

PRODUÇÃO DE LIGAS METÁLICAS EM FORNO DE INDUÇÃO

Maria Luiza Moreira Dias Pereira (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Reginaldo Barco (Orientador). E-mail: rbarco2@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Maringá, PR.

Ciências Exatas e da Terra / Física – Física da Matéria Condensada.

Palavras-chave: Liga Al-Cu; Fusão; Difração de Raios-X.

RESUMO

Ligas metálicas são utilizadas em ocasiões para as quais um metal puro não apresenta alguma característica almejada. A união de cobre com zinco, por exemplo, pode produzir ligas aplicadas tanto como peças ornamentais, quanto como partes de equipamentos. Conhecer as características de cada elemento, bem como a liga almejada, então, torna-se necessário. Neste trabalho foi investigada a produção de ligas de alumínio-cobre (Al-Cu), por meio de dois processos distintos, com forno resistivo tubular e com forno de indução, com o objetivo de caracterizar a formação da liga a partir de materiais reciclados. As amostras foram analisadas por difratometria e fluorescência de raios-X para a determinação de fases cristalinas e a composição elementar, respectivamente. Tomando como referência a formação da fase cristalográfica da liga Al_2Cu , as quantidades foram separadas e fundidas. Os resultados apontaram para a formação das fases AlCu e Al_2Cu , majoritariamente, com a presença de porções de óxidos, a depender da técnica empregada no forno resistivo. Tais resultados corroboram com a possibilidade de reuso de materiais descartáveis para a produção de ligas, bem como a escolha adequada para a sua produção.

INTRODUÇÃO

O forno de indução é utilizado na metalurgia para a fusão de metais e ligas devido à possibilidade de controle de temperatura, rapidez do processo e sua eficiência energética. Seu funcionamento ocorre às vistas da aplicação da teoria da indução eletromagnética, em que um solenoide produz campo magnético variável, induzindo correntes de Foucault no material depositado em seu interior, gerando aquecimento nesse material, sem o contato direto. O controle preciso na corrente aplicada ao solenoide garante o controle do campo magnético e, conseqüentemente, tem-se controle na temperatura produzida no material, que deve ser condutor elétrico. O interior do solenoide pode ser mantido em atmosfera livre, ou controlada. Os mais variados tipos de metais podem ser fundidos, sendo amplamente utilizados por

ourives, por exemplo. A eficiência energética do forno de indução, juntamente com a possibilidade de fundição limpa, torna viável o uso de materiais destinados à reciclagem, como latas de bebidas e seus lacres, entre outros metais. Uma vez preparadas, as ligas metálicas tem desempenho crucial na indústria, devido à sua capacidade de combinar propriedades superiores aos elementos puros, ou potencializando propriedades existentes (W. D. Callister, et al., 2016; A. F. Padilha, 2000). A liga Al-Cu, por exemplo, é amplamente utilizada na indústria aeronáutica devido à resistência mecânica (J. F. Shackelford, 2011). Este trabalho, então, propõe produzir a liga Al-Cu, às vistas de reaproveitamento de materiais descartados, utilizando-se de dois tipos de fornos: um resistivo tubular e um de indução, a fim de comparação da eficiência, para tanto, faz-se necessária análise estrutural por meio das técnicas de raios-X, a saber: difratometria (DR-X) e fluorescência (FR-X), comparando os processos de preparação das ligas.

MATERIAIS E MÉTODOS

A escolha em produzir a liga Al-Cu foi realizada a partir da possibilidade em se utilizar materiais inicialmente descartados, como anéis/lacres de latas de bebidas, ricos em alumínio; e condutores elétricos, basicamente formados por cobre. Medidas de fluorescência de raios-X nestes materiais confirmaram presença superior a 98 % em massa dos elementos Al e Cu, respectivamente. Uma inspeção na literatura permitiu encontrar o artigo de Xiong (N. Xiong, 2023), em que se apresenta um diagrama de fases eutetóide da liga Al-Cu, no qual aponta para a boa solubilidade entre estes metais, com ligas polifásicas e, pelo menos, dois compostos linha, de características intermetálicas, monofásicos, em quantidades específicas para a formação de fase, apontadas na tabela 01. Optou-se por realizar a formação das ligas utilizando-se de dois tipos de fornos: resistivo tubular, considerando as condições de atmosfera livre e em vácuo; e, indução, em atmosfera livre. Após a produção das amostras, análises de fluorescência de raios-X, que identifica a presença de elementos químicos em uma amostra; e difração de raios-X, que revela fases cristalográficas, foram realizadas a fim de caracterizar o material produzido.

Tabela 01: Relação entre os elementos e as porcentagens em massa de precursores das respectivas ligas eleitas para o estudo.

Elemento	Al-Cu (wt%)	Al ₂ Cu (wt%)
Al	29,80	8,10
Cu	70,20	91,90

As amostras produzidas em forno resistivo foram condicionadas em um cadinho de alumina, promovendo o protocolo do forno, i.e., aquecimento de 3,5 °C/min, até atingir 1000 °C, permanecendo, por pelo menos, 10 min, nesta temperatura. Uma

amostra (amostra A) foi produzida em atmosfera livre, outra, (amostra B) produzida em vácuo, utilizando-se uma bomba turbo-molecular. Após o tempo devido, as amostras foram retiradas do interior do forno, ainda quente, no intuito de promover a retenção da fase pretendida.

