



INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS DO PROCESSO INROWASP NA UNIFORMIDADE DOS FIOS OBTIDOS

Tibério Andrade Passos

Severino Jackson Guedes de Lima

Izabel Cristina Evaristo da Silva

Universidade Federal da Paraíba, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica cep:
58039-000 - João Pessoa , PB, Brasil.

Resumo. O processo INROWASP (In Rotating Water Spinning Process), caracteriza-se por produzir fios com estrutura microcristalina ou amorfa que apresentam excelentes propriedades magnéticas. Esses fios são da ordem de 80-100 μ m de diâmetro, porém varias variáveis interferem na uniformidade geométrica desses fios, tais como: a velocidade do volante, o diâmetro do furo do cadinho, o ângulo de ejeção, a pressão de ejeção e a quantidade do produto de têmpera UCON-A, da Union Carbide, na solução aquosa. Os fios de Al-(10%wt)Cu foram produzidos utilizando um planejamento fatorial fracionário $2^{(5-1)}$ e analisados qualitativamente, a fim de verificar a influência de cada variável sobre a uniformidade geométrica dos fios.

Palavras chaves : Inrowasp, Planejamento, Uniformidade

1. INTRODUÇÃO

O processo INROWASP, utilizado para a fabricação de filamentos por solidificação rápida, tem merecido destaque por possibilitar a produção contínua de fios com propriedades de interesse no uso industrial. Desde o final da década de oitenta, este processo vem sendo usado industrialmente, para a obtenção de fios com ligas amorfas. Estas ligas possuem aplicação em vários dispositivos eletromecânicos e eletromagnéticos encontrados no mercado (Donald,1987).

Contudo, pouco se conhece sobre a influência dos parâmetros do processo e do meio de têmpera, na qualidade do fio obtido. Para se estudar as propriedades magnéticas e mecânicas desses fios é necessário uma uniformidade geométrica ao longo do fio, para isso são realizados um grande número de experimentos (Nóbrega Neto,1995). Análises teóricas realizadas por (Backstrom,1988) indicam que a seção transversal, o comprimento e a continuidade do arame obtido estão diretamente relacionados com a órbita do jato.

Neste trabalho, propõe-se estudar os efeitos das variáveis do processo, utilizando-se uma solução aquosa de UCON e a liga Al-Cu a qual se conhece alguns dados que servirão para o estudo.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A liga Al-4,5(%at.)Cu foi elaborada em forno de soleira fria sob uma atmosfera protetora de argônio, utilizando Al (na forma de tarugo) com 99,995% de pureza e Cu (na forma de cavaco) com 99% de pureza (Passos,1997). Os fios foram produzidos no equipamento INROWASP (Echud,1992), que consiste na ejeção do metal líquido, fundido por indução, em uma camada de líquido refrigerante em rotação confinado em um volante oco Fig.1.

