



Recomendações práticas para o melhor resultado no tratamento térmico

Vendramim, J.C., Eng.MSc*

1. Introdução

O processo térmico é realizado para modificar as propriedades mecânicas, elétricas e magnéticas dos metais. No caso de ligas ferrosas é realizado para conferir dureza e tenacidade.

A etapa de têmpera e revenimentos na rota de construção de uma peça, matriz, molde, ou ferramenta, em aço é de suma importância e deve ser realizada com muita cautela, pois fenômenos não desejáveis como *alterações dimensionais* e, ou, *trincas*, podem ocorrer e precisam ser evitados. Esse manual descreve algumas importantes situações de construção de uma peça em aço que precisariam estar bem contempladas na etapa anterior de processo térmico para não produzir resultados indesejáveis. As etapas importantes seriam:

- 1) Projeto bem dimensionado;
- 2) Seleção correta do aço;
- 3) Construção (usinagem);
- 4) Tratamento térmico

O processo térmico de têmpera é operação de risco (alteração dimensional e/ou trincas) e o melhor resultado depende das condições de construção do aço da peça, seleção correta de parâmetros de processo, equipamentos e monitoramento. As recomendações a seguir buscam não apenas facilitar "*as coisas para si*", mas tornar factível a execução do processo térmico de maneira a se evitar os efeitos indesejáveis.

Importante adiantar que processo térmico, na maioria das vezes, é “objeto” e não “sujeito” de um evento indesejável.

2. Projeto

“**Cantos vivos**” são concentradores de tensão e devem ser evitados, pois o risco de desenvolver trinca na têmpera é alto, ou mesmo em trabalho.

Quando construir os “cantos” a ferramenta deve ser de diâmetro menor, reduzindo o atrito e as forças de corte, como ilustrado na Figura 1.

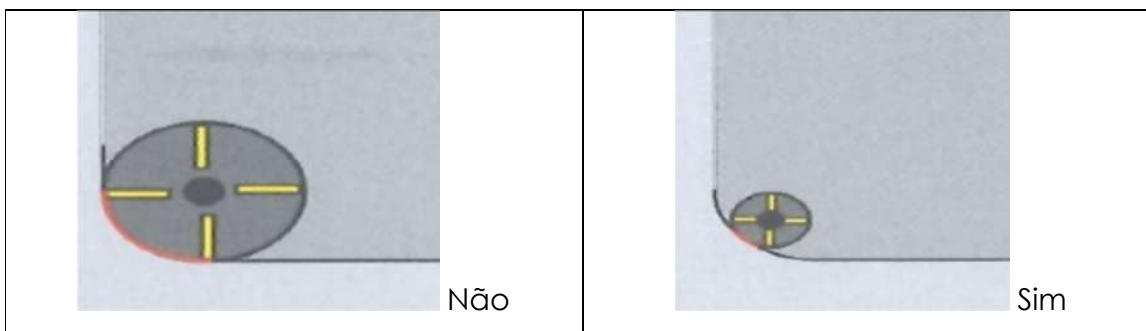


Figura 1 – Ferramenta de construção de “canto”. Fonte: Aços Boehler [1]

“**Furos**” são necessários em ferramentas como moldes, matrizes, placas e devem estar corretamente posicionados para não se tornarem fontes de problemas nos processos térmicos. Furos de paredes finas, próximos demais e mal posicionados representam mudança drástica de secção e podem nuclear trincas durante a têmpera, como ilustra a Figura 2.

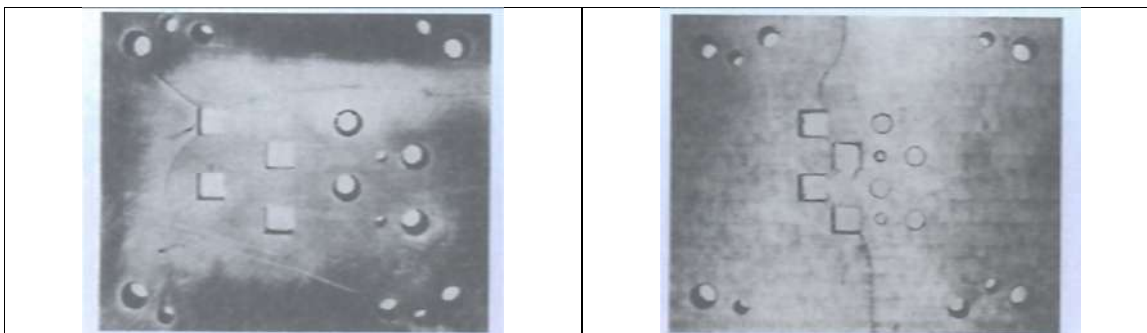


Figura 2 – Trincas em furos mal posicionados e “cantos vivos” Fonte: Aços Boehler



