

PROCESSAMENTO E ANÁLISE MICROESTRUTURAL E DA DUREZA DOS COMPÓSITOS DE AL - X(WC-17CO) (PARA X = 1, 2, 3, 4, 5 E 6% EM PESO) SINTERIZADOS À 550 °C

Mauricio M. Peres^{1*}, Anderson D. Paula¹, Glenda T.S. OLIVEIRA¹, Ícaro J. A. SILVA¹, Regina B. D. Medeiros¹

1 - Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN.

mauricio.peres@ufm.br

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo a produção de compósitos Al – x(WC-17Co) com diferentes composições (x = 1, 2, 3, 4, 5 e 6% em peso de partículas de reforço), a partir da moagem de alta energia (moinho planetário Fritsch modelo Pulverizette 6) de latas de bebida (liga reciclada de Al-Mn da série AA3XXX), com a adição de partículas de WC-17Co com granulometria - 45 + 10 um, com relação de bola/carga de 10/1. Os recipientes de bebida foram cortados em placas de 2,5 x 2,5 mm, sendo moídos por 3h30min, em seguida as partículas de reforço foram adicionadas para cada composição, homogeneizadas e moídas por mais 1h. As amostras foram compactadas a frio à 400 MPa no formato cilíndrico com 8,0 mm de diâmetro e relação altura / diâmetro de 0,8/1 e em seguida foram submetidas à sinterização à 550 °C por 2 horas sob atmosfera de argônio em um forno tubular resistivo. O material de origem, o pó compósito e as amostras sinterizadas foram caracterizadas microestruturalmente via difração de raios-X (DRX), microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura com espectrômetro de energia dispersiva (FEG-EDS), tendo a microestrutura e os parâmetros de processo correlacionados. A densidade relativa da amostra sinterizada com 6% (WC-17Co) foi de 87,4 %, a maior entre todas as condições, indicando que mesmo após a sinterização as amostras apresentaram uma alta tendência a presença de porosidade. Os resultados de DRX, além da fase Al-alfa (CFC), mostraram também a presença de picos da fase WC com intensidades relativas proporcionais aos respectivos teores em cada compósito. As imagens via microscopia óptica e FEG mostraram distribuição homogênea das partículas de reforço na matriz de Al-alfa de cada compósito. Foram identificadas via microanálise por EDS, a contaminação por ferro e cromo possivelmente provenientes da câmara de aço e das bolas de aço-cromo do processo de moagem de alta energia. De forma correspondente, partículas micrométricas ricas e ferro foram detectadas nessas microestruturas.

Palavras-chave: compósito MMC, alumínio, WC, sinterização, microestrutura.

INTRODUÇÃO

O uso de materiais de alto desempenho mecânico na engenharia tem por objetivo propriedades como suportar alta temperatura, pressão, impacto e o desgaste abrasivo, em conjunto com a redução de peso e de falhas. O desafio de obter características distintas em um único material estimula o desenvolvimento de materiais compósitos, que se caracterizam por um material manufaturado de fases distintas que desempenham propriedades combinadas dos

materiais separados [1]. O Alumínio é um exemplo de metal difundido no mercado mundial por suas inúmeras aplicações da indústria automotiva, aeroespacial, naval, férrea e da construção civil, logo o seu estudo como uma fase compósita pode gerar resultados qualitativos para novas aplicações na engenharia.

O alumínio é vastamente aplicado pela indústria devido à sua alta trabalhabilidade e reciclabilidade associada à baixa densidade e moderada resistência mecânica. O Brasil reciclou 98,7% de latas de alumínio produzidas em 2021 [2], que acorda com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda de 2030 referente a cidades e comunidades sustentáveis (11). A liga 3004 (Al-Mn-Mg) é um dos objetos de estudo deste trabalho, que é usada no armazenamento de bebidas, possuindo a característica de endurecimento por conformação mecânica.

O Carbetto de Tungstênio com Cobalto (WC-Co), chamado de metal duro, é usado em ferramentas de corte, devido ao aumento da resistência ao desgaste por abrasão pela sua alta dureza. A cerâmica WC possui alta densidade, difícil trabalhabilidade pelo alto ponto de fusão e alta dureza. Sua produção usualmente recebe o Cobalto em pequena quantidade com objetivo de melhorar a adesão e tenacidade na produção do pó do metal-duro via sinterização por fase líquida, gerando menor gasto energético [3].

