

**PREPARAÇÃO DE PÓS DE AÇO INOXIDÁVEL 316L  
E LIGA Fe-Si POR ATOMIZAÇÃO A ÁGUA**

Lucio Salgado<sup>(1)</sup>, José G. Vicente<sup>(1)</sup>, Francisco A. Filho<sup>(2)</sup>

(1) Pesquisadores do Instituto de Pesquisas de São Paulo- IPT

(2) Pesquisador do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares- IPEN

RESUMO

*Foi investigada a influência das variáveis de processo na atomização de pós de aço inoxidável tipo 316L e ferro-3%silício em massa. Os parâmetros avaliados foram a temperatura do banho metálico, a pressão do fluido de atomização, o diâmetro do filete de metal líquido, o ângulo de incidência e o nível de água do tanque de atomização. A caracterização foi realizada pela medição da distribuição granulométrica, densidade aparente, escoabilidade, morfologia e microestrutura das partículas.*

**INTRODUÇÃO**

A produção de pós metálicos, e o perfeito controle de suas características, é uma das principais etapas da obtenção de materiais e produtos através da Metalurgia do Pó [1,4].

A atomização a água é a técnica mais empregada comercialmente, sendo utilizada especialmente na produção de pós de ferro, níquel, alumínio, cobre e suas ligas, aço rápido e aços inoxidáveis entre outros [5].

O tema principal deste trabalho é avaliar o efeito dos principais parâmetros de processo na atomização a água no formato e distribuição do tamanho das partículas obtidas.

**MATERIAIS E MÉTODOS**

Foram selecionados 2 tipos de materiais para serem estudados: uma liga ferro-3%silício em massa e um aço inoxidável tipo AISI 316L.

Os parâmetros de processo avaliados neste trabalho foram: temperatura do metal líquido; pressão de água; nível de água no tanque de atomização; diâmetro do filete de metal líquido e ângulo de incidência entre o jato de água e o filete.

A caracterização dos pós foi feita através dos seguintes ensaios:

- \*Distribuição granulométrica.
- \*Densidade aparente e escoabilidade - método do funil.
- \*Microestrutura das partículas.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados obtidos para a atomização do aço inoxidável 316L estão mostrados na tabela 1. As tabelas 2 e 3 mostram os valores obtidos na caracterização dos pós de Fe-3%Si atomizados.

O tamanho médio de partículas da liga Fe-Si (90 a 200  $\mu\text{m}$ ) é muito maior que aquele obtido para o aço inoxidável 316L (49 a 74  $\mu\text{m}$ ), devendo estar relacionado com a maior viscosidade do ferro-silício.

O aumento da temperatura tende a reduzir o diâmetro médio das partículas, devido à diminuição da viscosidade do metal líquido [3]. Com a pressão mais alta (10 MPa), este efeito foi mais pronunciado. Observou-se ainda uma associação interessante da pressão com a temperatura; com uma pressão mais baixa, a densidade aparente do pó sofre uma elevação, indicando que a esferoidização das partículas está predominando no processo.

Verificou-se que o aumento no diâmetro do filete causa um aumento no tamanho médio das partículas na atomização de Fe-Si, o que confirma as informações da literatura [1]. Entretanto, para o caso do pó de aço inoxidável 316L, observou-se uma dependência interessante com o ângulo de incidência. Para o ângulo de 60°, conforme esperado, o tamanho

médio de partículas também aumentou com o aumento do diâmetro do filete. O inverso ocorreu no caso do ângulo de 45°, tendo havido um decréscimo do diâmetro médio das partículas. Este fenômeno deve estar associado à significativa diminuição do desvio padrão geométrico com o aumento do ângulo de incidência.

