

# FABRICAÇÃO DE TUBOS CENTRIFUGADOS EM LIGAS NÃO FERROSAS<sup>1</sup>

Ivaldo Assis do Nascimento<sup>2</sup>  
Assis Moura Nascimento<sup>3</sup>  
André Luis de Brito Baptista<sup>4</sup>

## Resumo

O processo de fabricação por centrifugação consiste em vaziar-se metal líquido num molde dotado de movimento de rotação, de modo que a força centrífuga origine uma pressão além da gravidade, a qual força o metal líquido de encontro às paredes do molde onde solidifica. A aplicação mais racional da fundição centrífuga é a elaboração de peças metálicas ocas, que tem forma simples de corpos de revolução (tubos, cilindros, eixos, anéis, buchas etc.). Praticamente todas as ligas fundidas podem ser moldadas por centrifugação, sejam elas aços ao carbono, aços de construção mecânica ou inoxidáveis, e mesmo ferros fundidos comuns, especiais e nodulares, além do alumínio e suas ligas, cobre, bronzes e latões em geral. No presente trabalho cita-se os aspectos mais relevantes da fabricação de tubos centrifugados de ligas a base de cobre, como aquecimento e revestimento das coquilhas, determinação da velocidade de rotação do molde, temperatura de vazamento das ligas e tipo de ligas que podem ser utilizadas no processo.

**Palavras-chave:** Não ferrosos; Tubos; Centrifugação.

## PRODUCTION OF CENTRIFUGUED PIPES WITH NON FERROUS ALLOYS

### Abstract

The production process through centrifugation consists of emptying molten metal into a spinning mold, so that the centrifugal power makes higher pressure than gravity and forces the molten metal against the walls of the mold where it solidifies. The most rational application of centrifuged forging is in making hollow metal parts, which have simple rounded shapes (pipes, cylinders, axles, rings, pistons, etc.). Practically all forged alloys can be molded through centrifugation; they can either be carbon steels, mechanical construction or stainless steels, and even common cast irons, special and nodular, in addition to aluminum and its alloys, copper, bronze and tins. This work presents the most relevant aspects about producing centrifuged pipes made of copper based alloys, with heating and coating of molds, the setting of mold rotation speed, pouring of alloys and types of alloys that can be used in the process..

**Key words:** Non-ferrous materials; Pipes; Centrifugation.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheiro Mecânico - Diretor Técnico e Coordenador da Divisão de Ensino e Pesquisa da Spectru Ltda*

<sup>3</sup> *Técnico de Desenvolvimento Especializado em Sistemas Informatizados. - Responsável Técnico pela Divisão de Informática e Informações Tecnológicas da Spectru Instrumental Científico Ltda.*

<sup>4</sup> *Técnico Industrial Metalúrgico Especializado – Técnico do Laboratório de Metalurgia Extrativa da Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica / Pólo Universitário de Volta Redonda / UFF e Técnico de Pesquisa e Desenvolvimento da Divisão de Metalurgia da Spectru Instrumental Científico Ltda*

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de centrifugação consiste na rotação do molde, onde o metal líquido é introduzido, e pela força centrífuga da rotação do molde, o metal é forçado contra as paredes do mesmo, solidificando-se sob pressões homogêneas obtendo-se excelentes características mecânicas. Por ser fundido sob pressão (rotação), o metal solidifica-se, formando um perfeito acomodamento dos cristais e livrando-se de gases, impurezas (óxidos) nocivas ao desgaste e a cavitação, aumentando a vida útil do metal.

As vantagens básicas da fundição centrifugada são: permite trabalhar com um mínimo de sobremetal; o fundido centrifugado aperfeiçoa as características mecânicas como, resistência à tração, escoamento, dureza e alongamento; a fundição centrifugada por ser processada em alta velocidade, elimina gases, porosidades e inclusões, evitando desperdícios de tempo e usinagem com refugos, o tempo de fabricação é reduzido e a relação metal fundido e peça entregue é elevada.

A Figura 1 mostra peças produzidas por fundição centrífuga.

