

Preparação de pós metálicos e intermetálicos para o processo de aspersão térmica: preparação de corpos de provas para caracterização da matéria prima e dos revestimentos aspergidos

Preparation of metallic and intermetallic powders for the Thermal Spray Process: preparation of specimens for characterization of feedstock and spray coatings

RESUMO

Ligas intermetálicas à base de Fe_3Al e $FeAl$ tem sido muito estudadas devido a sua aplicação em altas temperaturas e ambientes agressivos a corrosão. O composto intermetálico $Fe_3Al-Fe_3AlC_x$ foi preparado usando a técnica de processamento reativo de líquidos (RLP) por meio de mistura controlada de aço carbono e alumínio no estado líquido. Foram preparadas e analisadas duas composições com diferentes proporções em peso de alumínio (FK19L1 com 16% Al e FK19L2 com 23%Al). Foram avaliadas as microestruturas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), microscopia óptica (MO) e espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDS). Além disso, foram avaliadas as propriedades mecânicas de dureza, microdureza e resistência a tração.

PALAVRAS-CHAVE: Propriedades mecânicas. Metalurgia. Compostos intermetálicos.

Ronaldo Maicon Ariati

ronaldo.ariati@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Dalmarino Setti

dalmarino@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Maria Nalu Verona

nalu@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Silvana Patrícia Verona

silvanaverona@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

The Fe_3Al and $FeAl$ based intermetallic alloys has been much studied due to their application in high temperature and aggressive corrosion environments. The $Fe_3Al-Fe_3AlC_x$ intermetallic composite was prepared using the reactive liquid processing (RLP) technique through controlled mixing of carbon steel and aluminum in the liquid state. Two compositions with different aluminum weight ratios (16% FK19L1 and 23% FK19L2) were prepared and analyzed. The microstructures and phases were evaluated by scanning electron microscopy (MEV), optical microscopy (MO) and x-ray dispersive energy spectroscopy (EDS). Also, the mechanical properties of hardness, microhardness, and tensile strength were evaluated.

KEYWORDS: Mechanical properties. Metallurgy . Intermetallic compounds.

INTRODUÇÃO

As ligas intermetálicas à base de FeAl e Fe₃Al estão recebendo atenção da comunidade de ciência dos materiais devido ao seu potencial promissor e aos seus benefícios a alta temperatura (VERONA et al, 2018; WANG et al, 2015; YASUDA, UMAKOSHI, 2010) tais como: resistência a tração, resistência ao desgaste (STOLOFF, 1998; MINETA et al, 2010), resistência a corrosão (MORRIS, 1998), resistência a oxidação (CINCA et al, 2013; KIM, MORRIS, 1998), resistência de carburação (VERONA et al, 2018), resistência a sulfidação (YASUDA, UMAKOSHI, 2010), resistência a fluência (MCKAMEY et al, 1992) e elevada dureza (MINETA et al, 2010), portanto tem sido muito utilizado na fabricação de componentes estruturais para aplicação em alta temperatura e meio de trabalho agressivo por exemplo na indústria petroquímica e usinas de conversão de carvão (SCHNEIDER et al, 2005). Entretanto, a baixa temperatura (abaixo de 500°C) surge uma desordem que diminui a ductilidade e tenacidade devido a fragilização dinâmica por hidrogênio que é resultante da dissociação de moléculas de água na superfície da liga (MCKAMEY et al, 1992; STOLOFF, 1998).

Os benefícios proporcionado pela introdução do carbono no alumineto de ferro Fe₃Al resultanta na formação de carbonetos (VERONA et al, 2018). Esse carboneto é conhecido como fase k. O compósito intermetálico Fe₃AlC_x recebe um melhoramento na resistência mecânica (BALIGIDAD, RADHAKRISHNA, 2002), na fluência a alta temperatura, ductilidade a temperatura ambiente e na usinabilidade. Também é bem parecido com Perovskita que exibe uma estrutura cristalina semelhante. Nesse estudo a fase k domina-se Fe₃AlC_x. A adição de carbono também melhora a resistência ao desgaste (STOLOFF et al, 1998; ZHU et al, 2002).

Compósitos intermetálicos Fe₃Al-k preparados pelo Processo Reativo de Líquidos (RLP) exibem vantagens de processamento tão elevada quanto as outras técnicas incluindo baixo custo de processo, versatilidade para modificar a concentração dos materiais, a quantidade de cada fase presente e baixos custos das matérias-primas pois é utilizado material reciclável como sucata de aço (VERONA et al, 2018).

