

## Breves considerações para os processos Sub-Zero e Criogênico

- Qual tipo de processo criogênico seria correto? Existem três tipos básicos de processo criogênico:
  1. **Processo Sub-Zero:** mistura nitrogênio com “gelo seco” a  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
  2. **Nitrogênio Líquido:** resfriamento a  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
  3. **Gás nitrogênio:** resfriamento de  $-80$  a  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$

### 1. Sub-Zero

A temperatura de processo é de, aproximadamente,  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  para transformar austenita em martensita. A sua eficiência não é tão espetacular quanto o nitrogênio líquido, sendo mais utilizada para peças de pequenas dimensões. Geralmente, o aço da peça permanece em torno de 1 hora por polegada de espessura. Taxa de resfriamento de  $-3\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{minuto}$  ( $-180\text{ }^{\circ}\text{C/h}$ ).

A próxima etapa de um processo sub-zero, ou “dry ice process”, seria inevitavelmente o resfriamento no nitrogênio líquido, ou “liquid process”.

### 2. Nitrogênio Líquido

O aço da peça é resfriado até a temperatura do nitrogênio líquido ( $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e promove em torno de 98,5 a 99,9% a transformação da austenita retida em martensita. Esse processo é mais eficiente que o processo “sub-zero” para transformação da austenita retida e estabilidade dimensional.

Outras considerações <sup>[1]</sup>:

#### 1- O tratamento de criogenia transforma austenita retida e incrementa a dureza.

A resistência ao desgaste pode melhorar, ou não, dependendo da aplicação. Austenita retida adiciona tenacidade à estrutura a qual melhora a resistência ao impacto e fadiga e ambas são propriedades importantes para muitos tipos de aplicações de desgaste. Entretanto, o



incremento da dureza, ou resistência a deformação, frequentemente não resulta em melhoria da resistência ao desgaste para muitas aplicações.

## **2- A austenita retida pode se transformar em martensita sob condições de deformação induzida**

Isso pode conduzir a uma instabilidade dimensional em processo, ou serviço, porque existe um incremento de volume associado com a mudança de fase da austenita para martensita. O problema é particularmente agudo com retífica onde austenita retida e sua propensão em desenvolver trincas são maiores para peças da indústria de engrenagens. Dessa forma, tratamento criogênico é altamente desejável para evitar distorção associada a deformação induzida

## **3- O tratamento criogênico incrementa a distorção**

Se distorção está presente após a têmpera, o tratamento criogênico tornará pior esta distorção. Isso significa que do ponto de vista de um processo criogênico padrão a martempera ou têmpera a vácuo são desejáveis porque ambos tendem a minimizar a distorção.

## **4- A martensita que se forma de austenita retida durante o tratamento criogênico é diferente da matriz martensítica (formada na têmpera)**

O revenimento depois do tratamento criogênico inicia a precipitação preferencial de livres e finos carbonetos "eta" na martensita formada da transformação da austenita retida. Somente carbonetos "epsilon" são precipitados dentro da matriz martensítica.

Carbonetos "eta" incrementam a resistência ao desgaste pela adição de tensão e tenacidade da matriz martensítica. A palavra tenacidade é um importante atributo utilizado para descrever austenita retida e sua contribuição para a resistência ao desgaste de aplicações específicas.

## **5- A interrupção do sistema de resfriamento antes da completa transformação pode estabilizar a austenita retida**

Estabilização reduz a capacidade de transformar a austenita retida para martensita. Portanto, é desejável um desempenho completo do tratamento criogênico.

## **6- Carbonetos melhoram desgaste devido a mudança de microvazios**

Resultados de um estudo mostraram que somente a resistência ao desgaste do tipo abrasivo (*não dureza ou outras medidas de propriedades mecânicas*) foi melhorada pelo tratamento criogênico. Com carbonetos criogenicamente tratado, fluxo plástico pode ter lugar



(pontos de microvazios de concentração de tensões) devido a contração no resfriamento o qual resulta em tensão residual compressiva na superfície de vazios e no retorno para a temperatura ambiente. Essas tensões reduzem efetivamente os defeitos minimizando as tensões localizadas do material e esta situação resultando na redução da resistência ao desgaste abrasivo.

### **7- Melhora a estabilidade dimensional e performance em serviço**

A indústria automotiva para componentes de carros de corrida, peças de retífica e inúmeras outras aplicações, incluindo bolas de golfe, relatam satisfação com a estabilidade dimensional e melhoria na desempenho. Instrumentos musicais melhoram a desempenho do som produzido.

### **8- O processo apresenta algum risco para a peça?**

Sim, há risco de nucleação de trinca. Para o caso da Criogenia (-196 °C) o risco é maior. Isso dependeria da geometria, ou variação de forma, e dimensões da peça.

Referencias:

[1] - "Solar Atmospheres Corporate" - <http://www.solaratm.com>