

A INFLUÊNCIA DA DUREZA NA PERFORMANCE DA LIGA AISI H13 EM COMPONENTES PARA MOLDES EM FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO

Clayton Ribeiro Gonçalves, Leandro Pedro da Silva, Marcelo Bergamini de Carvalho, Rodrigo André de Souza Ribeiro, Amir Rivaroli Junior

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba, Fatec Pindamonhangaba, Rodovia Vereador Abel Fabrício Dias, 4010 - Água Preta, 12445-010 – Pindamonhangaba.

comclayton@gmail.com, leandro.silva@autocombrasil.com.br, marcelo.carvalho30@fatec.sp.gov.br, rodrigo.ribeiro18@fatec.sp.gov.br, amir.rivaroli@fatec.sp.gov.br

Resumo

O Brasil vem seguindo uma tendência mundial de aumentar o uso de alumínio em veículos, em componentes como blocos de motor e cabeçotes fabricados pelo processo de fundição sob pressão. Esses produtos são produzidos em moldes metálicos complexos e caros, usando materiais de alta liga para trabalho a quente. Devido aos altos custos de construção e paradas não programadas, houve uma necessidade de desenvolver materiais permitam um maior número de peças injetadas sem interrupções. O objetivo do trabalho foi estudar a alteração da dureza da liga AISI H13 de 44/46 HRC para 50/52 HRC, para se aumentar a produtividade. Esta liga foi utilizada na confecção do postigo, componente removível que faz parte do molde de injeção, para formar características específicas ou detalhes complexos nas peças fundidas. Após o tratamento térmico, não se constatou-se alterações na microestrutura, bem como na sua tenacidade. Esta alteração de dureza aumentou a durabilidade do componente bem como reduziu perdas de produção por manutenção corretiva por peças presa no molde. A vida útil do componente passou de 1810 peças fundidas para 6000 peças fundidas.

Palavras-chave: AISI H13. Fundição sob pressão. Dureza. Alumínio. Performance.

Área do Conhecimento: Engenharias – Engenharia de Materiais e Metalúrgica

Introdução

O aumento do uso do alumínio em aplicações nas indústrias automotivas tem sido uma tendência em todo o mundo. Nos Estados Unidos, o consumo médio de alumínio nos veículos produzidos saltará de 156 kg (previsão 2012) para 250 kg em 2025, representando 16% do total de matérias-primas aplicadas na produção. As indústrias automotivas da comunidade europeia também deverão elevar o uso de alumínio nos automóveis produzidos, saindo dos 140 kg/veículo para 180 kg/veículo até 2020 (ABAL, 2023). O Brasil vem acompanhando essa tendência global de aumento da participação do alumínio em veículos. Atualmente, componentes como bloco de motor, cabeçote e cárteres de óleo são amplamente fabricados pelo processo HPDC (High Pressure Die Casting), fundição por alta pressão. A tabela 1 demonstra a composição de algumas ligas de alumínio utilizadas no processo HPCD.

Tabela 1-Composição químicas das ligas mais utilizadas em HPDC

SAE	Composição Química em (%)									
	Al	Cu	Fe	Si	Mn	Mg	Zn	Ni	Sn	Outros
305	Rest.	1,0 – 1,5	0,60	4,5 – 5,5	0,50	0,10	0,35	0,5	0,15	0,25
A356	Rest.	0,20	0,20	6,5- 7,5	0,10	0,25 – 0,45	0,10	----	---	0,15
A380	Rest.	3,0 – 4,0	1,30	7,5 – 9,5	0,50	0,10	3,0	0,5	0,35	0,50

Fonte: ASM Handbook,1990.

Nas fundições sob pressão como High Pressure Die Casting (HPDC), os moldes de injeção são normalmente produzidos no aço AISI H13, para poder suportar as variações de temperaturas que ocorrem no processo (Marchioli, 2021). Os aços utilizados sofrem um grau acentuado de desgaste,

devido principalmente as severas condições de trabalho, altas pressões durante a injeção, altas temperaturas, grande ciclagem térmica e alta velocidade do fluxo do metal fundido (Parucker, 2023). Uma das peças que sofrem grande desgaste é o posticho, que pode ser abordado como uma peça removível do molde, usada para formar cavidades ou reentrâncias na peça final (Casaes, 2022). É geralmente mencionado como um ferramental crucial na geometria do molde, especialmente para criar detalhes complexos ou áreas com difícil acesso no processo de fundição.

