

O tratamento térmico do futuro

# O Tratamento Térmico do Futuro

**J. C. Vendramim**

Eng<sup>o</sup> Metalurgista – Mestrado Unicamp em Materiais

Diretor Técnico da **ISOFLAMA** Ind. e Comércio Equipamentos Ltda – Indaiatuba,SP



# ○ O tratamento térmico do futuro

Prever o futuro do  
tratamento térmico...?  
Seria possível?



# ○ O tratamento térmico do futuro

## Inovação e Futuro

O conceito de inovação é conhecido desde Adam Smith no século XVIII, que estudava a relação entre acumulação de capital e a tecnologia de manufatura. Conceitos relacionados à mudança tecnológica, divisão do trabalho e competição.

Somente a partir do trabalho de Joseph Schumpeter estabeleceu-se uma relação entre inovação e desenvolvimento econômico (Teoria do Desenvolvimento Econômico, 1934). Teoria da "destruição criativa" - sustenta que o sistema capitalista progride por revolucionar constantemente sua estrutura econômica: novas empresas, novas tecnologias e novos produtos substituem constantemente os antigos. De forma simplificada, o termo inovação "schumpeteriana" é utilizado para definir inovações que destroem o modo como se fazia determinada atividade.

Considerando que as inovações são capazes de gerar vantagens competitivas a médio e longo prazo, inovar torna-se essencial para a sustentabilidade das empresas e dos países no futuro.

# ○ O tratamento térmico do futuro

## Inovação

- “...a cada 5 anos, 50% de tudo que sabemos hoje será tóxico. A questão é saber qual metade devemos esquecer...”  
C.K. Prahalad
- “...não ande pelo caminho traçado, pois o conduzirá unicamente para onde os outros já foram ...” Graham Bell
- “...para obter algo que você nunca teve, precisa fazer algo que nunca fez ...” Autor desconhecido
- “... se você não tem uma visão de futuro, está condenado a viver eternamente a repetição do seu passado...” A.R. Bernard
- “...insanidade é fazer sempre a mesma coisa e esperar resultados diferentes...” Albert Einstein

# ○ O tratamento térmico do futuro

## Não percebendo o Futuro

- “O cavalo está aqui para ficar, porém o automóvel é apenas uma novidade passageira” Presidente do Michigan Banks aconselhando Ford a desistir de investir na Ford
- “Ora, máquinas voadoras mais pesadas que o ar são impossíveis” Lord Kelvin, 1885
- “A televisão não será capaz de manter nenhum mercado por mais de 6 meses. As pessoas logo se cansarão de olhar para uma caixa de madeira compensada toda noite” Presidente da 20th Century Fox, 1946
- ✓ Nada pode ser mudado;
- ✓ Nada pode ser melhorado;
- **“Fazemos melhor aquilo que repetidamente insistimos em melhorar. A excelência não deve ser uma busca, mas um hábito”** Aristóteles 343 AC

# ○ O tratamento térmico do futuro



# ○ O tratamento térmico do futuro

## Ferramentas para prever o futuro:

- Profetas;
- Búzios, cartas, estrelas, bola de cristal;
- Indicadores relacionados à educação (mestres, doutores e patentes, por ex.)
- Meio ambiente: novas tecnologias
- Contexto "político" e econômico;
- Evolução das Tecnologias, Materiais, etc...
- A evolução das fontes de energia;

## ○ O tratamento térmico do futuro

O futuro do tratamento térmico está diretamente relacionado à capacidade de **inovação**. E nesse sentido é fundamental acompanhar as diversas pesquisas nos setores de Tecnologia, Materiais e Sistemas de Gestão e Controle.



# ○ O tratamento térmico do futuro

Fontes de consulta:

"HEAT TREATING IN 2020: WHAT ARE THE MOST CRITICAL ISSUES AND WHAT WILL THE FUTURE LOOK LIKE?"

George E. Totten

President of International Federation for Heat Treatment and Surface Engineering  
- **IFHTSE**

<http://www.asminternational.org/materials-resources/> - Looking Ahead

# ○ O tratamento térmico do futuro

## Breves digressões sobre a Arte do Tratamento Térmico

- Atualmente o tratamento térmico é uma "indústria madura", criando e utilizando sistemas para melhor atender às especificações de engenharia;
- Opera em estreita colaboração com o Usuário e outras empresas do setor, por exemplo, "revestimentos duros" (PVD) e fabricantes de aços, visando a redução de custos totais, incrementar "vida útil" e melhorar o desempenho;
- Como qualquer outro negócio, também tem de adotar novos métodos, tecnologias e controles para reduzir custos operacionais e o impacto ambiental.