Um compósito com a leveza e trabalhabilidade do Al e com a alta dureza do WC-Co pode ser desejável no aumento da resistência mecânica de uma liga de Al tradicional. Seu processamento pode ser feito através da metalurgia do pó, consistindo na consolidação de peças a partir de pós metálicos e não metálicos por moagem de alta energia, compactação (unidirecional ou isostática) e sinterização via sólida. Suas vantagens são a possibilidade de fabricação de modelos complexos e sem necessidade de usinagem reduzindo etapas de processos e curso energético, além disso, podem ser produzidas combinações de substâncias metálicas com materiais não metálicos [4]. O objetivo de adicionar as partículas dispersas de metal duro é a sua atuação como barreira ao movimento de discordâncias na matriz dúctil, aumentando sua resistência à deformação através da produção de um MMC (Compósito Metal-Cerâmica). Outros mecanismos de endurecimento que podem ser comparados são o endurecimento por dispersão, que apresentam altos níveis de resistência a temperaturas elevadas, ou o que envolve a presença de precipitados intermetálicos, porém podem se dissolver a essas temperaturas em alguns casos, perdendo a características iniciais desejadas [3].

Nessa pesquisa, foram produzidas amostras com adição de partículas de reforço de WC-17Co de 3%, 4%, 5% e 6% em peso, com uma matriz dúctil composta pela fase Al-alfa (estrutura CFC, cúbica de fase centrada) proveniente de latas recicladas da liga 3004 (Al-Mn-Mg), via metalurgia do pó, compactação e sinterização. As microestruturas foram observadas via microscopia óptica e microscópio eletrônica de varredura, além de análises de densidade relativa e microdureza Vickers. Logo, este trabalho compactua com a ODS 4, educação de qualidade, visando o aumento das competências técnicas dos jovens e adultos, assim como a ODS 9 indústria, inovação e infraestrutura ao fortalecer a pesquisa científica e melhorar as capacidades tecnológicas dos setores industriais. Ademais, o objeto deste trabalho compactua com a ODS 11, já citada, ao abordar a reciclagem com intuito da conversão de resíduos sólidos para um material compósito mais duradouro, além do estudo e aplicação da liga reciclada.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia seguiu os seguintes passos de análise e produção: produção de amostras; preparação metalográfica; análise óptica e microdureza Vickers. A técnica usada para a produção das amostras foi a metalurgia do pó através da consolidação de pó de alumínio combinado a pó de carbetto de tungstênio por sinterização via sólida. O processo consistiu em moagem da matéria, compactação uniaxial seguida da consolidação final por sinterização. A

sinterização ocorreu por meio da difusão do metal base sob condições controladas de atmosfera, pressão e temperatura [4].

Produção de Amostras por moagem de alta energia e sinterização

Iniciou-se com a limpeza das esferas de aço que são usadas no moinho Tipo Planetário Pulverisette 6 Marca - FRITSCH com alumina e água com rotação de 400 rpm por 10 minutos. Posteriormente foi feita a lavagem do cadinho e das bolas com água corrente e detergente e levado para secagem com soprador de ar quente.

A moagem do alumínio foi feita a partir da relação de 10/1 entre peso de bolas e carga de alumínio, com tempo de moagem de 3h30min com pausas a cada 30 minutos para evitar aquecimento excessivo [5]. Usou-se 6 bolas de aço-cromo no cadinho com diâmetro médio de 12,61mm cada, totalizando cerca de 49 g, e placas de alumínio cortadas de lata reciclada (liga Al-Mn-Mg) com as dimensões de 2,5 mm x 2,5 mm, totalizando cerca de 4,9 g por remessa.

Adicionou-se o particulado de WC-17Co nas frações de 1%, 2%, 3%, 4%, 5% e 6% em relação ao peso de alumínio e seguiu-se a relação de 10/1 para a moagem do material. Homogeneizou-se a mistura no moinho com duração de 1h com pausa após 30 minutos do início do processo (Figura 1a). Após o processo de mistura, as amostras foram compactadas uniaxialmente a frio em uma matriz de aço VC121 de 8 mm de diâmetro interno (Figura 1b) através de uma prensa hidráulica manual Marcon com capacidade de 15 toneladas (Figura 1c). Foi usado lubrificante sólido de estearato de zinco para a desmoldagem. A pressão usada foi de 400 MPa (2.000 Kgf de carregamento) com um tempo de aplicação da carga de 40 segundos. Produziu-se duplicatas de amostras para cada condição e após as compactações aferiu-se as dimensões e os pesos resultantes.



Figura 1: (a) Amostra após 1 hora de moagem com 6% de WC-17Co; (b) Matriz de compactação; (c) Prensa hidráulica do Departamento de Física (UFRN), respectivamente.

