

PRODUÇÃO TÉCNICO CIENTÍFICA
DO IPEN
DEVOLVER NO BALCÃO DE
EMPRÉSTIMO

10/11/2003

TC

Synacta

DN

Ligas de Alumínio Hipereutéticas Conformadas por Spray – Orientação Cristalográfica

Santos, H. O.

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/CNEN-SP
hamilta@ipen.br

Serna, M. M.

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/CNEN-SP
mmserna@ipen.br

Jesus, S. L.

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/CNEN-SP

Lima, N. B.

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/CNEN-SP
nblima@ipen.br

Costa, I.

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/CNEN-SP
icosta@ipen.br

Rossi, J. L.

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/CNEN-SP
jelrossi@ipen.br

hamilta@ipen.br

Resumo: Ligas de alumínio-silício hipereutéticas têm tido uma larga aceitação na indústria automotiva, elétrica e aeroespacial. Isto tem ocorrido devido à elevada razão resistência-peso, ao baixo coeficiente de expansão térmica e à boa resistência ao desgaste. O uso da metalurgia convencional para fabricação destas ligas é limitado pela faixa de composições possíveis. Isto pode ser atribuído à formação e presença de partículas de silício grosseiras, como consequência das baixas velocidades de solidificação associadas à metalurgia convencional. O uso de conformação por "spray" pode superar este obstáculo. O presente estudo visa a análise da textura pela técnica de difração de raios X, utilizando os métodos de levantamento de figuras de pólo e da câmara de Laue, para três ligas de alumínio-silício conformadas por "spray", duas entre elas em uso comercial. Os resultados experimentais indicam que as ligas 1 e 2 possuem uma distribuição praticamente aleatória, enquanto que a liga 3 apresenta componentes de textura parecidas com as encontradas em amostras de Al laminadas a frio, porém com intensidade muito baixa.

Palavras-chaves: conformação por "spray", ligas de Al-Si hipereutéticas, camisas de cilindro.

1. Introdução

Algumas ligas de alumínio-silício possuem características de boa resistência ao desgaste, combinada com baixo coeficiente de expansão térmica. Essas ligas possuem também uma elevada razão resistência-peso. Devido a essas propriedades, essas ligas têm sido usadas em várias aplicações na indústria automotiva, aeroespacial e elétrica [1-4]. Esforços recentes de engenharia, melhorando as propriedades físicas e mecânicas, deram enfoque a modificações de composição com o objetivo de melhorar a resistência mecânica, a resistência ao desgaste, a ductilidade e as propriedades de fratura dessas ligas. Isto resultou em composições hipereutéticas, as quais apresentam baixo coeficiente de expansão térmica combinado com excelentes características de resistência ao desgaste. A resistência ao desgaste deve-se à alta fração volumétrica da fase primária de silício. Aplicações das ligas de alumínio-silício na indústria automotiva incluem blocos de motor e partes de motores, particularmente, camisas de cilindros. As vantagens principais do uso dessas ligas são reduções de peso, menor emissão de gases e menor consumo de combustível [1,2].

O uso de blocos de motores em liga de alumínio hipereutética tem sido considerado padrão para muitos fabricantes mundiais. Blocos em ligas do tipo Al17Si4CuMg, de difícil fundição, têm sido produzidos por processos caros do tipo fundição em coquilhas à baixa pressão. Isto é necessário para a obtenção de uma microestrutura de partículas primárias de silício com refino adequado, para uso na região de contato entre o

cilindro e os anéis do pistão. A fundição convencional em matrizes com ligas tipo Al9Si3Cu, tem sido preferida por ser menos onerosa. Entretanto, as propriedades tribológicas dessas ligas não favorecem o seu uso na região da câmara de combustão. A solução é a utilização de camisas de cilindros compósitos ou revestimentos nessas regiões [2].

Essas ligas de composição hipereutética podem ser produzidas por metalurgia convencional [1-2] ou por processos de solidificação rápida, tais como: "melt spinning" [4], atomização [4-5] ou conformação por "spray" [4-9]. O uso da metalurgia convencional para fabricação dessas ligas é limitado pela faixa de composições possíveis. Isto pode ser atribuído à formação e presença de fases eutéticas e fases primárias de silício grosseiras, em consequência das baixas velocidades de solidificação associadas à metalurgia convencional. Muitos dos problemas associados com o processamento por metalurgia convencional podem ser superados pelo uso de solidificação rápida, como ocorre na conformação por "spray". O maior benefício do uso do processo de solidificação rápida reside na modificação significativa do tamanho, morfologia e distribuição da fase primária de silício na matriz, em relação ao processo convencional.

