

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALESSANDRO PRESZNHUK FILHO
LEONARDO SIRINO

FUNDIÇÃO POR CENTRIFUGAÇÃO

CURITIBA
2015

ALESSANDRO PRESZNHUK FILHO
LEONARDO SIRINO

FUNDIÇÃO POR CENTRIFUGAÇÃO

Trabalho de graduação apresentado à disciplina de Fundição do curso de Engenharia Mecânica do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA
2015

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Peça de artilharia Krupp 6-pounder C73/76 em Eregli, Turquia	6
Figura 2 - Canhão pak43 L/71 em Berlin, 1943	8
Figura 3 - Gráfico da produção mundial de aço em função do tempo	9
Figura 4 - Teoria centrífuga vertical.....	11
Figura 5 - Teoria centrífuga horizontal	11
Figura 6 - Máquina de fundição por centrifugação	13
Figura 7 - Máquina Neycraft LS para fabricação de próteses dentárias.	14
Figura 8 - Máquinas com câmara à vácuo	15
Figura 9 - Projeto de molde	16
Figura 10 - Projeto de molde de aço/areia para fabricação de tubos metálicos	17
Figura 11 - Peça fabricada por centrífuga vertical com resfriamento por água	17
Figura 12 - Funcionamento de uma máquina de fundição por centrifugação.....	18
Figura 13 - Centrífuga em operação na fábrica da Zhagun, na China	19
Figura 14 - Centrífugas compartilhando o mesmo motor	19
Figura 15 - Fabricação de tubo de ferro dúctil por centrífuga móvel na SMT, China	20

SUMÁRIO

Introdução	4
1. HISTÓRIA DA FUNDIÇÃO POR CENTRIFUGAÇÃO	5
1.1 PRIMEIROS USOS DA TÉCNICA DE CENTRIFUGAÇÃO	5
1.2 A CONTRIBUIÇÃO DAS INDÚSTRIAS KRUPP.....	5
1.3 AS GUERRAS MUNDIAIS E A IDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO	6
1.4 PERÍODO PÓS-SEGUNDA GUERRA MUNDIAI E GUERRA FRIA.....	8
2. MAQUINÁRIO NA FUNDIÇÃO POR CENTRIFUGAÇÃO.....	10
2.1 TEORIA E MAQUINÁRIO PARA FUNDIÇÃO ARTESANAL POR CENTRIFUGAÇÃO.....	10
2.1.1 Máquinas de molde fixo em braço	12
2.1.2 Máquinas de molde rotativo verticais	15
2.2 MÁQUINAS DE FUNDIÇÃO POR CENTRIFUGAÇÃO HORIZONTAL.....	18
2.2.1 Centrífugas fixas	18
2.2.2 Centrífugas móveis.....	20
Referências	21

INTRODUÇÃO

Os processos de fundição já vem há muito tempo integrando as técnicas de produção do ramo da metal mecânica, sendo um dos primeiros processos de fabricação e um dos mais utilizados ainda hoje.

A fundição por centrifugação trouxe novas possibilidades para essa técnica, como a fabricação de tubos sem costura de maneira mais rápida e barata, melhoria na qualidade de algumas peças fundidas e entre outros.

Esse trabalho tem por objetivo dar uma introdução sobre essa poderosa técnica, começando pelos seus princípios de funcionamento, mostrando a história do processo, os variantes atuais e as principais aplicações.

1. HISTÓRIA DA FUNDIÇÃO POR CENTRIFUGAÇÃO

Desde os primórdios da humanidade temos usado o fogo para melhorar nossas condições de vida e conforto. Primeiramente como fonte de calor para dias frios, depois para preparação de alimentos e ferramentas, as fontes de calor ganham mais utilidades conforme o avanço tecnológico das sociedades. Com a descoberta de que o fogo poderia tornar materiais rígidos e sólidos em objetos maleáveis e trabalháveis, diversos processos de fundição foram desenvolvidos. Ferramentas de metal ajudariam na caça, guerra e cultivo de alimentos, participando no processo de sedentarização e desenvolvimento das primeiras cidades. Com ferramentas mais avançadas, a fundição em si sofreu modificações e avanços, permitindo o uso de mais metais e diferentes técnicas de fabricação. Entre as técnicas desenvolvidas, está o processo de fundição por centrifugação.

