

DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PEÇAS EM COBRE VERDE EM SUBSTITUIÇÃO AO COBRE-BERÍLIO E COBRE-COBALTO-BERÍLIO ⁽¹⁾

Ana Paula Silva ⁽²⁾

Resumo

Neste trabalho objetivou-se avaliar a possibilidade de utilização de uma liga Cu-Ni-Si-Cr para a confecção de pistões utilizados em máquinas de fundição sob pressão em substituição às ligas Cu-Be e Cu-Be-Co comumente utilizadas para a produção deste tipo de peça. Foram testadas diferentes combinações de composição química: níquel (4,48-5,94), silício (0,61-1,08) e cromo (0,17-0,27) e de impurezas (0,09-0,28). Avalia-se a influência das impurezas no tratamento térmico (temperatura de solubilização), bem como dos elementos Cu, Cr e Si nas propriedades mecânicas, condutividade elétrica, bem nas propriedades dos pistões de injeção. Foram testadas diferentes temperaturas de envelhecimento (540°C, 510°C e 480°C) visando avaliar a influência da temperatura nas propriedades do material e determinar a temperatura que proporcione as melhores propriedades ao pistão de injeção. Foi realizado teste de desempenho dos pistões. No estado bruto de fundição, a condutividade elétrica apresentou redução com o aumento do teor de impurezas e o silício aumentou a resistência com prejuízo do alongamento. Observou-se influência das impurezas na temperatura de solubilização. Nota-se tendência de aumento da condutividade elétrica e alongamento e redução da resistência com o aumento da temperatura de envelhecimento para um mesmo nível de impureza. Os testes de desempenho realizados com o pistão mostraram que o mesmo não apresentou sinais de desgaste após terem sido injetadas 6000 peças indicando um desempenho satisfatório no teste. Os resultados obtidos permitiram concluir que a liga testada é adequada para a confecção de pistões de injeção.

Palavras-chave: Toxicidade; Pistão de injeção; Cobre verde.

(1) Trabalho apresentado no 60º Congresso anual da ABM. 25 a 28 Julho de 2005. Belo Horizonte-MG.

(2) Assistente de Tecnologia / SENAI-CETEF

1 INTRODUÇÃO

As ligas cobre-berílio e cobre-berílio-cobalto constituem uma família de ligas de cobre que apresentam simultaneamente elevadas características mecânicas aliadas à alta condutividade elétrica e condutividade térmica, resistência à corrosão, amagnetismo e boa usinabilidade. No entanto, a toxicidade do berílio compromete a utilização destas ligas. O berílio pode gerar um ar contaminado nas operações de fusão, vazamento, limpeza e usinagem e técnicas impróprias de limpeza de sistemas de exaustão ou aparelhos de limpeza do ar podem resultar em alta exposição ao Be e/ou seus óxidos. (AFS, 1984) O valor limite de exposição fixado atualmente na França e no Brasil é de $2\text{g}/\text{m}^3$ de ar. A NR15 – Norma Regulamentadora de atividades e operações insalubres considera atividades que envolvem exposição ao berílio como tendo grau de risco alto. O berílio é responsável pela doença ocupacional beriliose e é uma forma de pneumoconiose causada por exposição intensa e prolongada a poeira e fumaça do berílio e seus óxidos. Entre as ligas de cobre existentes, as ligas quanto ao endurecimento estrutural não são numerosas: o bronze ao estanho e ao níquel e o cobre-cromo, mas suas características são insuficientes para substituir as ligas de cobre contendo berílio. Existe ainda os bronze CORSON que são ligas Cu-Ni-Si cujo endurecimento estrutural é baseado na precipitação de compostos Ni_2Si . (ROBERGE et al, 1995)

Atualmente, cada vez mais estão sendo tomadas medidas preventivas, tendo em vista a proibição dos elementos tóxicos nas ligas em geral. Em função disto, surgiu a pesquisa de uma liga para substituição do Cu-Be-Co, devido à toxicidade do Be. As mais diversas adições são consideradas para a melhoria da resistência mecânica e condutividade elétrica do cobre. Trabalhos de pesquisa realizados no CTIF (Centre Technique Des Industries De La Fonderie) procuraram acertar uma composição química e um tratamento térmico para uma nova liga, da qual foi requerida patente, e a marca registrada como CUPROGREEN 700/40. Esta é uma liga Cu-Ni-Si-Cr e é conhecida como “Cobre Verde”. A otimização desta composição química que permite obter a associação de resistência à tração e condutividade elétrica é procurada de acordo com a utilização da peça. A Figura 1 situa o Cobre verde dentro de um diagrama de resistência/condutividade elétrica em relação a outras ligas de cobre. (ROBERGE et al, 1995)

