

SELEÇÃO DE AÇOS, TRATAMENTOS TÉRMICOS E TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE PARA MOLDES DE INJEÇÃO DE ALUMÍNIO ASPECTOS PRÁTICOS

Shun Yoshida (2)

Resumo

Este trabalho apresenta um “Estudo de caso”, em que é feita uma análise das causas principais de redução na vida útil de matrizes e buchas de injeção sob pressão de alumínio, processo “câmara fria”.

Detectadas as causas da falha, foi desenvolvido um conjunto de tratamentos térmicos, com o qual obteve-se excelentes resultados em termos de aumento de vida útil.

Parte desses resultados são apresentados neste trabalho, juntamente com a seqüência de tratamento executado.

Palavras chave: fundição sob pressão de alumínio, ferramentas, TENIFER PLUS.

-
- (1) Trabalho a ser apresentado no PRIMEIRO ENCONTRO DE INTEGRANTES DA CADEIA PRODUTIVA DE MOLDES E FERRAMENTAS, Associação Brasileira de Metais, ABM, 28-30/10/2003
 - (2) Engenheiro Metalurgista, EPUSP, Coordenador da Célula de TT de Ferramentas da Brasimet Com. Ind. S/A

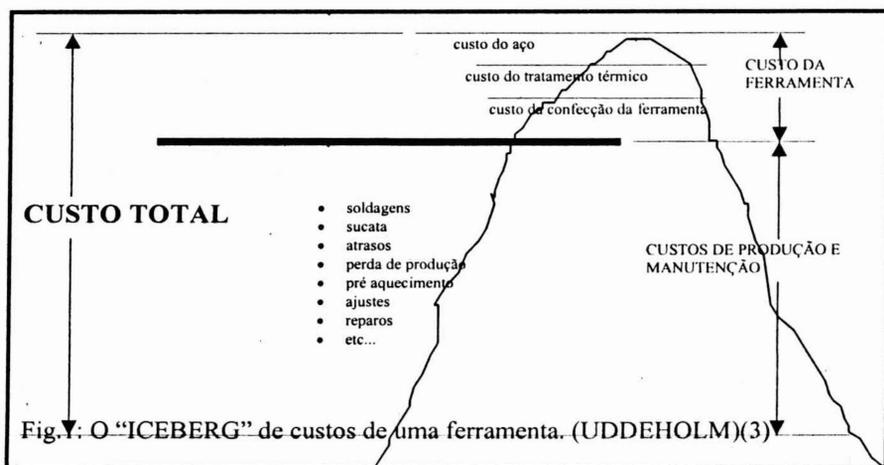
INTRODUÇÃO

O processo de injeção sob pressão de alumínio, “Processo Câmara Fria”, é, dentre os métodos industriais de transformação de metais, um dos mais severos processos, no que se refere à solicitação sobre o ferramental.

Elevados esforços mecânicos, aliados às altas temperaturas envolvidas, e ainda, ao ataque químico produzido pelo alumínio fundido sobre a superfície da ferramenta, sem falar na complexidade geométrica das peças produzidas, constituem extrema solicitação, exigindo ferramentas de alta performance, tanto em vida útil quanto em estabilidade, que permita elevada produção.

Um outro fator que torna o ferramental utilizado por este segmento industrial particularmente importante é o custo, sempre contado em milhares de dólares, substancialmente superior a outros processos igualmente críticos, como, por exemplo, o forjamento a quente.

A figura 1 ilustra alguns dos fatores a serem considerados quando se fala em custo do ferramental.



A ponta visível do "Iceberg" representa os custos da confecção da ferramenta divididos em:

- custo de fabricação (usinagem, projeto) - ~ 85%
- custo da aço ferramenta - ~ 10%
- custo do tratamento térmico - ~ 5%.

A ponta submersa representa os custos durante a utilização da ferramenta.