# ○ O tratamento térmico do futuro

A Arte do Tratamento Térmico se transforma em Ciência do Tratamento Térmico. E nisso o futuro requer...

- ✓ Minimização de distorções;
- ✓ Otimização dos procesos termoquímicos de modificação de superfície por difusão;
- ✓ Processos ambientalmente amigáveis (produtos e emissão);
- ✓ Desenvolvimento de Novos Materiais: nanomateriais e projetos de novas ligas);
- ✓ Desenvolvimento de Controles e Sensores inteligentes;
- ✓ Previsão de resultados e modelos (prevenção à falhas);
- ✓ Eficiente integração dos processos térmico em produção;
- ✓ Simulação de deformação / distorção (aplicativos para plataforma Android)
- ✓ Gestão dos processos

# ○ O tratamento térmico do futuro

A definição de tratamento térmico poderia servir de "chave" para abrir a janela e visualizar o futuro nesta arte:

Tratamento térmico é definido como  
"processo térmico que consiste de  
*aquecimento, manutenção e resfriamento*  
de metais" \*

(\* ) A ABNT adotou como Norma Brasileira, por indicação do seu ABNT/CB-28 - Comitê Brasileiro de Siderurgia, a norma MERCOSUL NM 136:1997. Essa Norma cancela e substitui a NBR 8653:1998. **Tratamentos térmicos de aço - Terminologia e definições**

# ○ O tratamento térmico do futuro

Assim, temos para:

- **Aquecimento:** novas tecnologias; simulação para distorção / deformação;
- **Manutenção:** monitoramento ("softwares")
- **Meios de Resfriamento:** novos meios, tais como "óleos especiais"; "polímeros", mistura de gases;
- **Materiais:** novas ligas

○ O tratamento térmico do futuro

Futuro

# Aquecimento

Novas tecnologias

# ○ O tratamento térmico do futuro

## Aquecimento acelerado

- **Aquecimento rápido:** definido como qualquer método que acelera o aquecimento em forno convencional [1];
- Possíveis taxas de transferência de calor de até 30 (trinta) vezes superiores às obtidas em fornos de convecção convencionais [2].
- A tecnologia de aquecimento rápido tem sido aplicada principalmente na indústria do aço forjamento onde o aço é aquecido a 1000-1250 °C. Isto é menos frequentemente encontrado na indústria do tratamento térmico, sendo área alvo de investigação na ASM\* R & D [2]

[1] - N. Fricker, K.F. Pomfret, and J.D. Waddington, Commun. 1072, Inst. of Gas  
Annu. Meeting, London, Nov. 1978.

Engineering, 44th

[2] - G.E. Totten, G.R. Garsombke, D. Pye, and R.W. Reynoldson, :Heat Treating  
Heat Treating Handbook, eds. G.E. Totten and M.A.H.  
York, NY, p. 293-481

Equipment", in Steel  
Howes, 1997, Marcel Dekker, Inc., New

[\*] American Society for Metals

# ○ O tratamento térmico do futuro

## Equipamentos

- **Fornos à Vácuo:** para Têmpera; Austempera, Cementação / Carbonitreção; Brasagem; Nitreção a Baixa Pressão; e Revenimentos;
- **Fornos de Aquecimento por Plasma;**
- **Fornos de Aquecimento por "Micro-Ondas";**
- **Aquecimento a "Laser"**