A composição química nominal da liga Cobre Verde é a seguinte: Cu; 4,5% Ni; 0,9% Si; 0,4% Cr. É uma liga com endurecimento estrutural e suas características mecânicas são obtidas por tratamento térmico de solubilização e envelhecimento. O Cobre Verde é uma liga quase monofásica contendo compostos $\text{Ni}_{16}\text{Cr}_6\text{Si}_7$, não inteiramente dissolvidos na solubilização.

As propriedades do Cobre Verde serão diferentes em função das condições de envelhecimento. Para um tempo de manutenção de 2,5 horas, a Figura 2 apresenta a evolução das características mecânicas. Constata-se que à temperatura de 480°C , a dureza e a resistência são elevadas em detrimento do alongamento e da condutividade elétrica. Ao contrário, à temperatura de 560°C , a condutividade elétrica e a ductilidade são beneficiadas.

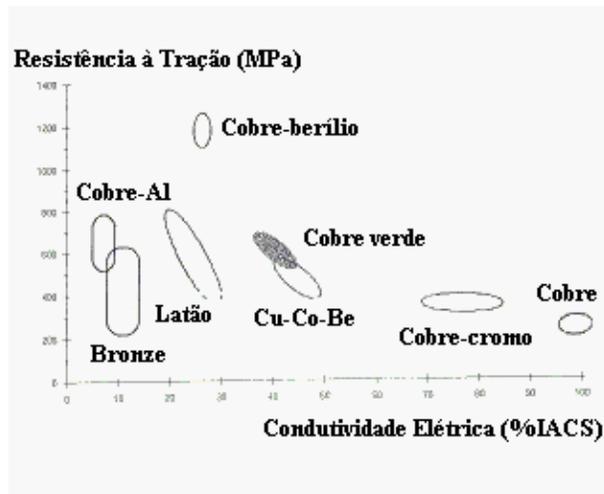


Figura 1 – Situação das ligas de cobre em um diagrama de limite de resistência e condutividade elétrica. (ROBERGE et al, 1995)

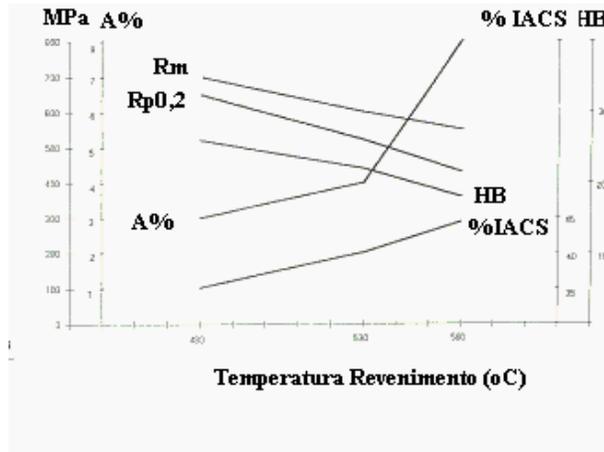


Figura 2 – Propriedades do Cobre Verde à temperatura ambiente. (ROBERGE et al, 1995)

O Cobre Verde se situa entre as ligas de alta condutividade elétrica. A fim de medir a influência de certas impurezas na condutividade elétrica e nas características mecânicas, foram feitos ensaios com diferentes teores de Pb, Sn e Zn. O Pb é bastante prejudicial desde 0,05% para a maior parte das propriedades, exceto dureza. Este efeito é resultado da baixa temperatura de fusão deste elemento, insolúvel no cobre. O Sn também é prejudicial ao alongamento e à condutividade elétrica a partir de 0,10%. A resistência à tração e o limite de elasticidade caem menos drasticamente. O zinco até 0,50% provoca somente uma leve queda do alongamento. As características do Cobre Verde com qualquer impureza confirmam a influência, antes observada sobre as outras ligas de cobre, dos elementos estudados. Estes resultados indicam que devem ser tomadas precauções para evitar a contaminação da liga. (ROBERGE et al, 1995)