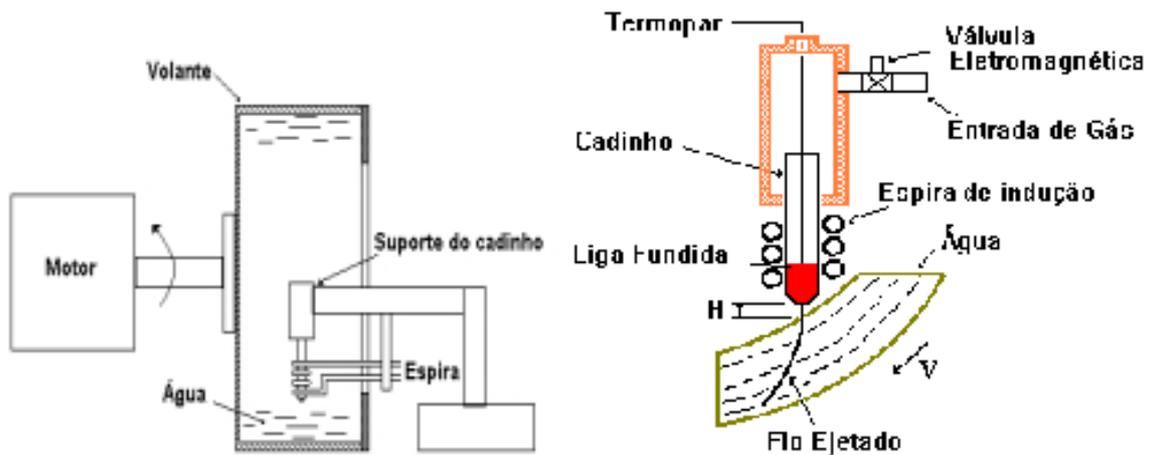


Figura 1 - Esquema ilustrativo do processo INROWASP

Através de análises preliminares e literárias, definiu-se os parâmetros e os níveis mínimos e máximos das variáveis, mostrada na Tabela.1. Elaborou-se a matriz de experimentos, Tabela 2, usando-se o método do planejamento fatorial fracionário (2^{5-1}) (Passos,1997), a fim de analisar qualitativamente a influência das variáveis: (**P**) Pressão de ejeção, (**V**) Velocidade do volante, (**%U**) Percentual de UCON-A na solução, (**α**) Ângulo de ejeção e (**d**) Diâmetro do furo do cadinho na formação de fios com uniformidade geométrica tanto da seção transversal quanto do comprimento ao longo do fio. Outros parâmetros como a temperatura de vazamento da liga (medido com um termopar cromel-alumel), massa a ser fundida, altura entre o cadinho e a camada de líquido (H) e a temperatura do líquido refrigerante foram mantidas constantes. Os fios foram qualificados da seguinte forma: fios lisos, fios ondulados e fios com gotas.

Tabela 1 - Níveis das Variáveis

Variáveis		Mínimo	Máximo
A	P (Kgf/cm ²)	2	2,6
B	V (rpm)	330	390
C	α (graus)	66	75
D	%U	2	8
E	d (μ m)	200	350

Tabela 2 - Matriz do planejamento Fatorial

Exp.	A	B	C	D	E	Tipo do fio
01	2	330	66	2	350	gota
02	2.6	330	66	2	200	Ondulado e gota
03	2	390	66	2	200	Liso e ondulado
04	2.6	390	66	2	350	Ondulado e gota
05	2	330	75	2	200	gota
06	2.6	330	75	2	350	gota
07	2	390	75	2	350	gota
08	2.6	390	75	2	200	Ondulado e gota
09	2	330	66	8	200	Liso e ondulado
10	2.6	330	66	8	350	Ondulado e gota
11	2	390	66	8	350	Ondulado e gota
12	2.6	390	66	8	200	Liso e ondulado
13	2	330	75	8	350	Ondulado e gota
14	2.6	330	75	8	200	Ondulado e gota
15	2	390	75	8	200	Liso e ondulado
16	2.6	390	75	8	350	gota

As trajetórias teóricas dos fios foram calculadas e traçadas, a fim de ter uma indicação do comportamento do jato no interior do líquido refrigerante quando se varia a pressão de ejeção, o diâmetro do furo do cadinho e a rotação do volante. Substitui-se os valores, mostrados abaixo, na equação da velocidade do jato Eq.1 (Backstrom, 1988), e, na equação da trajetória Eq.2 e Eq.3 obtidas por (Abe, 1987), utilizando como fluido a água pura, devido a falta de dados referentes às propriedades de viscosidade e coeficiente de arrasto nas soluções aquosas de UCON.

$$V_j = \left[\frac{2}{r} * (P_{j+} \rho * g * h - \frac{\sigma}{\rho}) + \left(\frac{8 * \eta * L}{\rho * r^2} \right) \right]^{1/2} - \frac{8 * \eta * L}{\rho * r^2} \quad (1)$$

ρ – densidade do metal 2689,1 kg/m³
 P_j – pressão de ejeção (2 e 2,6)x 10⁵ Pa
 g – constante gravitacional 9,8 m/s²
 h – altura metalostática 0,008 m
 σ - tensão superficial 0,9354 J/m
 r – raio do furo do cadinho (100 e 122,5) μ m
 η - viscosidade dinâmica do metal 0,00202 Ns/m²
 L – comprimento do cilindro do cadinho 0,001 m
 Cd – coeficiente aparente de arrasto.....3

$$x = k_1 * \left(\frac{1}{\text{sen}\alpha} - \frac{1}{\text{sen}\alpha_0} \right)$$

$$y = \frac{k_1}{2} * \left[\ln\left(\frac{1 + \cos\alpha}{1 - \cos\alpha} \right) - \ln\left(\frac{1 + \cos\alpha_0}{1 - \cos\alpha_0} \right) \right] \quad (2)$$

onde,

$$k_1 = \frac{\pi * d * \rho_j * V_j^2}{2 * C_d * \rho_w * V_w^2} \quad (3)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas Fig.2 e Fig.3 encontram-se os perfis das trajetórias dos jatos com as rotações de 330 e 390 rpm para um ângulo de ejeção de 66 graus. Verifica-se que para uma mesma rotação, a profundidade de penetração do jato no líquido, em função da distância à partir do ponto de ejeção, aumenta com o diâmetro do cadinho e com a pressão de ejeção. Entretanto, quando comparamos as mesmas, verifica-se que a profundidade de penetração diminui com o aumento da velocidade do volante devido à resistência da água.