Note-se a desproporção entre os dois grupos. Um breve raciocínio, em torno da figura leva à conclusão de que pequenas economias feitas na confecção da ferramenta aumentarão o volume da parte submersa, ao extremo de inviabilizar o processo.

Assim, baseado neste raciocínio, talvez fosse mais correto rebatizar a ponta visível do “Iceberg” de “INVESTIMENTO”, ao invés de “CUSTO”, uma vez que pequenas despesas adicionais na confecção da ferramenta levarão, certamente, a drásticas reduções no volume submerso, reduzindo, globalmente, os custos.

Particularmente no que se refere a tratamentos térmicos, note-se que a sua contribuição é extremamente pequena na composição do custo total. Dados tomados em diversas situações práticas mostram que o custo do tratamento térmico situa-se algo em torno de 3,0 a 5,0% do custo de confecção da ferramenta, portanto, uma fração ainda menor, se se considera o custo total.

Esta parcela é desproporcionalmente pequena, face ao enorme efeito causado na vida útil final da ferramenta, incluindo-se aí os benefícios tais como maior número de peças produzidas e menor manutenção, o que justifica investir nessa parcela.

O presente trabalho apresenta uma proposta de tratamento térmico que visa aumentar a vida útil deste tipo de ferramental, desenvolvido à partir da observação e análise sistemática do processo “Câmara Fria” de injeção sob pressão de alumínio.

CAUSAS DE PERDA OU BAIXO RENDIMENTO DE FERRAMENTAS

1. Trincas do tipo catastrófico.

São defeitos, em geral de grande extensão, profundos e que causam vazamentos (nos canais de refrigeração), além de produzir peças defeituosas. A causa principal está na baixa tenacidade do aço ferramenta.

Sua correção, quando possível, não é simples, exigindo remoção da parte afetada, soldagem extensa (o que, por si só, já compromete a vida útil) e/ou montagem de insertos.

2. Trincas Térmicas (“Heat Checking”)

É, de longe, a principal causa de baixo rendimento em ferramentas de injeção de alumínio. Corresponde a uma fina, pouco profunda rede de trincas na superfície da ferramenta. A fig. 2 ilustra uma cavidade totalmente atacada por este defeito.

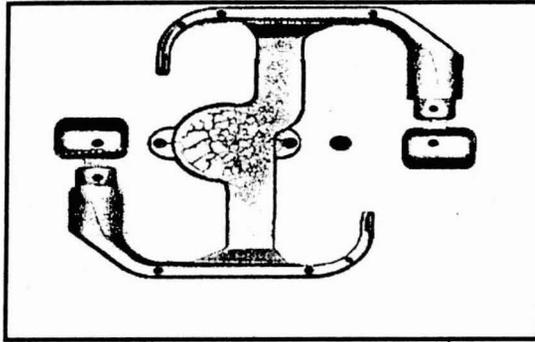


Fig. 2: Trincas térmicas em matriz para injeção de alumínio (UDDEHOLM)⁽³⁾.

Este defeito é produzido devido às tensões de fadiga induzidas por gradiente térmico e pressões de operação. As trincas, em geral menores que 0.03 mm de comprimento, evoluem pelos contornos de grão na superfície da matriz.

Segundo Roberts (7), as diferenças de temperatura entre superfície e interior da ferramenta (à profundidades da ordem de 1.6 mm), podem atingir centenas de °C, num intervalo de tempo muito curto, durante o trabalho.

Estes gradientes térmicos causam expansão não uniforme e as tensões envolvidas podem atingir até 70 kgf/mm²; a repetição dos ciclos aquecimento/resfriamento, agravadas por oxidação superficial, nucleia trincas nos contornos de grãos da superfície da ferramenta.

A propagação destas trincas causa a “separação” do grão do corpo da ferramenta, deixando “pits” na superfície. Estes “pits” atuam como pontos para nucleação de novas trinca.

Com o crescimento destas novas trincas, os “pits” tornam-se progressivamente mais largos e profundos, espalhando-se pela superfície até encontrar os “pits” adjacentes.