1.1 PRIMEIROS USOS DA TÉCNICA DE CENTRIFUGAÇÃO

Os primeiros usos da fundição por centrifugação teriam sido na fabricação de cristais e joias, porém não há consenso entre os historiadores sobre o surgimento dessa técnica. Uma das provas mais antigas do uso desse processo data de aproximadamente 340 D.C., em uma fábrica de cristais na província romana da Gália. Durante a idade média e moderna o processo teria sido usado na fabricação de joias de prata, com o uso de manivelas e braços longos com moldes nas extremidades.

A invenção do processo industrial de fundição por centrifugação foi de Alfred Krupp (1812-1887), um pioneiro da engenharia de seu tempo e responsável pelo grande crescimento das indústrias Krupp de fundição e fabricação de armamentos e munições. O processo foi primeiramente usado para fabricação de rodas de trem, apresentando grande sucesso e vantagens sobre os antigos métodos de fabricação, que eram mais caros e muitas vezes tinham como produto rodas imperfeitas. O sucesso na fabricação de rodas de trem deu às indústrias Krupp o logotipo famoso das três circunferências intersectadas.

1.2 A CONTRIBUIÇÃO DAS INDÚSTRIAS KRUPP

Posteriormente, em meados de 1856, A. Krupp inaugurou uma fábrica de peças de artilharia e munições encamisadas de grande calibre. O processo de fundição por centrifugação permitiu a fabricação de canos para armas que fossem mais retos e uniformes, garantindo assim maior precisão para o armamento. A obra mais icônica de Alfred, feita por fundição por centrifugação, é a peça de artilharia de campanha *6-pounder*, com projeto datado de 1862, cujo calibre marcou a história pela sua versatilidade em combate e é utilizado até os dias atuais.



Figura 1 - Peça de artilharia Krupp 6-pounder C73/76 em Eregli, Turquia.

Mais tarde, em 1893, Rudolf Diesel apresentaria à Gustav Krupp, filho de Alfred Krupp, um projeto inovador: o primeiro motor a diesel do mundo, com três cavalos de potência. Gustav participou ativamente no desenvolvimento do motor e passou no ano seguinte a produzi-lo em escala comercial, alimentando o berço da indústria automotiva.

1.3 AS GUERRAS MUNDIAIS E A IDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO

O processo de fundição por centrifugação passou a ser utilizado na fabricação de tubos para instalações industriais a vapor e posteriormente para redes de água e esgotos, ainda na segunda metade do século XIX. A fabricação de tubos metálicos pelo método da centrifugação ajudou no fornecimento de água encanada, considerado um dos marcos civilizatórios do século em questão. Com o início do século XX, a produção de produtos fundidos cresceu acompanhando a industrialização da Europa e América do Norte, bem como a globalização dos mercados. O início da política da Paz Armada fez com que grandes

investimentos em infraestrutura e produção de minérios fossem realizados, priorizando a expansão da indústria bélica, inevitavelmente atrelada à indústria de fundição.

Já no início da Primeira Guerra Mundial, em 1914, praticamente todos os armamentos possuíam peças fabricadas pelo método de fundição por centrifugação. Canos de armas, ferrolhos e cartuchos encamisados eram fabricados em quantidades massivas. A crescente necessidade pela produção industrial, imposta pela situação de guerra, fez com que grandes avanços na área da fundição fossem conquistados, como desenvolvimento de novas ligas, com destaque para o aço inoxidável e ligas de alumínio, e meios para controles de qualidade mais rigorosos. No final da guerra grandes companhias haviam conquistado seu espaço no mercado internacional, entre elas indústrias que integravam fundições em seus meios produtivos, como a BMW, Harley-Davidson e a Ford.