O alumínio puro é altamente deformável e induz uma textura particularizada, comum ao tipo de material e ao tipo de processo utilizado. Entretanto, tem-se notado que quantidades cada vez maiores de silício adicionadas ao alumínio produzem uma barreira natural que impede a formação de textura [10]. Saber o limite máximo de adição de silício que impede a formação de textura na matriz de alumínio é necessário para otimizar materiais, diminuindo ou intensificando uma determinada propriedade já existente.

2. Parte experimental

Os materiais usados neste trabalho foram produzidos por conformação por "spray", tanto a liga produzida em laboratório como as ligas já utilizadas comercialmente como camisas de cilindro. Estes materiais serão denominadas doravante como liga 1 (produzida em laboratório) e ligas 2 e 3 (retiradas de camisas de cilindro fornecidas por dois fabricantes diferentes). A liga 1 foi laminada a quente e a frio para simular um processamento mecânico e posterior análise de seu comportamento quanto à formação ou não de textura. A laminação a quente ocorreu à temperatura de 450°C, com passo de redução de 3% até atingir um total de 72% em espessura. A laminação a frio ocorreu com passo de redução de 5% até uma redução total de 70% em espessura. As ligas 2 e 3 provavelmente sofreram processo mecânico, tais como extrusão a quente seguida de estampagem, tipicamente usados durante a conformação das barras em tubos usados como camisas de cilindro. Entretanto, não há informações disponíveis de como e sob que condições esses trabalhos mecânicos foram realizados. A tabela 1 apresenta a composição química das três ligas de Al-Si hipereutéticas, conformadas por "spray". A composição química foi obtida por espectrofotometria de absorção atômica gravimetria para o Si. Após o polimento metalográfico, amostras das três ligas foram atacadas em uma solução de 60 mL de água deionizada, 10 g de NaOH e 5 g de $K_3Fe(CN)_6$.

Tabela 1: Composição química obtida por espectrofotometria de absorção atômica e gravimetria (Si) para as três ligas de alumínio-silício hipereutéticas (% em peso).

Material	Al	Si	Mg	Ni	Cu	Fe
Liga 1	balanço	26,64	0,02	0,006	5,2	0,19
Liga 2	balanço	23,19	1,00	0,96	2,70	0,19
Liga 3	balanço	20,76	1,10	0,01	4,00	0,21

As três ligas foram analisadas por difração de raios X, sendo utilizados uma câmara de Laue e um goniômetro de textura. O tubo usado foi de Cu, radiação $K\alpha$. O tempo de exposição para a câmara de Laue foi de três horas para a liga 1, sete horas para a liga 2 e de cinco horas para a liga 3. A distância entre o detector e a amostra foi de 50 mm, para uma potência de 40kW/30mA, para todas as ligas. Para o levantamento da figura de pólo foi utilizado tubo de molibdênio e método de Schulz, com passo de 5° para os ângulos α e β . As amostras de camisas de cilindro foram analisadas na direção radial, tangencial e axial como mostra a figura 1. Esta figura apresenta um desenho esquemático de uma camisa de cilindro e a direção paralela ao feixe incidente irradiado numa câmara de Laue.

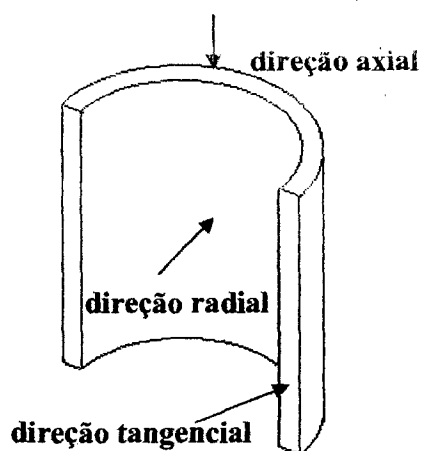


Figura 1. Desenho esquemático da seção de uma camisa de cilindro, onde são mostradas as direções irradiadas para obtenção das figuras de Laue.