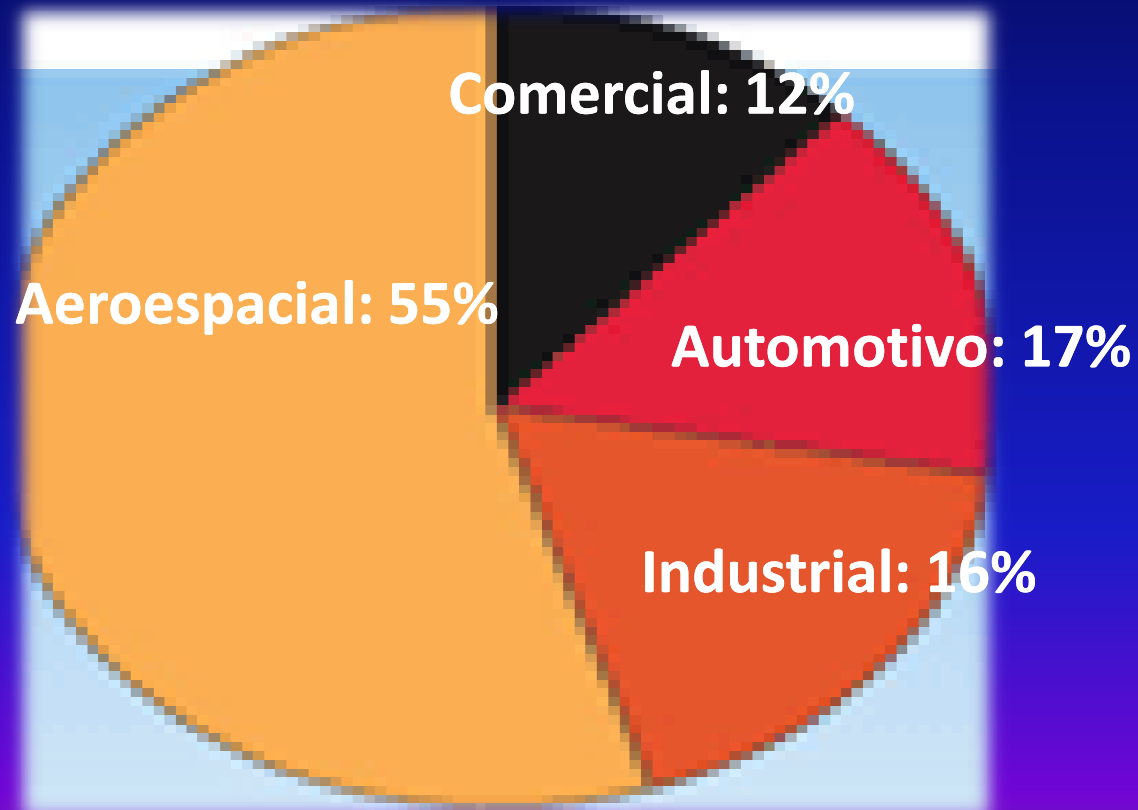
# ○ O tratamento térmico do futuro

## Tecnologia de Vácuo (vantagens):

- Parede fria;
- Ausência de óleo de resfriamento (questão ambiental);
- Ausência de poluentes, tais como vapor de óleo, água após a têmpera;
- Superfície limpa, sem oxidação / descarbonetação;
- Possibilidade de tratamentos termoquímicos tais como carbonitreção, cementação e nitreção;
- Maior temperatura e conseqüentemente maior velocidade de processo para cementação em grandes camadas;
- Equipamento compacto devido ao baixo isolamento térmico (baixa massa térmica);
- Baixo consumo de energia devido a não necessidade de se aquecer um espesso revestimento térmico;
- Ecologicamente amigável;
- Repetitividade sob controle e confiável
- Registro de dados
- Melhorar pela repetitividade e análise das informações produzidas

# ○ O tratamento térmico do futuro

## Participação da Tecnologia a Vácuo na Indústria<sup>[1]</sup>



○ O tratamento térmico do futuro

Futuro

Manutenção à  
Temperatura

# ○ O tratamento térmico do futuro

## Desenvolvimentos:

- Sistemas de monitoramento dispensando o uso de termopares;
- “Softwares” dedicados ao monitoramento e registro para garantir confiança técnica, repetitividade e rastreabilidade;
- Sensores para detectar quaisquer não conformidades na utilização de parâmetros de processos;
- Controles automáticos;
- Facilidade operacional

# ○ O tratamento térmico do futuro

- Desenvolvimento de sensores que fornecem controle do sistema com entradas de propriedades físicas e químicas múltiplas;
- Desenvolvimento de algoritmos para integrar quantitativamente as entradas do sistema;
- Desenvolvimento de sensores em tempo real, caso de sondas de carbono / oxigênio com maior resistência aos depósitos de carbono (fuligem)
- Sensores de temperatura em tempo real que fornecem controle de processos por meio da quantificação de transferência de calor.

○ O tratamento térmico do futuro

Futuro

Resfriamento

## ○ O tratamento térmico do futuro

O “Resfriamento” no tratamento térmico é um dos tópicos de crescente interesse de pesquisas

A etapa de resfriamento é fundamental para garantir pleno atendimento aos objetivos do tratamento térmico. O futuro reservaria muitas novidades nessa área em todas as tecnologias empregadas, visando sempre a redução de custos, e mínimo, ou zero, impacto ambiental.