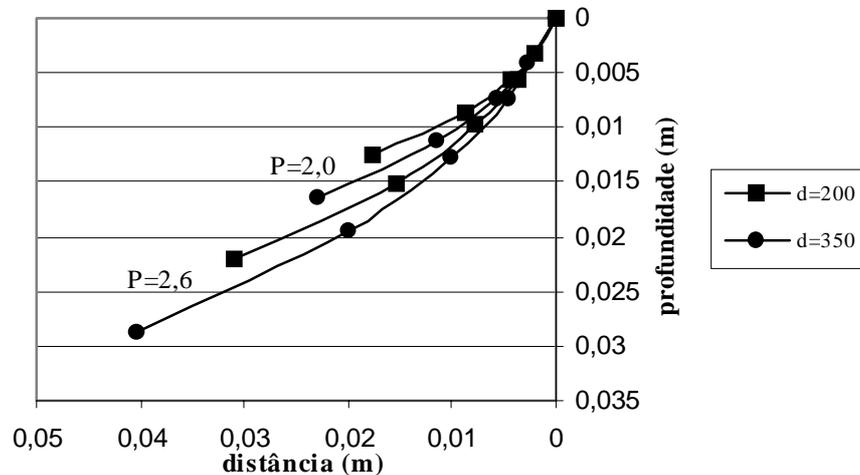


Figura 2 - Trajetória teórica dos fios com V=330 rpm

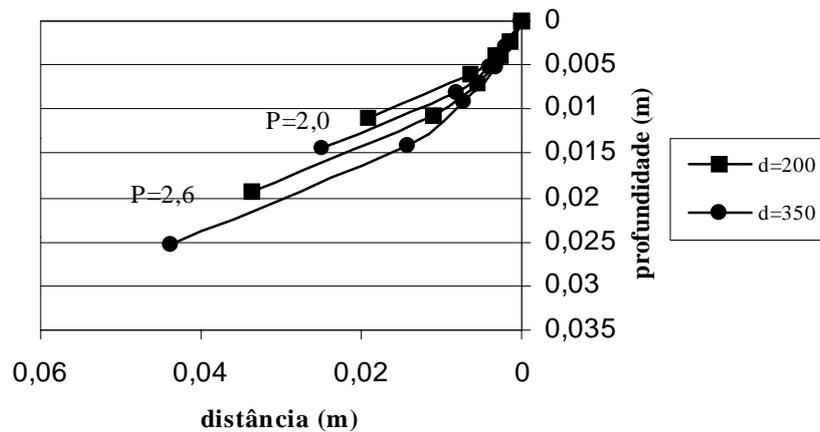


Figura 3 - Trajetória teórica dos fios com V=390 rpm

Os fios obtidos no planeamento foram qualificados em três categorias: fios com gotas, fios ondulados e fios lisos. A fotomicrografia da Fig.4(a) mostra um fio liso considerado de boa qualidade geométrica enquanto que, a Fig.4(b) mostra fios ondulados e com gotas considerados de baixa qualidade.

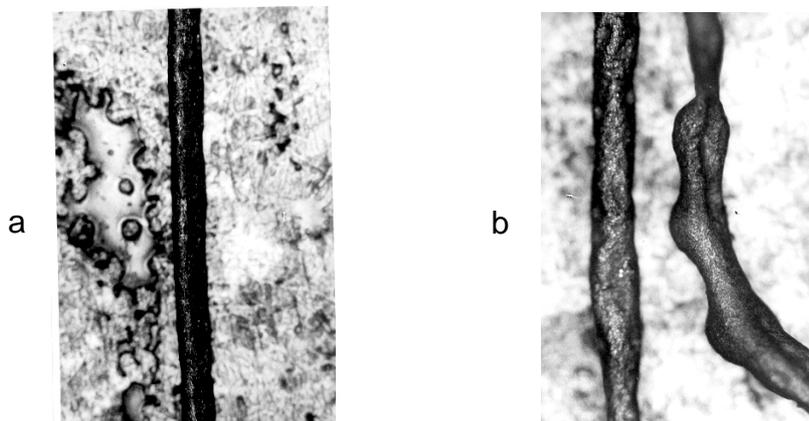


Figura 4 - Amostra de fios liso(a), ondulados e com gotas (b) (x80)