Os altos custos com a construção desse ferramental e paradas de produção devido a manutenção do molde durante o ciclo produtivo, exige a necessidade de desenvolver materiais e tratamentos térmicos, que possibilitem um maior número de peças injetadas e acréscimo de vida útil do ferramental, sem interromper a produção por manutenção corretiva ou comprometer a qualidade do produto final. A figura 1 mostra o exemplo de um molde utilizado em fundição sob pressão e figura 2 mostra um posticho desgastado por erosão prematura.

Figura 1 – Exemplo de molde de injeção sob pressão. Figura 2 - Posticho com erosão prematura



Fonte: Os Autores, 2024



Fonte: Os Autores, 2024

Os parâmetros de processo em fundição sob pressão são críticos para a qualidade das peças e dos ferramentais produzidos, principalmente os postichos. A auditoria regular desses parâmetros é essencial para garantir a conformidade com as especificações e a consistência na produção (NADCA, 2024).

Metodologia

A ideia principal do trabalho foi avaliar o aumento da durabilidade do posticho, componente utilizado na indústria de fundição sob pressão, construído em liga AISI H13, e diminuir os custos de perda de produção por troca de componentes, extremamente importante, na fundição sob pressão.

Para diminuir os custos e aumentar produtividade foi alterado a faixa de dureza após tratamento térmico para uma faixa mais elevada, saindo de 44-46HRC para 50-52HRC. Sabe-se que este material é tratado para utilização, mais a dureza empregada varia de acordo com a aplicação.

Com a alteração de dureza foi realizado testes comparativos deste componente com faixa mais elevada e verificado a perda de produção para troca do posticho. Buscou-se reduzir as paradas de máquinas para interações para troca desse ferramental, bem como as trocas prematura, fazendo com que fosse capaz de se produzir com o mínimo de interrupções por manutenções corretivas.

Este componente apresenta excesso de erosões e agarramento, durante a produção, quando confeccionado em liga SAE H13, temperado e revenido em forno a vácuo, com dureza estipulada em projeto de 44-46 HRC e tratamento superficial de nitretação a PVD para se aumentar a resistência ao desgaste. A figura 2 mostra o modelo de posticho utilizado para testes de performance.

Figura 2 - Posticho confeccionado para o teste



Fonte: Os autores, 2024.

O modelo de postigo foi projetado para ser inserido no molde antes da injeção do metal fundido, para confecção de uma carcaça de direção. Foi produzido para se encaixar nas cavidades do molde, definindo formas específicas da peça que serão formadas ao redor do postigo. Por ser um componente crítico do equipamento de fundição sob pressão, é essencial para a criação de peças fundidas complexas. A escolha do material para a confecção de postigos na fundição sob pressão foi realizada para tentar balancear durabilidade, custo e desempenho específico necessário para a aplicação.

Para realização dos testes foi utilizado uma barra de aço cilíndrica AISI H13 com diâmetro de 70 mm x 700mm de comprimento. Este material foi escolhido por oferecer boa resistência à deformação plástica e boa resistência a quente. A Tabela 2 mostra a composição do postigo utilizado para teste.

Tabela 2 - Composição química do aço AISI H13

Composição Química – Aço AISI H13 (certificado)							
C	Mn	S	Mo	V	Si	P	Cr
0,35	0,34	0,001	2,82	0,57	0,37	0,016	4,94

Fonte: Os Autores, 2024.

O postigo foi pré desbastado em torno CNC, e enviado para o tratamento térmico de têmpera e triplo revenimento em forno a vácuo para se obter dureza entre 50 e 52 HRC. As etapas do tratamento térmico é demonstrado na tabela 3.

Tabela 3 - Etapas do tratamento térmico utilizado na confecção do postigo

Etapa do Tratamento	Temperatura (°C)	Atmosfera
Austenitização	1025 °C	Vácuo
Taxa de Resfriamento	1025 °C / Min	Nitrogênio
1° Revenimento	560 °C x 2 horas	Nitrogênio
2° Revenimento	610 °C x 2 horas	Nitrogênio
3° Revenimento	605 °C x 2 horas	Nitrogênio

Fonte: Os Autores, 2024.

Após a realização da tempera e revenimento, o postigo foi usinado para objetivar as dimensões de projeto para tratamento superficial PVD. Após retorno do tratamento foi realizado a usinagem de acabamento e realização do tratamento superficial PVD. Uma amostra do material que foi tratado junto foram realizados os ensaios de dureza, micrografia e ensaio charpy para verificar se o material poderia ser utilizado e os testes prosseguidos.