A amostra produzida em forno de indução (amostra C), por sua vez, foi aplicada a corrente elétrica no solenoide, gradativamente, até a completa fusão dos metais depositados em um cadinho de alumina, no interior do solenoide, atingindo temperatura superior a 900 °C. Constatando-se a fusão, o cadinho foi retirado do solenoide para o resfriamento da liga formada.

Após o resfriamento, as amostras puderam ser maceradas em almofariz de ágata, formando um pó que, após passar por peneira metalográfica, garantiu-se uma granulometria inferior a 150 µm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A possibilidade de macerar as amostras foi promissora, pois é típico de compostos intermetálicos. As análises de fluorescência de raios-X, como mostrado na tabela 02, ratificaram as porções dos elementos, com pequenas frações de outros metais oriundos dos precursores, todos menores que 1 % em massa.

Tabela 02: Relação de elementos identificados nas amostras preparadas a partir da técnica de fluorescência de raios-X.

Amostra	Elementos (% em massa)				
	Al	Mn	Fe	Cu	Ag
A	10,003	0,006	0,082	89,604	0,306
B	16,378	0,212	0,219	82,901	0,290

As informações obtidas pela fluorescência corroboram com as quantidades pertinentes às fases AlCu e Al₂Cu, entretanto, para a correta identificação de fases cristalográficas, faz-se necessário outra técnica de raios-X, a difração.

Os difratogramas mostrados nas figuras 01(a e b) apresentam uma formação bem cristalizada, com fases estruturais identificáveis. Após inspeção com as técnicas típicas, foram identificadas as presenças de: alumínio metálico, CuO, e CuAl₂O₄ na amostra produzida em atmosfera livre. A partir deste fato, compreendeu-se que, a atmosfera livre não é adequada, produzindo a oxidação do material, ao invés da liga pretendida. A amostra B, produzida em vácuo, por outro lado, apresentou alguns picos, de baixa intensidade, do alumínio metálico, mas especialmente, as fases AlCu e Al₂Cu. A amostra preparada em forno de indução, por sua vez, apresentou a fase Al₂Cu, como almejado.

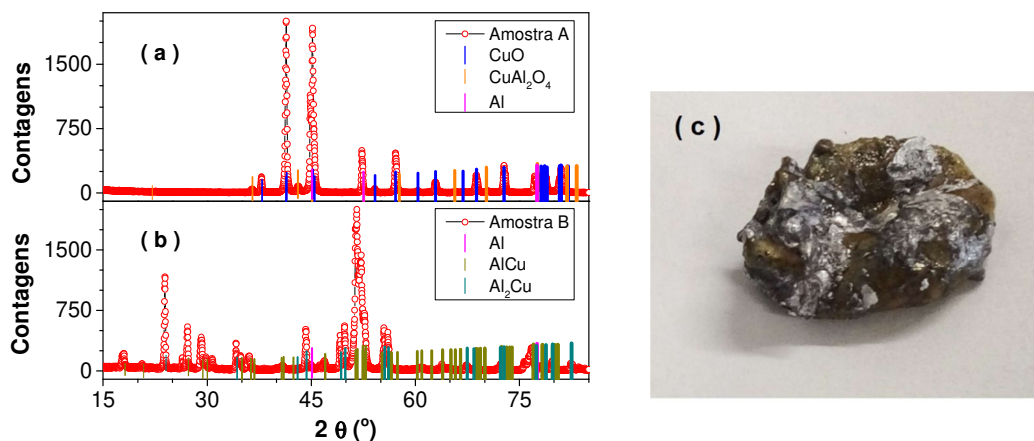


Figura 1 – Difratomogramas das amostras produzidas em forno tubular: (a) Amostra A - em atmosfera livre; (b) Amostra B - sob vácuo. (c) Imagem da amostra produzida em forno de indução.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstram que o forno de indução é uma técnica promissora para a produção de ligas metálicas, por produzir ligas em menor tempo, com menores consumos de energia, além de permitir a formação de ligas metálicas, em condições das quais o forno resistivo produziu a oxidação dos precursores, i.e., em atmosfera livre. Como perspectiva, pretende-se ainda, produzir a liga Cu-Zn em forno de indução.

AGRADECIMENTOS

Nossos cordiais agradecimentos à UEM, ao CNPq, e à Fundação Araucária.

REFERÊNCIAS

- Callister Jr., W. D.; Rethwisch, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 9 Ed. Rio de Janeiro: LTC-Gen, 2016.
- Padilha, A. F. **Materiais de Engenharia: Microestrutura e Propriedades**. Curitiba-Pr: Hemus, 2000.
- Shackelford, J. F. **Ciência dos Materiais**. 2 Ed. São Paulo: Pearson Editora, 2011. pp. 256-276.
- Xiong, N.; Friedrich, S.; Friedrich, B. Purification of the Al₂Cu intermetallic compound via zone melting crystallization technique. **Journal of Materials Research and Technology**. 2023, Vol. 26, pp. 973-983.