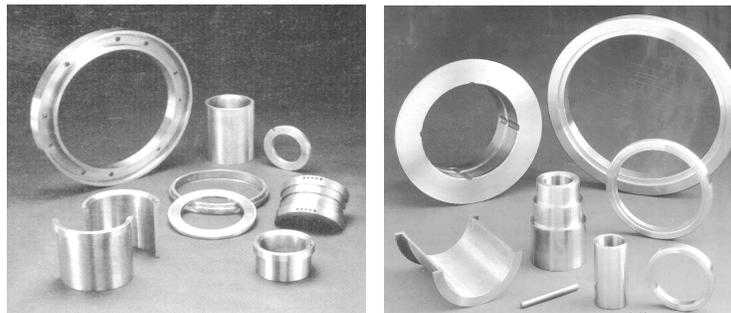


Figura 1 – Peças produzidas por fundição centrífuga.<sup>91)</sup>

## 2 CENTRIFUGAÇÃO

A fundição por centrifugação, baseia-se na aplicação de força centrífuga, ao invés das forças mais convencionais de gravidade ou pressão mecânica para preencher os moldes. Esta aplicação da força centrífuga na produção de peças, reduz o custo e simplifica a fabricação ao mesmo tempo que permite exercer pressão sobre o metal líquido durante a solidificação, possibilitando desta forma um controle adicional sobre a sanidade dos fundidos. Paralelamente, obtém-se um refinamento da microestrutura devido à rápida solidificação do material e ao movimento relativo existente entre a película sólida e o líquido remanescente, melhorando com isto as propriedades da liga.

O metal, após elaboração em fornos elétricos, é vazado na máquina centrifugadora (Figuras 2 e 3), onde se encontra a coquilha pré-aquecida, preparada internamente com revestimento refratário, garantindo um excelente acabamento superficial. No momento do vazamento, a coquilha encontra-se em movimento giratório, que pode ser de até 1.100 rpm e impõe ao metal uma força de até 60 vezes a da gravidade terrestre. Permanece sob ação da força centrífuga até o completo resfriamento da peça, que é controlado por jatos d'água. Em seguida, o produto é retirado da coquilha e processado conforme a aplicação desejada.