O objetivo do presente trabalho é preparar dois compósitos de Fe₃AlC_x com duas proporções de alumínio (FK19L1 com 16% e FK19L2 com 24%) utilizando o método RLP e avaliar microestrutura, dureza, microdureza e propriedades mecânicas.

MATERIAL E MÉTODO

Os materiais utilizados foram a sucata de aço e lingote de alumínio, de composição conforme tabela 1, na seguinte proporção: FK19L1 com 16% de Al e FK19L2 com 24% de Al.

A obtenção dos intermetálicos é pelo RLP e consiste em várias etapas: fusão separada de alumínio e aço carbono, vazamento de precursores metálicos de peso conhecido, reação de formação de compósito e fundição.

Os metais foram fundidos em fornos separados. A sucata de aço foi fundida em um forno de indução com capacidade de 600 kg a uma frequência de 1200 Hz a 1570°C (1843 K). O lingote de alumínio foi fundido em um forno cadinho a 680°C (953 K). As quantidades de alumínio (1,8 kg) e aço carbono (8,76 kg) foram ajustadas para obter o primeiro compósito Fe₃Al- Fe₃AlC_x (FK19L1) contendo 16% em peso de Al e o segundo compósito (FK19L2) com as quantidades de alumínio (1,91 kg) e aço carbono (6,03 kg) contendo 24% em peso de alumínio aproximadamente.

Tabela 1 – Composição química lingote de alumínio e sucata de aço

Elemento	Fe	C	Si	S	P	Mn	Mg	Al
Lingote de alumínio (%)	0,07	-	0,05	-	0,001	0,001	0,002	99,83
Sucata de Aço (%)	98,2	1,1	0,24	0,03	0,028	0,153	-	-

Fonte: Autoria Própria (2019).

Obtenção dos compósitos (FK19L1 e FK19L2) foi em panela reatora com capacidade de 35 kg e as proporções como descrito acima. A panela reatora foi revestida com areia de sílica aglomerada com bentonita e silicato de sódio e aquecida aproximadamente 1300°C (1573 K). O reator aquecido foi colocado em uma balança eletrônica e tampado com uma manta cerâmica grossa com uma abertura central para o vazamento de precursores metálicos e também para misturar os metais. O aço foi despejado primeiro na panela reatora, e o alumínio foi então despejado sobre o aço com controle de massa. Em seguida, a mistura foi agitada durante 20 s com uma barra de aço aquecida. Finalmente, a manta cerâmica grossa foi removida, a escória foi removida e a mistura foi em molde de caixa fria-areia para produzir os corpos cônicos com dimensões de diâmetro 18 mm, diâmetro 15 mm e comprimento de 130 mm. Resultando um total em peso de 6,58 kg do primeiro compósito (FK19L1) e 4,3kg para o segundo compósito (FK19L2).

A análise microestrutural foi realizada por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). A análise por espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDS). Os resultados da EDS foram utilizados apenas para análise qualitativa.

As amostras foram preparadas para análise metalográfica de acordo com a norma [ASTM E3-11](#) e é composta por 5 etapas: Corte, embutimento, lixamento, polimento e ataque químico. Para o processo de polimento foi utilizado alumina (1 ml) e condicionamento com 33 vol pct NO₃ + 33% CH₃COOH + 33% H₂O + 1% HF. Seguido de análise usando microscopia óptica (MO; Olympus BX51M).

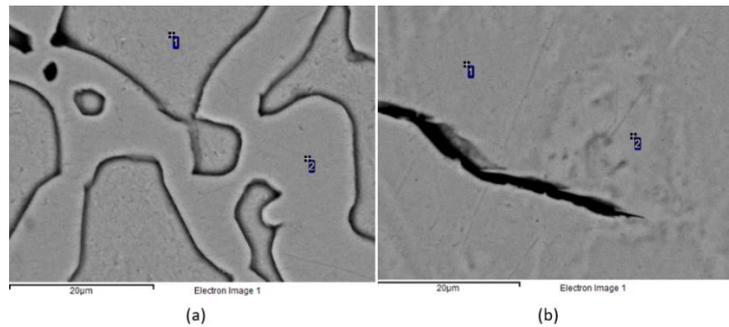
Foram obtidos a dureza, microdureza Vickers e a resistência mecânica das amostras. A microdureza foi avaliada utilizando um aparelho de microdureza (Shimadzu HVM-2T) com carga de 1000 g por 20 segundos. Finalmente, e a resistência a tração foi avaliada utilizando máquina universal de tração (Máquina Universal de tração WDW-100E) de acordo com a norma ASTM E8/E8M – 11.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A utilização do processo RLP foi bem sucedida na preparação Composito Fe₃Al-Fe₃AlC_x seguindo os passos descritos no procedimento experimental.

