigênio evitando que o vapor entre em contato direto com a mesma.



FIGURA 7 - Saída de vapor e ponta da sonda de oxigênio

Constatou-se que outro fator contribuía para que a sonda enchesse de água, era o fato de o vapor está muito condensado. Quando o mesmo era injetado para dentro da campânula, grande quantidade de água era jogada para dentro do forno.

Para solucionar este problema foram instalados dois aquecedores ao longo da linha de vapor. Um aquecedor primário foi colocado na entrada da Linha de vapor, que vai para o forno, o outro, o aquecedor secundário, foi instalado na saída da linha de vapor que vai para o forno. (Figura 8)



FIGURA 8 - Aquecedor secundário

O controle de temperatura dos aquecedores foi estipulado levando em consideração a pressão da

linha de vapor (aproximadamente 4 Kgf/cm<sup>2</sup>) e a distância da linha até o forno (em torno de 8 m).

Através de cálculos foi estipulado que o aquecedor primário teria um valor de controle (setpoint) de 280°C e o valor do secundário de 220°C.

Com a instalação dos aquecedores ficou assegurado que o vapor sempre ficará livre de condensado ao longo da linha garantindo sua saída para o forno com uma temperatura ideal.

## 5 CONCLUSÃO

Com as modificações implementadas, os testes apresentaram um resultado excelente com um ganho considerável da vida útil da sonda de oxigênio. Até o momento já se passaram cinco meses e a sonda permanece funcionando perfeitamente, sendo monitorada regularmente para verificar se há existência de vapor condensado em seu interior, constatando que o vapor esta sempre em uma temperatura ideal para ser inserido na atmosfera do forno, não apresentando água no interior da sonda.

A partir de estudos teóricos e práticos com ensaios e acompanhamentos dos resultados, um problema frequente que assolava o funcionamento ideal do forno de pontas, gerando perda de tempo e perda financeira, foi completamente extinto tornando o processo de tratamento térmico mais eficiente e otimizando o processo de produção do forno de pontas.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sucesso do desenvolvimento deste projeto se deu a partir de vários fatores, entre eles, a contribuição de profissionais práticos com conhecimentos e experiências de anos no assunto, resultando no compartilhamento de saberes técnicos e científicos. Além disso, aglutinou conteúdos de diversos campos da engenharia, agregando valor aos participantes.

**REFERÊNCIAS**

ALVES, José Luiz Loureiro. Instrumentação, controle e automação de processos. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 195p. ISBN 8521614425.

CHIAVERINI, Vicente. Aços-carbono e aços liga: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos. 2. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1965. 456 p.

FIALHO, Arivelto Bustamante. Instrumentação industrial: conceitos, aplicações e análises. 4. ed. rev. e atual. São Paulo: Érica, 2006. 278 p. ISBN 8571949220

SENAI - ES, Mecânica Do Tratamento Térmico. Espírito Santo: SENAI / CST (Companhia Siderúrgica de Tubarão):1997.16p.

METALTECH. Informações sobre a sonda de oxigênio. São Paulo: METALTECH, 2010. Disponível em <http://www.metaltech.com.br/teoriase.html>