



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO
DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

AVALIAÇÃO DA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DE PISTÕES DE UM MOTOR ENDOTÉRMICO SUBMETIDOS A DIFERENTES CONDIÇÕES DE TRABALHO

Inácio da Fontoura Limberger, oicanis@gmail.com¹

Paulo Romeu Moreira Machado, promeu.machado@gmail.com²

Pablo de Carvalho Meigier, pablomegier@hotmail.com³

Mateus Palharini Schwalbert, m.palharini@yahoo.com.br⁴

Joelson Almeida Bilhão, jbilhao@gmail.com⁵

^{1,2,3,4,5}Universidade Federal de Santa Maria, Dep. Engenharia Mecânica, Santa Maria - RS, CEP 97105-900

Resumo: Motores de combustão interna, quando otimizados para competições automobilísticas, trabalham com taxas de compressão, temperaturas e regimes de rotação mais altos. Isso faz com que os componentes estruturais, especialmente os pistões, sejam submetidos a condições extremas de funcionamento, o que os torna mais suscetíveis a modificações internas. Com o intuito de averiguar os efeitos dessas condições extremas na microestrutura e propriedades mecânicas dos pistões, foram realizados ensaios dinamométricos para simular diferentes condições de funcionamento em um motor monocilíndrico. As análises foram efetuadas em três pistões, sendo que um deles não foi submetido a funcionamento e serviu como padrão para as análises metalúrgicas. Outro foi submetido a condições normais de funcionamento, e o terceiro foi utilizado no motor após serem feitas modificações, aumentando a taxa de compressão. Para os três pistões foram realizadas mensurações de perfis de dureza e avaliação metalográfica, em diferentes pontos. As macrografias e micrografias foram realizadas nas mesmas seções, visando caracterizar a microestrutura do material. Os perfis de dureza na superfície foram levantados nas zonas propensas a detonação e em torno das regiões críticas afetadas pela temperatura, bem como na parte interna dos pistões para avaliar a profundidade das modificações. Os testes indicaram uma perda significativa das propriedades mecânicas e microestruturais do pistão exposto a condições normais de funcionamento, o que é causado por um recozimento sofrido pelo material do pistão nas temperaturas dos ensaios dinamométricos, o que é condizente com a microestrutura encontrada. Tal perda das propriedades mecânicas não ocorreu com as condições mais severas de trabalho no motor preparado para competição. Isso leva à conclusão de que, nestas condições, mais severas, pode ocorrer o encruamento do material decorrente das ondas de choque ocasionadas pelo fenômeno de detonação, que se sobrepõe ao efeito de recozimento provocado pelo regime térmico.

Palavras-chave: motor de combustão 1, pistões 2, detonação 3, propriedades mecânicas 4

1. INTRODUÇÃO

Os motores de combustão interna são à base da maioria dos sistemas de locomoção modernos, constituindo uma parte essencial do cotidiano da sociedade contemporânea. No Brasil por questões de mercado e por motivos de ordem ambiental, a maioria dos motores de combustão interna fabricados atualmente é tipo Ciclo Otto e podem funcionar com dois tipos de combustíveis ou até mesmo com a mistura de ambos em qualquer proporção. Isto é possível através do auxílio de sistemas de injeção eletrônica e o uso de sensores de detonação, permitindo que o motor trabalhe com uma taxa de compressão única para os dois combustíveis, sem que ocorra o fenômeno de detonação.

Conforme Heywood (1988), a detonação é uma forma de combustão originada espontaneamente e esporadicamente no motor, que produz pulsos de pressão agudos, em forma de 4 ondas de choque, associados ao movimento vibratório da carga mecânica e ao som característico de uma batida. Segundo Vieira (2008) a localização dos danos causados pela detonação ocorrem no lado oposto a vela de ignição como pode ser visto na fig.(1).

A possibilidade de ocorrência do fenômeno da detonação é maior em motores Ciclo Otto, quando estes são otimizados para utilização em competições automobilísticas. Segundo Machado (2008), nestas condições os motores

trabalham com taxas de compressão elevadas, em temperaturas mais altas e em regimes de rotação superiores, o que torna estes motores mais suscetíveis à detonação.

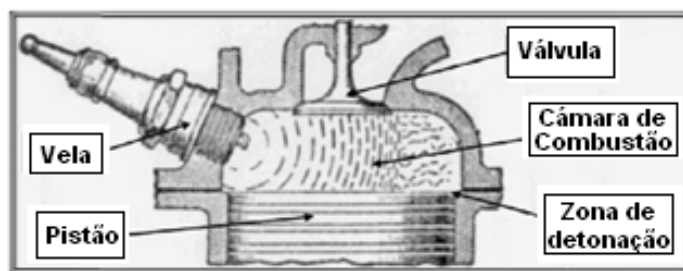


Figura 1. Zona propensa a detonação. Fonte adaptado de Stone (1999)

Quando a detonação ocorre em um motor otimizado, as peças internas como pistões, cilindros, bielas e virabrequim, são submetidas a situações mais severas do que aquelas quando de seu funcionamento. A detonação, em função de suas características, sujeita os pistões a elevadas temperaturas e pressões que podem provocar alterações sobre o seu material constituinte, pois é sobre a sua face superior que o fenômeno ocorre.