A construção de uma peça, molde, ou matriz, deve procurar evitar “**mudanças drásticas de secção**”, pois isto entre áreas grossas e finas, mesmo com fartos raios de concordância, gera forte concentração de tensão. O tratamento térmico “*sente*” este efeito durante a etapa de resfriamento onde a parte mais fina aquece e resfria mais rápido que a parte mais grossa, podendo gerar diferentes microestruturas e tensões elevadas. Nessas situações, seria interessante avaliar a possibilidade de se temperar um bloco maciço e obter o formato desejado com eletroerosão ou “high speed”.

O projeto de peça, molde, matriz, ou ferramenta, deve contemplar adequadamente as propriedades mecânicas requeridas às condições de utilização.

3. Seleção de Aço

A seleção do aço deve considerar a combinação de propriedades mecânicas para atender ao melhor desempenho. Os fabricantes de aços e literaturas técnicas de metalurgia trazem todas as informações mecânicas, elétricas e magnéticas das ligas ferrosas que seriam necessárias para ajudar na correta seleção destes [2].

Por exemplo, nas operações industriais tipo “*conformação a quente*” (forjamento), “*injeção de alumínio e extrusão de alumínio*”, algumas propriedades mecânicas e físicas informadas pelos respectivos fabricantes de aços devem ser examinadas *de maneira ampla*, sob a ótica de todos os *parâmetros de processo industrial* a que a liga será submetida / utilizada.

A seguir, apresentam-se *algumas propriedades dos aços da classe trabalho a quente* que devem ser consideradas nos projetos:

Tenacidade: define-se como a capacidade do material absorver energia na região plástica (área sob a curva de “*Tensão x Deformação*” no ensaio de Tração). Mede-se a energia necessária para romper o material.



Tenacidade à Fratura: é a resistência à propagação de uma trinca aguda (K_{IC} – tenacidade à fratura em deformação plana). Mede a resistência à fratura do material. Não é uma propriedade simples de se medir. Por exemplo, aço SAE 1045 e SAE4340 de mesma resistência mecânica, mas aço SAE4340 com maior Tenacidade à Fratura.

Fluência: deformação que progride lentamente com o tempo. A velocidade de fluência aumenta com a temperatura e a tensão.

Resistência a Quente: é capacidade do aço em manter as propriedades mecânicas em altas temperaturas. Resistência à redução de dureza de revenido.

Condutividade Térmica: propriedade física que depende da temperatura e composição do material. É a habilidade do material conduzir calor. Material de alta condutividade térmica conduz calor de forma mais rápida que o de baixa condutividade.

Para o caso das aplicações industriais do aço da classe trabalho a quente, a temperatura da superfície do aço é o principal parâmetro que influencia a vida útil do aço devido ao surgimento de tensões térmicas (*gradiente de temperaturas*), causando nucleação de trincas por fadiga térmica. A formação de trincas é retardada em aços com a elevada Tensão de Escoamento, Tenacidade, Ductilidade em altas temperaturas, Microestrutura Homogênea e alta Condutividade Térmica.

O máximo desempenho do aço do molde de injeção de Al, por ex., é resultado de uma somatória de eventos:

- a) Aço adequado;
- b) Bom projeto do molde;
- c) Correto processo de construção (usinagem);
- d) Correto processo térmico de têmpera;
- e) Correto tipo desmoldante;



- f) Boa manutenção (alívio, refrigeração, etc...);
- g) Uniforme liga e temperatura de Alumínio fundido;
- h) Equilíbrio projeto do molde/capacidade máquina injeção;
- i) Tempo de injeção; e
- j) Outros

4. Usinagem

A operação de corte na “usinagem” consiste de cisalhamento e arrancamento de cavaco que se não executada com os devidos cuidados pode deixar marcas profundas (*concentradores de tensões*) e microtrincas que se não propagarem durante a têmpera (*resfriamento*) são fontes para o desenvolvimento, propagação, em serviço.

A construção de peça, molde, matriz, ou ferramenta, requer cuidados especiais para não gerar fontes de concentração de tensões e, ou, nuclear microtrincas que se propagariam durante os processos térmicos, ou mais tarde durante a utilização em trabalho. Todo o conjunto deve ser considerado para a rota de usinagem: rotação, profundidade da remoção, velocidade, refrigeração, fixação da peça, vibração, etc..., para não promover temperaturas exageradas durante o processo e incrementar as tensões. A remoção de material na usinagem deve ser o mais uniforme possível, ambos os lados, por exemplo, “*facas para guilhotina*”, e respeitando os limites de máquina e os parâmetros de processo. A Figura 3 ilustra a situação de remoção de cavacos recomendável se necessários de ambos os lados.