# ○ O tratamento térmico do futuro

A combinação eficiente de “materiais”, “tecnologia de aquecimento” e “controle” apontaria para meios de resfriamento (têmpera) substituindo meios tradicionais como “solução de água + sal”, “sais fundidos à base de cianetos” e “óleo convencional”.

## Novos meios de resfriamento:

- Nitrogênio: já largamente utilizado;
- Hélio: condutividade térmica 6xs maior que  $N_2$ ;
- Hidrogênio: condutividade térmica 7xs maior que  $N_2$ ;
- Nitrogênio + Hélio;
- Polímeros especiais



# ○ O tratamento térmico do futuro

## Outras considerações:

- Simulação numérica para previsão de resultados de microestruturas, propriedades e falhas (plataforma Android);
- Modelos para "continuous cooling" (CCT) e "continuous heating" (CHT) da transformação de aços
- Formar e ampliar uma base de dados das propriedades térmicas e mecânicas incluindo as temperaturas de tratamento térmico;
- Modelação para previsão de tensão residual e distorção (TTT-2014);
- Modelos de resposta com base na microestrutura, composição da liga, atmosfera, temperatura e tempo;
- "Softwares" para o material e seleção de processos de fácil utilização que inclui métodos de tratamento térmico;
- Bancos de dados de têmpera, propriedades e relações empíricas para a seleção de meio de resfriamento e previsão de desempenho;
- Modelos eletromagnéticos (EM) para a análise de 3-D e bancos de dados para a seleção de material;
- Modelos mecânicos, incluindo bancos de dados de tensão-deformação e dados plasticidade

○ O tratamento térmico do futuro

Futuro

**Novos Materiais**

# ○ O tratamento térmico do futuro

## Área muito ampla. Resumo de pesquisas:

- Desenvolvimento de novos aços para Carbonitretação a altas temperaturas (resistência ao crescimento de grão);
- Desenvolvimento de novos aços para tempos mais rápidos nos processos térmicos por Indução;
- Desenvolvimento de melhor relação "estrutura-propriedades";
- Desenvolvimento de dados quantitativos para melhoria da usinabilidade e formabilidade;
- Desenvolvimento de materiais mais adequados para a tecnologias de aquecimento rápido;
- Nanotecnologias (fabricação molecular) - nova forma do carbono - super absorção de energia (choque)

○ O tratamento térmico do futuro

Futuro

**Meio Ambiente**

# ○O tratamento térmico do futuro

## Objetivo 1:

- Menor consumo de energia: até 80%
- Melhorar o isolamento dos fornos;
- Desenvolvimento de melhores tecnologias de transferência de calor;
- Desenvolvimento de sistemas mais eficientes de resfriamento (*reduzir energia e impacto ambiental*);
- Novos sistemas de recuperação, ou reaproveitamento, do calor;
- Desenvolvimento de sistemas híbridos de aquecimento gás natural /electricidade para minimizar custos;
- Sistemas de controles mais eficientes para prevenção à poluição;
- Meios alternativos de resfriamento ao óleo, CN (banhos de sais) e solventes de limpeza