A Tabela.2 mostra o resultado da análise visual dos fios, onde verificou-se a influência significativa, do diâmetro do furo do cadinho e do ângulo de ejeção na formação de fios mais uniformes. Conforme os resultados apresentados na Tabela.2, verifica-se a forte tendência à formação de gotas para os altos valores do diâmetro do fio ($d \geq 350\mu\text{m}$) e do ângulo de ejeção ($\alpha \geq 75^\circ$). Este comportamento pode ser atribuído aos altos valores de tensão superficial por unidade de volume. A tabela.3 mostra quantos experimentos apresentaram cada tipo de fio, em cada nível, podemos observa que para a obtenção de fios com boa qualidade deveremos: diminuir a pressão, aumentar a velocidade do volante, diminuir o ângulo, aumentar o percentual de UCON e diminuir o diâmetro do furo dentro dos limites especificados. Porém deve-se levar em consideração a possibilidade de entupimento do cadinho, quando a pressão e

o diâmetro do furo são diminuídos além de um limite inferior da ordem de 1,8kgf/cm² e 170 μm, para a liga aqui estudada.

Tabela 3 - Quantidade de experimentos obtidos em cada tipo de fio

Tipo	Nível	P	V	α	%U	d
Gota	mínimo	3	3	1	4	1
	máximo	2	2	4	1	4
Gota e ondulado	mínimo	2	4	4	3	3
	máximo	5	3	3	4	4
Liso e ondulado	mínimo	3	1	3	1	4
	máximo	1	3	1	3	0

4. CONCLUSÕES

Com a utilização de um planejamento fatorial fracionário sobre os parâmetros do processo INROWASP foi possível programar uma sequência de experimentos, reduzindo-se a sua quantidade. Verificou-se que as variáveis do processo exercem grande influência na uniformidade dos fios principalmente com relação ao diâmetro do furo do cadinho e o ângulo de ejeção. Observou-se que o produto de têmpera UCON, tem uma influência positiva e através de um direcionamento desses parâmetros, sem fugir das limitações do processo, pode-se obter fios uniformes, embora dependa das propriedades da liga em estudo.

5. RECONHECIMENTO

Agradecimentos

Ao CNPq, Union Carbide, Escola Técnica Federal da Paraíba e UFPB.

6. REFERÊNCIAS

- Abe, Yoshio et al., 1987, Solidification Phenomena in Formation Process of Rapidly Solidified Metallic Wire, *Materials Science and Engineering*, pp. 351-355.
- Backstrom, N et al 1988, Fundamental Experimental Parameters in the Direct Wire-Casting Process, *Materials Science and Engineering*, pp. 21-24.
- Donald, I. W., 1987, Production, Properties and Related Products, *Journal of Materials Science*, pp. 2661-2679.
- Echud J., 1992, Solidificação INROWASP, Tese de Mestrado - Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica campus 1 - UFPB, pp. 18-37.
- Nóbrega Neto, S. C., 1995, Estudos dos Processos de Solidificação Rápida Melt-Spinning e INROWASP na Amorfização de Ligas a Base de Ferro, Tese de Mestrado – Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica campus 1 - UFPB
- Passos, T. A., 1997 Estudo da Taxa de Resfriamento do Processo INROWASP, Tese de Mestrado - Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica campus 1 – UFPB.

INFLUENCE OF PROCESS INROWASP VARIABLES ON UNIFORMITY OF THE WIRES PRODUCED

***Abstract.** The INROWASP (In Rotate Water Spinning Process) it is used for casting of metallic filaments from liquid state. It makes wire with amorphous or microcrystalin structure witch have excellent magnetic properties. Such wires are at about 80 – 100µm diameters. However of following process variables influence on uniformity of the wires: ejection pressure, drum rotating, ejection angle, nozzle diameter and the aqueous solution of UCON of Union Carbide. It was the fraction factories planning process for minimising the number of experiments. Wires were produced with Al-10,0(%Wt..)Cu alloy. and it was analysed the uniformity of the wires. It was possible to verify how is the influence of variables on quality of the wires.*

Keywords: INROWASP, Planning, Uniformity