Na operação de **fresamento**, outra importante etapa do processo de remoção de material, deve ser considerado os parâmetros referentes a fixação da peça e de rotação da fresa, como mostrado na Figura 4. Nesse caso, a rotação da fresa deve estar “*concordante*” com a direção da peça, pois esta produz menor atrito e força radial e reduz a geração de calor durante o processo.

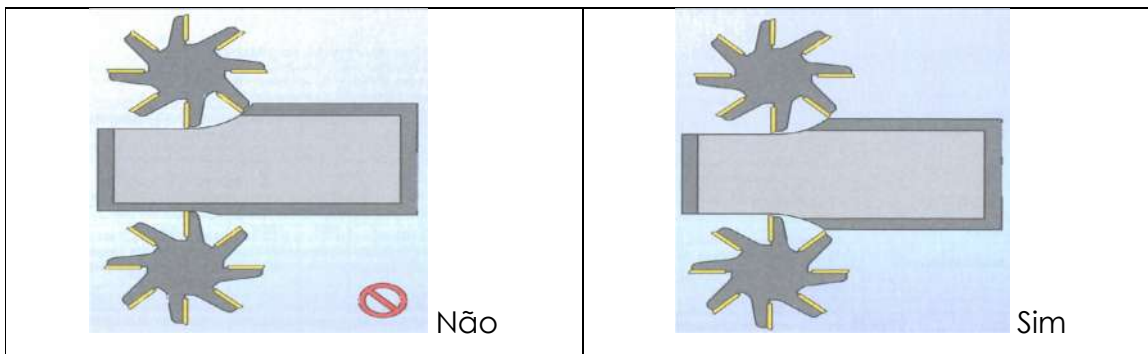


Figura 3 – Situações de usinagem de ambos os lados. Fonte: Aços Boehler

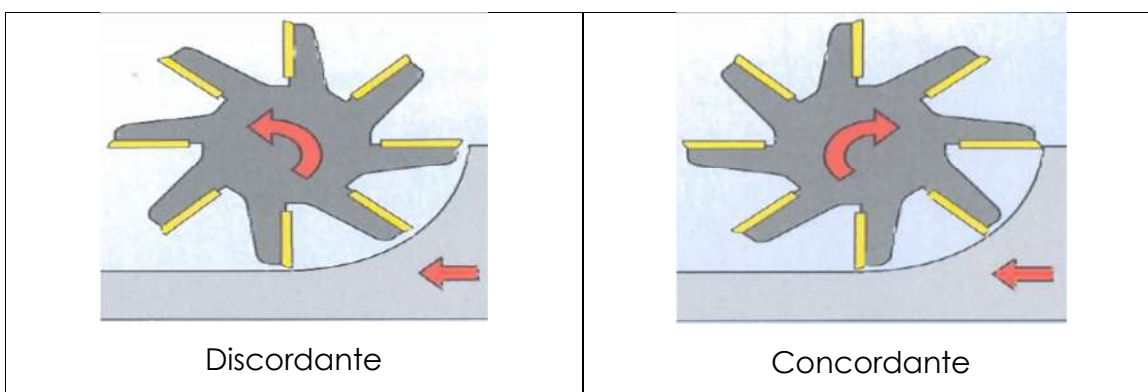


Figura 4 – Direção de fresamento.

Fonte: Aços Boehler

Eletroerosão, processo de remoção de material por aplicação de carga elétrica em um meio líquido dielétrico, porém enquanto uma parte do aço é removida da superfície uma camada deste é produzida como refundido, ou retemperado, formando o que se conhece como “Camada Branca”. Essa camada pode variar de 0,002 a 0,12 mm, extremamente dura, quebradiça que poderia inutilizar a ferramenta. Para reduzir a espessura da “camada branca” deve se respeitar os parâmetros do fabricante da máquina, além de se operar em etapas, ou seja: com uma determinada amperagem (A) para desbaste e outra (menor) para acabamento. A Figura 5 mostra a “camada branca” formada no processo de eletroerosão e a correspondente dureza

