

DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO AÇO PARA MOLDES PLÁSTICOS ¹

Paulo Sérgio Ribeiro ²
Waldemar Alfredo Monteiro ³
Dante da Costa Ribeiro ⁴
Leonardo Gaspar Rocha ⁵

Resumo

Este trabalho é focado na obtenção de uma nova liga de aços para moldes de injeção de polímeros, com algumas das características melhoradas quando comparados aos materiais usualmente utilizados no mercado. Características estas visando uma produtividade maior do molde bem como uma redução no consumo de energia na produção das peças, por conta de um melhoramento da condutividade térmica. No caso de se atingir uma manutenção das características mecânicas, mas obtendo-se ganhos expressivos no quesito da condutividade térmica, já será obtido o objetivo deste trabalho.

Palavras-chave: Molde de injeção; Novo aço; Condutividade térmica.

DEVELOPMENT OF NEW STEEL FOR PLASTICS MOLD

Abstract

This work is focused on reaching a new alloy for steel to produce plastic molds, with a few improved characteristics when comparing with ordinary materials usually used on the market. Those characteristics aim a greater production of the mold as well as a reduction in the consume of energy when producing the parts, in order to have a better thermal conductivity result. In case of reaching a maintenance of the mechanical characteristics but getting considerable profits when the issue is thermal conductivity, the objective of this work will already be gotten.

Key words: Plastic mold; new steel; Thermal Conductivity

¹ *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Diretor Aço especial;*

³ *Prof. Dr.. Universidade Presbiteriana Mackenzie;*

⁴ *Gerente Depto. Eng. de Materiais Aço especial;*

⁵ *Estagiário Aço especial.*

1 INTRODUÇÃO

As ferramentas para moldes de plástico são empregadas nos mais variados ramos industriais e para um diversificado número de polímeros (plásticos) os quais apresentam propriedades diferentes como: transparência, tenacidade, rigidez, elasticidade, resistência ao desgaste, opacidade dentre outras. Estes moldes, denominados de “permanentes”, são mais utilizados no processo de injeção onde o polímero encontra-se, dependendo da sua composição e estrutura, geralmente, entre 135°C e 265°C podendo, em alguns casos, chegar a 350°C. As peças moldadas mais comuns são corpos de eletrodomésticos, de aparelhos eletrônicos, encaixamentos (conexões), componentes para indústria automobilística (como painéis e lanternas) além de utilidades domésticas, entre outros.

Nos processos usuais de injeção o aço utilizado na construção do molde deverá suportar uma pressão de fechamento entre 40 ton e 2.000 ton dependendo da geometria da peça, do número de cavidades (área de injeção) do material a ser injetado e em muitos casos, deverá resistir à ocorrência de riscos em sua superfície polida. Segundo Arno,⁽¹⁾ a tendência é usar-se a força de fechamento do molde como medida da capacidade das injetoras.

Logo após a injeção, ainda durante a extração da peça do molde, é possível que pequenos resíduos de plásticos se localizem nas regiões de fechamento da matriz, o que poderá, durante o fechamento do molde, para início de novo ciclo de injeção, ocasionar o amassamento dessa região. Este fato levaria as peças apresentarem defeitos, em forma de rebarbas, pois o polímero passaria a penetrar nessas lacunas causadas pela deformação provocada no molde.

Portanto, é importante que o aço possua um mínimo de resistência à compressão, para que a vida útil estimada do molde atenda às exigências de mercado.

Costa e Mei⁽²⁾ dizem que outro fator importante é o acabamento do molde, que precisa apresentar um bom polimento. Para tanto, o aço deverá possuir boa isotropia (decorrente da limpeza e homogeneidade obtidas em sua fabricação). Este fator dificulta a usinagem, encarecendo a mão de obra, elevando o custo de energia e de ferramentas necessárias à usinagem para obtenção do molde. A usinagem seria facilitada com a adição de impurezas como o enxofre, por exemplo, o que prejudicaria, na mesma proporção, o polimento, a tenacidade e a resistência do material, também de acordo com Costa e Mei.⁽²⁾

Além desses requisitos o aço precisa apresentar uma condutividade térmica alta, com o objetivo de diminuir o ciclo de injeção, pois o resfriamento da peça plástica, ainda dentro da cavidade do molde, representa aproximadamente 30% do tempo total do processo.

Como há necessidade potencial de reparos, no molde, seja durante o processo de fabricação ou durante sua vida útil, torna-se importante que o aço (contendo carbono equivalente o mais baixo possível) apresente boa soldabilidade, segundo Honeycombe.⁽³⁾

A consciência ecológica atual exige que todos os fatores ligados à economia de energia, ou recursos para fabricação, tenham a mesma relevância, que os ligados ao custo. Nesse particular, a baixa adição de elementos de liga torna-se importantíssima.

