

## **Isoflama,** *Tecnologia e arte para produzir o melhor processo térmico*

*“Só fazemos melhor aquilo que repetidamente insistimos em melhorar. A excelência não deve ser uma busca, mas sim um hábito”*

Aristóteles, 321 – 343 AC

A Isoflama produz documentos com informações técnicas sintetizadas em uma única folha de tamanho A4 denominada de “**Haikai Técnico**” com o objetivo de proporcionar informações de interesse técnico e rápida aos profissionais do setor metal mecânico. O nome “**Haikai**” é uma “*licença poética*” adaptada para este propósito Isoflama.

Paulo Franchetti define: “*Haikai não é síntese, no sentido de dizer o máximo com o mínimo de palavras. É antes a arte de, com o mínimo, obter o suficiente*”

***“Viver é super difícil  
o mais fundo  
esta sempre na superfície”***

Paulo Leminski

## Mecanismos de Falhas – Desgaste

O desgaste é a perda de material de um corpo devido a movimentos relativos em sua superfície. A superfície do molde de fundição sob pressão pode apresentar desgaste associado à adesão (solda) e erosão (corrosão).

A erosão é causada pelas altas velocidades com que o metal fundido colide com a superfície da ferramenta. A cavitação do alumínio no estado líquido, o choque de partículas de alumínio solidificado no início de cada ciclo de injeção e o arraste mecânico da superfície do molde devido a uma alta velocidade de injeção que pode chegar a 60 m/s fazem com que a superfície do molde seja lavada para fora com o metal fundido <sup>[1]</sup>.

Adesão e Corrosão da ferramenta se originam pela interação química decorrente da interdifusão de átomos do molde e da liga injetada que resulta na formação de compostos intermetálicos de alumínio, ferro e elementos de liga. Isso produz um agarramento da peça durante a extração <sup>[1]</sup>. Esses fenômenos estão associados a:

- *Temperatura do alumínio muito alta;*
- *Posicionamento (incorreto) dos canais de refrigeração;*
- *Ciclo rápido de injeção;*
- *Desmoldante insuficiente;*
- *Temperatura do preaquecimento do molde muito alta;*
- *Desenho e localização do “gate” de entrada de maneira não favorável ao melhor escoamento do metal líquido;*
- *Acabamento superficial do molde de baixa qualidade*

O desgaste pode estar associado também ao desenvolvimento de trincas térmicas e, geralmente, tem relação com:

- *Temperatura desfavorável da superfície da cavidade;*
- *Posicionamento e dimensão incorreta do canal de refrigeração;*
- *Tipo e temperatura do meio de resfriamento;*
- *Temperatura de preaquecimento do molde;*
- *Velocidade da liga fundida muito elevada na cavidade;*
- *Impacto vertical da liga fundida na cavidade, machos e cantos próximos aos canais de entrada;*
- *Ciclo de injeção rápido, ou curto*

Todos os mecanismos citados acima podem estar presentes sendo um, ou outro, em maior evidência em função do projeto de construção do molde, tipo de material, tratamento térmico, tratamento superficial e condições de injeção de alumínio.

## Tensões na Usinagem

A maneira como será executada a operação de usinagem pode significar maior, ou menor, risco para a operação de têmpera no processo térmico. Selecionar corretamente a direção, sentido e a forma do avanço da ferramenta para cortar o aço são de fundamental importância como mostrado nas figuras abaixo que retratam situações distintas de tensões induzidas na usinagem.