Desta maneira o estudo dos efeitos decorrentes deste fenômeno foi conduzido com o objetivo de buscar-se um maior entendimento acerca da influência das condições de combustão sobre o material dos pistões de um motor.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos ensaios dinamométricos foram utilizados um motor da marca Honda, modelo 125cc OHV e três pistões da marca KMP. O motor foi montado sobre um dinamômetro Marca Stukas Modelo 90 e foi estipulado duas condições de ensaios. Primeiro o motor foi deixado na condição standard e foram levantadas as curvas de potência e torque, numa segunda condição o motor foi otimizado e também foi submetido aos mesmos ensaios. A fig. (2) mostra o motor acoplado no dinamômetro para a realização dos ensaios.

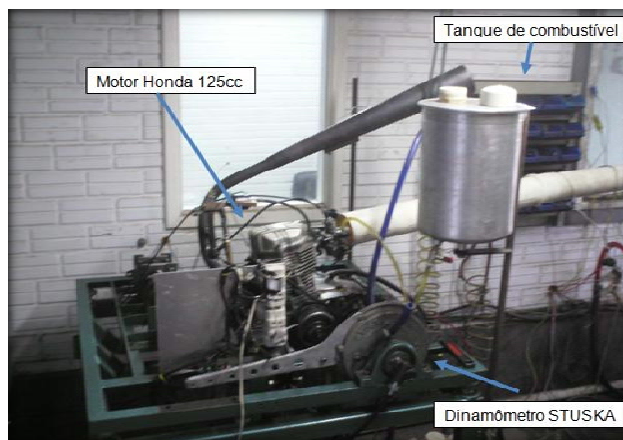


Figura 2. Motor acoplado ao dinamômetro para ser testado

Para a avaliação do comportamento do material dos pistões quando submetido a diferentes condições de trabalho, um dos pistões não foi usado no motor e serviu como padrão para as análises metalográficas e de dureza, sendo denominado Pistão de Prova (PP). Os outros dois pistões serviram aos ensaios dinamométricos e foram identificados como Pistão Normal (PN), pistão montado no motor e testado em condições normais de funcionamento e Pistão Detonado (PD), pistão montado no motor após as modificações para que fosse suscetível a detonação.

Foi feita uma avaliação de dureza superficial nos pistões antes de serem usados. Após os ensaios dinamométricos o motor foi desmontado e os pistões foram retirados do motor e submetidos a uma nova análise de dureza superficial a análises. Posteriormente os pistões foram cortados para a avaliação da dureza na parte interna e na sequência foram preparadas amostras para realização de macrografias e micrografias para a determinação da morfologia dos grãos e da microestrutura do material.

2.1. Ensaio de Dureza

O mapeamento dos pontos dos ensaios de dureza foi feito com base na zona propensa a detonação e nos pontos críticos afetados pela temperatura. Assim sendo, a geometria da câmara de combustão, em função do posicionamento das válvulas de alimentação e escapamento, bem como da posição da vela de ignição, determinou que a borda esquerda e direita da superfície do pistão são os pontos de maior importância na determinação das alterações que o material possa sofrer. Baseando-se nestas posições, a distribuição dos pontos para análise de dureza nas bordas e no centro foi escolhida conforme mostra a Fig. (3).

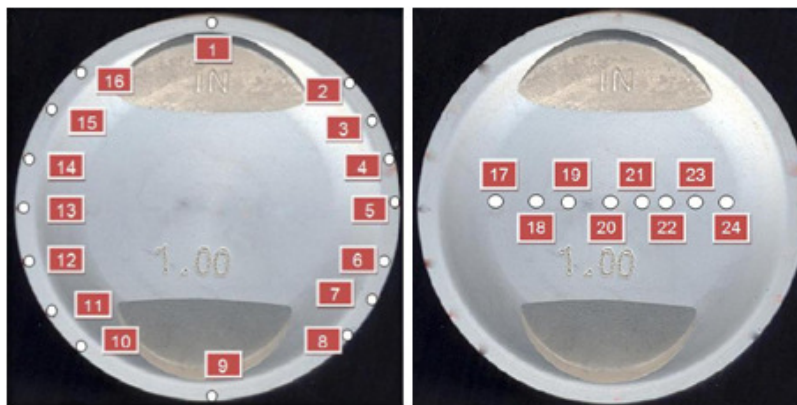


Figura 3. Mapeamento de pontos para ensaio de dureza superficial da borda e no centro.