Atualmente, os aços mais utilizados, para essa finalidade, são os da família do aço AISI P20, que ganharam mercado há cerca de 60 anos nos EUA e

são derivados de um aço para construção mecânica, conhecido como SAE 4135, de acordo com Costa e Mei.⁽²⁾

A demanda desses produtos, no Brasil, no ano de 2007 girou em torno de 4800 toneladas e em 2008 o seu crescimento foi em torno de 30%.

Este trabalho apresenta o projeto de liga de um novo aço ferramenta com melhoria de custo, usinabilidade, condutividade térmica, procurando-se manter ou diminuir o carbono equivalente, mas que apresente resistência à compressão compatível com a aplicação e a mínima utilização de elementos de liga.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento, em escala laboratorial, de uma nova liga para aplicação em moldes de injeção, foram definidas 4 composições químicas para serem avaliadas neste desenvolvimento, sendo uma composição química base mais 3 variações.

2.1 Obtenção dos Lingotes

Foram produzidos pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) 4 (quatro) lingotes fundidos à vácuo conforme a composição química definida. O quadro 1 apresenta os resultados da análise química realizada dos lingotes. Os elementos em azul foram alterados em relação a materiais utilizados no mercado de injeção para moldes plástico. Na Figura 1 podem ser vistos os lingotes no estado bruto de fusão.

Quadro 1. Composição química dos lingotes.

| Lingote | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Mo | V | Cu | Al | Ti | B | Nb | N2 |
|---------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|------|-------|-------|--------|-------|--------|
| L1 | 0,33 | 0,74 | 0,85 | 0,008 | 0,004 | 1,08 | 0,3 | 0,12 | 0,191 | 0,19 | 0,002 | 0,002 | 0,0003 | 0,002 | 0,0040 |
| L2 | 0,36 | 0,79 | 1,5 | 0,008 | 0,004 | 1,12 | 0,28 | 0,12 | 0,208 | 0,21 | 0,004 | 0,002 | 0,0003 | 0,003 | 0,0038 |
| L3 | 0,39 | 0,83 | 1,48 | 0,007 | 0,004 | 1,13 | 0,26 | 0,45 | 0,209 | 0,19 | 0,006 | 0,003 | 0,0003 | 0,003 | 0,0055 |
| L4 | 0,38 | 0,84 | 1,48 | 0,008 | 0,004 | 1,06 | 0,25 | 0,39 | 0,194 | 0,51 | 0,007 | 0,002 | 0,0003 | 0,003 | 0,0054 |

Fonte: Departamento de engenharia da Aço especial.



Fonte: Departamento de engenharia da Aço especial.

Figura 1. Aspecto dos lingotes em estado bruto de fusão.

2.2 Forjamento

Os lingotes, com seção quadrada de aproximadamente 100 mm, foram forjados na AEP (Aços Especiais Piratini - Gerdau) localizada em Charqueadas – RS, à temperatura padrão do aço DIN 1.2330, obtendo-se barras de seção quadrada de 50 mm.

2.3 Beneficiamento

Após o forjamento, as barras foram beneficiadas para adequação da dureza e da microestrutura. O tratamento térmico foi realizado no laboratório metalúrgico da AEP (Aços Especiais Piratini – Gerdau).

Os parâmetros utilizados estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2. Parâmetros utilizados na têmpera das amostras.

| Amostra | Parâmetros de Têmpera | | | | Parâmetros de revenimento | | |
|---------|-----------------------|------------------|----------------------|--------------|---------------------------|------------------|----------------------|
| | Temperatura | Tempo de Patamar | Meio de Resfriamento | Resfriar até | Temperatura | Tempo de Patamar | Meio de Resfriamento |
| L1 | 870 °C | 30 minutos | Óleo | 150 °C | 620 °C | 120 minutos | Ao ar |
| L2 | 870 °C | 30 minutos | Óleo | 150 °C | 640 °C | 120 minutos | Ao ar |
| L3 | 870 °C | 30 minutos | Óleo | 150 °C | 650 °C | 120 minutos | Ao ar |
| L4 | 870 °C | 30 minutos | Óleo | 150 °C | 640 °C | 120 minutos | Ao ar |

Fonte: AEP (Aços Especiais Piratini – Gerdau)

2.4 Ensaios Realizados

A seguir são apresentados os ensaios realizados para as 4 composições químicas em estudo.