As elevadas características mecânicas do Cobre Verde à temperatura ambiente permitem um amplo campo de aplicação, principalmente para peças altamente solicitadas. Para um bom número de aplicações, a utilização se situa a temperaturas

acima da temperatura ambiente. Este é o caso dos pistões de injeção para máquinas sob pressão. Ensaios realizados à temperatura ambiente, após manutenção a diferentes temperaturas, mostram que o limite de elasticidade, a resistência à tração e o alongamento começam a degradar a partir de 300°C e a dureza a partir de 450°C. (ROBERGE et al, 1995)

Uma das propriedades importantes para os pistões de injeção é a dureza, necessária para o emprego em aplicações em que se requer resistência ao desgaste e, sobretudo a manutenção desta dureza no decorrer da utilização. A dureza superficial lateral do pistão deve ser de, no mínimo, 200 a 300HB. Um dos pontos-chaves com respeito ao desgaste dos pistões é assegurar uma folga de funcionamento (f) entre pistão e bucha. A folga de funcionamento (à temperatura ambiente) deve ser mantida a um valor mínimo. Em uma primeira aproximação deve-se admitir uma folga de aproximadamente $f = 0,001 \times \text{diâmetro}$. Outra propriedade importante é a difusividade térmica elevada. Esta se traduz por uma evacuação rápida do calor pelo circuito de resfriamento, resultando em aquecimento mínimo da face do pistão e limitando sua dilatação. Exceto no que diz respeito aos canais de refrigeração, os problemas de geometria do pistão se resumem à concepção da face. Os pistões clássicos em monobloco apresentam duas formas possíveis: face plana ou face chanfrada (Fig.3). (HÉMON, 1991)

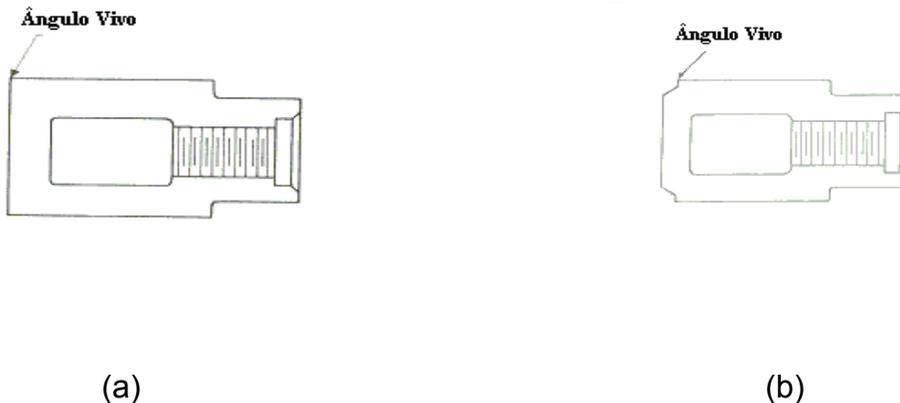


Figura 3 – Geometria dos pistões de injeção: (a) face plana (b) face chanfrada

O objetivo deste trabalho é dominar a tecnologia de produção (fundição, tratamentos térmicos) de peças na Liga Cobre Verde e disponibilizar esta tecnologia para empresas brasileiras incentivando a produção de pistões de injeção para máquinas de vazamento sob pressão. Atualmente as máquinas de vazamento sob pressão utilizam pistões de aço, Cu-Be e Cu-Be-Co.

2 - METODOLOGIA

Foram testadas diferentes combinações de composição química: níquel (4,48-5,94), silício (0,61-1,08) e cromo (0,17-0,27) e de impurezas (0,09-0,28). Após avaliação dos resultados obtidos definiu-se uma composição química adequada para confecção do pistão de injeção.

A temperatura de solubilização dos corpos-de-prova foi de 950°C com tempo de

manutenção a esta temperatura de 2,5 horas e resfriamento em água. O envelhecimento foi realizado a 480°C, 510°C e 540°C e o tempo de manutenção a estas temperaturas foi de 2,5 horas. O tratamento de solubilização do pistão foi realizado a 930° C e o envelhecimento a 510° C com tempos de manutenção a estas temperaturas de 1 hora e 1,5 hora, respectivamente. As alterações realizadas para o tratamento do pistão em relação ao praticado para os corpos-de-prova tiveram o objetivo de evitar “queima” e/ou crescimento de grão durante o tratamento.