Esta sequência de eventos resulta no conhecido aspecto de trincas a quente. A fig. 3 ilustra a sequência através de micrografias.

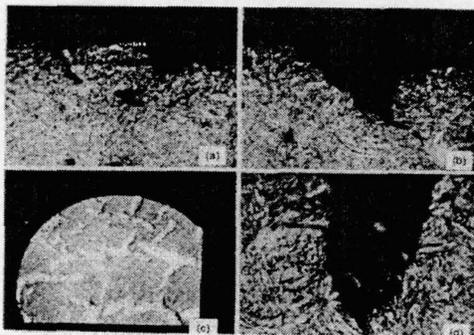


Fig. 3: (a) seção transversal mostrando o estágio inicial da trinca a quente, na qual o grão está quase separado da superfície da ferramenta pela trinca ao longo do contorno de grão (250x, 2% nital);(7)
 (b) "pit" deixado pelo arrancamento de grão (idem);
 (c) aspecto das trincas a quente na superfície de uma matriz de injeção de alumínio. Trincas intercalando-se foram formadas pelo crescimento das trincas individuais (7x, sem ataque);
 (d) seção transversal através da trinca a quente (250x, 2%nital).

3. Erosão

Durante a fundição, sob certas condições, o alumínio líquido pode reagir quimicamente com o aço do molde, causando dissolução e conseqüente erosão da superfície.

As regiões da matriz que sofrem o primeiro contato com o alumínio líquido, portanto à máxima temperatura e máxima velocidade, são as preferencialmente atacadas por este defeito, usualmente causando "agarramento" da peça na extração e ficando, caracteristicamente, manchadas com alumínio.

ANÁLISE DAS CAUSAS E POSSÍVEIS SOLUÇÕES

De um modo geral, as causas listadas estão relacionadas com:

- tipo do aço utilizado na confecção do molde;
- tipo do tratamento térmico;
- tipo do tratamento de superfície;
- projeto;
- utilização do molde.

Tipo do Aço

O aço utilizado para esta aplicação deve conter, principalmente os seguintes requisitos:

- a. retenção das propriedades mecânicas a alta temperatura;
- b. diferença de propriedades entre superfície e núcleo (no bloco), o menor possível;
- c. isotropia de propriedades, ou seja, a menor diferença possível de propriedades entre a direção longitudinal e transversal do bloco;
- d. resistência a trincas térmicas.

Estes requisitos são integralmente cumpridos pelo aço “AISI H13 PREMIUM QUALITY”, conforme especificado pelo NADCA - NORTH AMERICAN DIE CAST ASSOCIATION, na recomendação NADCA 207-90 de Nov/90.

Particularmente nos itens (b) e (c) que, pelas características extremamente severas do processo de injeção, tornam-se mandatórias quanto à vida útil do ferramental, na comparação com o H13 convencional o PREMIUM apresenta enormes diferenças.

A tabela 1 mostra as diferenças entre o H13 Premium e o convencional, no ensaio de impacto, em corpos de prova tirados na transversal e na longitudinal do bloco original.

Tab.1: Resultados de ensaio de impacto, realizado em corpos de prova sem entalhes (7x10x55 mm) (Villares Metals).

(L) - longitudinal; (T) - transversal. Aço convencional = AISI H13;

Premium: VH13 ISOMAX (Villares)

DIREÇÃO DO CORPO DE PROVA	H13 CONVENCIONAL (J)	H13 PREMIUM (J)
L	223.7	360
T	13.8	272.0

Observe-se que, além do Premium apresentar valores substancialmente maiores do que o convencional, as diferenças entre longitudinal e transversal são bem menores.

Esta característica, aliada à maior limpeza do aço, torna-o muito superior, no que se refere à vida útil dos moldes.

Tipo do Tratamento Térmico

Estes moldes são, geralmente, temperados e revenidos para a faixa de 44/46 ou 46/48 HRC.