3. Resultados e Discussões

Da composição química das três ligas, é observada uma variação na quantidade de Si, Ni e Cu, como mostrado na tabela 1. A liga 1 possui pouco magnésio em relação às outras, no entanto, possui mais Si e mais Cu, que pode ser responsável pela formação de mais partículas finas de silício e, também, intermetálicos.

Sabe-se que tanto o alumínio puro como o silício metálico têm estrutura cfc, e que no processo de conformação por "spray", o silício não se dissolve na matriz de alumínio devido às diferentes velocidades de solidificação, mas é distribuído homogeneamente por toda a matriz, com tamanho das partículas de silício bem menor do que nos processos convencionais. Nestas condições, o material age como se fosse uma mistura heterogênea, onde coexistem duas estruturas cfc, não havendo perda das características do alumínio ou do silício. As figuras 2 (a e b) apresentam os padrões de difração de raios X, obtidos numa câmara de Laue para a liga 1, laminada a quente (72% de redução) e a frio (70%). A figura 5 apresenta a figura de pólo da liga 1 laminada a quente (a) e a frio (b), onde as isolinhas aparecem concêntricas, e a maior intensidade "times random" é de 1,57. A liga 1 mostrou-se muito frágil durante a laminação, e mesmo com mais de 50% de redução, não foi verificada orientação preferencial. Este fato não é comum se comparado às ligas convencionais de alumínio, mas que pode ser justificado pela presença de grande quantidade de silício (~26%) que não se deforma e que impediria a formação de textura comum ao alumínio [11]. Estes resultados sugerem que a presença de precipitados dificulta e pode, inclusive, impedir a rotação do reticulado cristalino, e, conseqüentemente, o aparecimento de textura. A figura 3 apresenta o padrão de Laue da liga 2 e a figura 6 de pólo apresenta a figura de pólo obtida para a liga 2, onde também não é observada textura.

Neste trabalho é apresentada tanto para a liga 1 como para a liga 2, apenas o padrão de Laue onde foi irradiada a direção radial. Na liga 2 esta região corresponde ao interior da camisa de cilindro.

A figura 4 (a) apresenta o padrão de Laue para a liga 3, referente à região interna do cilindro, semelhante aos padrões obtidos para as ligas 1 e 2, onde não se observa textura. Já a figura 4 (b), onde foi irradiado o topo do cilindro, podem ser observadas variações na intensidade dos anéis de Debye, identificando textura. O resultado obtido com as figuras de pólo (figura 7) confirmam a existência de textura típica de deformação de alumínio de baixa intensidade ("times random" de 2,13).

A observação de textura em uma só direção é explicada por Cullity, B. D. [12] que analisou a textura de fibra em um material com simetria rotacional. Bunge, H. J. [13] estudou texturas de tubos de alumínio fazendo um corte da parede do tubo na direção axial, tratando-o como uma chapa, mas com a textura de fibras alinhada paralela ao eixo do cilindro.

Num trabalho anterior, apresentado no SDMA 2003 [10], foram analisadas apenas as direções internas dos cilindros das ligas 2 e 3, quando então verificou-se a inexistência de textura. Este trabalho vem complementar a discussão anterior, além de comparar as ligas existentes no mercado com uma liga totalmente experimental.