Foi realizado teste preliminar de desempenho do pistão utilizando uma injetora marca Toshiba, modelo DC135H. O pistão foi usinado com diâmetro externo de 60mm e face plana. A folga de funcionamento foi de 0,09mm. A bucha utilizada é de aço SKD 61 com dureza de 45HRC. Durante o teste foi feita medição da temperatura da bucha e do pistão utilizando-se um pirômetro ótico. A temperatura do pistão foi medida próximo à face, no momento do vazamento do metal e logo após a injeção e retorno de pistão à posição inicial. A temperatura do metal líquido foi de 670°C. A força de fechamento foi de 90% da carga total (135 toneladas). Após o teste preliminar o pistão foi testado em uma fundição em condições industriais.

3 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na Tabela I são apresentados os resultados de análise química. Observa-se uma variação de composição entre as fusões 1A e 2A, 1B e 2B, 1C e 2C, particularmente quanto ao teor de Ni. Nas fusões B foi obtido um teor mais elevado de Ni e nas fusões C um teor um pouco mais baixo de Si. Quanto às impurezas observa-se variação mais significativa com relação ao teor de Fe.

Os resultados de condutividade elétrica dos corpos-de-prova antes do tratamento térmico mostraram uma queda da ordem de 10% na condutividade elétrica com um aumento do teor de impurezas com valores variando de 32% de IACS para 28% de IACS, com níveis de 0,25% e 0,10% de impurezas, respectivamente. Após tratamento térmico observou-se uma tendência de aumento da condutividade elétrica dos corpos-de-prova com o aumento da temperatura de envelhecimento e os valores variaram de 31 a 40% de IACS.

Na Figura 4 são apresentados os resultados de resistência mecânica em função da temperatura de envelhecimento para dois diferentes níveis de impureza. Com temperaturas mais elevadas observa-se uma queda do limite de resistência à tração, como esperado. Para um mesmo nível de impureza, os valores de alongamento são maiores quando se aumenta a temperatura de envelhecimento, também como previsto. Na Tabela II são apresentados os resultados do ensaio de impacto e de dureza. Nota-se que a energia absorvida não foi muito afetada pela variação da temperatura de envelhecimento. O valor médio foi de aproximadamente 10 J em todas as temperaturas.

Os corpos-de-prova das fusões A e C, ensaiados após tratamento térmico, apresentaram resistência mecânica insuficiente.

	Fusão 1A	Fusão 2A	Fusão 1B	Fusão 2B	Fusão 1C	Fusão 2C	Pistão
Níquel (%)	4,4817	4,8572	5,9487	5,4700	5,0312	5,1873	5,025
Silício (%)	1,0873	0,9405	1,0748	1,0373	0,6933	0,6185	0,8248
Cromo (%)	0,2683	0,2573	0,2082	0,1709	0,1855	0,2457	0,7511
Estanho (%)	0,0072	0,009	0,005	0,0074	0,0066	0,0088	0,0075
Chumbo (%)	0,0136	0,0423	0,006	0,0104	0,0114	0,0142	0,0168
Zinco (%)	0,0081	-	-	-	0,007	0,0083	0,0068
Ferro (%)	0,1617	0,1873	0,0537	0,0536	0,0908	0,0506	0,1556
Antimônio (%)	0,0356	0,0319	0,018	0,014	0,0181	0,0147	0,0573
Alumínio (%)	0,0032	-	0,0408	0,0047	0,0078	0,0093	-
Enxofre (%)	0,0032	0,0023	0,003	0,0034	0,003	0,0036	0,0033
Fósforo (%)	0,0036	0,0034	0,0034	0,0036	-	-	-
Total de impurezas (%)	0,2330	0,2762	0,1299	0,0935	0,1447	0,1095	0,2473

Tabela I – Resultados de análise química

Fusão	Nível de impureza	Energia absorvida (J)	Dureza (HB)
1B 540°C	0,1299	9	233
2B 540°C	0,0935	10,5	197
1B 480°C	0,1299	-	211
2B 480°C	0,0935	10	-
1B 510°C	0,1299	13	200
2B 510°C	0,1299	10,5	-

Tabela II – Resultados de ensaio de impacto de corpos-de-prova da fusão B.