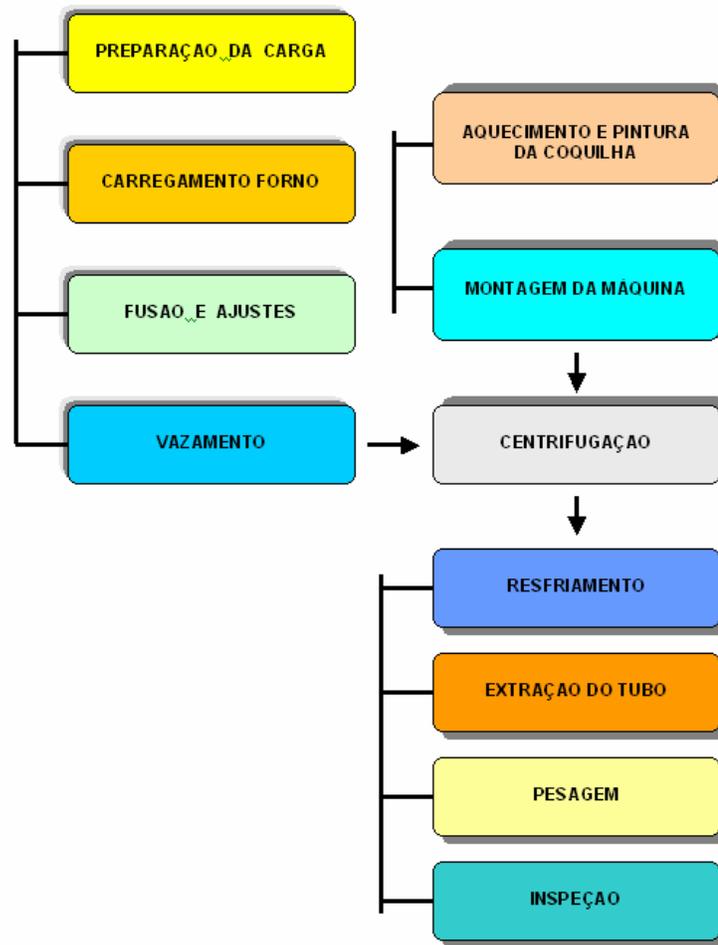


Figura 2 – Processo de fabricação de tubos.<sup>(2)</sup>

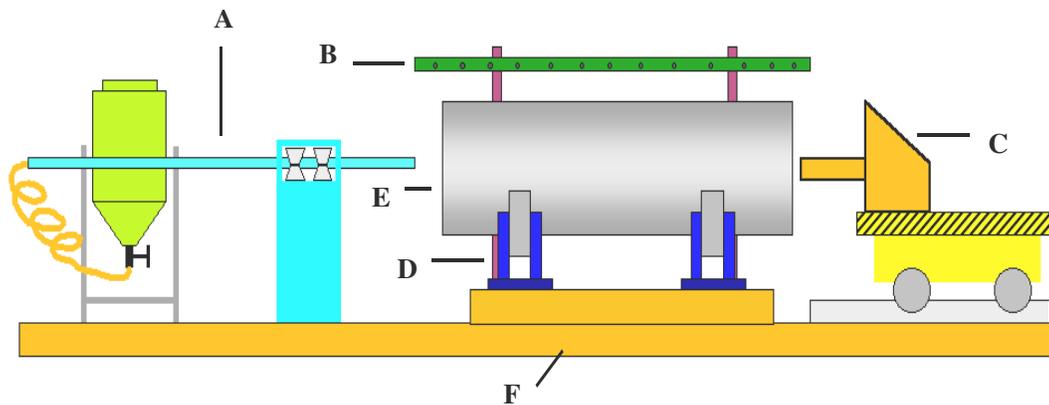


Figura 3 : Desenho esquemático de uma máquina de centrifugar tubos : (a) sistema de pintura, (b) refrigeração, (c) funil de vazamento, (d) roletas de apoio e rotação, (e) coquilha, (f) base de concreto.<sup>(1-3)</sup>

### 3 ASPECTOS OPERACIONAIS

#### 3.1 Revestimento das Coquilhas

A principal finalidade da aplicação de tintas sobre a superfície dos moldes é proporcionar um bom acabamento superficial das peças fundidas, o que reduz os custos de fabricação e contribui para um maior fluxo de produção. Tintas para fundição são, comprovadamente, insumos essenciais na fabricação de fundidos de qualidade. O propósito do fundidor, ao aplicar uma tinta para revestimento dos moldes metálicos, não é somente obter peças com bom acabamento, mas garantir uma maior vida útil das coquilhas, controlar a extração de calor na interface metal-molde, facilitar a extração das peças, aumentar a produtividade do processo de fundição e evitar reações do metal líquido com o molde. Para tal, é preciso que a tinta influa sobre diversos fatores inerentes à cavidade do molde.

As principais causas que acabam por resultar em prejuízos e aumentar os custos de fabricação de peças fundidas por centrifugação são; possíveis reações metal - molde, defeitos superficiais nas peças, falha dos moldes metálicos e má extração das peças.

Essas ocorrências podem ser evitadas pelo uso de uma tinta refratária que aja como meio sólido de separação das duas fases, metal líquido - molde. Nesse caso, o material fino e refratário deve preencher os pequenos vazios existentes na superfície do molde, formando um filme contínuo e impermeável ao metal fundido.

As tintas para fundição são misturas bastantes complexas, cujos constituintes básicos são:

- a carga, material sólido de natureza refratária ou isolante;
- o aglomerante ou fixador, material orgânico ou inorgânico que visa fixar a tinta no substrato;
- o veículo, material líquido que confere à tinta um estado de dispersão coloidal, facilitando sua aplicação;
- o agente de suspensão, material que evita a sedimentação da carga da tinta preparada, mantendo sua consistência, e
- materiais auxiliares, que comunicam propriedades específicas às tintas, tais como modificadores de pH, antiespumantes, bactericidas, umectantes etc.