Para a avaliação da dureza na parte interna dos pistões é preciso fazer um corte na seção transversal dos mesmos e nestas seções são escolhidos pontos para a realização do mapeamento de dureza, conforme Fig. (4).

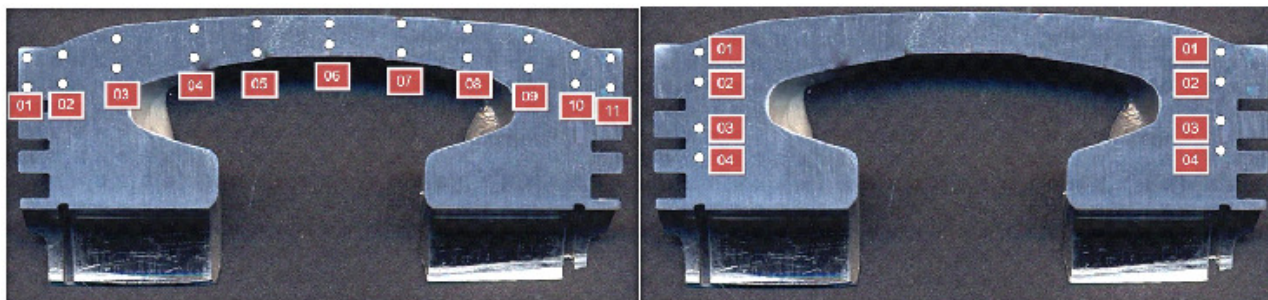


Figura 4. Mapeamento da dureza interna horizontal, linha superior e inferior e vertical esquerda e direita.

Para os ensaios de dureza foi escolhido o Método Brinell por este produzir uma impressão que abrange uma área de contato maior que os outros métodos e por ser a mais indicada para materiais que foram fundidos. O equipamento utilizado para os ensaios foi o HPO 250, para o qual é recomendado que as superfícies de apoio de medição sejam paralelas e tenham um bom acabamento superficial para que a visualização das medidas seja facilitada.

A preparação das amostras foi feito por lixamento até a lixa de granulação 120 na base e até a granulação de 600 na superfície destinada à indentação. De acordo com VEB (1968), o campo de dureza HB para ligas fundidas e ligas maleáveis é entre 22 e 315 HB, com o uso da escala de força de 10 D². Para o caso específico da liga de alumínio dos pistões, utiliza-se a combinação da esfera de 2,5 mm de diâmetro e a carga de 62,5 kgf.

2.2. Metalografia

Segundo conceituação da ASM (2004), metalografia é a ciência da examinação e determinação dos constituintes e estruturas dos metais e ligas metálicas. A examinação pode se dar em níveis macroscópicos e microscópicos. A examinação pode ser feita em um amplo conjunto de escalas e ampliações, desde a avaliação visual com a vista desarmada, com a utilização de equipamentos de baixa ampliação, lupas, 20 vezes, microscopia óptica com aumentos de até 2000 vezes. Em casos mais específicos pode se usar ampliações em torno de 100.000 vezes com o uso de microscópios eletrônicos de varredura ou ainda a aumentos de 1.000.000 vezes utilizando microscópios eletrônicos de transmissão.

2.2.1. Macrografia

De acordo com a ASM (2004), a examinação macroscópica pode revelar aspectos macroestruturais importantes como estrutura de solidificação em produtos fundidos, características de soldas como profundidade e tamanho da zona afetada pelo calor, presença de inclusões, imperfeições de fabricação e linhas de deformação em produtos forjados.

A secção transversal dos pistões, no sentido dos pinos foi escolhida para a análise da macroestrutura. O reagente químico utilizado para a análise macroscópica foi o ácido fluorídrico (1%), na composição de 1 ml de ácido fluorídrico para 99 ml de água destilada. De acordo com Coutinho (1980), a superfície polida do corpo de prova deve ser friccionada por quinze segundos, com algodão embebido na solução.

2.2.2. Micrografia

De acordo com a ASM(2004) a observação dos constituintes microestruturais dos materiais é essencial para determinar as características dos mesmos. Através delas é possível identificar e medir fases, precipitados e constituintes dos metais e ainda determinar o tamanho e formato dos grãos. Outro aspecto importante é a possibilidade de observação das estruturas de solidificação presentes no material.

Desta maneira foram retiradas duas amostras de cada pistão na região propensa a detonação e na região oposta como mostra a Fig. (5). O objetivo desta observação é a determinação das alterações entre as duas regiões, D a direita em relação a câmara de combustão e E a esquerda conforme determinado para o ensaio de dureza.