A estrutura do material antes do tratamento térmico apresentou-se constituída de solução sólida α (rica em cobre) e compostos intermetálicos NiCrSi no interior e nos contornos de grão. Observou-se uma menor quantidade destes compostos na amostra da fusão C devido ao menor teor em silício. O tamanho de grão foi avaliado por comparação com o Plate III da norma ASTM E 112 e em todas as amostras foi maior que 0,200mm (maior tamanho apresentado no quadro), no entanto, a fusão B apresentou grãos de dimensão um pouco menor que a observada nas outras fusões. Na Figura 5 é apresentada fotomicrografias onde pode ser observado o aspecto da superfície da fratura de um corpo-de-prova da fusão A e de um corpo-de-prova da fusão B. A primeira apresenta-se oxidada e com aspecto grosseiro e na segunda não é observada oxidação e a fratura é mais refinada. Na fusão C, embora o teor de impureza tenha sido semelhante ao obtido na fusão B, observou-se uma queda acentuada das propriedades de tração do material após tratamento térmico. Acredita-se que isto se deva a crescimento de grão ocorrido durante o tratamento de solubilização, apesar da temperatura de tratamento ter sido a mesma utilizada para os corpos-de-prova da fusão B. A presença de compostos intermetálicos no contorno de grão dificulta o crescimento de grão e a análise metalográfica revelou uma menor proporção destes nos corpos-de-prova da fusão C. Na Figura 7 são apresentadas fotomicrografias das mesmas fraturas observadas através do microscópio eletrônico de varredura, onde se

nota um aspecto bastante diferente entre estas fraturas. No primeiro caso não são observadas áreas características de fratura dútil.

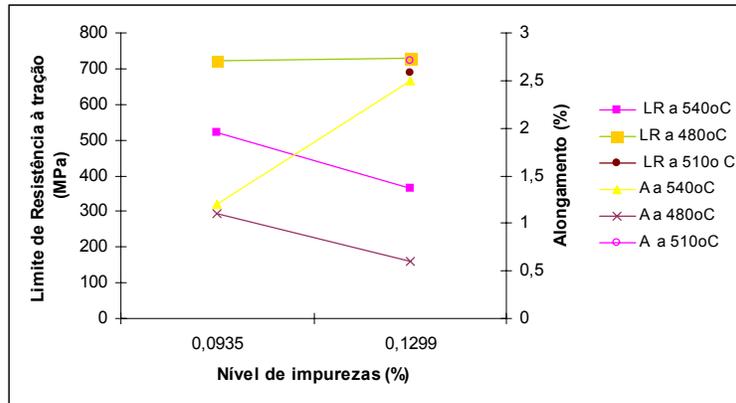


Figura 5 – Influência da temperatura de envelhecimento nas propriedades mecânicas.

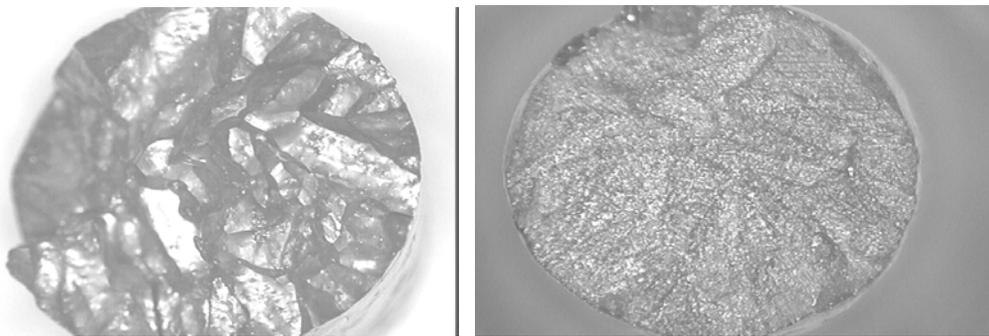


Figura 6 – Aspecto da superfície da fratura de corpo-de-prova da fusão A (esquerda) fusão B (direita).