O período entre guerras foi marcado pela prosperidade e avanços tecnológicos na década de 20, porém o *Crash* de 1929 causaria uma quase estagnação na indústria durante a década de 30. Em 1935, o nacional-fascismo alemão promove incentivos para a reanimação do mercado interno, investimento fortemente na indústria de fundição. Companhias já famosas mundialmente como a Krupp e a Porsche, instaladas em Essen e Dresden, receberam grandes contratos militares e iniciaram uma grande produção de veículos leves e blindados médios e pesados para suprir as forças armadas alemãs.

A Companhia Krupp receberia em 1937 um contrato para o desenvolvimento de uma arma precisa de longo alcance e grande poder de fogo – surgiria então o projeto do icônico canhão *Flak 88 mm* e sua versão terrestre *8.8cm kwk36, pak36 e pak43 L/71*, considerados os mais precisos e letais da segunda guerra. A precisão e durabilidade em combate dos canhões *88 mm* da Krupp se devia às inovações na fundição por centrifugação, permitindo uma qualidade superior na precisão dimensional e propriedades mecânicas.

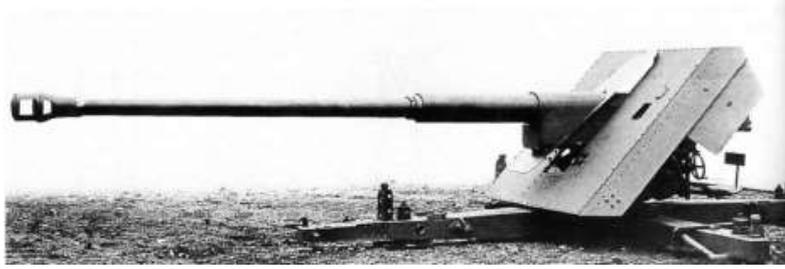


Figura 2 - Canhão pak43 L/71 em Berlin, 1943

1.4 PERÍODO PÓS-SEGUNDA GUERRA MUNDIAL E GUERRA FRIA

A segunda guerra mundial garantiu à área das engenharias grandes avanços tecnológicos, e, segundo o historiador Paul Kennedy em sua obra *“Engenheiros da Vitória - Os Responsáveis Pela Reviravolta na Segunda Guerra”*, os avanços na área da fundição foram imprescindíveis para que os aliados derrubassem o Império Nazista. No auge da produção bélica norte americana, eram fabricados um tanque Sherman era fabricado a cada dois minutos e um bombardeiro B17 a cada cinco. Em outros termos, a indústria bélica americana utilizava cerca de 2500 toneladas de aço por hora no pico de produção.

Com o fim da guerra a infraestrutura outrora utilizada para produção bélica fora adaptada para nutrir os mercados internacionais com bens de consumo. Destacam-se na área da fundição os setores automotivos e de utensílios domésticos, como geladeiras e panelas. A produção mundial de aço cresceria durante a segunda metade do século XX, estagnando com o início do século XXI. Vide o gráfico abaixo.

