

PROPRIEDADES FUNDAMENTAIS DE MOLDES DE ALTO DESEMPENHO PARA INJEÇÃO DE ALUMÍNIO*

Gustavo Scarpim¹
Hirohide Kamada²

Resumo

O aumento da demanda industrial é responsável por uma conseqüente evolução no processo de injeção de alumínio sob pressão (Die Casting) para atingir requisitos como; maior complexidade geométrica de peças injetadas, maiores dimensões, cavidades de difícil enchimento, paredes finas, além de requisitos mecânicos e estéticos mais refinados. Assim, as indústrias têm buscado aumentos sensíveis de pressão e velocidade de injeção, sempre aliando a melhor resistência e desempenho das cavidades submetidas às novas condições de processo. A necessidade de aplicações mais agressivas para as cavidades faz com que haja constante evolução de toda cadeia produtiva na fabricação de moldes, passando por diversos processos, entre esses; a usinagem, projetos com soluções complexas de engenharia, refino no processo de tratamentos térmicos e tratamentos de superfície. Aliada a estas necessidades, aços de alto desempenho, fabricados por processos diferenciados, com elevada resistência à fratura, resistência a quente e ao desgaste devem ser selecionados. Este trabalho tem como objetivo apresentar os principais fatores considerados no desenvolvimento de moldes de alto desempenho, a engenharia de materiais envolvida, tendências tecnológicas e soluções técnicas de engenharia para as diferentes variáveis do processo de fundição sob pressão (Die Casting).

Palavras-chave: Fundição sob pressão; Aços ferramenta; Fabricação.

FUNDAMENTAL PROPERTIES OF HIGH PERFORMANCE MOLDS FOR ALUMINUM DIE CASTING

Abstract

The increase in industrial demand is responsible for a consequent evolution in the process of injection of aluminum under pressure (Die Casting) to achieve requirements such as; greater geometric complexity of injected parts, larger dimensions, hard-filled cavities, thin walls, and more refined mechanical and aesthetic requirements. Thus, the industries have searched for sensible increases in pressure and injection speed, always combining the best resistance and performance of the wells submitted to the new process conditions. The need for more aggressive applications for the cavities means that there is a constant evolution of the entire production chain in the manufacture of molds, passing through several processes, among them; machining, designs with complex engineering solutions, refining in the process of heat treatments and surface treatments. Allied to these needs, high performance steels manufactured by differentiated processes with high fracture resistance, hot strength and wear must be selected. This work aims to present the main factors considered in the development of high performance molds, the engineering of materials involved, technological trends and technical engineering solutions for the different variables of the die casting process.

Keywords: Die casting; Tool steels; Manufacturing.

¹ Engenheiro Metalurgista. Engenheiro de Aplicação: Hitachi High-Tech Steel do Brasil Ltda, Engenheiro de Aplicação/Direção TTI- Tratamentos Térmicos Industriais Ltda.

² Consultor e Engenheiro de Aplicação: Hitachi High-Tech Steel do Brasil Ltda

1 INTRODUÇÃO

A indústria de fundição de alumínio sob pressão tem se adaptado a produções de maior escala, bem como a fabricação e elaboração de processos que atendam as mais diferentes geometrias e tamanhos de peças em alumínio com propriedades mecânicas e estética cada vez mais exigentes. Esta técnica de fundição de alumínio utiliza moldes construídos em aços para “trabalho a quente” e busca compreender a melhor relação entre as propriedades dos aços utilizados para o molde e a capacidade de atender a uma vida útil adequada para a elevada quantidade de peças injetadas com acabamento condizente com especificações do projeto do fundido.

O fenômeno de fadiga térmica associado ao desgaste da superfície devido a ação física e química entre o aço e alumínio, causam a degradação da área de trabalho do molde em forma de erosão ou trinca, que aumentam com o decorrer do uso do ferramental. Estas por sua vez aparecem na superfície do fundido, reduzindo a qualidade estética, bem como a produtividade do molde em trabalho. Este tipo de problema está relacionado a combinação cíclica de variações térmicas e pressão durante o trabalho da ferramenta. Apesar destes problemas não poderem ser evitados, podem ser minimizados eficientemente, através de medidas preventivas como: pré-aquecimento adequado da ferramenta antes da utilização; tratamento térmico e termoquímico adequados para a aplicação; combinação de propriedades como tenacidade e ductilidade para trabalho a quente; aços de qualidade superior; procedimentos de fundição metódicos e controlados, tais como manutenção preventiva, relação entre o molde, projeto e injetora adequados a liga fundida e a geometria da peça final.