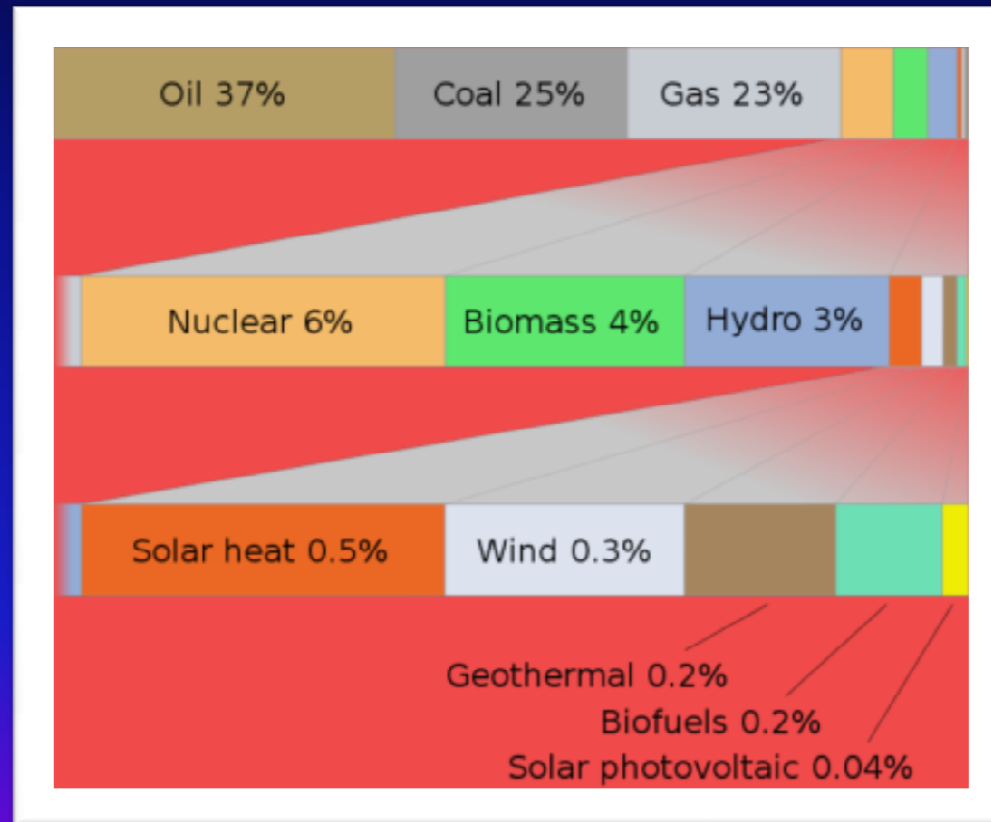
# ○ O tratamento térmico do futuro

## Objetivo 2:

- Alcançar **zero emissão**;
- Reduzir tempo de processos: **50%**
- Reduzir custos de produção: **75%**
- Incrementar a vida útil de fornos: **10 Xs**
- Reduzir preço dos fornos: **50%**

# ○ O tratamento térmico do futuro

## A utilização da energia mundialmente



Fonte: Industrial Heating & FORGE Magazines – by Doug Glenn Publisher

# ○ O tratamento térmico do futuro

## Energias - Alternativas





# ○ O tratamento térmico do futuro

Exemplo de tecnologia alternativa com redução de energia e impacto ambiental:

- “Intensive Quenching” (IQ)
- Processo de resfriamento de alta taxa de extração calor proporcionando “zero deformação” e máxima tensão compressiva;
- Pode ser utilizado em conjunção com processos de endurecimento por indução, ou carbonitreção;
- Meio de resfriamento: polímeros

# ○ O tratamento térmico do futuro

## Obstáculos

- Educação: força de trabalho qualificada;
- Estabilidade da China (opção Índia);
- Mercados Financeiros instáveis;
- Regulamentações governamentais;
- Instabilidade política (Brasil)

Fonte: Industrial Heating & Forge Magazines – by Doug Glenn Publisher

# ○ O tratamento térmico do futuro

## Cooperação

- Mercado Livre;
- Moeda estável / Mercados Econômicos;
- Livre intercâmbio de tecnologias;
- Formação / treinamento - interação
- Harmonização de Normas Internacionais de Segurança / Qualidade (ISO TC244, NFPA 86, EN 746)

Fonte: Industrial Heating & Forge Magazines – by Doug Glenn Publisher

○ O tratamento térmico do futuro

Fim

# ○ O tratamento térmico do futuro

## Referências

HEAT TREATING IN 2020: WHAT ARE THE MOST CRITICAL ISSUES AND WHAT WILL THE FUTURE LOOK LIKE? George E. Totten President International Federation for Heat Treatment and Surface Engineering

**Desconstruir o resente para construir a Ferramentaria do futuro** - por Carlos Sakuramoto, DSc Eng. - contribuição técnica no 12<sup>o</sup> edição do Moldes ABM, agosto de 2014

- [1] - N. Fricker, K.F. Pomfret, and J.D. Waddington, *Commun. 1072, Inst. of Gas Engineering, 44th Annu. Meeting, London, Nov. 1978.*
- [2] - G.E. Totten, G.R. Garsombke, D. Pye, and R.W. Reynoldson, "Heat Treating Equipment", in *Steel Heat Treating Handbook*, eds. G.E. Totten and M.A.H. Howes, 1997, Marcel Dekker, Inc., New York, NY, p. 293-481