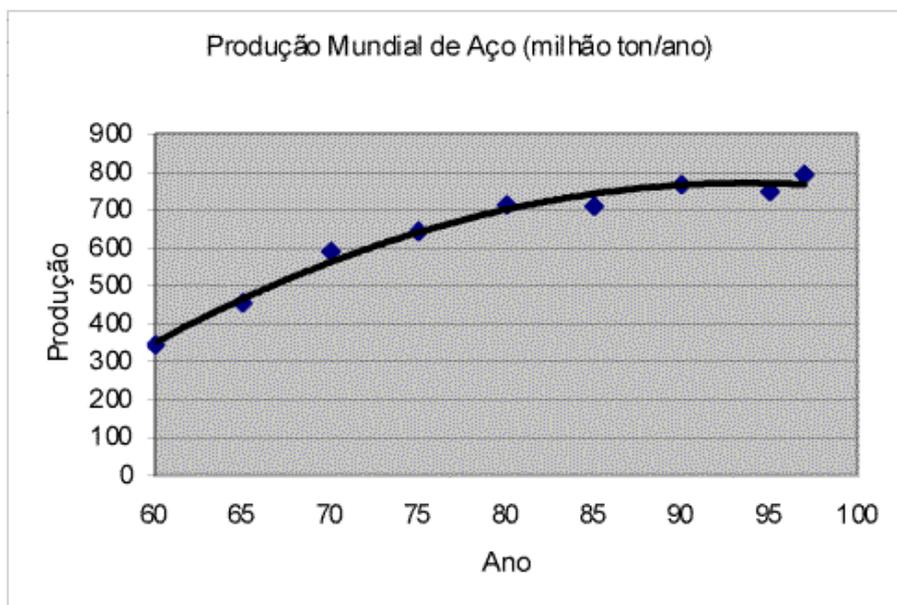


Figura 3 - Gráfico da produção mundial de aço em função do tempo

Fonte <http://ecen.com/eee20/emiscarv.htm>

O processo de urbanização pós Revolução Verde (década de 60 e 70) fez crescer a demanda por tubulações metálicas para suprir a construção civil, fazendo com que fundições por centrifugação surgissem em países hoje em desenvolvimento. No Brasil, destacam-se as empresas Gerdau, Tigre, FAI, Nicem, Brasil Bronze, AGD, FVTE e CBA. Mesmo com a difusão da indústria de fundição pelo mundo, grande parte do desenvolvimento tecnológico e da produção de maquinário estão concentrados em polos industriais de países como Coréia do Sul, Japão, Alemanha, EUA e Polônia.

2. MAQUINÁRIO NA FUNDIÇÃO POR CENTRIFUGAÇÃO

Diferentemente do maquinário utilizado nos demais processos de fundição, onde braços mecânicos de precisão e moldes sobre pressão são frequentemente utilizados, no processo de fundição por centrifugação o maquinário é relativamente mais simples e não depende de grandes forças ou pressões para a produção de peças de qualidade - mas sim a velocidade de rotação do molde. Isso torna o processo em questão bem característico e único.

Como o próprio nome do processo sugere, o principal equipamento empregado é a centrífuga. Para usos na indústria pesada, basicamente, consiste de um motor elétrico ou à combustão cujo eixo é ligado diretamente ou indiretamente, por um sistema de transmissão, ao molde da peça a ser fabricada. O motor provoca velocidades de rotação de 300 a 3000 rotações por minuto no molde, e então o metal líquido é vazado. Em fundições pequenas ou artesanais, o molde da peça é posicionado na extremidade de um braço junto a um cadinho, onde se deposita o metal líquido, e, com a rotação do braço, o metal é forçado dentro do molde. Os detalhes dos maquinários para ambas as aplicações da fundição por centrifugação serão apresentados na sequência.

2.1 TEORIA E MAQUINÁRIO PARA FUNDIÇÃO ARTESANAL POR CENTRIFUGAÇÃO

Os equipamentos necessários para fundição artesanal pelo processo de centrifugação são simples e podem ser facilmente projetados e construídos. Sabemos pelos princípios da mecânica que a força inercial centrífuga (reação à força centrípeta) atuará sobre um corpo se ele estiver em regime de movimento circular, e a força à qual o corpo estará sujeito é dada pela expressão:

$$F_C = m \cdot r \cdot \omega^2$$

Onde m é a massa do corpo, r é o raio do movimento circular e ω é a velocidade angular em rotações por segundo. A partir de expressões derivadas desse princípio e de outros, juntamente com dados empíricos, foram definidas equações para se determinar a rotação

para certas situações de aplicação, como exemplo temos a equação para a rotação de uma centrífuga vertical para a produção de peças cônicas, que pode ser vista na imagem abaixo:

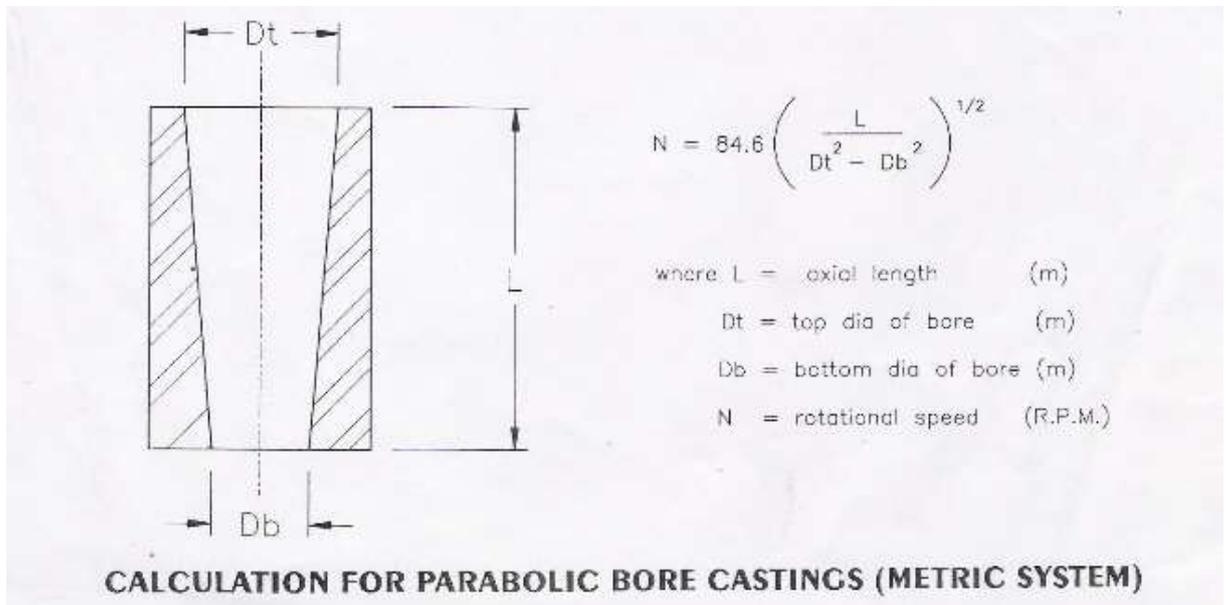


Figura 4 - Teoria centrífuga vertical

Para a produção de tubos em centrífugas horizontais temos a relação presente na imagem abaixo:

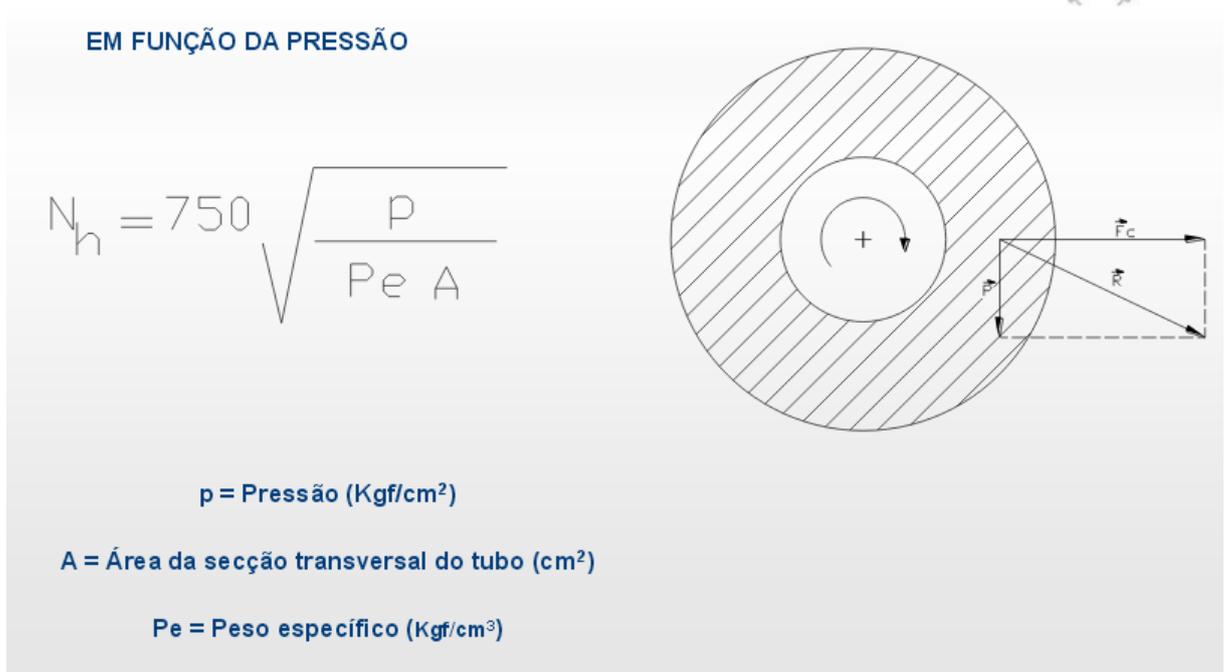


Figura 5 - Teoria centrífuga horizontal

O modelo mais comum de máquinas para fundição artesanal ou de pequeno porte por força centrífuga são as centrífugas verticais, cujo nome se deve ao fato da rotação ocorrer num eixo perpendicular ao plano do chão. Podemos separar essas máquinas em duas categorias, as com molde fixados em braço e as quais o próprio molde é induzido à rotação, sem necessidade de um braço ligando o eixo ao molde.

2.1.1 Máquinas de molde fixo em braço

As máquinas com molde fixo em braço são muito utilizadas na fabricação de joias, próteses dentárias, cristais pequenos, bijuterias e pequenos objetos metálicos. A estrutura é muito simples, sendo composta por um eixo, um braço, um mancal de rolamentos (preferencialmente), contrapesos, um sistema de frenagem (opcional), cadinho, suporte para molde e o molde em si. O eixo tem uma de suas extremidades conectadas no braço e a outra em alguma espécie de motor, podendo funcionar por molas espirais, motores elétricos ou até mesmo força humana com o uso de uma manivela. O mancal é fixado em uma bancada e é então preso junto ao eixo, permitindo livre movimento de rotação em torno de um eixo. Recomenda-se, por questões de segurança, que o entorno da máquina seja cercado por uma estrutura metálica ou de material refratário, para evitar que metal líquido seja expelido para fora da estrutura, podendo causar danos físicos e materiais.

A função do contrapeso é garantir de que, iniciada a rotação, a força resultante seja nula em torno do eixo de rotação, evitando assim vibrações que prejudicariam a qualidade da peça reduzindo o desgaste no motor e no mancal. As características mecânicas da máquina fazem com que seja inviável a fabricação de peças grandes ou pesas via esse método, uma vez que os componentes deveriam ser dimensionados respeitando o crescimento da massa e consequentemente da força centrípeta.

O cadinho pode ser preenchido com metal já fundido ou com metal ainda sólido, sendo fundido com uso de um maçarico. O molde é posicionado à frente do cadinho e uma abertura entre o cadinho e o molde permite a passagem controlada de material para o interior do molde. Assim, conforme o braço induz a rotação do cadinho e do molde, o metal é forçado para a cavidade do molde. Quanto maior a rotação, maior será a velocidade com a qual o material passará entre os componentes e maior será a pressão do metal nas paredes

do molde. Todavia, se a velocidade de rotação for muito alta, o metal poderá entrar no molde em regime turbulento, causando defeitos na peça final. A velocidade muda de peça para peça e deve ser calculado previamente ou empiricamente, fazendo necessário que o motor seja ajustável para que se use a velocidade desejada. Na figura abaixo temos um exemplo de uma máquina de fundição por centrifugação com molde fixo em braço, com os entes físicos e dimensionais destacados.