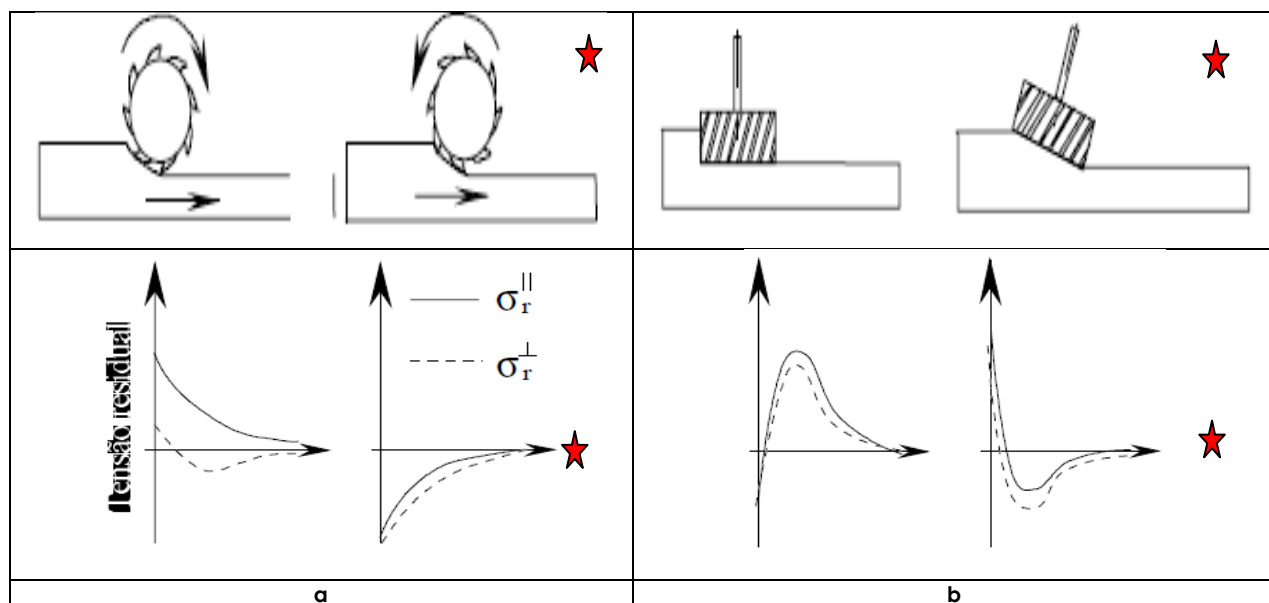


Figura – Distribuição de tensões residuais. a) sentido de rotação da fresa; b) posicionamento da fresa.

Fonte: Universidade de Lisboa, PO

A Figura acima ilustra duas situações de tensões residuais geradas na superfície usinada do aço na forma de Tração e Compressão, considerando:

- a) o sentido de rotação da fresa; e
- b) posicionamento da fresa.

Nessa Figura, as imagens identificadas com “estrelas vermelhas” correspondem às melhores para o “sentido de rotação” e o “posicionamento de fresa” na geração de **tensões residuais compressivas**. Dessa forma, os riscos na operação de têmpera no processo térmico estariam reduzidos com as tensões compressivas induzidas na operação de usinagem

**Projetista, você (também) tem responsabilidade na produção dos melhores resultados no processo térmico de têmpera.**

## Têmpera à Vácuo

O processo térmico de “Têmpera à Vácuo” é conduzido da seguinte maneira:

1. Com as peças dentro do forno e porta fechada, inicia-se a operação de “vácuo” ( $10^{-2}$  mbar). Alcançado o vácuo, faz-se a purga com gás  $N_2$ ;
2. Início de aquecimento com gás nitrogênio até 700 - 750 °C;
3. A partir de +- 750 °C, novo “vácuo” e aquecimento até a Austenitização;
4. À austenitização, depois de determinado intervalo de tempo, purga com gás  $N_2$  sob pressão (**têmpera**) para até uma temperatura pouco acima do ambiente

Processos térmicos possíveis realizar no forno de “Têmpera à Vácuo”

1. Recozimentos: Alívio de Tensão; Pleno; Recristalização;
2. Têmpera; Martempera;
3. Revenimento; Envelhecimento; Brasagem
4. Cementação; Carbonitretação; Nitretação; Nitrocarbonetação;

Aços “**temperáveis**” no processo “Têmpera à Vácuo” (alguns exemplos):

- **Aços Classe Trabalho a Quente:** AISI H11; AISI H12; AISI H13; e marcas: VH13; VHSuper; W302; W303; Orvar Superior ; Dievar; ADC3; VIDAR; E38K, 1.2367; 1.2344; 1.2343; Tenax; DAC; DAC-Magic; etc...
- **Aços Classe Trabalho a Frio:** AISI D2; AISI D3; AISI D6; e marcas: VC131; Sverker 3 e 21; Thyrodur 2990; K100; K110; K340; M310; M333; Calmax; S7; etc...
- **Inoxidáveis Martensíticos:** AISI 420; AISI 410; e marcas M310; M340; M333; Stavax ESR; Thyroplast 2190; etc...
- **Aços Rápidos:** todos os tipos e marcas (*Isoflama não realiza por opção!*)