2.4.1 Tração

Os ensaios de tração foram realizados seguindo a norma ASTM E8M, e apresentam os resultados obtidos no ensaio de tração para as quatro composições químicas testadas conforme Quadro 3.

2.4.2 Dureza

Os ensaios de dureza foram realizados seguindo a norma ASTM E45. Todos os corpos-de-prova passaram pelo ensaio de dureza Brinell (HB), como não foi utilizado nenhum tipo de tratamento superficial não se fez necessário extrair durezas na escala Vickers. Vale salientar que os resultados obtidos são uma média de 3 pontos obtidos.

O ensaio em Brinell para este tipo de material, que possui certa resistência mecânica, porém com uma boa variação de microestrutura é o mais indicado, pois a esfera da impressão gera uma média da região resultando em uma dureza, já outras durezas gerariam uma variação muito grande por serem mais suscetíveis à variação da dureza de tais microestruturas.

2.4.3 Impacto

O ensaio de impacto foi realizado seguindo a norma ASTM E23, ensaio de impacto Charpy a temperatura ambiente com corpo de prova V2 mm x 10 mm.

2.4.4 Determinação das propriedades térmicas pelo método Flash

A determinação das propriedades térmicas pelo método do Flash de laser foi realizada pela CDTN (Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear) utilizando seu Laboratório de Medição de Propriedades Termofísicas de Materiais. Este método consiste na aplicação de um flash de energia radiante na face de uma amostra em forma de disco, registrando o transiente de temperatura na face oposta. A difusividade térmica é computada a partir da espessura da amostra e do tempo requerido para o aumento da temperatura na face oposta atingir um dado percentual de valor máximo. O calor específico é calculado a partir da energia absorvida, da diferença máxima de temperatura na face oposta, da espessura e da densidade da amostra. A condutividade térmica é obtida pelo produto da difusividade pelo calor específico e pela densidade do material.

3 RESULTADOS

3.1 Ensaio de Tração, Impacto e Dureza

Quadro 3. Resultados do Ensaio de tração, impacto e de dureza, das ligas em desenvolvimento.

| Lingote | TRAÇÃO | | | | Impacto (KJ/m ²) | Dureza (HB) |
|---------|----------|----------|-----------------|---------------|---------------------------------|----------------|
| | RT (MPa) | RE (MPa) | Alongamento (%) | Estricção (%) | | |
| 1 | 1078 | 933 | 17 | 56 | 28 | 332 |
| | 1075 | 936 | 17 | 56 | 26 | |
| | 1075 | 906 | 17 | 55 | 27 | |
| 2 | 1089 | 994 | 19 | 55 | 46 | 332 |
| | 1090 | 999 | 19 | 55 | 47 | |
| | 1098 | 1015 | 19 | 56 | 48 | |
| 3 | 1214 | 1082 | 17 | 54 | 59 | 360 |
| | 1207 | 1114 | 18 | 51 | 61 | |
| | 1213 | 1115 | 15 | 52 | 63 | |
| 4 | 1242 | 1130 | 17 | 50 | 38 | 369 |
| | 1244 | 1141 | 15 | 48 | 40 | |
| | 1246 | 1133 | 13 | 47 | 41 | |

Fonte: AEP (Aços Especiais Piratini – Gerdau)

Quadro 4. Resultados encontrados em materiais usuais no mercado e utilizados como referência no trabalho.

| Lingote | Escoamento | Resistência | Alongamento | | | Estricção | |
|----------------|------------|-------------|-------------|----|--------|-----------|----|
| | MPa | MPa | Lo (mm) | % | L (mm) | Ø | % |
| Referência (1) | 695 | 955 | 50 | 14 | 56,9 | 7,36 | 46 |
| Referência (2) | 750 | 930 | 50 | 18 | 58,9 | 6,58 | 57 |
| Referência (3) | 800 | 1010 | 50 | 15 | 57,3 | 7,38 | 46 |
| Referência (4) | 905 | 1030 | 50 | 16 | 58,1 | 6,41 | 59 |

Fonte: AEP (Aços Especiais Piratini – Gerdau)

3.2 Condutividade Térmica

Quadro 5. Comparação entre a condutividade térmica.

| Amostra | Difusividade Térmica [x10 ⁶ m ² .s ⁻¹] | Densidade [kg.m ⁻³] | Calor Específico [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹] | Condutividade Térmica [W.m ⁻¹ .K ⁻¹] |
|--------------|---|------------------------------------|--|--|
| Referência 1 | 10 | 7703 | 440 | 34 |
| Referência 2 | 12,7 | 7782 | 477,08 | 47,2 |
| Lingote 1 | 9,5 | 7792 | 573,6 | 42,4 |
| Lingote 2 | 12,6 | 7802 | 453,6 | 44,6 |
| Lingote 3 | 10,5 | 7713 | 556,4 | 45,1 |
| Lingote 4 | 14,1 | 7766 | 335,3 | 36,7 |