Tabela 1 Caracterização do pó de aço inoxidável 316L

CORRIDAS								
Faixa ( $\mu\text{m}$ )	413	414	415	416	417	418	419	420
- 44	33.42	28.82	41.85	39.33	28.95	25.75	32.61	26.07
+ 44 - 53	46.02	41.32	55.59	52.52	40.31	36.84	43.44	36.90
+ 53 - 62	52.25	47.81	62.18	59.07	46.01	42.75	49.17	42.52
+ 62 - 74	60.92	56.48	70.22	66.97	53.42	50.73	56.45	50.21
+ 74 -125	82.35	77.84	88.28	85.52	72.58	73.17	75.82	71.05
+125 -149	85.89	81.79	91.01	88.65	76.59	77.68	79.87	75.35
T ( $^{\circ}\text{C}$ )	1650	1650	1650	1650	1650	1650	1650	1650
D (mm)	7	7	5	5	5	5	7	7
P (MPa)	10	10	10	10	10	10	10	10
H (mm)	1700	1200	1200	1700	1200	1700	1200	1700
A ( $^{\circ}$ )	60	60	60	60	45	45	45	45
$d_m$ ( $\mu\text{m}$ )	60	62	49	51	69	72	64	74
$\sigma_g$	2.20	2.27	2.35	2.35	3.63	3.06	3.30	2.97
$D_A$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.62	3.17	2.65	2.75	2.78	2.97	2.70	2.80
E (s/50 g)	31.9	23.0	32.3	30.7	30.2	28.2	31.5	29.7

Tabela 2 Caracterização do pó de Fe-3%Si, ângulo de incidência de 60°

CORRIDAS								
Faixa ( $\mu\text{m}$ )	395	397	398	399	400	402	403	404
- 44	19.43	16.35	11.51	6.60	8.08	8.48	8.87	11.50
+ 44 - 53	29.55	24.68	17.68	11.09	13.73	14.36	14.78	18.88
+ 53 - 62	34.93	29.52	21.53	14.11	17.46	18.19	18.66	23.47
+ 62 - 74	42.38	36.47	26.95	18.83	23.29	24.15	24.59	30.35
+ 74 -125	66.05	58.77	44.44	35.77	44.44	45.81	45.39	53.62
+125 -149	71.66	64.37	49.50	41.28	51.23	52.56	51.61	60.48
T ( $^{\circ}\text{C}$ )	1700	1700	1600	1600	1700	1600	1600	1700
D (mm)	5	7	7	7	7	5	5	5
P (MPa)	10	10	10	7	7	7	10	7
H (mm)	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700
A ( $^{\circ}$ )	60	60	60	60	60	60	60	60
$d_m$ ( $\mu\text{m}$ )	90	105	150	180	150	140	130	120
$\sigma_g$	2.33	2.27	2.35	2.35	3.63	3.06	3.30	2.97
$D_A$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.86	2.87	3.00	2.74	3.07	2.89	3.03	3.15
E (s/50 g)	29.0	29.9	28.9	27.9	28.2	30.0	27.0	27.0

Tabela 3 Caracterização do pó de Fe-Si, ângulo de 45°

CORRIDAS								
Faixa ( $\mu\text{m}$ )	405	406	407	408	409	410	411	412
- 44	16.35	15.03	14.83	7.30	4.68	5.72	6.24	12.45
+ 44 - 53	25.68	22.72	21.61	11.95	8.19	10.30	10.83	19.86
+ 53 - 62	30.98	27.29	25.69	14.91	10.71	13.39	13.70	24.19
+ 62 - 74	38.51	33.92	31.36	19.49	14.81	18.44	18.33	30.56
+ 74 -125	59.97	53.77	48.08	35.59	29.51	36.70	34.76	50.00
+125 -149	65.55	59.07	52.72	40.94	34.56	42.79	40.10	55.42
T (°C)	1700	1600	1700	1700	1600	1700	1600	1600
D (mm)	5	7	7	7	7	5	5	5
P (MPa)	10	10	10	7	7	7	7	10
H (mm)	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700
A (°)	45	45	45	45	45	45	45	45
d <sub>m</sub> ( $\mu\text{m}$ )	100	130	140	190	200	170	180	110
$\sigma_g$	2.33	2.48	3.00	2.78	2.33	2.36	2.60	2.33
D <sub>A</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	2.74	2.83	2.75	2.93	2.85	3.00	2.87	2.76
E (s/50 g)	30.9	30.0	32.4	33.7	30.7	29.2	30.3	30.5

O aumento do ângulo de incidência causou uma diminuição na densidade aparente para os dois materiais estudados, resultado do aumento da velocidade de resfriamento causada pela elevação do ângulo de incidência [2]. A Figura 1 mostra uma micrografia típica do pó de aço inoxidável.

O desvio padrão geométrico mostrou tendência de diminuição com o aumento do ângulo de incidência. No caso do aço inoxidável, esta redução foi significativa, sendo este parâmetro o mais importante para o controle da distribuição do tamanho de partículas no sistema estudado.

Finalmente observa-se uma tendência para o aumento da densidade aparente e do diâmetro médio dos pós com a diminuição do nível de água do tanque. Como neste caso o tempo de resfriamento é maior, ocorre um arredondamento das partículas.