O trabalho tem como objetivo, citar as principais propriedades e características de engenharia para o melhor desempenho de moldes para fundição de alumínio sob pressão. Comparando diferenças entre aços standard e com tecnologia superior de fabricação, disponíveis no mercado, citando boas práticas e tratamentos térmico e termoquímicos adequados a aplicação.

2 PROPRIEDADES FUNDAMENTAIS EM MOLDES DE FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO SOB PRESSÃO

O aparecimento prematuro de trincas causadas por fadiga térmica, tratando-se apenas do aço do molde, está relacionado com propriedades de ductilidade que (representa uma medida do grau de deformação plástica que o material suporta antes de ocorrer a ruptura. Um material que experimenta uma deformação plástica muito pequena ou mesmo nenhuma deformação plástica antes de sofrer a ruptura é chamado de frágil. Por outro lado, o material que apresenta uma considerável deformação plástica antes da ruptura é chamado de dúctil. Materiais de engenharia podem fraturar de forma dúctil ou frágil, dependendo de sua capacidade de tolerar deformação plástica.) [1]. A “tenacidade a fratura” é definida como a capacidade de um material de absorver energia até a ruptura. A tenacidade cresce com a área total sob a curva tensão vs. deformação, a qual é uma indicação da quantidade de trabalho por unidade de volume que pode ser realizado no material sem causar a fratura. Na “Mecânica da Fratura” a tenacidade à fratura é definida como sendo a capacidade de o material resistir à propagação de uma trinca, medida pelo trabalho necessário para fazê-la crescer, e.g. em J/m² [2]. Quando o molde está em trabalho, a capacidade de resistir a propagação de trincas já existentes a variação de temperatura e pressão é um fator importante no material do molde.

Vários fatores afetam a vida em fadiga da superfície de um molde durante a aplicação injeção de alumínio sob pressão, dentre os quais estão:

Temperatura de trabalho da ferramenta; velocidade e pressão do alumínio durante o ciclo de injeção; propriedades do aço; temperatura de fusão e variação de temperatura de solidificação do alumínio; geometria e tamanho da peça; capacidade da injetora e projeto estrutural do molde.

O investimento em tecnologias de fundição, conformação e redução de impurezas no aço é constante em materiais de alta tecnologia, e pode ser observado na Figura 1, o incremento de propriedades, com a quantidade de trabalho e tecnologia empregado no aço.

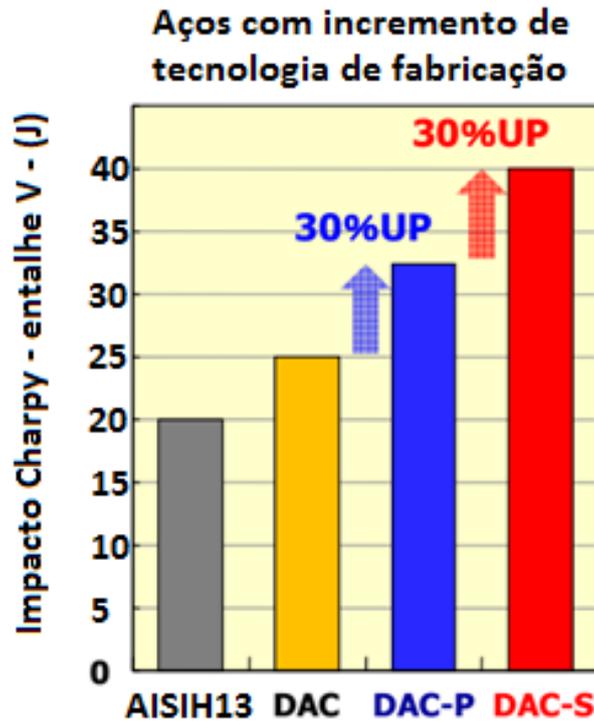


Figura 1. Aços com incremento de tecnologia de fabricação relacionando o teste de impacto Charpy, com entalhe V em corpos de prova temperados e revenidos com 45HRc segundo norma ASTM E23: 12c. [3]

A Figura 1, trata-se de um comparativo entre aços de norma AISI H13, onde a diferença de fabricação é o fator determinante. É possível observar o AISI H13 standard, fabricado por processo convencional, na sequência o aço DAC (AISI H13 produzido pela Hitachi Metals LTDA), onde altera-se somente a severidade de forjamento, o seguinte é o aço DAC-P (AISI H13, produzido pela Hitachi Metals LTDA), cujo foi acrescentado um tratamento térmico de homogeneização em alta temperatura e por último o aço DAC-S (AISI H13, produzido pela Hitachi Metals), fabricado pelo processo ESR (*Electroslag Remelting*). Nota-se um incremento nos valores de impacto Charpy, evidenciando que uma deformação a quente mais severa, aliado a práticas de refino melhoradas, tem o resultado de aumento de resistência ao impacto, indicando aumento de tenacidade.