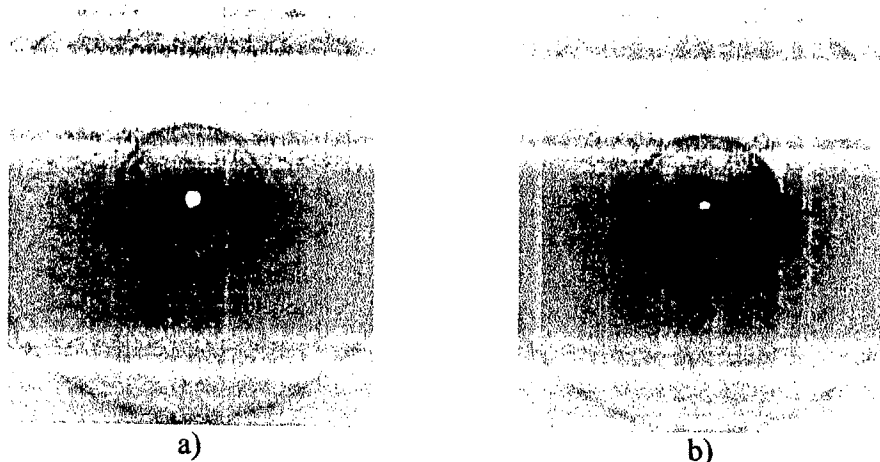


Figura 2. Padrão de Laue da liga 1, perpendicular à direção de laminação. a) Laminada a quente a 450 °C com 72 % de redução. b) Laminada a frio com 70% de redução. As linhas de difração apresentam intensidade contínua e uniforme, que indicam orientação cristalográfica aleatória.

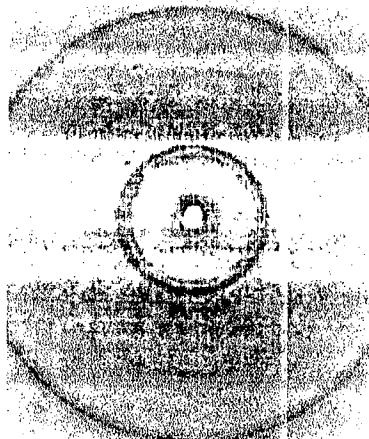


Figura 3. Padrão de Laue da liga 2, na direção radial. As linhas de difração apresentam intensidade contínua e uniforme, que indicam orientação cristalográfica aleatória.



Figura 4. Padrão de Laue da liga 3. a) Direção radial. b) Direção axial. Na direção radial os anéis de Debye são contínuos e de intensidade uniforme, que deve-se ao feixe de raios X incidente ser paralelo ao eixo das fibras. Na direção axial, os anéis de Debye não são contínuos devido à orientação cristalográfica da amostra ficar evidente nesta direção, apesar da pouca intensidade.

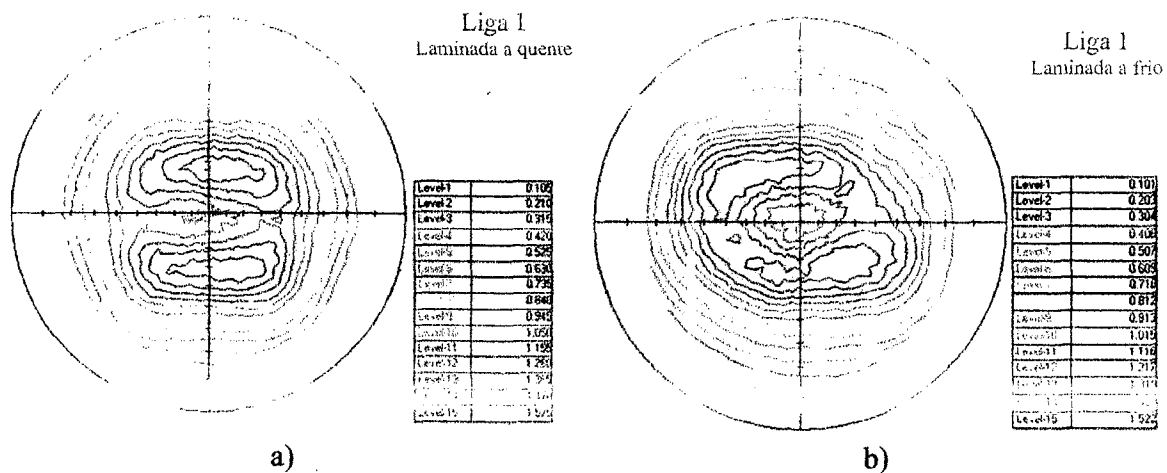


Figura 5. Figuras de pólo obtidas na liga 1. a) Depois de laminação a quente até 72% de redução em espessura. b) Depois de laminação a frio até 70% de redução total em espessura. Estas figuras de pólo indicam que o processo de laminação não induziu textura nesta liga.