Aços “**não temperáveis**” no processo “Têmpera à Vácuo”

- Aços Carbono: todos, SAE 1010; SAE 1045; SAE 1090; etc...
- Aços Construção Mecânica: SAE 4140; SAE 4340; SAE 8620; SAE 8640; etc...
- Aços Média Liga: VND; P20; S1; VW3; etc...

**Deformação /Distorção dimensional:** não evitável na “Têmpera à Vácuo”

[Consulte a Isoflama para esclarecimentos adicionais!](#)

## Propriedades Mecânicas dos Aços para Trabalho a Quente

Os **Aços da Classe Trabalho a Quente** são utilizados em operações industriais que alcançam altas temperaturas. Em razão disso precisam apresentar combinadas propriedades mecânicas para atender ao melhor desempenho. Na seleção desses aços para as operações industriais tipo "conformação a quente" (forjamento), "injeção de alumínio e extrusão de alumínio", por exemplo, algumas propriedades mecânicas e físicas informadas pelos respectivos fabricantes de aços devem ser examinadas *holisticamente*, isto é, *não isoladamente*, sob a ótica de todos os *parâmetros de processo industrial* utilizado. A seguir, brevemente, *algumas propriedades dos aços da classe trabalho a quente* que não poderiam "per si" conferir o carimbo de "adequado"/ "não adequado" se examinadas isoladamente, quais sejam:

**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 plástica 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.*

A temperatura da superfície 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 [Haikai 02].

Ainda assim, o máximo desempenho do aço do molde de injeção de Al, por ex., é resultado da somatória de eventos, tais como:

- a) Aço adequado;
- b) Bom projeto do molde;
- c) Correto processo térmico de têmpera;
- d) Correto tipo desmoldante e processo de Nitretação + Oxidação realizado;
- e) Boa manutenção;
- f) Uniforme composição da liga de Al;
- g) Temperatura de Al fundido; Velocidade do Al fundido
- g) Equilíbrio projeto do molde /capacidade máquina injeção;
- h) Tempo de injeção; e parâmetros bem definidos e ajustados para a injeção
- i) Temperatura de preaquecimento do molde (e técnica de preaquecimento)

# "Haikai (俳句)" Técnico

Ano II – 022 - 12

## Para uma boa Nitretação + Oxidação

A condução do processo de **Nitretação** com a formação de *uniforme e adequada morfologia da camada* na superfície do aço das peças, exige:

### 1. Tratamento Térmico anterior realizado na peça:

- Se *têmpera e revenimentos realizados pela Isoflama*, informar N° Certificado; caso contrário, informar os parâmetros de processo utilizados. Essa informação é importante para reduzir riscos como “alteração dimensional” e, ou “deformação” da peça na nitretação.

### 2. Condição da superfície do aço da peça

- Peça na dimensão final (acabada);
- Furos, canais, cavidades e rasgos livres de graxa, silicone e, ou, restos de produtos de injeção como, por exemplo, alumínio, plástico e outros;
- Não tampar furos com: Cobre, Latão, Alumínio, Bronze e, ou, Polímeros;
- Eliminar (por lixamento / polimento) a “camada branca” da eletroerosão;
- Evitar a utilização de óleo refrigerante à base de “fosfatos” na usinagem;
- Evitar peças montadas;
- Não polir a superfície de moldes com pasta de diamante à base de silicone; e, ou, pedras à base de enxofre. Utilizar polimentos mecânicos (lixa d’água, limas)
- Proteger superfícies com óleos protetivos de fácil remoção (desengraxa)

### 3. Processo “Duplex”: “nitretação + revestimento PVD”

- Informar se a superfície do aço receberá revestimento PVD pós nitretação

### 4. Informar na Nota-Fiscal (NF)

- Tipo de Aço e Marca do fabricante;
- Profundidade da Camada, caso isto seja sabido;
- E indicar área de interesse para a formação de camada

### 5. Muito importante informar a aplicação da peça:

“Injeção de Plástico”, “Alumínio”; “Conformação a Frio”; “Quente”, “Extrusão”. Essa informação serve para melhor definição da profundidade e morfologia da camada a ser desenvolvida no processo.