A têmpera deve ser tal que garanta a homogeneidade de propriedades máxima entre o núcleo e a superfície, além de uma velocidade de resfriamento rápida e suficiente para evitar excessiva precipitação de carbonetos em contorno de grão, o que causaria queda na dureza e tenacidade finais.

O melhor ciclo de tratamento térmico para o aço AISI H13 PREMIUM QUALITY, é como segue, na fig. 4.

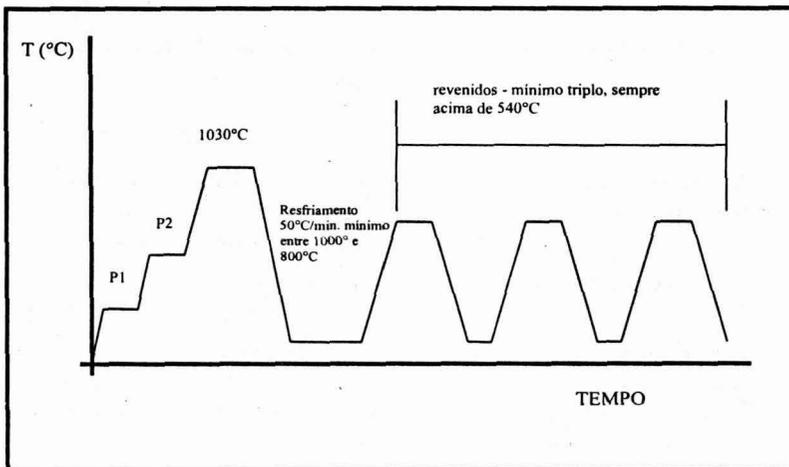


Fig. 4: Ciclo ideal para têmpera do AISI H13 Premium (BRASIMET).

Em termos de equipamento, a têmpera a vácuo apresenta algumas vantagens em relação ao banho de sais ou têmpera em óleo, tais como: menores distorções dimensionais, necessidade de menor sobremetal, homogeneidade de aquecimento/resfriamento, melhor reprodutividade de processo e ausência de manuseio durante o tratamento.

Algumas literaturas questionam a velocidade de resfriamento como insuficiente para garantir boa homogeneidade microestrutural. Este problema não existe para fornos com capacidade de resfriamento com gás sob pressão superior a 3,0 bar.

Tipo de tratamento de superfície

Como visto anteriormente, trincas térmicas são, essencialmente um fenômeno de superfície.

A figura 5 mostra a influência da dureza superficial no surgimento de trincas a quente.

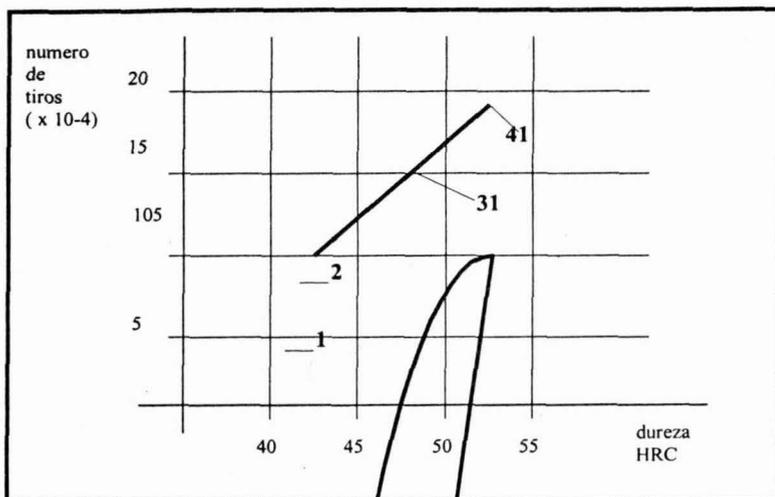


Fig. 5: Influência da dureza no número de tiros na injeção do alumínio.