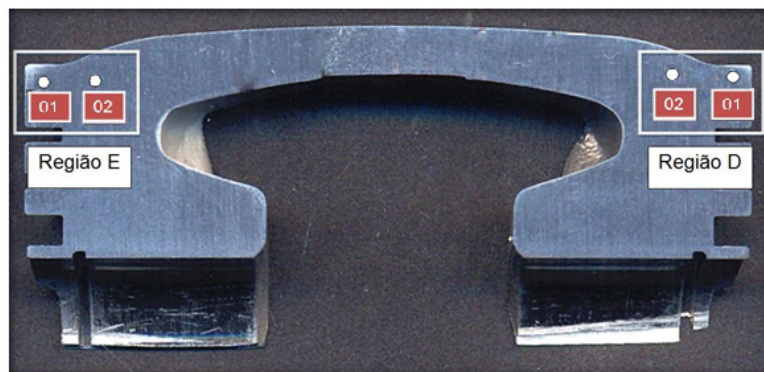


Figura 5. Região para observação microscópica.

As análises microscópicas foram feitas com microscópio óptico usando amostras com e sem ataque químico. Segundo Coutinho (1980), todo exame microscópico sem ataque químico deve ser iniciado sob pequenos aumentos da superfície simplesmente polida. Após a observação sem ataque químico o mesmo foi realizado a fim de revelar os micros constituintes. O reagente químico utilizado para a análise microscópica também foi o ácido fluorídrico (1%), de acordo com Coutinho (1980).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

2.3. Resultados das alterações feitas no Motor

Após a os ensaios com o motor no dinamômetro pode-se observar que as modificações realizadas no mesmo produziram uma alteração significativa nos valores de torque e potência. Para o motor na condição standard a potência máxima foi de 10,42 CV a 6700 rpm e o torque máximo de 1,11 kgf.m a 6400 rpm e para o motor após as modificações para a sua otimização obteve-se uma potência máxima de 14,62 CV a 8900 rpm e um torque máximo de 1,18 kgf.m a 8400 rpm, como pode ser visto na Fig.(6). Assim sendo um aumento na potência de 28,73% e no torque de 5,93%.

Analisando estes resultados observa-se que o regime de trabalho imposto ao motor otimizado foi bem mais severo e em consequência disso o material do pistão PD foi mais solicitado a pressões e temperatura do que o pistão PN.

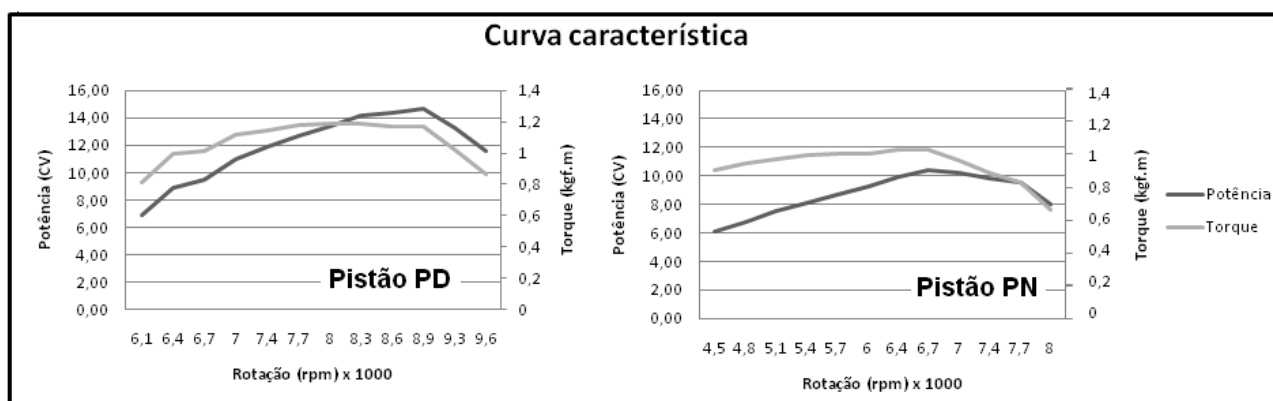


Figura 6. Gráficos mostrando o desempenho do motor nas condições otimizado e standard, respectivamente.

2.4. Resultado dos Ensaio de Dureza

O pistão PP teve uma dureza média superficial de 117,60 HB, levando em consideração as durezas da borda e do centro. O desvio padrão foi de 4,56 HB. O maior valor de dureza superficial foi encontrado no ponto 22 com o valor de 124,89 HB e o menor foi no ponto 03 com valor de 106,86 HB. A dureza média interna para o pistão PP foi de 122,67 HB e o desvio padrão para a dureza foi de 3,63 HB. O maior valor encontrado foi no ponto 5 da linha horizontal inferior, 132,41 HB, e o menor valor, 115,96 HB, encontra-se no ponto 02 da linha superior. A dureza no sentido vertical apresentou um valor médio geral de 120,77 HB, sendo que o desvio padrão para a dureza vertical foi de 3,98 HB. Os testes de dureza superficial feitos nos pistões PN e PD antes de serem colocados no motor apresentaram valores médios muito parecidos com os resultados do pistão PP.

