

## ISOFLAMA

			
Têmpera e Revenimentos à Vácuo	Reatores de Nitretação a Plasma		Laboratório Metalográfico

**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 informações técnicas sintetizadas para seus clientes com o nome de “Haikai Técnico”.

O nome “Haikai” é uma “licença poética” adaptada para este propósito Isoflama.

*“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”* (Paulo Franchetti).

*“Viver é super difícil  
o mais fundo*

*esta sempre na superfície”*

Paulo Leminski

## Haikai (俳句)" Técnico

## Têmpera à Vácuo

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. **Cavitação** do Al 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 e fazer 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 <sup>[2]</sup> 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.

[1] MITTERER, C. "Application of hard coatings in aluminium die casting soldering, erosion and thermal fatigue behaviour" – Surface and Coatings Technology 124, p.233-239, 2000

[2] Lindow, Horst – Consultor Uddeholm

## Haikai (俳句)" Técnico

## Têmpera à Vácuo

Como acontece, resumidamente, o processo térmico de "Têmpera à Vácuo":

1. Peças dentro do forno e porta fechada, inicia-se a operação de "vácuo" até  $10^{-2}$  mbar. E Alcançado esse nível de vácuo, introduz-se com gás  $N_2$  até pressão pouco acima de 1 atm.;
2. Início de aquecimento com gás nitrogênio até 700 - 750 °C;
3. A partir de +- 750 °C, realizar novo "vácuo" para ordem de  $10^{-2}$  mbar e a partir deste nível seguir com aquecimento até a temperatura de Austenitização;
4. Depois de determinado tempo à temperatura de austenitização, introduz-se gás  $N_2$  sob pressão (**têmpera**) que é mantida até o aço alcançar uma temperatura pouco acima do ambiente.

Processos térmicos possíveis realizar no forno de "Têmpera à Vácuo"

1. Recozimentos: Alívio de Tensão; Pleno; Recristalização; etc...;
2. Têmpera; Martempera;
3. Revenimento; Envelhecimento; Brasagem
4. Cementação; Carbonitreção; Nitreção; 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 / evitável: reduzida na têmpera à vácuo

Distorção / alteração dimensional / inevitável

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

## Haikai (俳句)" Técnico

### 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 e extrusão de alumínio*”, por exemplo, algumas propriedades mecânicas e físicas informadas pelos respectivos fabricantes de aços devem ser examinadas *não isoladamente* e sob a ótica de todos os parâmetros de processo industrial utilizado. Brevemente, descreve-se a seguir 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 a energia necessária para romper o material.

**Tenacidade à Fratura:** *é a resistência à propagação de uma trinca aguda ( $K_{1c}$  – 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.*

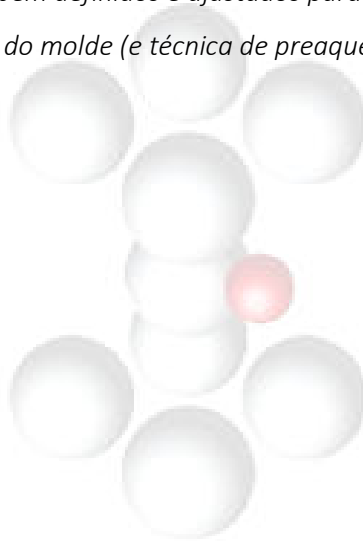
**Fluência:** *deformação plástica que progride lentamente com o tempo. A velocidade de fluência aumenta com a temperatura e a tensão.*

**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 . 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)



ISOFLAMA  
PROCESSOS TÉRMICOS

## Haikai (俳句)" Técnico

## Para uma boa Nitretação

O processo de **Nitretação** forma uma *uniforme e adequada morfologia de "camada nitretada"* na superfície do aço. Para o melhor desempenho do molde de injeção de alumínio nitretado, exige-se:

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

- *Se têmpera e revenimentos realizados pela Isoflama, informar o N° Certificado, caso contrário, informar as temperaturas de revenimentos utilizadas. 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 e realizar Alívio de Tensão na sequencia (imediate);*
- *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 (desengraxe)*

### 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 para Molde de Injeção de Al: 0,030 a 0,060 mm, sem camada branca;*



## 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 0,25% 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 desenvolver 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 em alguns casos pode ser importante informar o local preferencial para a realização do exame de dureza Rockwell “C”

A operação de **Têmpera** tem elevado **risco**, sendo maior para 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.

A Isoflama segue as recomendações de parâmetros térmicos e procedimentos outros para os processos de alívio de tensão e têmpera determinadas pela associação americana de injeção de alumínio: **NADCA**.

## Para o melhor desempenho do molde

O extenso arco “*fabricante do aço, projeto, usinagem e processo térmico*” responde pelo melhor desempenho do molde.

### Propriedades necessárias do aço selecionado:

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

### 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 uma 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, preaquecimento, tipo de liga Al (controle de composição química), temperaturas do Al fundido e do molde e manutenção do molde.



## Melhores rotas de processos térmicos para moldes de injeção Al

Vale 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 corretas taxas de resfriamento na etapa de têmpera (conforme Nadca).

No **Revenimento a Isoflama** utiliza processo “Vácuo”, condução sob atmosfera de nitrogênio e monitoramento com termopares de superfície e núcleo. A adoção de modernos equipamentos e procedimentos térmicos e operacionais padronizados resultou na produção de microestruturas uniformes e à maior profundidade.

Importante ressaltar que Isoflama adota ciclos térmicos “*customizados*” para os aços de moldes de injeção de alumínio.

### **2 Processo Termoquímico de Nitretação a Plasma**

O processo termoquímico de **Nitretação Iônica por Plasma** é uma das mais importantes alterações pelas seguintes razões:

- a) Processo com Controle do Potencial de Nitrogênio e aquecimento uniforme: permite obter adequadas e homogêneas morfologias de camadas nitretadas;
- b) Camadas nitretadas Sem Camada Branca + Oxidação;
- c) Padronizadas camadas nitretadas de pequenas e homogêneas espessuras (0,030 a 0,060 mm);
- d) Processos anteriores à Nitretação. Importante etapa 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 aqueles que melhor produziram os efeitos desejados, quais sejam:

- **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.*





ISOFLAMA

ISOFLAMA, julho 2019, 13 anos de operação industrial