Para que uma tinta apresente um bom desempenho é necessário conciliar fatores envolvendo a fabricação, preparação e aplicação com a sua compatibilidade ao metal a ser vazado. Entretanto, uma boa formulação determinará grandemente a eficácia da tinta. Muitas vezes a ocorrência de problemas na fabricação e defeitos nas peças está relacionado a deficiência na formulação.

A tinta a base de zirconita são utilizadas em larga escala devido a sua alta compatibilidade e com as ligas de fundição e bom desempenho no sentido de qualidade do fundido e vida do molde.

Esta classe de tinta deve apresentar alto teor de  $ZrO_2$  associado a um alto teor de sólidos de modo a garantir melhor qualidade e maior rendimento, quando o material apresenta baixo teor de sólidos, ocorre um excesso de veículo incorporado à formulação, aumentando os custos e dificultando a elaboração da tinta. A pureza do material também é de grande importância, as tintas que apresentam apenas zirconita em sua constituição tendem a apresentar boa estabilidade a altas temperaturas. A presença de outros compostos é altamente nocivo ao comportamento da tinta, estas tintas contaminadas possivelmente terão seus desempenhos comprometidos quanto evitar a reação metal-molde. O teor de

carbono deve ser controlado e mantido baixo, teores altos de carbono significa PPC alto, favorecendo a ocorrência de defeitos relacionados com gases. O teor de elemento refratário deve ser o mais alto, o óxido de zircônio possui alta refratariedade, o que deve melhorar o desempenho desta tinta. A refratariedade indica a resistência da camada de tinta a altas temperaturas, impedindo a penetração do metal.

### 3.2 Temperatura de Aquecimento da Coquilha

Para evitar problemas com o fundido, aumentar a vida útil do molde metálico, secar a tinta refratária e manter a produtividade. A coquilha deve ser pré-aquecida dentro da faixa de 150 °C a 250 °C.

### 3.3 Temperatura de Vazamento das Ligas

As ligas de cobre - estanho podem ser vazadas a temperatura de 1090°C, porém a faixa de trabalho varia de 1.010 °C à 1.200 °C, deve-se ressaltar que a cada 0,1% de fósforo na liga abaixa-se aproximadamente 60°C na temperatura de vazamento. Para seções médias de composição aproximada 80% Cu, 10% Sn e 10% Pb, vaza-se à 1.120°C, com a adição de 0,5% fósforo, esta temperatura pode ser de 1.080°C. Para ligas com 20% de Sn em seções medianas a temperatura de vazamento fica em torno de 1.100 °C, adicionando-se 0,05% de P este valor cai para 1050°C. Em seções grossas a temperatura de vazamento pode ser de 1.010°C.

As temperaturas de vazamento das ligas de cobre – zinco estão na Tabela 1. As ligas do tipo A são consideradas de bom vazamento e as ligas do grupo B são consideradas de vazamento difícil.

**Tabela: 1** - Temperatura de Vazamento para Cu - Zn de acordo com o tipo de liga e espessura de peça<sup>(1)</sup>

Espessura da Peça	Temperatura de Vazamento °C	
	Ligas do Tipo A - 70 à 80% Cu	Ligas do Tipo B - 62% à 70% Cu
Fina	1.200 – 1.100	1.150 – 1.050
Mediana	1.100 – 1.050	1.050 – 1.000
Grossa	1.050 – 1.000	1.000 - 970

Para as ligas de Cobre - Alumínio as temperaturas normalmente utilizadas são 1.040°C à 1.055°C. A Tabela 2 também indica as temperaturas de vazamento para este tipo de liga de acordo com a seção do fundido.