Aço: W302 ISOBLOC (BOEHLER) (4)

A ferramenta foi perdida por:

- (1) principalmente trincas térmicas;
- (2) trincas térmicas leves e erosão;
- (3) e (4) principalmente erosão.

(fonte: BOEHLER EDELSTAHL GMBH)

Da figura vem que, o surgimento de trincas térmicas é retardada para durezas mais altas.

Entretanto, aumentar a dureza na tempera **NÃO** é solução pois, nesse caso, haveria queda na tenacidade e a ferramenta seria perdida por trinca catastrófica até antes do surgimento das trincas térmicas.

A melhor solução para o caso é aplicar endurecimento superficial, sendo, a melhor opção, a NITRETAÇÃO.

Nitretação consiste num processo termoquímico de enriquecimento da superfície do aço Nitrogênio, visando a formação de camada rica em nitretos, de natureza cerâmica, alta dureza (> 900HV), baixo coeficiente de atrito, e alta resistência a desgaste, além de, por ser o tratamento conduzido a baixa temperatura, alterar muito pouco as dimensões da ferramenta.

Porém, é necessário muito cuidado, pois há diversos tipos de nitretação.

Na nitretação convencional, a gás com ciclo longo, a camada é muito espessa, o que, ao contrário do que se pensa, é extremamente prejudicial.

A figura 6 ilustra, esquematicamente, a comparação de propriedades entre duas peças com camadas, uma fina e outra grossa, submetidas à mesma deformação.

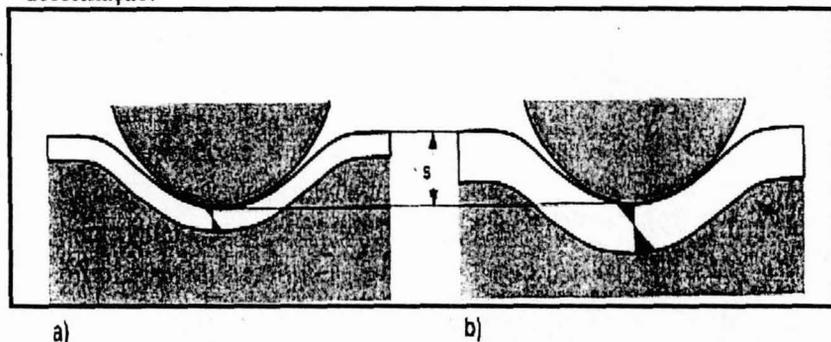


Fig.6: Peças com camadas diferentes submetidas à mesma deflexão (s).(1)

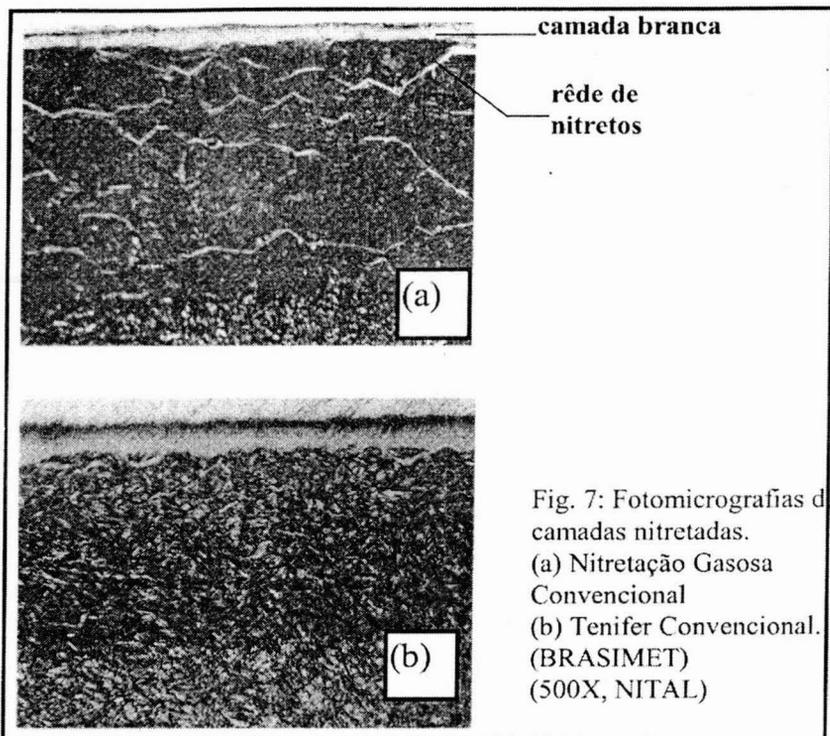
Note-se, na fig. 6(b), o nível de tensões de flexão mais elevado, favorecendo o trincamento.