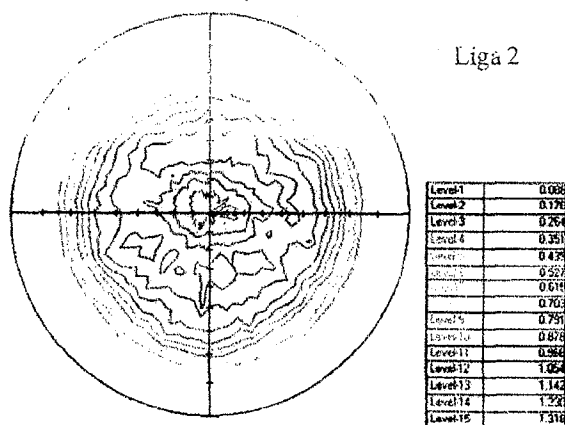


Figure 6. Figura de pólo obtida da liga 2, cuja amostra foi retirada de uma camisa de cilindro em uso comercial. Esta figura mostra que a liga 2 não possui textura.

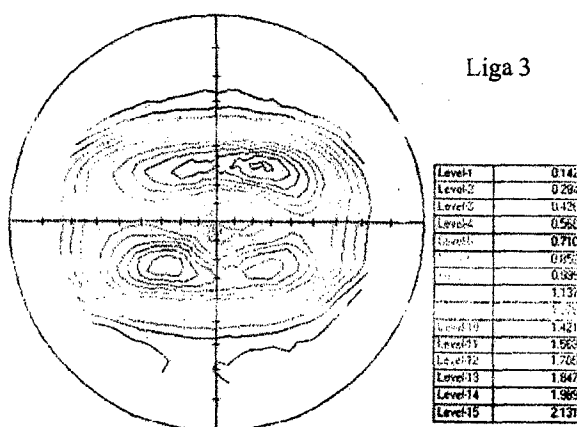


Figure 7. Figura de pólo obtida da liga 3, cuja amostra foi retirada de uma camisa de cilindro em uso comercial. Esta figura de pólo mostra que a liga 3 possui textura de deformação típica do alumínio.

4. Conclusão

Com relação à liga 1 que é uma liga Al-Si experimental conformada por "spray", sob as condições de deformação plástica usadas: laminação a quente e a frio, esses processos não induziram textura.

A liga 2 retirada de uma camisa de cilindro em uso comercial, apesar das condições de processamento serem desconhecidas, também não possui textura.

A liga 3, cujo o processamento de fabricação também é desconhecido apresentou textura de deformação. A quantidade de silício e outros intermetálicos na liga 3, é menor do que em relação às outras duas ligas. Esta pode ser uma evidência circunstancial que há um limite superior para adição de silício e outros elementos ao alumínio que abaixo disso, não induz nenhuma textura de deformação.

5. Agradecimentos:

Os autores agradecem ao Instituto de Física da Universidade de São Paulo e ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares pelo uso dos difratômetros de raios X e ao CNPq pela concessão de bolsa à aluna Hamilta de Oliveira Santos.

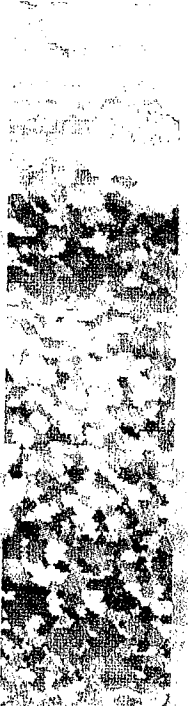
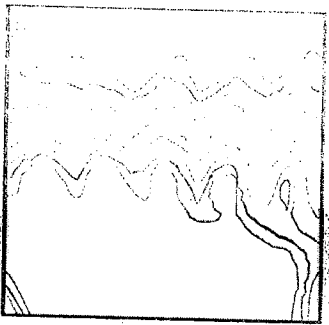
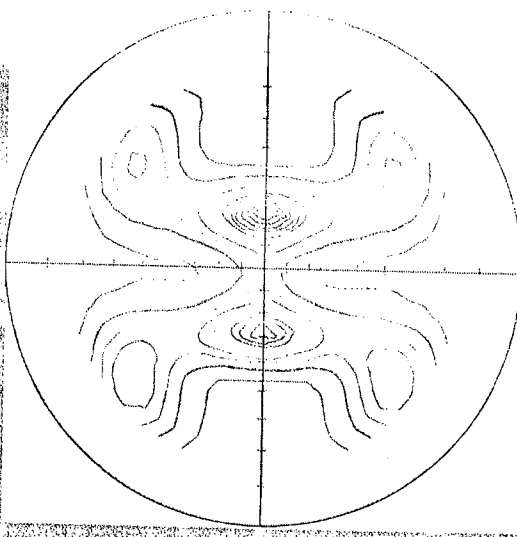
6. Referências Bibliográficas