**Tabela: 2** - Temperatura de Vazamento para Cu - Al de acordo com a espessura de peça<sup>(1)</sup>

Espessura de Peça	Temperatura de Vazamento °C
Fina	1.220
Média	1.150
Grossa	1.110

### 3.4 Velocidade de Rotação da Coquilha

A rotação do molde metálico é responsável pela aderência do metal líquido nas paredes internas da coquilha, pela distribuição uniforme do líquido ao longo do molde e pela sanidade da peça fundida.

$$N = \frac{D + E + C}{\sqrt{1340}} \pm K$$

N – R.P.M

D – diâmetro interno do molde em mm

E – espessura da peça em mm

C – comprimento do molde em mm

K – fator de ajuste da velocidade para mais ou para menos (determinado na fabricação)

### 3.5 Tipos de Ligas

Os principais requisitos de uma liga metálica para fundição centrífuga são:<sup>(4-7)</sup>

- alta fluidez;
- grande intervalo de solidificação;
- baixa contração e oxidação; e
- boa resistência a trincas a quente.

Praticamente todas as ligas fundidas são centrífugáveis, sejam elas bronzes ou latões em geral (Tabelas 3 a 7).

**Tabela 3** – Bronze com Ni<sup>(1)</sup>

NORMA	DESIGNACIÓN	PROCEDIMIENTO	COMPOSICIÓN % (m / m)			CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS			
			ELEMENTO	MIN	MAX	Rm N/mm <sup>2</sup> MIN	0,2% L/E Rp 0,2 N/mm <sup>2</sup> MIN	A % MIN	DUREZA BRINELL HB MIN
EN 1982	GZ-CuSn12Ni2-C CC484K	CENTRÍFUGO	Cu	84'5	87'5	300	180	8	95
			Ni	1'5	2'5				
			P	0'05	0'40				
			Sn	11'0	13'0				
			Al	-	0'01				
			Fe	-	0'20				
			Mn	-	0'2				
			Pb	-	0'3				
			S	-	0'05				
			Sb	-	0'1				
Si	-	0'01							
Zn	-	0'4							

**Tabela 4 – Bronze com Zn e Pb<sup>(1)</sup>**

NORMA	DESIGNACIÓN	PROCEDIMIENTO	COMPOSICIÓN % (m / m)			CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS			
			ELEMENTO	MIN	MAX	Rm N/mm <sup>2</sup> MIN	0'2% L/E Rp 0,2 N/mm <sup>2</sup> MIN	A % MIN	DUREZA BRINELL HB MIN
EN 1982	GZ-CuSn5Zn5Pb5-C CC491K	CENTRÍFUGO	Cu <sup>1)</sup>	83'0	87'0	250	110	13	65
			Ni	-	2'0				
			P	-	0'10				
			Pb	4'0	6'0				
			Sn	4'0	6'0				
			Zn	4'0	6'0				
			Al	-	0'01				
			Fe	-	0'3				
			S	-	0'10				
			Sb	-	0'25				
Si	-	0'01							

**Tabela 5 – Bronze Alumínio<sup>(1)</sup>**

NORMA	DESIGNACIÓN	PROCEDIMIENTO	COMPOSICIÓN % (m / m)			CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS			
			ELEMENTO	MIN	MAX	Rm N/mm <sup>2</sup> MIN	0'2% L/E Rp 0,2 N/mm <sup>2</sup> MIN	A % MIN	DUREZA BRINELL HB MIN
EN 1982	GZ-CuAl10Fe5Ni5-C CC-333G	CENTRÍFUGO	Al	8'5	10'5	650	280	13	150
			Cu	76'0	83'0				
			Fe	4'0	5'5				
			Mn	-	3'0				
			Ni	4'0	6'0				
			Bi	-	0'01				
			Cr	-	0'05				
			Mg	-	0'05				
			Pb	-	0'03				
			Si	-	0'1				
			Sn	-	0'1				
			Zn	-	0'50				

**Tabela 6 – Bronze com Pb<sup>(1)</sup>**

NORMA	DESIGNACIÓN	PROCEDIMIENTO	COMPOSICIÓN % (m / m)			CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS			
			ELEMENTO	MIN	MAX	Rm N/mm <sup>2</sup> MIN	0'2% L/E Rp 0,2 N/mm <sup>2</sup> MIN	A % MIN	DUREZA BRINELL HB MIN
EN 1982	GZ-CuSn10Pb10-C CC-495K	CENTRÍFUGO	Cu <sup>1)</sup>	78'0	82'0	220	110	6	70
			Ni	-	2'0				
			P	-	0'10				
			Pb	8'0	11'0				
			Sn	9'0	11'0				
			Zn	-	2'0				
			Al	-	0'01				
			Fe	-	0'25				
			Mn	-	0'2				
			S	-	0'10				
			Sb	-	0'5				
			Si	-	0'01				