Resultados

- a) Após o tratamento de têmpera e revenimento foi realizado a medição de dureza no aço AISI H13. A figura 4 mostra os resultados de dureza encontrados após tratamento térmico.

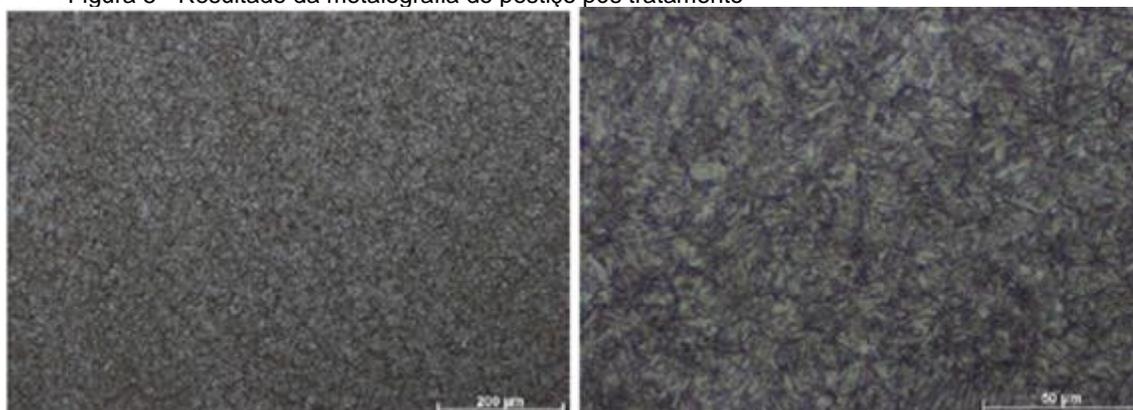
Figura 4 – certificado de dureza do postigo

Propriedades Solicitadas (Request properties)	Propriedades Obtidas (Obtained properties)	Nr. Peças Testadas (N° of measured parts)	Observações (Observation)
Camada (mm): (Layer Thickness)	Camada (mm): (Layer Thickness)	2	
Dureza: 50/52HRC (Hardness)	Dureza: 51HRC (Hardness)		
Durômetro: (Durometer) Cód.: D07 DUROMETRO WOLPERT HT1a (Code) Empresa Certificadora: DUROCONTROL INDUSTRIA E COME (Certified by) Nº Certificado Calibração: CAL-3722.1022.07 (N° of calibration certificate) Data de Calib.: 19/10/22 Próxima Calib.: 19/10/23 (Date of calibration) (Next calibration) IT.: 1,16 (Measurement Uncertainty)		Controle: (Control) Data: 04/09/2023 Hora: 11:18 (Date) (Hour) Controlador: (Controler)	

Fonte: Os Autores, 2024.

b) Após o tratamento térmico de têmpera e revenimento e medição de dureza, foi realizado a análise metalográfica para se verificar a microestrutura do aço AISI H13. A microestrutura foi composta de carbonetos secundários finalmente distribuídos numa matriz de martensita revenida. A figura 5 mostra a micrografia após o tratamento térmico.

Figura 5 - Resultado da metalografia do postigo pós tratamento



Fonte: Os Autores,2024.

c) Após o tratamento térmico e medição de dureza, foi realizado o tratamento superficial (PVD), para melhorar a resistência ao desgaste superficial do postigo. A figura 6 mostra o resultado da medição da camada superficial realizado após o tratamento térmico.

Figura 6 -Certificado de medição da camada depositada no tratamento superficial do postigo.

Certificado de Conformidade				
Contato	Nosso Pedido No.	2352172	No. Cliente	C100805
Jean Pereira	Seu Pedido No.	117535	Referência	quant. divergente (correto)
Tel.	Seu Nota de Entrega	60832		
Nº Fax				
Pos	Descrição	Quantidade Ordenada	Enviada	Mantido em casa
1	BALINIT ALCRONA PRO Advanced Macho de Inj. de Alumínio Cilíndrico 16502/0004 POS 132 Adesão de Revestimento: 1 (HF) Espessura do Revestimento: 3,64 (µm)	3	3	

Fonte: Os Autores,2024.

d) Resultado do ensaio de charpy. A tabela 4 mostra o resultado do ensaio de charpy.

Tabela 4 - Resultado do ensaio de charpy

Resultado de Impacto em Joules (J)	
Impacto 1	19,5
Impacto 2	17,4
Impacto 3	18,2
Impacto 4	17,7
Impacto 5	16,4
Média	17,8

Fonte: Os Autores,2024.