- [1] G. Crivellone, A. Fuganti, C. Mus, D. Salinas. *SAE Special Publication SP-1610 Powdered Metal Performance Applications* (2001), p. 77-83.
- [2] P. Stocker, F. Rückert, K. Hummert, *MTZ Motortechnische Zeitschrift* vol. 58 no. 9 (1997), p. 16-9.
- [3] S. Ozbek, A. R. E Singer, *Abstr. Conf. London 23-24 November, The Inst. of Metals* (1987), p. 9/1-9/3.
- [4] E. J. Lavernia, N. J. Grant, *Materials Science Engineering* no. 98 (1988), p. 381-94.
- [5] D. M. Jacobson, *Advanced Materials & Process*, vol. 157 no. 3 March (2000), p. 36-9.
- [6] A. G. Leatham, A. Ogilvy, P. Chesney, J. V. Wood, *Metals and Materials* March (1989), p. 140-3.
- [7] A. G. Leatham; L. Elias, M. Yaman, T. Itami, Y. Kawashima, P. J. S. Brooks, K. Hummert, D. E. Tyler, P. Cheskis, R. P. Dalal, P. D. Prichard, *Proc. of P/M World Congress San Francisco USA, June 23-24 (1992)*, p. 66-76.
- [8] A. G. Leatham, A. Ogilvy, L. Elias, *P/M in Aerospace, Defense and Demanding Applications Conf. San Diego 7-10 February (1993)*, p. 165-75.
- [9] J. L. Rossi, F. Ambrozio Filho, J. Vatauvuk, D. B. Falleiros, *IPEN/ CPP Report December (1997)*, p. 1-15. (In Portuguese).
- [10] H. de O. Santos, N. B. de Lima, I. Costa, J. L. Rossi, J.C. Santos, M. A. Colosio, *Crystallographic orientation study of spray formed hypereutectic Al-Si alloys used in the automotive industry, 2nd International conference on spray deposition and melt atomisation (SDMA 2003) and 5th International conference on spray forming (ICSF V)*, v. 1, Bremen, Germany, June 22-25, 2003, 97-101.
- [11] N. B. de Lima, K. Imakuma, A. F. Padilha, *41^o Congress ABM* (1986), v. II, 283-291.
- [12] B. D. Cullity, *Elements of x-ray diffraction*, 2nd edition, 296-297.
- [13] H. J. Bunge, *Texture analysis in materials science – mathematical methods*, 1st edition (1969), 245-247.

II Workshop sobre Textura e Relações de Orientação

deformação plástica, recristalização, crescimento de grão

10 a 12 de outubro de 2003 - IPEN - BRASÍLIA



II Workshop sobre Textura e Relações de Orientação

8 e 9 de dezembro de 2003

IPEN

São Paulo-SP

IPEN/CNEN-SP
BIBLIOTECA
"TEREZINE ARANTES FERRAZ"

Formulário de envio de trabalhos produzidos pelos pesquisadores do IPEN para inclusão na
Produção Técnico Científica

AUTOR(ES) DO TRABALHO:

Santos, H. O; Serna M. M; Jesus, S.L; Lima, N. B; I. Costa; Rossi, J. L

LOTAÇÃO: CCTM

RAMAL:9359

TIPO DE REGISTRO:

art. / periód.:

Publ. IPEN

Art. conf

resumo

outros

(folheto, relatório, etc...)

TITULO DO TRABALHO:

Ligas de Alumínio Hipereutéticas Conformadas por Spray- Orientação Cristalográfica

APRESENTADO EM: (informar os dados completos - no caso de artigos de conf., informar o título
da conferência, local, data, organizador, etc..)

II WORKSHOP SOBRE TEXTURA E RELAÇÕES DE ORIENTAÇÃO

8 e 9 de Dezembro 2003 Ipen- Brasil

PALAVRAS CHAVES PARA IDENTIFICAR O TRABALHO:

Conformação por "spray", ligas de Al-Si hipereutéticas, Camisas de Cilindro

ASSINATURA: _____

DATA: 10/12/2003