## Informações importantes para a Têmpera a Vácuo

Informações importantes para a condução de uma boa têmpera a vácuo:

### 1. Tipo de Aço e Dureza

- ✓ Tipo de aço (AISI, SAE, DIN) e, se possível, a marca do fabricante.
- ✓ Faixa de dureza (intervalo 2 pontos HRC) desejada para o aço da peça

### 2. Condição do aço na usinagem:

- ✓ Evitar usinagem "grosseira". Não permitir a presença de rebarbas, principalmente nas áreas de alteração de forma e furos;
- ✓ Sobremetal mínimo de 0,2% nos dimensionais "largura, comprimento e espessura", ou superior dependendo da esbelteza da peça.
- ✓ "Cantos-Vivos" são proibidos. Arredondar ao máximo os cantos.
- ✓ Evitar furos de paredes finas juntos a "cantos"; e variação de forma;
- ✓ Evitar peças na dimensão final. Se ocorrer, informar Isoflama
- ✓ Realizar o melhor projeto de usinagem: rota e geometria

**3. Processo térmico adicional de Alívio de Tensão:** este processo pode anteceder a operação de Têmpera (depois do desbaste) se ....:

- ✓ Remoção de material na usinagem superior a 30%;
- ✓ Variação de forma acentuada, ou geometria "delicada";
- ✓ Cantos pouco arredondados, variação de forma / geometria acentuada, usinagem não uniforme,
- ✓ Cortes / rasgos / realizados por eletroerosão; corte a fio; retífica intensa;
- ✓ Recuperação por soldas. Aço com solda tem risco alto de trinca na Têmpera

**4. Operações depois da têmpera e revenimentos:** mandatório informar:

- ✓ Eletroerosão; Corte a Fio; Retífica;
- ✓ Nitretação; Revestimento PVD;

**5. Inspeção de Dureza na peça:**

- ✓ Não é mandatório, mas pode ser importante informar o local preferencial nesta para a realização do ensaio de dureza Rockwell "C"

A operação de **Têmpera** - resfriamento do aço ao ar, água, óleo ou gás nitrogênio sob pressão - é **operação de alto risco**. O risco maior é o desenvolvimento de **trincas**, porém de menor expressão se as situações descritas neste texto estão bem atendidas.

Outro risco é "**deformação**" e, ou, "**alteração dimensional**" que podem ser reduzidos ao mínimo aceitável. O extenso arco que compreende "**fabricante do aço, projeto, usinagem e processo térmico**" responderia pelo melhor resultado final do processo de têmpera e revenimentos do aço. Destarte, todos tem parcela de responsabilidade para se obter melhor resultado.

## Injeção de Alumínio e o bom desempenho do molde

### Necessário para o bom desempenho do Molde de Injeção de Alumínio

- ✓ Temperatura do metal fundido;
- ✓ Dimensão da matriz / capacidade de máquina de injeção;
- ✓ Quantidade peças de produção (ciclo de injeção)

### Propriedades necessárias do aço selecionado:

- Resistência a perda de dureza pela ação do calor;
- Resistência ao limite de escoamento a quente;
- Parâmetros relacionados a Ductilidade e Tenacidade;
- Isotropia;
- Boa Condutibilidade térmica;
- Resistência à corrosão

### Parâmetros importantes para a construção do molde:

- ✓ Determinação da espessura da parede de refrigeração e ponto de gravidade;
- ✓ Posicionamento dos canais de refrigeração;
- ✓ Localização / abertura do "gate" (entrada do alumínio líquido) – influencia no desenvolvimento térmico do molde (erosão, corrosão) devido a um fluxo desfavorável do metal (turbulência);
- ✓ Conjunto fundição-gate / canais de alimentação-bucha;
- ✓ Aspectos constitutivos do molde: Cantos, Contornos, Variação de forma;
- ✓ Conjunto Machos e Gavetas