Além disso, camadas mais espessas geram trincas maiores, favorecendo a propagação destas, mesmo submetidas a esforços pequenos.

O processo TENIFER® é o mais apropriado, pois alia todas as propriedades conferidas pela camada produzida por nitretação gasosa à pequena espessura (< 0.15 mm), tendo superior tenacidade.

Entretanto, recentes pesquisas mostram que o processo TENIFER apresenta um forte inconveniente na aplicação em moldes de injeção de alumínio.

As microestruturas da fig. 7 mostram como é a camada TENIFER e a camada de nitretação gasosa convencional.



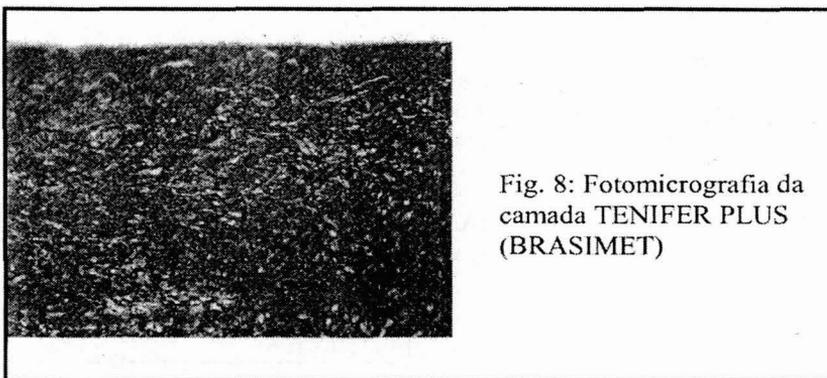
Note nas fotos, uma primeira camada mais clara, chamada camada branca, composta basicamente de nitretos, e também a fase indicada na foto, consistindo numa rêde de nitretos.

Estas fases são extremamente frágeis e ACELERAM o mecanismo de formação de trincas térmicas.

É óbvio, pelas fotos que a nitretação gasosa convencional é TOTALMENTE inadequada, pois estas fases frágeis comparecem em grande quantidade. No Tenifer, o problema não é tão grave, mas, ainda assim, pode comprometer a vida útil.

Foi desenvolvido, então um novo tratamento, visando aproveitar somente a parte boa do Tenifer, eliminando as fases prejudiciais.

Este novo tratamento foi batizado de TENIFER PLUS, por ser uma complementação ao TENIFER, e a microestrutura resultante é ilustrada na fig. 8.



Observe-se a quase total eliminação das fases frágeis.

Testes conduzidos em buchas de injeção, comparando-se a condição, Nitretação Gasosa Convencional X Tenifer Plus, resultaram vida útil tres vezes superior com aplicação do novo tratamento, conforme a fig. 9.