Com o objetivo de consolidação e densificação, as amostras foram sinterizadas em um forno tubular resistivo modelo FT 1300/H/Gás/CLP, na temperatura de 550°C, valor escolhido após análise prévia das características do material, com base em análise dilatométrica de redução de volume em processo de sinterização [11]. A taxa de aquecimento foi de 10°C/min em atmosfera de argônio, mantendo-se o patamar isotérmico por 2h até o resfriamento lento dentro do forno até a temperatura ambiente.

Preparação Metalográfica

As amostras foram embutidas em baquelite, lixadas e polidas com uma politriz MetaServ 250 da Buehler Grinder-Polisher Family. O lixamento foi realizado com aplicação de 40 N de força com as lixas nº 400, 600, 1200 e 2000, seguido de polimento com diamante coloidal na sequência de diâmetro de 6, 3 e 1 μm e gotejamento de disperser.

Caracterização microestrutural e por Microdureza Vickers

Fez-se microscopia óptica (MO) e Microscopia Eletrônica de Varredura por Emissão de Campo (MEV-FEG Zeiss Auriga) e a Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS) para análise de microestrutural no LIME com fita condutora de carbono e usou-se o software Image J para analisar a porosidade da superfície polida.

Usou-se o Microdurômetro Vickers Future-Tech FM-810 com carregamento de 300 gf e duração de 15 segundos, conforme a norma ASTM E 92. Foram calculadas as médias e os respectivos desvios padrões de 12 medições por amostra, com o fim de análise estatística, e sua correlação com as microestruturas e parâmetros de processo utilizados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao decorrer de cada moagem identificou-se a diminuição efetiva do particulado, tendo sua morfologia caracterizada via Microscopia Eletrônica de Varredura.

O pó moído foi pesado, porém o volume para a produzir a amostra com dimensões de diâmetro e altura de 1/1 era maior do que a matriz podia comportar, gerando despadronização da altura. Após a compactação, coletou-se dimensões para análise de densificação para comparar com as dimensões de amostras após sinterização (Tabela 1).

Tabela 1: Dimensões e peso de amostras antes e após a sinterização.

Al com WC - 17Co Após Compactação											
WC - 17Co	Amostra	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Volume (cm ³)	Peso (g)	ρ (g/cm ³)	Razão L/D	Peso médio	Desv Pad	ρ relativa	Med- ρ relativa
3%	1	0,810	0,76	0,392	0,816	2,084	0,938	0,7795	0,0516	0,77173	0,79065
	2	0,816	0,65	0,340	0,743	2,186	0,797			0,80957	
4%	1	0,813	0,647	0,336	0,711	2,117	0,796	0,6980	0,0184	0,78405	0,77763
	2	0,809	0,64	0,329	0,685	2,082	0,791			0,77121	
5%	1	0,886	0,686	0,423	0,765	1,809	0,774	0,7550	0,0141	0,66993	0,74428
	2	0,807	0,659	0,337	0,745	2,210	0,817			0,81862	
6%	1	0,812	0,685	0,355	0,774	2,181	0,844	0,7674	0,0090	0,80785	0,80972
	2	0,813	0,669	0,347	0,761	2,191	0,823			0,81159	

Al com WC - 17Co Após Sinterização											
WC - 17Co	Amostra	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Volume (cm ³)	Peso (g)	ρ (g/cm ³)	Razão L/D	Peso médio	Desv Pad	ρ relativa	Med- ρ relativa
3%	1	0,797	0,731	0,365	0,817	2,241	0,917	0,7794	0,0535	0,82995	0,85015
	2	0,798	0,631	0,316	0,742	2,350	0,791			0,87035	
4%	1	0,796	0,621	0,309	0,714	2,310	0,780	0,7008	0,0185	0,85562	0,83443
	2	0,802	0,62	0,313	0,688	2,196	0,773			0,81324	
5%	1	0,803	0,648	0,328	0,778	2,370	0,807	0,7671	0,0151	0,87785	0,86245
	2	0,800	0,658	0,331	0,756	2,287	0,823			0,84704	
6%	1	0,800	0,664	0,334	0,761	2,281	0,830	0,7675	0,0088	0,84483	0,85919
	2	0,801	0,651	0,328	0,774	2,359	0,813			0,87355	

A sinterização foi efetiva em relação à densidade (ρ) após compactação com as amostras após sinterização, tendo um aumento esperado devido a redução de vazios. A densidade relativa em relação ao alumínio também aumentou, resultando em valores acima de 80%.