Após a realização dos ensaios no dinamômetro o pistão PN apresentou uma redução na dureza superficial média geral de 22,3% caindo de 110,27 HB para 85,66 HB. O desvio padrão foi de 2,29 HB. O valor de maior dureza foi 91,34 HB, encontrado no ponto 12 e o menor foi 79,37 HB, no ponto 17. A dureza interna média para este pistão caiu de 122,67 HB para 86,25 HB provocando um uma redução de 29,7%. O desvio padrão foi de 4,12 HB. O valor máximo interno encontrado de 98,31 HB no ponto 04 da linha vertical direita.

Para o pistão PD, após o ensaio no dinamômetro, a dureza superficial média foi de 114,66 HB. Este valor não representa mudança significativa na dureza superficial do pistão. O desvio padrão dos resultados foi de 4,03 HB. No ponto 24 o maior valor de dureza foi registrado, atingindo 125, 87 HB. O menor por sua vez está localizado no ponto 17 com o valor de 98,08 HB. A dureza média interna do pistão PD foi de 115,25 HB. O desvio padrão para a dureza interna foi de 4,06 HB. O maior valor de dureza interna aconteceu no ponto 04 da linha vertical direita e foi de 123,92 HB e o menor valor foi 107,64 HB no ponto 06 da linha vertical superior.

Analisando os resultados da dureza interna do pistão PN, pode-se notar que não houve uma significativa redução da dureza interna geral média quando comparado com os resultados do pistão PP e os valores estão acima dos valores encontrados para o pistão PN após o ensaio no dinamômetro.

A Fig. (7) mostra a comparação dos resultados das durezas para o pistão de referência PP e os pistões PN e PD após o ensaio no dinamômetro.

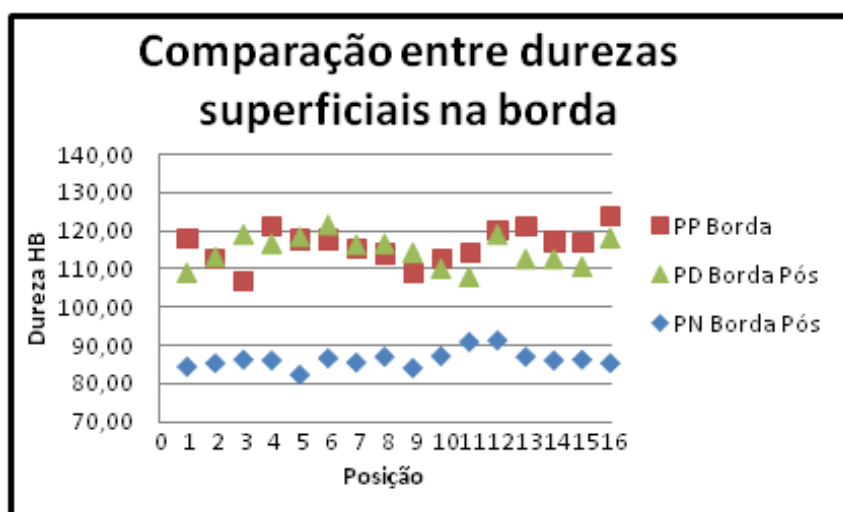


Figura 7. Comparação entre os valores encontrados para dureza superficial na borda.

2.5. Resultado das Macrografias

As superfícies reveladas após o ataque com reativo químico são mostradas na Fig. (8). A macrografia da secção transversal do pistão PP, a esquerda na figura, permite a observação de uma estrutura bruta de fusão composta por grãos colunares em sua maioria. Algumas áreas com grãos equiaxiais também estão presentes. Pode-se ainda identificar os pontos de maior retirada de calor e observar que nas proximidades do alojamento do pino os grãos crescem em direção perpendicular ao sentido do pino fato este devido à presença de elemento com maior taxa de resfriamento.