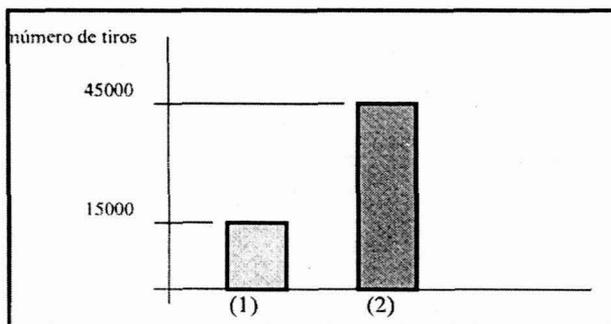


Fig. 9: Resultados de teste comparativo entre buchas de injeção de alumínio tratadas com nitretação convencional (1), e tratadas com TENIFER PLUS (2). (BRASIMET).

A tabela 2 indica as propriedades do TENIFER PLUS, em relação à Nitretação Gasosa Convencional e ao TENIFER.

Tab. 2 : Comparativo de propriedades das nitretações. Aço: VH13-ISOMAX (VILLARES), temperado e revenido a vácuo para 45 HRC. Nitretação gasosa convencional de 90 horas (BRASIMET).

PROCESSO	CAMADA BRANCA (μm)	DUREZA SUPERFICIAL (HV0.2)	CAMADA TOTAL (mm)
Nitretação gasosa convencional	12 ~ 14	927	> 0.30
TENIFER	5 ~ 9	1145 ~ 1283	0.25
TENIFER PLUS	0	1145 ~ 1283	0.25

Projeto

O projeto de uma ferramenta é pré definido pelas exigências de forma e dimensões do produto. Assim, nem sempre é possível projetar o molde de forma a otimizar a vida útil.

Por exemplo, diferenças drásticas de espessura de parede, dentro da cavidade, são extremamente prejudiciais ao molde, mas nem sempre evitáveis. Nestes casos, há que se considerar uma vida útil possivelmente mais curta.

A seguir, listamos uma série de recomendações que, na medida do possível, devem ser seguidas visando maior vida útil. Se integralmente cumpridas, o que, como vimos nem sempre é possível, podemos dizer que, em termos de vida útil, a ferramenta está otimizada.

Tabela 3: Ítens a serem observados, quanto ao projeto do ferramental (UDDEHOLM)⁽²⁾.

ITEM	RECOMENDAÇÕES
Cavidade	<ul style="list-style-type: none"> • evitar grandes variações de massa; • evitar cantos vivos • evitar paredes, machos e insêrtos colocados diretamente à frente do canal de alimentação.
Canais de refrigeração	<ul style="list-style-type: none"> • devem permitir máxima uniformidade da temperatura da cavidade.
Distância da cavidade à superfície do molde	> 50 mm
Relação entre a profundidade total da cavidade e a espessura total do bloco de aço	< 1:3
Distância da cavidade ao canal de refrigeração mais próximo	> 25 mm
Distância da cavidade ao canal de refrigeração mais próximo em cantos	> 50 mm
Raio de concordância mínimo	> 1.0 mm
Distância do canal de alimentação à parede da cavidade	> 50 mm

Utilização do Molde

De nada adiantam pesados investimentos na confecção dos moldes se a utilização for descuidada. A seguir, listamos os principais fatores que, durante a utilização, podem comprometer decisivamente a vida útil da ferramenta.

1. Pré aquecimento

O pré aquecimento do molde é **INDISPENSÁVEL**, devendo-se observar um mínimo de 150°C até em torno de 250 ~300°C para o AISI H13 PREMIUM.

2. Alívio de Tensões intermediários

Alívio de tensões periódico, durante a utilização contribui para retardar o surgimento das trincas térmicas. Temperaturas da ordem de 500°C devem ser aplicadas, por tempo mínimo de 2.0 h., visando reduzir o nível de tensões na superfície do molde. A periodicidade deverá ser definida de acordo com o tipo do ferramental, condições de trabalho, as necessidades de produção e a expectativa de vida total.

3. Paradas prolongadas

Produção intermitente é sempre um forte fator de redução da vida da ferramenta. Na impossibilidade de programação de produção que otimize a vida da ferramenta, recomenda-se NÃO permitir que a ferramenta resfrie abaixo de 150°C.