Após o preparo de amostra e análise via MO, percebeu-se que a morfologia das fases apontadas por marcadores vermelhos (Figura 2) representa a morfologia característica do pó moído que foi sinterizado a frio em camadas com a compactação, seguido do adensamento após sinterização a 550°C. Esses formatos demonstram os resultados esperados da análise morfológica de pós metálicos que apresentam características dúcteis ao passarem por processo de moagem com moinho planetário [5]. Nota-se que há riscos nas amostras identificadas por marcadores verdes que podem ser devido ao descolamento de partículas duras durante o lixamento e polimento. Em azul, percebe-se partículas grandes de Carbetto de Tungstênio na matriz que pode ser devido a ineficiência da fratura do WC-17Co no processo utilizado.

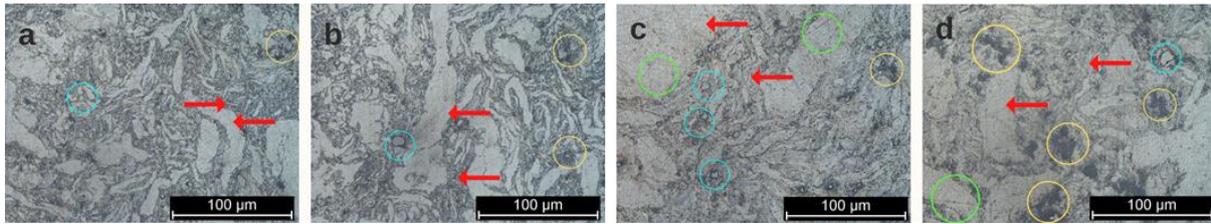


Figura 2: Amostras com ampliação de 500x através do MO com a quantidade de reforço variando em a) 3%, b) 4%, c) 5% e d) 6% de WC-17Co.

A presença de alguns microporos está de indicada em amarelo, sendo esses vazios defeitos de densificação que podem ter ocorrido pela ineficiência na compactação das amostras devido às características distintas de densificação de metais dúcteis e rígidos [6]. A matriz de alumínio possui alta ductilidade, porém o processo de moagem gera um acúmulo de discordâncias, enrijecendo o metal e possibilitando a fratura pelos mecanismos de compressão e cisalhamento envolvidos na moagem. No entanto, não há processo de recozimento subcrítico para aliviar tensões de encruamento após moagem, dessa forma a compactação pode tornar-se menos eficiente [6]. Outra variante é que ao inserir WC-17Co as características térmicas são diferentes, podendo ocasionar mudança da temperatura ideal de sinterização da nova mistura [6], logo a temperatura utilizada nesse trabalho pode não ser suficiente para densificação efetiva. Ademais, outro fator agravante da porosidade é o possível descolamento de partículas do Carbeto de Tungstênio, que pode ser pela ineficiência de adesão da matriz associado com a densificação do material em porcentagens de 5% e 6%.

Com a análise de porosidade no Software Image J nas imagens com ampliação de 500x (Figura 3), percebe-se o crescimento de porosidade ao inserção de reforço.

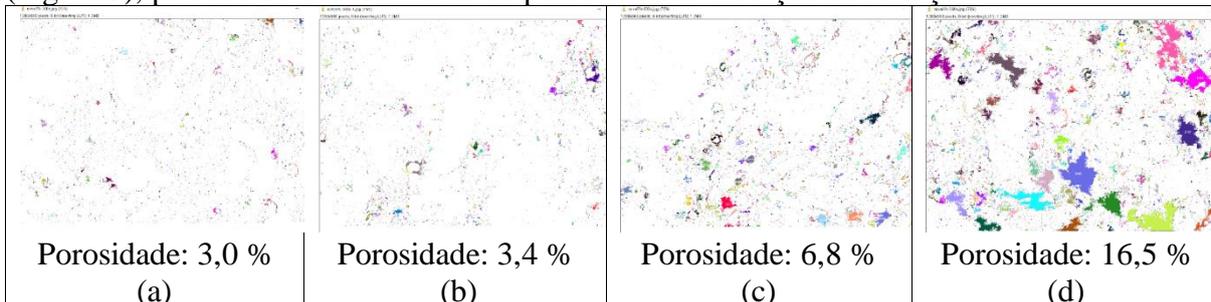


Figura 3: Porosidade superficial das amostras com ampliação de 500x através do MO a) 3% de WC-17Co, b) 4% de WC-17Co, c) 5% de WC-17Co e d) 6% de WC-17Co.