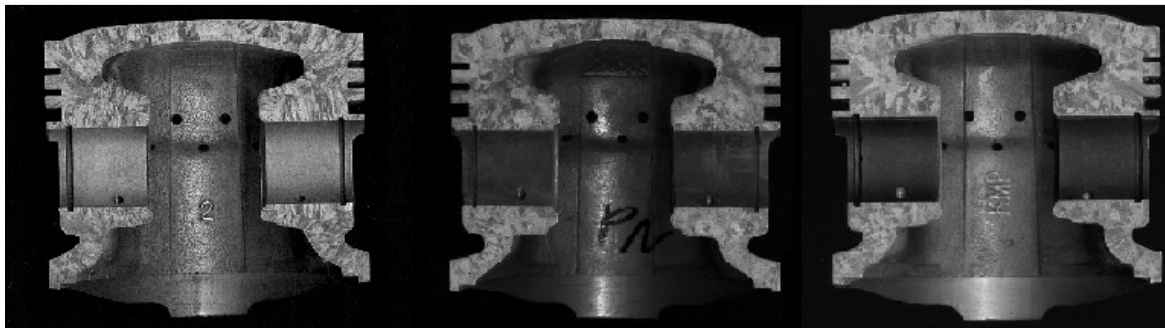


Figura 8. Macrografia do pistão PP, PN e PD respectivamente – secção transversal.

O pistão PN no centro da Fig.(8) apresentou, após os ensaios no dinamômetro, uma estrutura diferente daquela do pistão PP. Sua estrutura macrográfica é composta por grãos equiaxiais, o que indica que houve uma mudança no formato dos grãos que antes do teste deviam ser colunares. O ciclo térmico pelo qual passou o pistão PN durante o trabalho, pode ser caracterizado como um tratamento de recozimento.

O pistão PD, por sua vez, a direita da Fig. (8), também apresentou uma mudança no formato dos grãos se comparados ao do pistão PP, passando a equiaxiais. Principalmente nas regiões da parte superior do pistão, porém em menor intensidade, sendo possível a observação de grãos alongados nas regiões mais afastadas da cabeça do pistão, região da saia. O ciclo térmico pelo qual passou o pistão PD também pode ser caracterizado como um tratamento de recozimento.

2.6. Resultado das Micrografias

Uma avaliação preliminar da composição química da liga usada nos pistões permite colocá-la como sendo uma liga da família A-332.2 (12,38% Si, 0,439% Fe, 1,2% Cu, 1,2% Mg, 1,26% Ni). Os resultados das observações da microestrutura feita no material do pistão PP podem ser observados na Fig. (9). Ela revela que a estrutura no ponto 01 em ambas as regiões E e D é composta por cristais de silício pró eutético em forma de glóbulos, cristais de silício eutético formado por uma matriz de alumínio e pequenos glóbulos de silício primário. A microestrutura do ponto 02, numa região mais interna do pistão também é igual nas duas regiões E e D e é caracterizada por apresentar partículas de silício pró eutético e um eutético formado por uma matriz de alumínio e grandes agulhas de silício eutético. Este tipo de microestrutura é característica de ligas de AlSi de concentração hipereutética. Com o uso do reagente HF 1% a microestrutura revelou uma nova fase. Em todas as regiões foram encontradas uma fase de coloração escura formada provavelmente de Al_2Cu , esta fase aparece segregada nas bordas das dentritas.

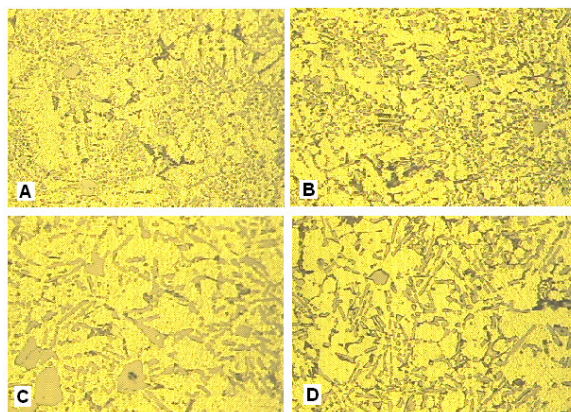


Figura 9. Micrografia do pistão PP: a) Região E, ponto 1. b) Região D, ponto 1. c) Região E, ponto 2. d) Região D, ponto 2. Aumento de 400x, atacado com ácido fluorídrico 1%.

Os resultados obtidos para a microestrutura do pistão PN podem ser vistos na Fig. (10). Nesta figura pode-se observar que o ponto 01 da região E é caracterizado por cristais de silício altamente dispersos em uma matriz de alumínio e grandes partículas de silício pró eutético. Já para a região D apresenta dentritas, cristais de silício eutético dispersos em uma matriz de alumínio e grandes partículas de silício pró eutético

O ponto 02 na região E é composto por pequenas agulhas de silício, cristais dispersos na matriz de alumínio e partículas pequenas de silício pró-eutético. O mesmo ponto da região D apresenta estrutura formada por grandes partículas de silício pró-eutético e eutético com agulhas de silício no alumínio. Com o reagente são reveladas pequenas regiões com fase de coloração escura formada provavelmente de Al_2Cu segregada na borda das dentritas de alumínio.