Com o melhoramento dos processos de fundição e refusão, é possível a redução de fósforo e enxofre, bem como a redução de óxidos e inclusões na microestrutura do aço. Somado aos processos de homogeneização por difusão no estado sólido e forjamento de maior redução de espessura do lingote, o residual

destes elementos indesejáveis e inclusões tornam-se menos influentes no desempenho do aço ferramenta.

Com um procedimento de tratamento térmico bem elaborado, respeitando os tempos e velocidades necessárias de aquecimento e resfriamento, bem como alívio de tensões e todos os ciclos de revenimento, fazem parte do conjunto de boas práticas na construção e definição de projeto de moldes para Injeção de alumínio. As Figuras 2 e 3, apresentam esquematicamente exemplos de ciclo térmico utilizados em aços para trabalho a quente, visando as melhores propriedades com a menor tensão de têmpera.

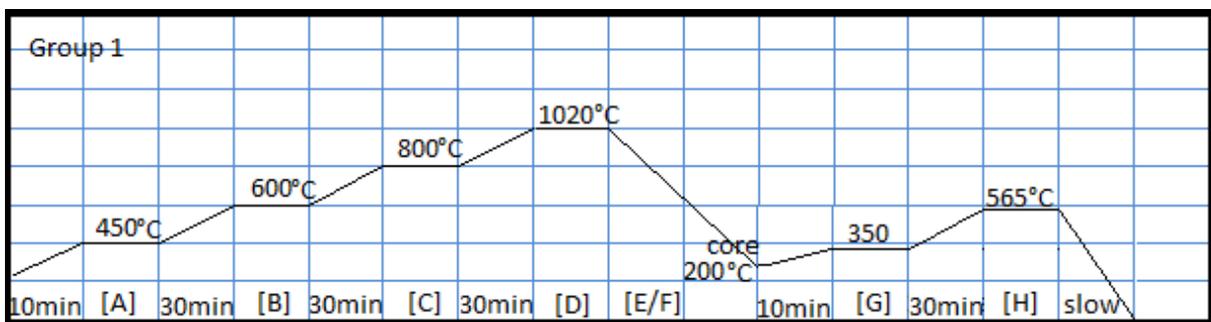


Figura 2. Representação esquemática de ciclo de têmpera para peças de até cinquenta milímetros de espessura, com o primeiro revenimento. Os demais revenimentos devem ser realizados para adequação de Dureza, Resistência Mecânica e Tenacidade. Recomendável mínimo de três ciclos de revenimento. [5]

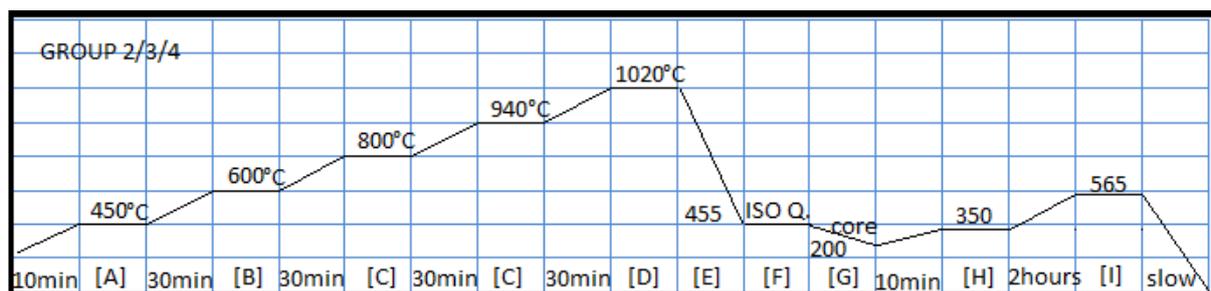


Figura 3. Representação esquemática de ciclo de têmpera para peças de até trezentos milímetros de espessura, com o primeiro revenimento. Os demais revenimentos devem ser realizados para adequação de Dureza, Resistência Mecânica e Tenacidade. Recomendável mínimo de três ciclos de revenimento. [5]

A composição química do aço somado ao tratamento térmico correto, proporcionam ao material a resistência ao revenimento, que nada mais é que a capacidade do material manter a dureza e resistência mecânica após ser submetido em altas temperaturas. A Figura 4 representa esquematicamente a tenacidade vs a resistência ao calor, baseado em aços com composição química diferentes, em caráter comparativo.