A transferência de calor na superfície do molde tem fundamental importância. A superfície gera tensões térmicas devido ao gradiente de temperatura e se "uma diferença superficial maior-menor em 20 °C em relação à temperatura ideal de trabalho do molde pode significar incrementar, ou reduzir, a vida útil em 30 a 50%" [fonte Uddeholm]. A temperatura na superfície do molde depende:

- a) Temperatura do metal fundido;
- b) Projeto do molde e espessura da parede e machos;
- c) Temperatura de preaquecimento do molde;
- d) Frequência e tempo de ciclo de injeção;
- e) Condição de enchimento do molde: tempo, velocidade do fundido e pistão e fluxo de enchimento da cavidade;
- f) Conjunto do sistema de fundição ("gate", bucha, alimentador);
- g) Desmoldante (tipo, condição de aplicação)

Todas as etapas de construção de um molde são importantes e precisam de acompanhamento acurado. Para a têmpera – operação de risco (trinca e deformação / alteração dimensional) – é fundamental deixar sobremetal e realizar correta usinagem. O processo térmico tem mínimos custos, sendo **INVESTIMENTO** na construção do molde. O bom tratamento térmico pode representar mais de 50% do desempenho do molde. O restante é projeto, máquina, condição de uso, liga Al, temperatura Al e do molde e manutenção. **Não corra riscos economizando (R\$) nos processos térmicos!!**



## Molde Injeção de Alumínio: melhores rotas de processos térmicos

A Isoflama não é especialista em construção de moldes, pois com atividade concentrada especificamente em modificar as propriedades mecânicas de núcleo e superfície de aço alta liga. Contudo, valeria a pena registrar as técnicas desenvolvidas pela Isoflama no tocante aos processos térmicos e não térmicos para melhorar o desempenho de moldes de injeção de alumínio. Essas melhorias estão brevemente relatadas a seguir:

### 1. Processo Térmico de Têmpera a Vácuo

Adota-se cuidados especiais na montagem de carga, monitoramento das temperaturas de superfície e núcleo e elevadas taxas de resfriamento na etapa de têmpera. Seguem-se também as **recomendações Nadca**

No **Revenimento – Vácuo - Isoflama**, optou-se pela realização em “vácuo”, condução sob atmosfera de nitrogênio e monitoramento com termopares. A adoção de modernos equipamentos e procedimentos térmicos e operacionais padronizados resultou na produção de microestruturas uniformes e à maior profundidade.

Importante ressaltar a adoção de ciclos térmicos “*customizados*”.

### 2. Processo Termoquímico de Nitretação

A adoção do processo termoquímico de **Nitretação Iônica por Plasma** (*forno parede quente*) é uma das mais importantes alterações pelas seguintes razões:

- a) Processo com Controle do Potencial de Nitrogênio e aquecimento uniforme: permitem obter adequadas e homogêneas morfologias de camadas nitretadas;
- b) Camadas nitretadas Sem Camada Branca + Oxidação;
- c) Padronizadas camadas nitretadas de pequenas e homogêneas espessuras (0,020 a 0,060 mm);
- d) Processos anteriores à Nitretação. Essa etapa é importante e responsável na produção de uniforme e homogênea camada nitretada com impacto no bom desempenho da superfície em trabalho.

A Isoflama realizou vários estudos de processos de limpeza para selecionar aquele que melhor produziria os efeitos desejados. Assim, essas operações seriam:

- **Desgaseificação a Vácuo:** *limpeza de superfície e canais de refrigeração realizado em forno a vácuo para eliminar produtos voláteis;*
- **Jateamento por Micropartículas:** *limpeza da superfície com jato de micropartículas “especiais” importadas da Alemanha para limpar, incrementar levemente a rugosidade, melhorar a interação do plasma na nitretação e no escoamento de calor produzido pelo alumínio fundido.*

Pelo exposto aqui e *permanente postura de melhorar continuamente, conforme conceito de excelência do filósofo grego Aristóteles*, vale a pena o investimento na Isoflama para realizar os processos de **Têmpera+Revenimentos a Vácuo**; e

**Nitretação e Oxidação a Plasma**



**ISOFLAMA 10 ANOS DE  
OPERAÇÃO INDUSTRIAL  
EM *07/2016***