A figura 1 apresenta as varreduras pontuais por EDS dos compósitos obtidos. Uma pequena redução no teor de alumínio foi observada na região interna (interdendrítica) do compósito FK19L1 possuindo 15,72% de Al e na região externa (matriz) contendo 19,31% de Al. Já no compósito FK19L2 essa variação é quase inexistente pelo fato de ter formado grafita na região externa contendo 21,59% de Al e na região interna contendo 21,59% de Al.

Figura 1. Varreduras Pontuais EDS. (a) FK19L1 e (b) FK19L2.

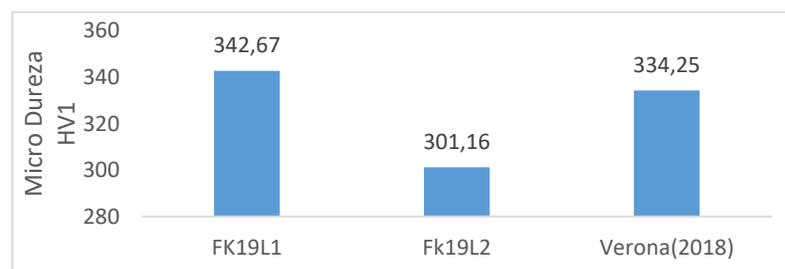


Fonte: Autoria Própria (2019).

A micro dureza e dureza do compósito FK19L1 foi $342,67 \pm 44,33$ HV e 29HRC, respectivamente. E do compósito FK19L2 foi $307,16 \pm 36,33$ HV e 23 HRC, respectivamente. A micro dureza do compósito FK19L2 foi menor possivelmente devido a formação de grafita que diminuiu a concentração de carbono no Fe_3AlC_x . Conforme descrito na tabela 2.

Os compósitos FK19L1 e FK19L2 apresentaram resistência mecânica de $288MPa \pm 46,3MPa$ e $145MPa \pm 32,56MPa$, respectivamente. Com base nos dados obtidos pelos autores (BALIGIDAD, RADHAKRISHNA, 2002) a resistência à tração aproximadamente 400MPa, o presente estudo possivelmente obteve menor resistência mecânica devido a trincas e porosidades.

Figura 2. Comparação micro dureza do presente estudo com outro autor

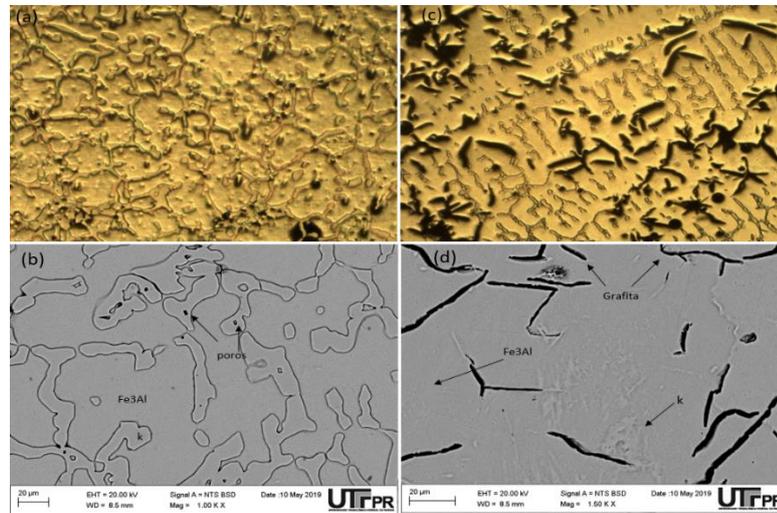


Fonte: Autoria Própria (2019).

A microestrutura dos compósitos é mostrada na Figura 3. É possível observar as duas fases dos compósitos nas figuras 3 (a) e (c). A fase clara (matriz) é FeAl e a fase escura (interdendrítica) é Fe_3AlC_x como estão indicadas. A figura 4 (d) mostra ainda que o compósito FK19L2 apresentou a formação de uma terceira fase (grafita).

A Figura 3. b) mostra porosidade/impurezas distribuída a amostra. A forma arredondada destes poros indica que a sua origem pode ser gás retido no último líquido a solidificar.