A porosidade analisada com a ferramenta Analyse Particles via Image J (Figura 3) resultou no crescimento gradual de porosidade, sendo o maior teor de poros na amostra com 6% de WC-17Co, o que influenciou significativamente na dureza. Fator indesejado, uma vez que o objetivo foi aumentar a dureza conforme a adição de partículas de reforço [8] pelo mecanismo de formar barreiras ao movimento de discordâncias [1]. Pela Tabela 2, a dureza aumentou até a adição de 4% de partículas de reforço, porém decaiu para os teores de 5% e 6% de WC-17Co. Nessa caso, a caracterização microestrutural foi de fundamental importância para a investigação desse fenômeno para justificar o motivo da ocorrência de falha na densificação e consolidação do pó [6].

Tabela 2: Resultados de microdureza Vickers (300 gf)

Teor de WC-17Co	Dureza média (HV)	Desvio padrão
Amostra 3%	85,1	16,9
Amostra 4%	114,5	22,5
Amostra 5%	66,5	17,5
Amostra 6%	57,2	18,1

Ao levar as amostras para o MEV-FEG, é perceptível nas amostras de 5% (Figura 4) e 6% (Figura 5) de adição de WC-17Co, a presença de porosidades aparentes e rachaduras que podem significar a falha de densificação por mecanismo de difusão via sinterização sólida. Como todas as amostras foram para o forno juntas, o que pode justificar é que a temperatura ou o tempo de forno não foi o suficiente para as amostras densificarem [6] ou que a diferença da dilatação térmica entre matriz e reforço gerou vazios no processo. Outra possibilidade é a falha de compactação permitir vazios contendo oxigênio para facilitar a formação de óxidos ao aumentar a temperatura e assim, impedir a densificação no processo.

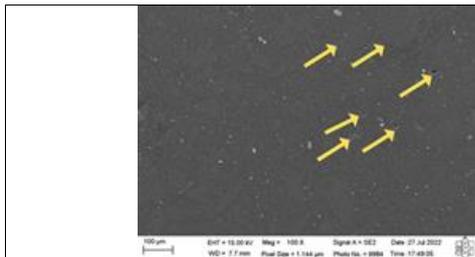


Figura 4: Análise via MEV de poros na amostra contendo 5% de reforço.

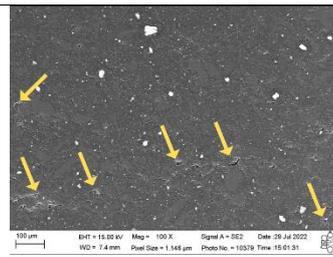


Figura 5: Análise via MEV de poros na amostra contendo 6% de reforço.

Os resultados de EDS via MEV-FEG com ESB (Figura 6) mostram a zona onde WC-17Co foi identificado na amostra com 3% de reforço entre outros elementos da matriz. O mapa de análise de composição informa a localidade onde os elementos estão presentes. Durante a moagem é possível que haja contaminação do material do cadinho e das bolas. Devido os materiais de moagem possuírem majoritariamente ferro em sua composição, pode-se identificar que houve contaminação durante o processo de moagem (Figura 7).

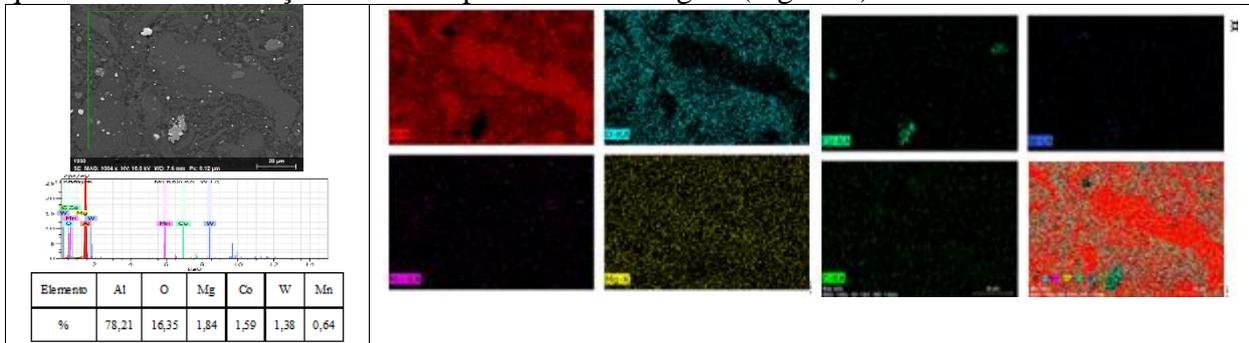


Figura 6: Microanálise via MEV-EDS da amostra com adição de 3% de WC-17Co.