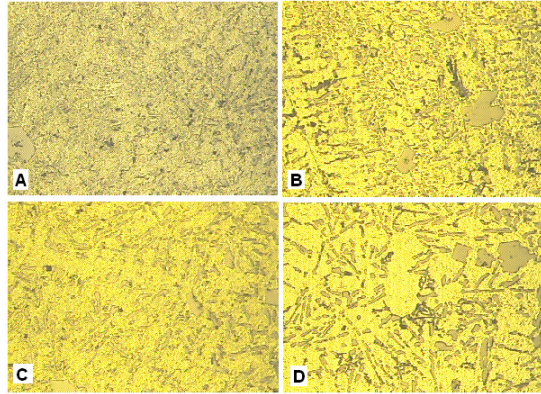


Figura 10. Micrografia do pistão PN: a) Região E, ponto 1. b) Região D, ponto 1. c) Região E, ponto 2. d) Região D, ponto 2. Aumento de 400x, atacado com ácido fluorídrico 1%.

O pistão PD, apresentou uma microestrutura mostrada na Fig. (11) onde se observa uma estrutura eutética formada por cristais globulares de silício dispersos em uma matriz de alumínio no ponto 01 das regiões E e D. Já para o ponto 02 teve sua microestrutura composta por partículas de silício pró eutético e eutético com grandes agulhas de silício, dispersas na matriz de alumínio. Em todas as regiões aparece uma fase com coloração escura provavelmente de Al_2Cu bem distribuída.

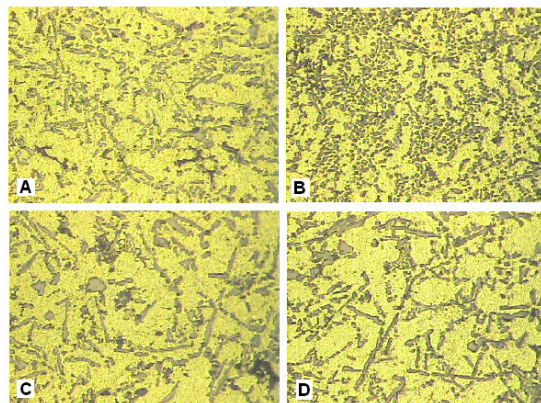


Figura 11. Micrografia do pistão PD: a) Região E, ponto 1. b) Região D, ponto 1. c) Região E, ponto 2. d) Região D, ponto 2. Aumento de 400x, atacado com ácido fluorídrico 1%.

A comparação entre os pistões pode ser feita através da Fig. (12). A linha superior mostra o comportamento do ponto 01 da região D para os pistões PP, PN e PD e a linha inferior o comportamento do ponto 02 da mesma região. O ponto 02 apresentou praticamente a mesma microestrutura composta por agulhas de silício e partículas de silício dispersas em uma matriz de alumínio nos três pistões. No ponto 02 observa-se a presença de agulhas e partículas de silício em todos os pistões.

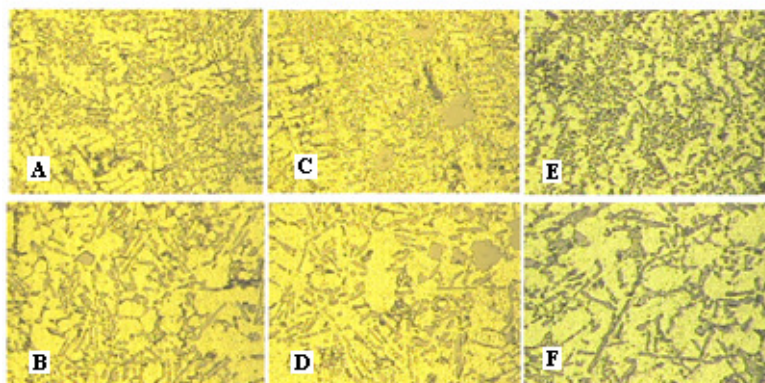


Figura 12. Comparação entre microestruturas da região D. a) Pistão PP, ponto 1. b) Pistão PP, ponto 5, c) Pistão PN, ponto 1. d) Pistão PN ponto 5. e) Pistão PD, ponto 1. f) Pistão PD, ponto 5. Aumento de 400x atacado com ácido fluorídrico 1%.

3. CONCLUSÕES

Através das macrografias realizadas foi possível concluir que os pistões PN e PD sofreram alterações após os ensaios, quando comparados com a macrografia do pistão PP. Passando de uma estrutura composta em sua maioria por grãos colunares para uma estrutura composta por grãos equiaxiais.