**Tabela 7 – Latão Manganês<sup>(1)</sup>**

NORMA	DESIGNACIÓN	PROCEDIMIENTO	COMPOSICIÓN % (m / m)			CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS			
			ELEMENTO	MIN	MAX	Rm N/mm <sup>2</sup> MIN	0,2% L/E Rp 0,2 N/mm <sup>2</sup> MIN	A % MIN	DUREZA BRINELL HB MIN
EN 1982	GZ-CuZn25Al5Mn4Fe3-C CC762S	CENTRÍFUGO	Al	3'0	7'0	750	480	5	190
			Cu <sup>1)</sup>	60'0	67'0				
			Fe	1'5	4'0				
			Mn	2'5	5'0				
			Ni	-	3'0				
			Zn	RESTO					
			P	-	0'03				
			Pb	-	0'2				
			Sb	-	0'03				
			Si	-	0'1				
Sn	-	0'2							

#### 4 CONCLUSÃO

Os produtos centrifugados, por apresentarem uma estrutura densa e uniforme, substituem com vantagem qualitativa o uso de peças fundidas estaticamente.

Com exceção de alguns poucos casos especiais, quaisquer tipos de ligas não ferrosas de fundição podem ser empregadas para a produção de centrifugados.

As peças centrifugadas encontram grande aplicação em diversos setores industriais, sejam em simples forma de tubos, de rolos para os mais diversos fins, ou ainda como matéria prima para produção de componentes cilíndricos como buchas, flanges, anéis, camisas, engrenagens, pinos etc.

#### BIBLIOGRAFIA

- 1 BAPTÍSTA, A. L. B. – Fundição Centrífuga – EEIMVR / UFF – VR, 1995.
- 2 JUNIOR, D. M. P. ; BAPTÍSTA, A . L. B. ; MAROCLO, R. C. ; FRANCO, F. R. – Liga bronze alumínio : Análise de trincas em centrifugação. In.: XXIX Seminário de Fusão, Refino e Solidificação de Metais, São Paulo/SP, Maio de 1998, págs.: 311 á 322.
- 3 BRAGA, W. S. ; MARUJO, L. G. ; BAPTÍSTA, A. L. B. ; VIEIRA, L. C. A . – Algumas considerações sobre a fabricação de peças em ligas não – ferrosas por centrifugação. In.: 53º Congresso Anual da ABM, Belo Horizonte / MG, 13 a 17 de Setembro de 1998, pág.: 139 – 1 CD
- 4 LIMA, K. R. S. ; PAULA, A . S. ; BAPTÍSTA, A . L. B. - Tubos centrifugados para indústria petroquímica: projeto e fabricação. In.: 54º Congresso da ABM, 25 a 29 de Julho de 1999, São Paulo-SP, pág.: 407 – 1 CD
- 5 CHRISÓSTIMO, W. B. ; MOTTA, E. A. ; LIMA, K. R. S. ; PAULA, A . S. ; BAPTÍSTA, A . L. B. – Fabricação de componentes em liga de alumínio – silício destinados a construção mecânica. In.: 54º Congresso da ABM, 25 a 29 de Julho de 1999, São Paulo-SP, pág.: 934 – 1 CD
- 6 NASCIMENTO, I. A. ; BAPTÍSTA, A. L. B. – Microestrutura e propriedades mecânicas de material centrifugado resistente à cavitação. In 57º Congresso Anual Internacional da ABM, São Paulo – SP , Julho de 2002, pág.: 623 – 1 CD
- 7 WAGANOFF, N. P. – Fundicion Centrífugada. Libreria y Editorial Alsina, Buenos Aires, 1958.