Fonte: CDTN (Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear)

1.3 Carbono Equivalente

Os resultados, aplicando-se a fórmula teórica do carbono equivalente, para as ligas em estudo foram os seguintes:

Referência 1: 0,8602%

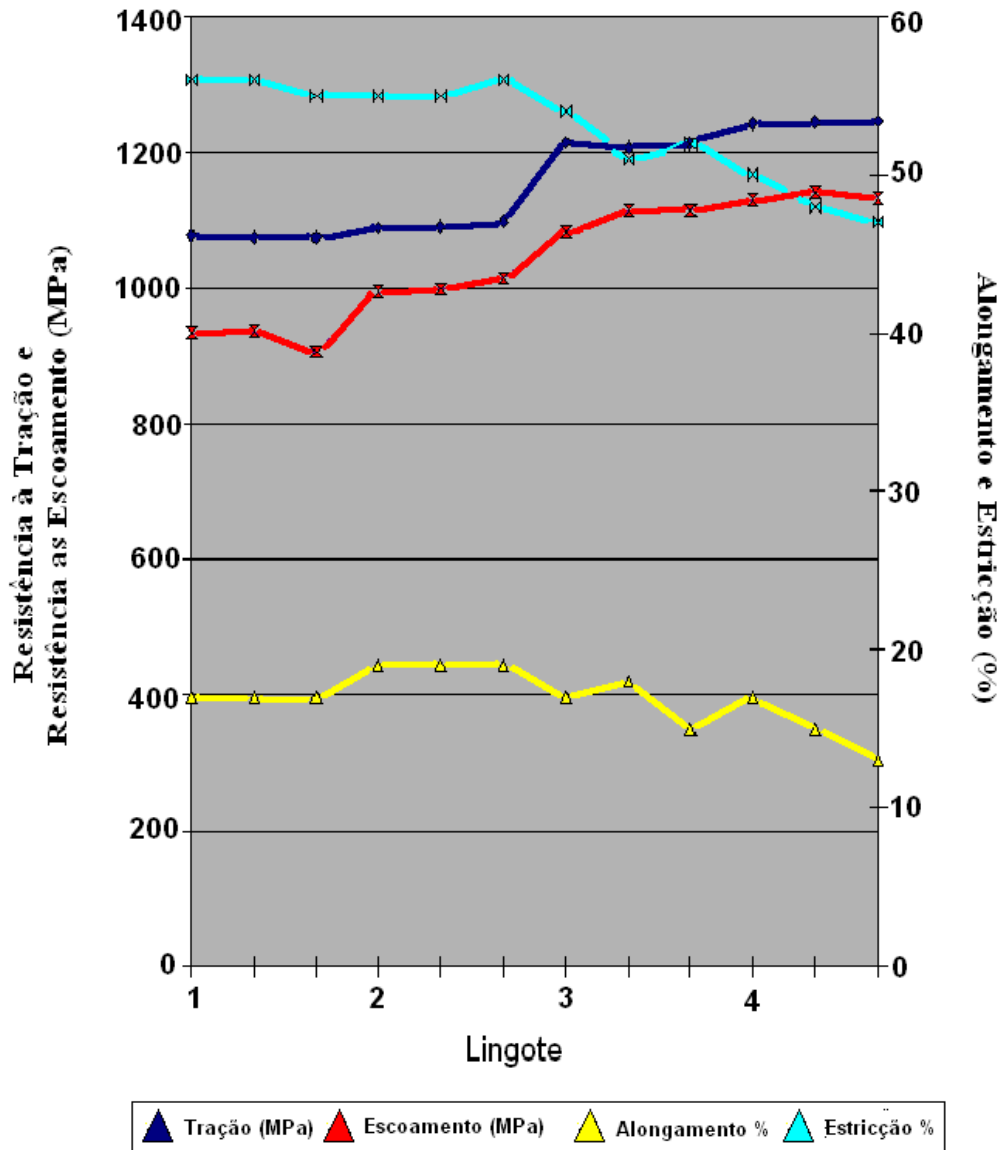
Referência 2: 0,9168%

Desenvolvimento 1: 0,7824%

Desenvolvimento 2: 0,9322%

Desenvolvimento 3: 1,0244%

Desenvolvimento 4: 1,0060%



Fonte: AEP (Aços Especiais Piratini – Gerdau)

Figura 1. Resultados do ensaio de tração para os 4 lingotes.