As micrografias revelaram uma estrutura característica de ligas hipereutéicas de AlSi e que a estrutura da borda é composta por glóbulos de silício enquanto que a estrutura do centro do pistão é composta por agulhas de silício, provavelmente devido ao processo de retirada de calor característico do processo de fabricação. Comparando os três pistões utilizados não pode ser observada uma mudança significativa das microestruturas presentes tanto na borda como no centro.

Após a análise dos resultados obtidos nos ensaios de dureza do pistão PN, conclui-se que o mesmo sofreu queda significativa de dureza superficial e interna quando exposto à condições normais de funcionamento. Esta queda é atribuída ao efeito da temperatura a qual o material dos pistões é normalmente submetido, quase comparado a um tratamento térmico de recozimento, que no caso o material sofreu em decorrência das temperaturas a que foi exposto durante o ensaio dinamométrico. Em relação à dureza interna pôde-se concluir que a queda de dureza se faz menos pronunciada à medida que se afasta da superfície devido a um diferencial de temperatura entre a parte inferior e superior do pistão. Entretanto, quando o pistão PD foi exposto a condições mais severas de funcionamento, não se observa queda significativa em nenhum ponto superficial ou interno. Isso leva a crer que as modificações realizadas no motor levaram a um aumento de pressão e temperatura que apesar de terem alterado a macro e microestrutura não alteraram o valor da dureza. Este comportamento pode ter sido ocasionado pelo fenômeno da detonação onde as ondas de choque tenham provocado o encruamento da região. O efeito da detonação deve se evitado nos motores de combustão por centelha, pois pode provocar vários danos à integridade do motor provocado pela onda de choque que se opõem ao movimento alternativo. No caso específico dos pistões o efeito da detonação evita a queda de dureza prevista para os pistões que trabalham em regime normal que é pré determinada pelos fabricantes de motores e pistões.

4. REFERÊNCIAS

- ASM. Metals Handbook Vol. 09 – Metallography and Microstructures. Estados Unidos: American Society for Metals, 2004.
- COUTINHO, Telmo de Azevedo. Metalografia de Não-ferrosos. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.
- HEYWOOD, John B. Internal Combustion Engine Fundamentals. Massachusetts: McGraw Hill, 1988. Clark, J.A., 1986, Private Communication, University of Michigan, Ann Harbor.
- MACHADO, Paulo Romeu Moreira. Motores de Combustão Interna. Santa Maria, 2008.
- STONE, Richard. Introduction to Internal Combustion Engines. Warrendale, 2ª Edição, 1999.
- VEB. Instruções de serviço para o aparelho de ensaio de dureza HPO 250. (1968).

5. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.

EVALUATION OF THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF A PISTON ENGINE ENDOTHERMIC SUBMITTED TO DIFFERENT WORKING CONDITIONS

Inácio da Fontoura Limberger, oicanis@gmail.com¹
Paulo Romeu Moreira Machado, promeu.machado@gmail.com²
Pablo de Carvalho Meigier, pablomegier@hotmail.com³
Mateus Palharini Schwalbert, m.palharini@yahoo.com.br⁴
Joelson Almeida Bilhão, jbilhao@gmail.com⁵

^{1,2,3,4,5}Universidade Federal de Santa Maria, Dep. Engenharia Mecânica, Santa Maria - RS, CEP 97105-900

Resumo: Internal combustion engines, when optimized for racing, working with compression rates, temperatures and engine speeds higher. This makes the structural components, especially the pistons are subjected to extreme operating conditions, making them more susceptible to internal modifications. In order to investigate the effects of extreme conditions on the microstructure and mechanical properties of the pistons, dynamometer tests were performed to simulate different operating conditions in an engine cylinder. The samples were analyzed in three pistons, one of which was not submitted to operation and served as the standard for metallurgical analysis. Another was subjected to normal operation, and the third was used in the engine after they made changes, increasing the compression ratio. For the three pistons were made measurements of profiles of hardness and metallographic evaluation at different points. The macrographs and micrographs were taken at the same sections in order to characterize the microstructure of the material. The profiles of hardness on the surface were collected in areas prone to detonation and around the critical regions affected by temperature and the inside of the piston to assess the depth of the changes. These tests indicated a significant loss of mechanical properties and microstructure of the piston exposed to normal operation, which is caused by an annealing suffered by the piston material at temperatures of dynamometer testing, which is consistent with the microstructure found. This loss of mechanical properties did not occur with the most severe conditions of work in the engine ready for competition. This leads to the conclusion that under these conditions and more severe, can result in a hardening of the material resulting from shock waves caused by the phenomenon of detonation, which overlaps the annealing effect caused by the thermal regime.

Keywords: Internal combustion engines 1, pistons 2, detonation3, mechanical properties 4



COPYRIGHT

The authors are solely responsible for the content of the printed material included in their work.