Figura 3. Microestrutura dos compósitos estudados. (a) MO com 100x do compósito FK19L1. (b) MEV FK19L1. (c) MO com 100x do compósito FK19L2. (d) MEV FK19L2.



Fonte: Autoria Própria (2019).

CONCLUSÃO

Os compósitos FK19L1 e FK19L2 foram preparados com sucesso usando RLP com sucata de aço e alumínio comercialmente puro. Suas fases, microestrutura e propriedades mecânicas foram avaliados.

Compósito FK19L1 contendo cerca de 16% de Al, micro dureza de $342,67 \pm 44,33$ HV, resistência a tração de 288MPa e dureza 29 HRC. Compósito FK19L2 contendo cerca de 24% de Al, micro dureza $307,16 \pm 36,33$ HV, resistência a tração de 145MPa e dureza 23 HRC. Valores semelhantes aos relatados na literatura.

A microestrutura dos compósitos de FK19L1 e FK19L2 obtidos pelo Processamento Reativo de Líquidos são semelhantes aos obtidos por outras técnicas de processamento relatadas na literatura, somente diferenciando o FK19L2 que obteve as duas fases mais a fase da grafita.

Os compósitos FK19L1 e FK19L2 apresentaram resistência mecânica de 288MPa \pm 46,3MPa e 145MPa \pm 32,56MPa, respectivamente. Obteve menor resistência mecânica que outros autores da literatura devido a trincas e porosidades internas.

Para pesquisas futuras a adição de elementos de liga podem afetar diretamente a ductilidade e fragilidade do compósito, e também a fabricação variando a concentração de Aço e Alumínio e os parâmetros de RLP.

AGRADECIMENTOS

Essa pesquisa foi apoiada pela UTFPR que forneceu os ensaios dos materiais e Fersul que forneceu a fundição do compósito intermetálico.

REFERÊNCIAS

YASUDA, H. Y.; UMAKOSHI, Y. Pseudoelastic behaviour of Fe3Al single crystals with D0 3 structure. *Intermetallics* 18, 2010. p. 1273–1278.

VERONA, M. N.; SETTI, D.; PAREDES, R. S. C. **Microstructure and properties of Fe₃Al-Fe₃AlC_x composite prepared by reactive liquid processing.** *Metall. Mater. Trans. B Process Metall. Mater. Process. Sci.* 49, 2018. p. 529–536.

WANG, C. *et al.* **Experimental Determination of Phase Equilibria in the Sn-Zn-Sb System.** *J. Phase Equilibria Diffus.* 36, 2015. p. 350–356.

STOLOFF, N. S. **Iron aluminides: present status and future prospects.** *Mater. Sci. Eng. A* 258, 1998. p. 1–14.

PALM, M.; INDEN, G. *Intermetallics*, vol. 3, 1995. p. 443–54.

ITOI, T.; MINETA, S.; KIMURA, H.; YOSHIMI, K.; HIROHASHI, M. **Fabrication and wear properties of Fe₃Al-based composites.** *Intermetallics* 18, 2010. p. 2169–2177.

MORRIS, D. G. **Possibilities for high-temperature strengthening in iron aluminides.** *Intermetallics* 6, 1998. p. 753–758.

CINCA, N.; LIMA, C. R. C.; GUILMANY, J. M. **An overview of intermetallics research and application: Status of thermal spray coatings.** *J. Mater. Res. Technol.* 2, 2013. p. 75–86.

KIM, S. M. & MORRIS, D. G. **Long range order and vacancy properties in Al-rich Fe₃Al and Fe₃Al(Cr) alloys.** *Acta Mater.* 46, 1998. p. 2587–2602.

BALIGIDAD, R.; RADHAKRISHNA, A. **Effect of carbon and processing on structure and mechanical properties of Fe-11 wt.% Al alloy.** *Mater. Sci. Eng. A* 283, 202. p. 211–217.

MCKAMEY, C. G.; MAZIASZ, P. J.; JONES, J. W. **Effect of addition of molybdenum or niobium on creep-rupture properties of Fe₃Al.** *J. Mater. Res.* 7, 1992. p. 2089–2106.

SCHNEIDER, A.; FALAT, L.; SAUTHOFF, G.; FROMMEYER, G. **Microstructures and mechanical properties of Fe₃Al-based Fe-Al-C alloys.** *Intermetallics* 13, 2005. p. 1322–1331.