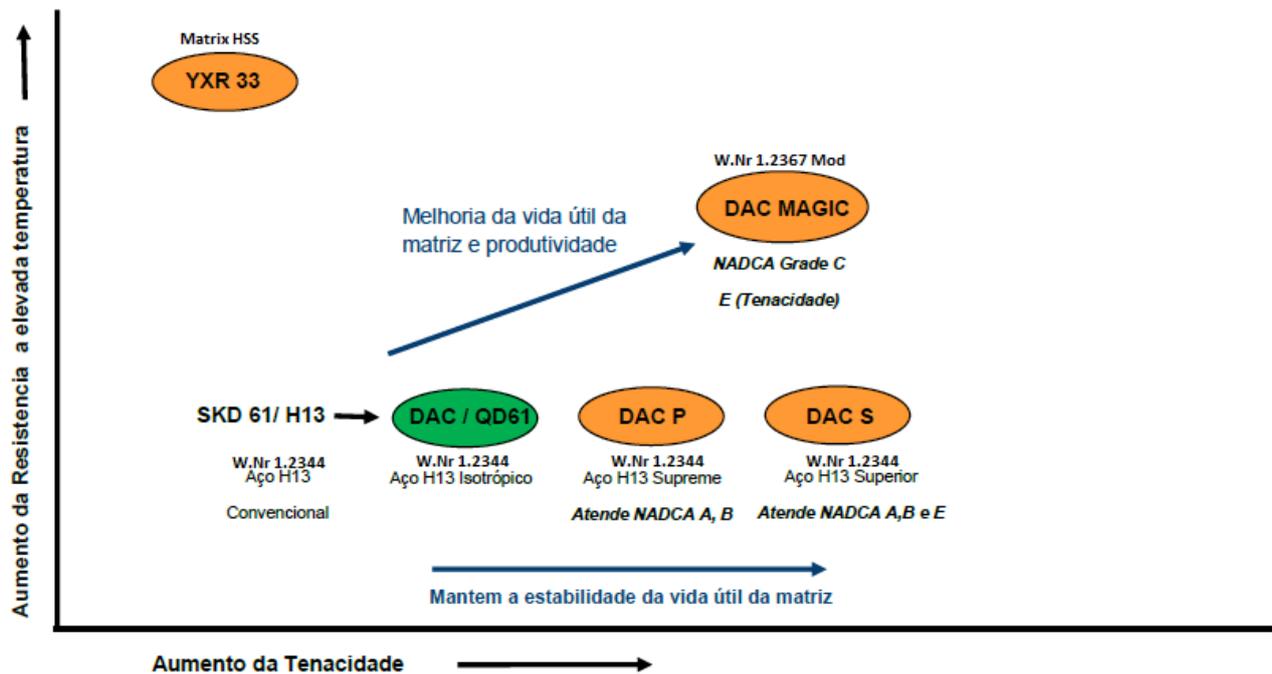
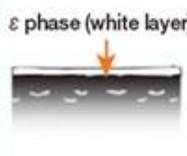
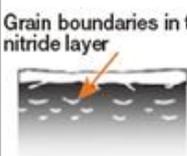
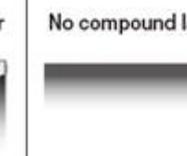


Figura 4. Comparativo esquemático entre aços de diferentes composições químicas e tipos de processamento, relacionando Resistência a Temperatura vs Aumento da Tenacidade. [4]

Com o ataque físico-químico do alumínio em contato com a superfície do molde, ocorre o indesejável, porém inevitável fenômeno de erosão. Uma maneira muito eficiente de reduzir a ação deste fenômeno é a realização do tratamento termoquímico de nitretação seguido de pós oxidação, com o objetivo de aumentar a resistência a fadiga térmica, por meio de ação compressiva pela presença do elemento nitrogênio, difundido adequadamente na superfície do molde, além de sensível ganho na redução do atrito e facilidade da desmoldagem por meio da ação da pós oxidação. É imprescindível que a camada nitretada seja adequada a aplicação de injeção de alumínio, pois em caso de excesso de camada difundida ou a simples presença de camada precipitada de nitretos (camada branca), ocorre o efeito inverso, fragilizando a superfície da ferramenta, aumentando a velocidade de

geração e propagação de trincas térmicas. A Figura 5 apresenta esquematicamente diferentes tipos de camadas nitretadas, onde para a aplicação em cavidades de injeção de alumínio sob pressão é indicado a camada tipo “D”.