Segundo a NADCA os resultados do ensaio de impacto deve obter 14 J mínimo. Percebe-se pelos valores encontrados no ensaio, que os resultados ficaram dentro do especificado.

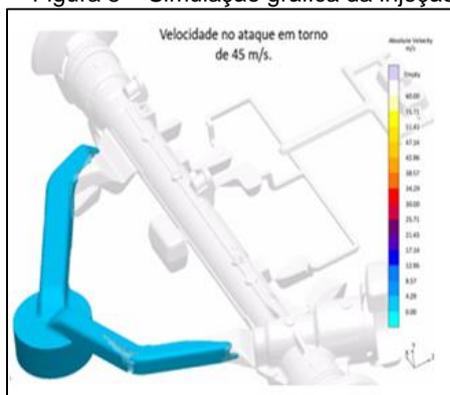
e) Após os testes o postigo foi montado na injetora e verificado a fixação. Após a montagem, foi realizado uma simulação gráfica e realizado a fundição de uma peça teste. As figuras 6, 7 e 8 mostram os resultados da montagem, da simulação e a fundição de peça teste.

Figura 7 – Montagem do postigo na injetora.



Fonte: Os Autores,2024.

Figura 8 – Simulação gráfica da injeção. Figura 9 – Fundição de peça teste.



Fonte: Os Autores,2024.



Fonte: Os Autores,2024.

Discussão

Após interpretação positiva dos resultados de dureza, análise metalográfica, ensaio charpy e verificação de montagem do postigo fabricado com novas especificações, foi realizado a simulação gráfica para se verificar se não haveria problema de montagem e injeção do metal líquido. Como todos estes resultados se apresentaram satisfatórios, realizou-se a fundição de uma peça teste onde pode-se perceber que o projeto estava adequado para continuidade dos testes, não apresentando defeitos, nem irregularidades.

Após o resultado de dureza mais alto, conforme planejado e com a peça não apresentando problemas na injeção, buscou-se o aumento da produtividade e redução de paradas desnecessárias para trocas do postigo. Pode-se dar início aos testes de maneira contínua sem se preocupar com possíveis erros no novo projeto e fabricação. Produziu-se o máximo possível de peças fundidas com o postigo desenvolvido, buscou-se o máximo desempenho em campanha de produção. Após a campanha de produção em teste, conseguiu-se um aumento significativo de performance do postigo desenvolvido, chegando-se a um número de 6000 ciclos de injeções com as mudanças realizadas contra um número de 1800 injeções antes das modificações.

Conclusão

Com a alteração da dureza do postigo de 44-46 HRC para 50-52 HRC, conforme habitualmente é produzido, não houve mudanças significativas na microestrutura do material pós tempera, confirmando que a mudança poderia ser viável.

A dureza maior, possibilitou diminuir e evitar a erosão prematura na superfície do postigo devido a velocidade de preenchimento elevado do processo, e com isso reduzir as paradas de máquinas por peças presas.

A alteração da dureza do componente, possibilitou uma melhor performance do produto em campanha, superando o objetivo inicial de 1810 ciclos sem evidências de erosões.

Após os testes, a vida útil do componente chegou a um número extremamente desafiador, 6.000 ciclos de injeções, com estimativas mais positivas, pois o equipamento deixou de operar por troca da peça fundida.

Considerou-se positiva a modificação na peça teste, liberando a execução de novos projetos em peças que utilizam postigos com a nova dureza alcançada.

Referências

ABAL – Associação Brasileira do Alumínio, <https://abal.org.br/aplicacoes/automotivo-e-transportes/automoveis/>, Acesso em 20/05/2024.

Casaes, G. A. Análise da simulação CAE de uma peça fabricada pelo processo de injeção de alumínio sob pressão, UFSC, TCC, Joinville, Engenharia Automotiva, 2022.

Marchioli, C.A. Influência das velocidades das fases de injeção na microestrutura e nas propriedades mecânicas de peças da liga de alumínio SAE 380 fundidas sob pressão, Dissertação de mestrado, IPEN, 2021. São Paulo.

ASM Handbook, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, Vol. 02, ASM International, 1990.

NADCA - North American Die Casting Association, Process Control, <https://www.diecasting.org/>. Acesso em 20/05/2024.

Parucker, M. L. **Caracterização microestrutural e mecânica de aços ferramenta para trabalho a quente utilizados em moldes no processo de fundição sob pressão de ligas de alumínio**, UFSC, TCC, Engenharia de Materiais, Blumenau, 2023.

Agradecimentos

A empresa CIE AUTOCOM, por ter fornecido o material e nos propiciar a realização deste trabalho.