Foi realizada uma análise da microestrutura do pó de aço inoxidável através de metalografia qualitativa. Observa-se na Figura 2 uma estrutura do tipo dendrítica.

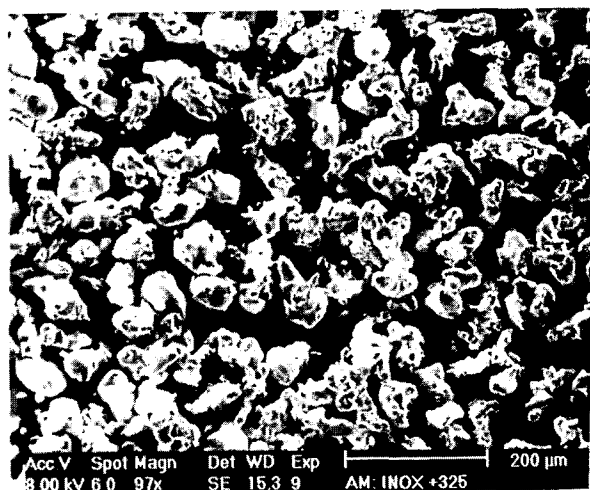


Fig. 1 Micrografia eletrônica de varredura mostrando partículas de aço inoxidável 316L com formato irregular, corrida 415.

Nota-se a ocorrência de colisão e coalescimento dos pós durante a atomização, onde uma pequena partícula, de microestrutura bem mais fina é caldeada a uma partícula bem maior.

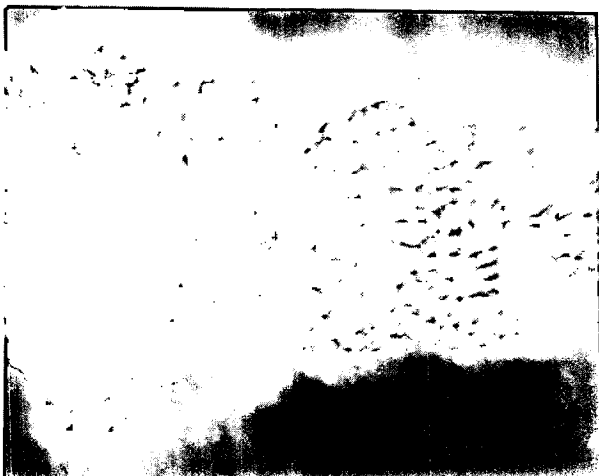


Fig. 2 Microestrutura do pó de aço inoxidável tipo 316L. Corrida 413.

Ataque: Marble Aumento: 1720X

#### CONCLUSÕES

1) A diminuição do tamanho médio de partículas na atomização é favorecida por um aumento da pressão de água, temperatura de metal líquido, do ângulo de incidência e do nível de água do tanque; e pela diminuição do diâmetro do filete de metal líquido.

2) A distribuição do tamanho de partículas, avaliada pelo desvio padrão geométrico, tende a faixas mais estreitas com o aumento da temperatura e do ângulo de incidência; e pela redução da

pressão, do diâmetro do filete e do nível de água do tanque.

3) A densidade aparente dos pós diminuiu com o aumento da pressão de água, do diâmetro do filete, do ângulo de incidência e do nível de água do tanque. A elevação da temperatura aumenta a densidade aparente, desde que a pressão de água não seja elevada.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] DUNKLEY, J. The production of metal powders by water atomization. *Powder Metallurgy International*, v.10, n.1, p. 38-41, 1978.

[2] GRANDZOL, R.J.; TALLMADGE, J.A. Effect of jet angle on water atomization. *The International Journal of Powder Metallurgy and Powder Technology*, v.11, n.1, p.103-14, 1975.

[3] HALADA, K. et al. Effect of superheating on water atomization. *Powder Metallurgy International*, n.21, p.17-21, 1989.

[4] KAYSSER, W A.; RZESNITZEK, K. Principles of atomization In: *Science of Sintering*, New York, Plenum Press, 1990, p.157-76.

[5] KLAR, E. Comercial water atomization of metals. *Metal Powder Report*, p.7-18, 1985.

#### ABSTRACT

*The influence of water atomization process variables on 316L stainless steel and Fe-3wt%Si powder characteristics was investigated. Pouring temperature, atomization fluid pressure, diameter of melt stream, impingement angle and tank water level were the atomization parameters evaluated. The powders were characterized by measuring the particle size distribution, apparent density, flowability, morphology and microstructure.*