Comparison of various nitrided layers

	TYPE A	TYPE B	TYPE C	TYPE D
Nitriding depth and form (In the case of nitrided SKD61)	 0.1mm >1000HV	 0.2mm >1000HV	 0.2mm >1000HV	 0.02-0.06mm 600-800HV
Heat crack resistance	B	C	C	A
Flaking resistance of the nitrided layer	B	C	C	A
Melting Resistance	B	B	A	C
Type of Nitriding	General nitriding	Deep nitriding	Sulfurizing and nitriding	Shallow nitriding

Excellent "A" → Good "B" → Ordinary "C"

Figura 5. Comparativo esquemático de tipos de camadas nitretadas em aços para trabalho a quente. [5]

No momento em que o alumínio fundido entra em contato com a superfície do molde, é necessário que haja eficiente troca térmica entre a superfície do molde em aço para com os canais de refrigeração adequadamente distribuídos. Portanto um fator que influencia diretamente a troca térmica, e conseqüentemente a diminuição de trincas por fadiga térmica é o coeficiente de transmissão de calor, que quanto maior for, maior será a eficiência de troca de calor entre a superfície com o restante do molde, reduzindo a variação de temperatura no aço do molde e por conseqüência as tensões aplicadas ciclicamente. A Figura 6, apresenta a variação a condutividade térmica comparando os aços DAC (AISI H13), DAC MAGIC (1.2367 Mod) e YXR33 (Matriz HSS), ambos fabricados pela Hitachi Metals Ltda.

YSS Grade	Thermal expansion coefficient (x10 ⁻⁴ /°C) Average value from 20°C to each temperature			Thermal conductivity (W/m·K)				Young modulus (GPa)
	200°C	400°C	600°C	20°C	200°C	400°C	600°C	
DAC	11.3	12.2	12.8	24.6	29.1	31.0	32.6	210
DAC-MAGIC	11.3	12.3	13.1	25.7	30.9	34.8	35.8	210
YXR33	11.3	12.2	12.9	25.0	32.4	34.8	35.5	210

Figura 6. Comparativo de condutividade térmica para aços de diferentes composições químicas. [5]

O início de utilização de um molde é igualmente importante para o atingimento de sua potencial vida útil, de maneira que os testes iniciais “Try Out”, sejam realizados com o pré-aquecimento próximo ao ideal de 300°C, e sempre com ao menos uma proteção físico química, de preferência com uma oxidação leve feita em forno ou nitretação seguida de oxidação, de maneira a proteger a superfície contra o ataque do alumínio e prevenção de trincas por fadiga térmica.

3 CONCLUSÃO

É sempre possível melhorar o desempenho e vida útil de moldes para injeção de alumínio sob pressão, para isto é necessário fazer uso de boas práticas de utilização, como pré-aquecimento adequado, refrigeração eficaz, proteções de superfície e tratamento térmico controlado. Cada geometria é única, logo o projeto deve ser sempre analisado com cuidado, de maneira que o equilíbrio das temperaturas em diferentes partes da cavidade seja o mais uniforme possível.

Novos materiais de engenharia melhoram o custo/ benefício das cavidades, tendo em vista a necessidade de adaptação do processo de injeção de alumínio para as mais variadas geometrias e tamanhos de peças fundidas. A escolha do aço ideal, tratamento térmico adequado e tratamento de superfície adequados e controlados, proporcionarão a melhor relação de vida útil e reprodutibilidade do processo, bem como um ciclo de injeção estável e produtivo.

REFERÊNCIAS

- [1] - Tese Doutorado, Medina Jorge, acesso em 25 de julho de 2018, página 28, disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/24982/24982_3.PDF.
- [2] - Tese Doutorado, Medina Jorge, acesso em 25 de julho de 2018, página 29, disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/24982/24982_3.PDF.
- [3] - Catálogo Técnico, YSS Hot Work Tool Steel, Hitachi Metals Ltda, janeiro 2015.
- [4] - Catálogo Técnico, Dac-P, Hitachi High-Tech Steel do Brasil Ltda, agosto de 2018.
- [5] - Catálogo Técnico, YSS Hot Work Tool Steel, Hitachi Metals Ltda, janeiro 2015.