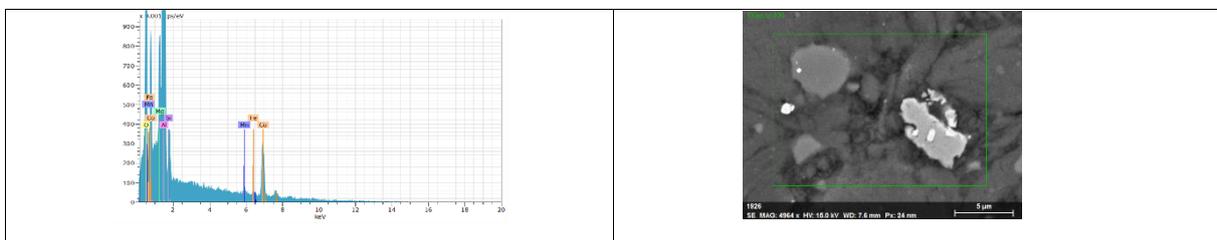


Figura 8: Microanálise via MEV-EDS de zona da amostra com 3% de WC-17Co contendo Fe como contaminante. Fonte Autor.

As composições das fases encontradas podem ser identificadas pelo mapeamento composicional da Figura 9. Observa-se que as fases com marcador azul possuem maior concentração de W, enquanto a escura com marcador vermelho possui maior concentração dos

elementos da matriz. Há, também, uma fase de coloração intermediária apontada com marcador verde que possui em sua posição o Fe e Al, possivelmente representam formação de intermetálicos.

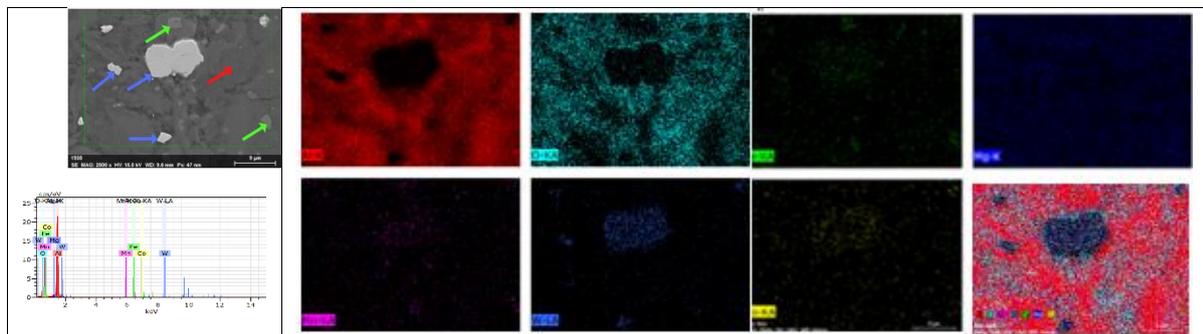
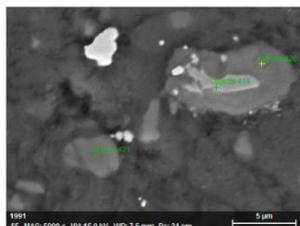


Figura 9: Microanálise via MEV-EDS de uma zona da amostra com adição de 4% de WC-17Co. Fonte: Autor.

Ao fazer uma análise pontual com EDS de fases (Figura 10) na amostra com 6% de reforço, ratifica-se a composição química das fases. Os intermetálicos da matriz contém Al, Fe, Mg e Mn podendo formar estruturas de Al₂Mg, Al₃Fe, Al₁₂Mn e Al₆Mn, essas fases podem ser formadas durante tratamentos térmicos devido difusão de elementos na matriz [5].



região	Al	Fe	Mg	Co	W	Mn
419	1,26	-	-	97,24	1,51	-
420	75,42	-	-	24,32	0,26	-
421	86,94	6,23	1,68	-	0,07	5,08

Figura 10: Microanálise via EDS pontual de fases na amostra contendo 6% de reforço.

As amostras com 5% e 6% (Figura 11) de reforço demonstraram os mesmos elementos das amostras de 3% e 4% de reforço, porém pode-se identificar na amostra de 5% e 6% de reforço picos dos elementos carbono e oxigênio, que pode ser devido a presença maior de porosidade nas amostras contendo gases.