4. Lubrificantes/Desmoldantes

Desmoldantes à base de água, são os mais adequados em termos de segurança e qualidade. Entretanto, são extremamente prejudiciais quanto à vida útil da ferramenta, pois impõem refrigeração intensa na superfície do molde. Sugerimos cumprir integralmente as recomendações do fabricante do produto utilizado, exigindo que se leve em conta o fator vida útil do molde.

5. Temperatura do Alumínio.

Em hipótese nenhuma a temperatura de fundição poderá ultrapassar os 700°C, sob risco de violenta erosão do molde. É recomendável uma monitoração constante da temperatura do metal líquido.

6. Soldagens.

Frequentemente, pequenos reparos são executados no molde, recorrendo-se à soldagem. Sugerimos seguir as seguintes recomendações:

- remover a camada nitretada (quando houver) mecânicamente;
- pré aquecer (mínimo 330°C);
- não permitir que a temperatura caia abaixo de 330°C;
- máxima temperatura entre passes = 475°C;
- após soldagem, resfriar lentamente (20 ~30°C/h) até 70°C;
- aliviar tensões (500°C por 2 horas mínimo).

CONCLUSÃO

Resumimos, no quadro a seguir, o procedimento que, baseado em experiências práticas, acreditamos ser o mais adequado para a confecção de ferramentas.



FLUXO DE PROCEDIMENTOS PARA EXECUÇÃO DE UMA FERRAMENTA DE INJEÇÃO DE ALUMÍNIO PROCESSO “CÂMARA FRIA” (os quadros ressaltados são opcionais)

A tabela 4 resume as principais causas de perda das ferramentas discutidas, e os fatores que contribuem para que elas ocorram.

Tab. 4: Principais causas de perda de ferramentas e fatores a serem observados.

CAUSA DA PERDA	FATORES A SEREM OBSERVADOS COM ATENÇÃO
Trincas Catastróficas	<ul style="list-style-type: none"> • revisão do projeto (cavidades e refrigeração); • têmpera; • revenido; • aço do molde; • temperatura do molde; • dureza especificada.
Trincas Térmicas	<ul style="list-style-type: none"> • temperatura de injeção; • temperatura do molde; • tratamento térmico superficial; • aço do molde; • revisão do projeto (concentradores de tensão); • rugosidade superficial.
Erosão	<ul style="list-style-type: none"> • temperatura do alumínio; • composição do alumínio; • projeto; • têmpera; • revenido; • tratamento superficial.

BIBLIOGRAFIA

1. YOSHIDA, Shun, OLIVEIRA, Clóvis, VENDRAMIM, J.Carmo, AUMENTO DA VIDA ÚTIL EM MATRIZES DE FORJAMENTO À QUENTE, XV Seminário Nacional de Forjamento, 16-18 Out. 1995 - Porto Alegre, RS.
2. TOOLS FOR DIE CASTING, anais de simpósio, 26-28 Set. 1983, Sunne, Suécia, Swedich Institute for Metals Research, UDDEHOLM.
3. DIE STEELS AND IMPROVED PRODUCTIVITY IN DIE CASTING, informativo UDDEHOLM.
4. BOEHLER SPECIAL STEELS FOR THE DIE CASTING INDUSTRY, informativo técnico BOEHLER EDELSTAHL GMBH.
5. NADCA 207 - 90, Nov. 90, NADCA - NORTH AMERICAN DIE CASTING ASSOCIATION.
6. DORSCH, Carl, RIED, Peter P., EVALUATING THE HEAT TREATMENT OF PREMIUM QUALITY H13 DIE CASTING DIE COMPONENTS, congresso do NADCA, Out 1991, Detroit USA.
7. ROBERTS, George A., CARY, Robert A., TOOL STEELS, ASM, Metal Park, OH, 4ª ed., 1980.