4 DISCUSSÃO

Com base nos números levantados nos ensaios mecânicos, têm-se embasamento para que algumas considerações sejam feitas.

Primeiramente, através dos ensaios de dureza obtidos algumas considerações importantes podem ser obtidas, dentre elas, como todas as ligas foram tratadas termicamente segundo parâmetros utilizados em outros materiais do mercado, verifica-se que durezas diferentes foram encontradas mesmo tendo utilizado uma pequena variação das temperaturas já imaginando que as ligas poderiam ter respostas diferentes ao tratamento. O ponto importante é que todas as ligas, por conta da dureza obtida (todas acima de 330HB), já estariam dentro da

faixa de resistência mecânica aplicada nesses aços no mercado e estariam aptos a passar por tratamentos termo químicos também muito utilizados como o de nitretação, sem perderem suas resistências mecânicas.

Também por conta das durezas, não seria correto se estabelecer uma comparação do ponto de vista da tenacidade ou dos dados do ensaio de tração entre eles uma vez que para efeito comparativo o correto é de se ter os materiais com a mesma resistência mecânica, o que, por ser uma liga em desenvolvimento e não ter o tratamento térmico já preparado para elas, por não ser o objetivo inicial do trabalho, não seria possível, embora, todos tenham atingido valores compatíveis com os de outros materiais usuais do mercado.

O ponto mais importante do trabalho, que é o ensaio da condutividade térmica, trouxe resultados importantes.

As ligas 1, 2 e 3, apresentaram resultados muito bons comparados com os materiais de referência, sendo que cada um com a sua peculiaridade. No caso da liga 1 o mais interessante é que com uma baixíssima adição de elementos de liga, já foi possível se atingir valores acima dos que se possui como referência e com um valor de carbono equivalente muito baixo, o que teoricamente, aponta a tendência de melhora na soldabilidade do material, ou seja, um prolongamento da vida útil do material uma vez que mesmo em caso de amassamentos ou algum outro problema normal de trabalho de um molde o material tenha um comportamento melhorado em seus reparos, não apresentando zonas de transição térmicas tão demarcadas melhorando o acabamento do molde, fazendo com que sua aparência visual ficasse como a de uma nova cavidade.

Já a liga de desenvolvimento 2 também apresentou uma melhora na condutividade térmica, porém como já possui uma pequena adição de elementos de liga, possui um custo maior e uma diminuição no seu carbono equivalente, embora ainda tenha valores muito bons para a sua utilização em serviço.

Vale salientar, que como todas as ligas aqui realizadas foram forjadas para peças de 50 mm de espessura, para peças com esses tamanhos estariam aptas a ser utilizadas, qualquer tamanho acima disso deve-se ter o cuidado de ver como será a temperabilidade do material, o que não foi objeto do estudo presente.

A liga de desenvolvimento 3, apesar de não possuir o melhor valor do carbono equivalente, provavelmente não sendo a que apresentará o melhor resultado visual para reparos com solda, porém é a liga desenvolvida que apresenta a melhor condutividade térmica e que por conta das adições de elementos químicos, apesar do aumento de custo, espera-se atingir espessuras maiores para sua utilização (dado o seu teórico aumento no quesito temperabilidade).

Já a liga 4, por conta de ser a liga com maior incremento de elementos de liga, conseqüentemente do seu custo, não apresentou ganhos expressivos nos quesitos de maior relevância para o estudo que seria o de condutividade térmica e carbono equivalente, sendo assim pode-se dizer que fora a liga que teve menor influência no estudo.

5 CONCLUSÃO

Pode-se dizer que para a aplicação em moldes, com peças até 50 mm de espessura, qualquer uma das ligas estaria apta para a aplicação. Porém, a de melhor resultado em comparação com as referências foi a liga de desenvolvimento 1. Obtendo uma diferença em torno de 10% na sua condutividade térmica, com ganho em termos do carbono equivalente também em torno de 10%, ao ser

comparada às referências, porém foi a liga com a menor adição de elementos de liga o que resultará em um menor custo.

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Waldemar Alfredo Monteiro pela confiança e empenho pessoal que foram fundamentais para o desenvolvimento e a todos que de alguma forma contribuíram com esse trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 BRASS, Arno. *Processamento de Polímeros*. 2° ed. Florianópolis, 1998 p. 170-171.
- 2 SILVA, André Luiz da Costa; MEI, Paulo Roberto. *Aços e Ligas Especiais*. 2. ed. São Paulo: Eletrometal S.A. Metais Especiais, 1988.
- 3 R W K, Honeycombe; H K D H, Bhadeshia. *Steels Microstructure and Properties*. 2. ed. Inglaterra: London, 1996.