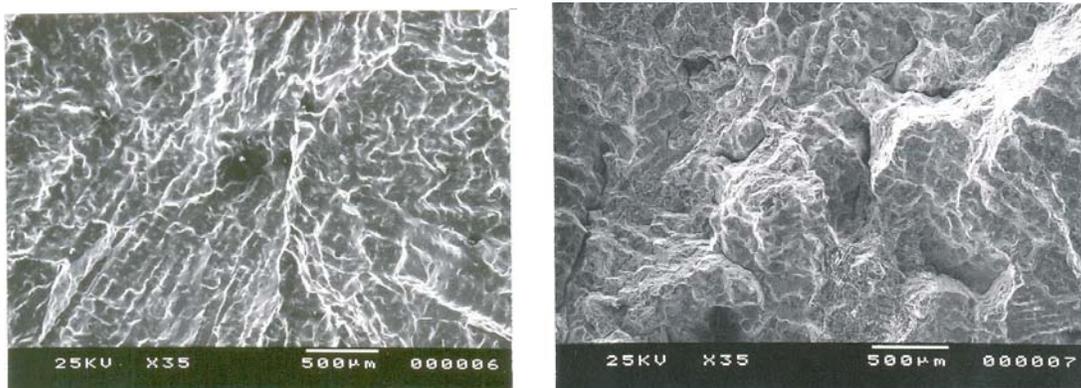


Figura 6 – Aspecto da superfície da fratura de corpo-de-prova da fusão A (esquerda) fusão B (direita). MEV

Na Figura 8 apresenta-se a fotomicrografia de amostra retirada de um corpo-de-prova de tração após tratamento térmico (solubilização e envelhecimento a 540°C) da fusão 1B. Observa-se que a estrutura após tratamento térmico é constituída de solução sólida α (rica em cobre) e compostos NiCrSi que não foram totalmente dissolvidos na solubilização.

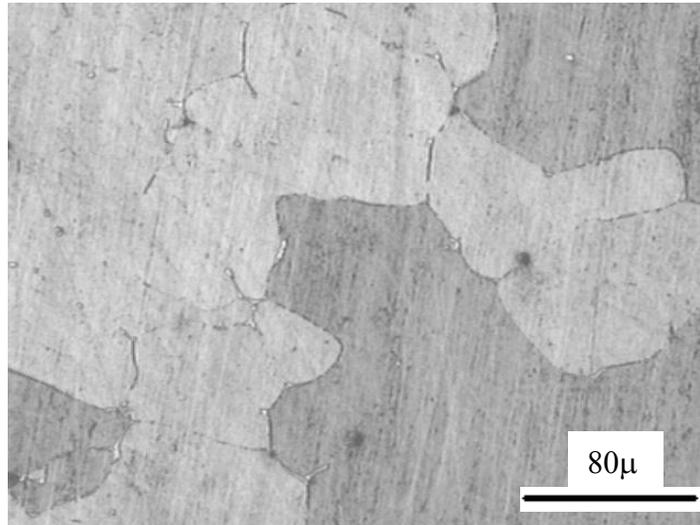


Figura 8- Amostra de corpo-de-prova da fusão 1B envelhecido a 540°C. Ataque: Percloroeto de Ferro Alcoólico.

As propriedades mecânicas do corpo-de-prova de tração obtido juntamente com o pistão foram: limite de resistência à tração de 620MPa; limite de escoamento de 595MPa, alongamento 4% e dureza 210HB. A resistência ao impacto foi de 18J (valor médio obtido a partir de 4 corpos-de-prova, sendo o menor valor 15J e o maior valor 23J). Nota-se que a ductilidade e a tenacidade do material foram melhores que as obtidas nos corpos-de-prova da fusão B. Acredita-se que estes resultados se devam ao maior refino da estrutura.

O pistão apresentou no estado bruto de fundição condutividade elétrica e dureza de 29,5% de IACS e 138HB, respectivamente e após tratamento térmico a condutividade foi de 30% de IACS e dureza de 248HB.

Após o pistão ter realizado 133 injeções no teste preliminar, foi medida sua dureza obtendo-se o valor de 251HB. Observa-se que não houve perda de dureza devido à exposição a temperaturas da ordem 120°C. Não foi observada a presença de trincas ou sinais de desgaste prematuro. Durante o teste não ocorreu problema de engripamento devido à dilatação excessiva do pistão. A temperatura do pistão durante o processo foi, próximo à face do pistão, de aproximadamente 80°C logo após a injeção, e no momento do vazamento do metal, de aproximadamente 120°C. A bucha atingiu temperatura de aproximadamente 250°C. No teste realizado em condições industriais o pistão já injetou 6000 peças sem apresentar sinais de desgaste. O pistão continua em trabalho e sua avaliação continuará até que seja necessária a sua substituição.