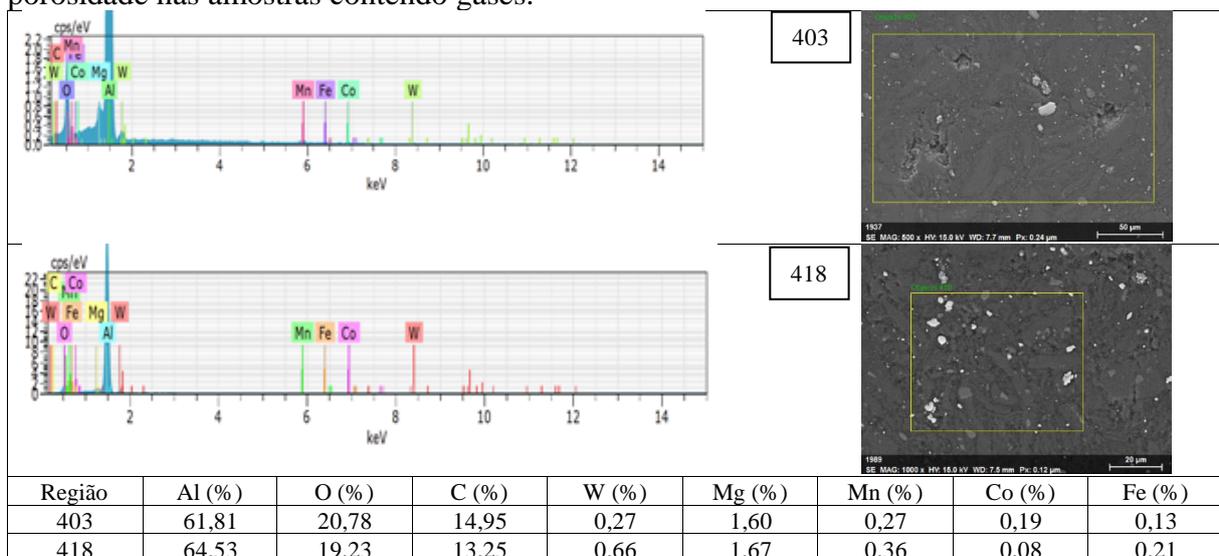


Figura 11: Microanálise via MEV-EDS das regiões “403” e “418” das amostras com adição de 5% e 6% de WC-17Co. Fonte: Autor

Ao levar ao forno esses gases podem ter reagido com a matriz devido ação da temperatura e assim, favorecer deposição de carbono e oxigênio formando óxidos de Mg e de Al na matriz. A formação de óxido de alumínio justificaria a falha em densificação por sinterização por possuir características térmicas distintas do metal, tornando-se uma barreira a densificação da matriz [13].

Observa-se, com base em estudos anteriores [6], que o processo de produção do compósito mostrou-se eficiente no aumento de dureza até a adição de 4% de WC-17Co, seguido de um decaimento de propriedade ao aumentar a quantidade de reforço.

CONCLUSÕES

O processo utilizado de metalurgia do pó com os parâmetros de moagem e sinterização adotados foi efetivo para a produção de compósito de matriz metálica de alumínio reciclado com a adição de partículas de reforço de WC-17Co até o teor de 4% em peso, promovendo a dureza de 114,4 HV. As amostras com 5% e 6 % de partículas de reforço apresentaram decaimento da dureza para 66,5 HV e 57,1 HV, respectivamente. Imagens via MEV revelaram um maior nível de porosidade para essas amostras, associada à presença de microtrincas e adesão parcial entre as partículas após a sinterização, justificando a redução da dureza.

Sugere-se que o uso de teores de partícula de reforço de WC-17Co a partir de 5% em peso, deva ser adotado maior tempo de moagem de alta energia para uma melhor mistura mecânica das partículas de reforço com a matriz dúctil de Al-alfa, visando a promoção de um pó compósito mais homogêneo e conseqüentemente mais tenaz buscando melhorar a consolidação por compactação seguida da sinterização via sólida.