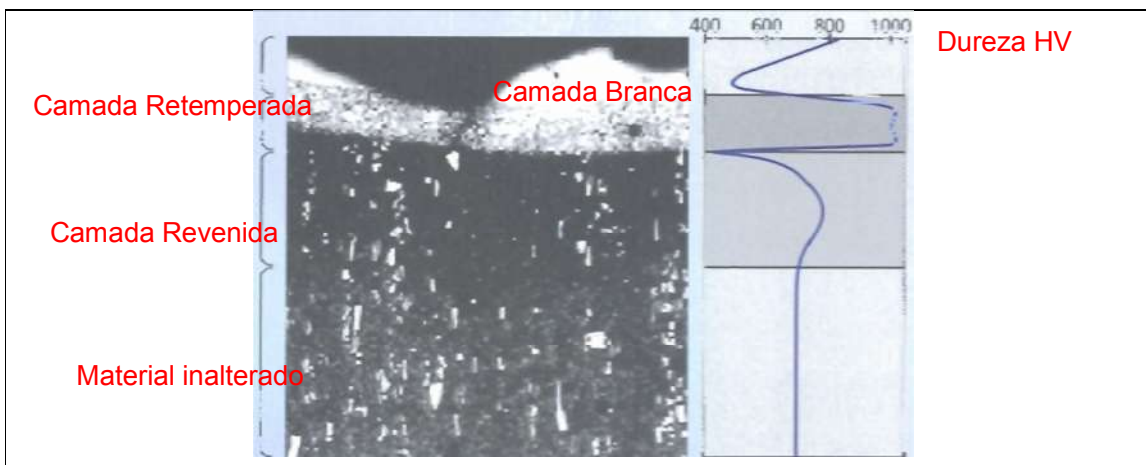


Figura 5 – Camada branca de eletroerosão e dureza. Fonte: Aços Uddeholm [3]

A superfície da peça com eletroerosão deve ser submetida a um **Alívio de Tensão**, posteriormente, sendo mandatório e em temperatura inferior (50 °C) a do último revenimento e, posteriormente, remoção por retífica, ou lixamento / polimento.

Para a eletroerosão em material temperado e revenido, recomenda-se

- Início evitar a formação do arco e remoção excessiva de material;
- Finalizar a regulagem em usinagem fina e baixa corrente / alta frequência;
- Retificar, ou polir, a superfície erodida;
- Aliviar tensão em temperatura inferior ao do último revenimento

5. Processo Térmico

O processo térmico de “têmpera” e “revenimentos” é operação de risco. Os riscos compreendem a geração de “trincas” e, ou, alterações dimensionais. Por conta disso, recomenda-se a utilização de tecnologias que contemplem um adequado monitoramento do aço e, se possível, no caso de peça de grande dimensão recomendável o monitoramento das temperaturas de superfície e núcleo com termopares localizados direto nesta. Importante salientar que não existe aço “*indeformável*”, pois as causas deste fenômeno são físicas e variadas.



Se os cuidados de projeto e construção (usinagem) estão bem atendidos e o processo térmico bem executado em confiável tecnologia o risco de trinca reduz a níveis "próximos de zero", sob a ótica das probabilidades estatísticas, porém as alterações dimensionais podem ocorrer, sendo de dois conhecidos tipos:

- Alterações Volumétricas ("inevitáveis"): intrínseco ao aço, pois causado por mudança de fases da estrutura cristalina. Entretanto, é possível controlar essa alteração dentro de certa tolerância para compensar essas alterações;
- Alterações de Forma, ou Empenamento ("evitáveis"): manifestam-se durante o processo térmico, porém nem sempre este é o principal responsável. As tensões induzidas pelas ferramentas durante a usinagem do aço poderiam produzir o empenamento da peça se superior ao limite de escoamento deste e na maioria das vezes isto não ocorre, mas depois do processo térmico a peça pode apresentar empenamento que inviabiliza a sua utilização. Em vista disso, recomenda-se aplicar o processo de Alívio de Tensão e, principalmente, adotar sobremetal para a execução do processo térmico de têmpera. A literatura técnica recomenda sobremetal superior 0,50 mm na superfície, ou algo em torno de 0,2% para todos os dimensionais [4], dependendo da esbelteza da peça.

Concluindo, o melhor resultado no processo térmico é construído em sinergia com o Projetista, Operadores de Usinagem e Processos Térmicos e Usuário.



Bibliografia

[1] Catálogos Aços Bohler;

[2] Catálogos Aços Uddeholm;

[3] Publicação Isoflama - 014.Haikai 俳句 Propriedades Mecânicas Aços;

[4] Conceitos Tratamentos Térmicos Uddeholm;

[*] – Diretor Técnico Comercial da Isoflama Indústria e Comercio Equip. Ltda, Indaiatuba, SP