4 - CONCLUSÕES

Para as condições estabelecidas neste trabalho e em função dos resultados obtidos pode-se concluir que:

- Define-se os seguintes parâmetros para os pistões obtidos: 1) composição química: Ni 5,02%, Si 0,82%, Cr 0,75%, Sn 0,007%, Pb 0,016%, Zn 0,006%, Fe 0,15% e Sb 0,057% sendo a base Cobre. Todos elementos à exceção de Cu, Si, Ni e Cr são considerados impurezas e totalizaram 0,247%; 2) condutividade de 30% IACS; 3) Dureza de 248 HB e resistência ao impacto de 18 J.
- O aumento do teor de impurezas contribui para queda da condutividade elétrica e uma temperatura de envelhecimento mais alta proporciona maiores valores de condutividade elétrica.
- A liga Cobre Verde é muito sensível à presença de impurezas durante o tratamento térmico de solubilização, podendo ocorrer problema de “queima” quando o nível de impurezas tem valor da ordem de 0,15% e a temperatura de solubilização é maior ou igual a 950°C.
- A presença de compostos intermetálicos nos contornos de grão contribui para evitar o crescimento de grão durante o tratamento térmico de solubilização.
- As propriedades de tração, bem como a condutividade elétrica da liga Cobre Verde são sensíveis a variações na temperatura de envelhecimento enquanto a tenacidade do material não revelou ser sensível à esta variável.
- A liga Cobre Verde não apresenta redução de dureza quando submetida a temperaturas de até 200°C, viabilizando seu uso para confecção de pistões de injeção os quais são submetidos, durante a injeção, a temperaturas iguais ou inferiores a 200°C. Para aplicações acima desta temperatura a liga deve ser avaliada.
- A tenacidade apresentada pelo pistão foi superior à apresentada pelas ligas Cu-Be (5 a 16 J) porém inferior à das ligas Cu-Be-Co (aproximadamente 60 J). O mesmo comportamento foi observado para a condutividade elétrica.
- O pistão testado apresentou desempenho satisfatório, não apresentando sinais de desgaste após realizar 6000 injeções.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ROBERGE, J.L.; RICHARD, M. Le cuprogreen 700/40 alliage de substitution des cuproberylliums. **Fonderie**, Paris, n146, p.13-20, juin-juil,1995.

ROBERGE, J.L.; KELLER, M. Pistons d'injection de machine a couler sous pression em cuprogreen 700/40 moule. **Fonderie**, Paris,n175, p.9-14, mai,1998.

CASTING cooper-base alloys. Desplaines: AFS, 1984.250p.il.

HEMON, Y. Piston d'injection des cmachines à couler sous pression à chambre froide. **Fonderie**. n. 105, p. 33-41, mai, 1991.

DEVELOPMENT OF MANUFACTURE PROCESS OF “CUPROGREEM” PIECES IN ORDER TO REPLACE COOPER- BERYLIUM AND COOPER-COBALT-BERYLIUM ⁽¹⁾

Ana Paula Silva ⁽²⁾

Abstract

This work had as objective to evaluate the possibility of use of a alloy Cu-Ni-Cr-Si for production of pistons of injection used in die casting in substitution to the alloys Cu-Be and Cu-Be-Co generally used. It were test different combinations of chemical composition: nickel (4,48-5,94), silicon (0,61-1,08) and chrome (0,17-0,27) and impurities (0,09-0,28). The influence of impurities on heat treatment (solution temperature) was evaluated as well of the elements Cr, Cu and Si on mechanical properties and electrical conductive and on properties of injections pistons. It were test different aging temperatures (540°C, 510°C, 480°C) in order to evaluate the influence of temperature on properties of material and determine the temperature that provide the best performance for injection pistons. It was made a performance test with pistons. In as cast condition, the electrical conductive decrease with the increase of impurities and silicon increase the strength and decrease the elongation. It was noted influence of impurities on solution temperature and the tendency of increase of the electrical conductive and elongation and decrease of strength with increase the aging temperature for the same degree of impurities. The test for evaluate the performance of piston in service show good results. The piston didn't show wear signals after inject 6000 pieces. The gotten results had allowed concluding that the tested alloy is adjusted for the production of injection pistons.

Key-words: Toxicity; Injection pistons; Cuprogreem

(1)Work presented in 60th ABM Anual Congress. 25-28July, 2004.Belo Horizonte-MG.

(2)Assistant of Technology / SENAI-CETEF