A formação de óxido de alumínio na superfície das partículas pode ter sido um dos fatores que atuaram como inibidores da consolidação do pó compósito, sendo recomendado atenção especial ao uso de atmosfera inerte na sinterização, assim como na moagem.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PIBIC-CNPQ, PPGCEM-UFRN e PPG-UFRN pelo auxílio financeiro e apoio concedidos para o desenvolvimento dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

1. Chawla, Krishan K. Composite Materials: Science and Engineering. Springer New York, 2012.
2. Vilela, Pedro Rafael Brasil registra reciclagem de 98,7% de latas de alumínio em 2021. Agência Brasil, Brasília, 13/04/2022. Disponível em: Brasil registra reciclagem de 98,7% de latas de alumínio em 2021 | Agência Brasil (ebc.com.br)
3. Azevedo, Heytor Vitor Souza Bezerra de. Efeito da adição de WC e Co na sinterização e propriedades mecânicas da alumina. Natal, 2016. 91f: 11.
4. Impactos das tecnologias na engenharia de materiais e metalúrgica [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, Ricardo Vinicius Bubna Biscaia. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019.
5. Medeiros, R.B.D., ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO COMPÓSITO Al-(WC-17%Co) OBTIDO POR METALURGIA DO PÓ. 2018, Trabalho de Conclusão de Curso.
6. SILVA, Edna Gomes da. Efeito de concentração de SIC no comportamento de sinterização e propriedade mecânica de compósito AL/SIC. 2021. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

7. SOUZA, José Raelson Pereira de. Efeito da sinterização e da moagem de alta energia na microestrutura e nas propriedades mecânicas em ligas de alumínio recicladas a partir de latas de bebidas. 2017. Dissertação de Mestrado. Brasil.
8. Í. J. de A. Silva, M. M. de B. Leite, and M. M. Peres, “Sinterização via sólida e caracterização microestrutural do compósito de alumínio com reforço de partículas de WC-17Co,” XXX CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA da UFRN. 2019.
9. SANTOS, Elenir et al. Espectrometria de fluorescência de raios-X na determinação de espécies químicas. Enciclopédia biosfera, v. 9, n. 17, 2013.
10. GÓMEZ GÓMEZ, Adriana. Determinação do teor de alumínio em drosses brancas de alumínio utilizando difração de raios-x. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2006.
11. de Souza, J. R. P. , EFEITO DA SINTERIZAÇÃO E DA MOAGEM DE ALTA ENERGIA NA MICROESTRUTURA E NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS EM LIGA DE ALUMÍNIO RECICLADAS A PARTIR DE LATAS DE BEBIDAS. Dissertação de Mestrado, Fevereiro de 2017, Natal - RN.
12. William, D. Callister. Ciência e engenharia de materiais. Grupo Gen - LTC, 2016. Accessed 27 August 2022.
13. Lumley, Roger, editor. Fundamentals of Aluminium Metallurgy: Production, Processing and Applications. Elsevier Science, 2010. Accessed 29 August 2022.

**PROCESSING, MICROSTRUCTURAL AND HARDNESS ANALYSIS OF AL -
X(WC-17CO) COMPOSITES (FOR X = 1, 2, 3, 4, 5 AND 6% BY WEIGHT)
SINTERIZED AT 550 °C**

ABSTRACT

This research aimed to produce Al – x(WC-17Co) composites with different compositions (x = 1, 2, 3, 4, 5 and 6% by weight of reinforcing particles), from high energy milling (Fritsch planetary mill model Pulverizette 6) from beverage cans (recycled Al-Mn alloy of the AA3XXX series), with the addition of WC-17Co particles with granulometry - 45 + 10 µm, with a ball/charge ratio of 10/ 1. The beverage containers were cut into 2.5 x 2.5 mm plates, being ground for 3h30min, then the reinforcement particles were added to each composition, homogenized and ground for another 1h. The samples were cold-compacted at 400 MPa in a cylindrical shape with a diameter of 8.0 mm and a height/diameter ratio of 0.8/1 and then sintered at 550 °C for 2 hours under an argon atmosphere in an oven. resistive tubular. The source material, the composite powder and the sintered samples were microstructurally characterized via X-ray diffraction (XRD), optical microscopy and scanning electron microscopy with energy dispersive spectrometer (FEG-EDS), having the microstructure and parameters of correlated process. The relative density of the sample sintered with 6% (WC-17Co) was 87.4%, the highest among all conditions, indicating that even after sintering the samples showed a high tendency to the presence of porosity. The XRD results, in addition to the Al-alpha (CFC) phase, also showed the presence of WC phase peaks with relative intensities proportional to the respective contents in each composite. The images by optical microscopy and FEG showed a homogeneous distribution of the reinforcement particles in the Al-alpha matrix of each composite. Iron and chromium contamination possibly from the steel chamber and chrome steel balls from the high energy milling process were identified via EDS microanalysis. Correspondingly, rich micrometer particles and iron were detected in these microstructures.

Keywords: MMC composite, aluminum, WC, sintering, microstructure.