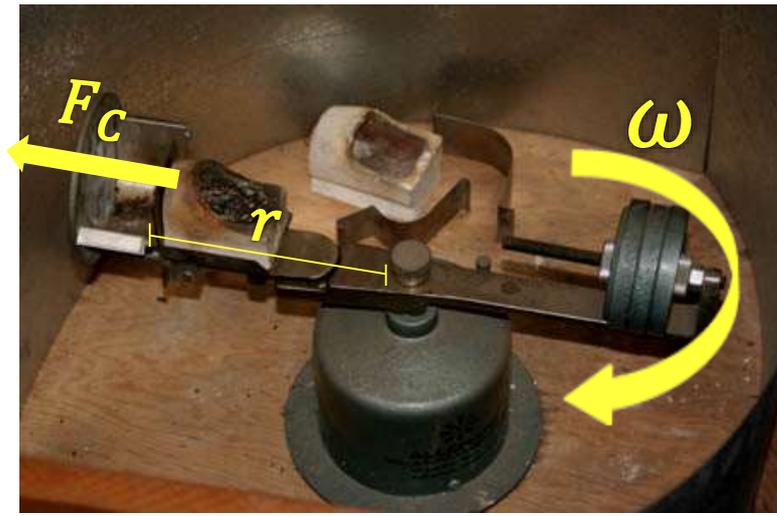


Figura 6 - Máquina de fundição por centrifugação

Máquinas mais simples como a da imagem acima rotacionam a baixas velocidades (entre 200 e 1000 RPM) e são geralmente movidas a sistema de molas ou manivelas, sem uso de motores elétricos. Pela simplicidade, relativa robustez e baixo custo, são muito utilizadas em pequenos negócios na fabricação de joias e próteses dentárias. Por serem facilmente construídas, são muitas vezes fabricadas de forma caseira ou sobre encomenda e raramente são produzidas em nível industrial.



Figura 7 - Máquina Neycraft LS para fabricação de próteses dentárias.

Máquinas mais complexas com velocidades de rotação altas (mais de 2000 RPM) são fabricadas em nível industrial e suprem médias e grandes empresas nos ramos de fundição de precisão, joalheria e próteses.

Uma das desvantagens das máquinas de fundição por centrifugação é a interação entre os contrapesos, moldes e cadinho com o ar dentro câmara da máquina. Por não possuírem boas características aerodinâmicas, esses componentes sofrem grandes forças de arrasto e podem induzir a formação de vórtices de Von Kármán, causando vibrações e afetando a velocidade máxima de rotação da máquina. Para contornar esse problema, foram desenvolvidas máquinas que operam com câmaras a vácuo, porém a custos bem elevados. Essa inovação permitiu maiores velocidades de rotação para fabricação de peças que necessitam grande pressão do metal fundido no molde, seja por questões dimensionais ou de qualidade de superfície.

As máquinas que operam a vácuo possuem câmaras com oxigênio em níveis extremamente reduzidos, impedindo a contaminação do metal ou da liga metálica da peça no molde e evitando a formação de bolhas na superfície da peça. Com a pressão interna muito baixa, a saída de gases e vapores metálicos do molde é muito mais rápida devido às leis que regem a mecânica de gases e fluídos no geral.

No ramo de próteses dentárias, as empresas Neycraft e BEGO foram pioneiras no mercado, fabricando máquinas de velocidades entre 200 e 800 RPM de custo médio para laboratórios de próteses dentárias. No ramo das centrífugas a vácuo, as empresas TCE, EGD, Yasui, Gesswin, Kaite e Stuller se destacam, e seus produtos possuem versatilidade para uso em fundição de precisão para próteses dentárias, peças de platina, joias e peças pequenas que demandam grande precisão dimensional.



Figura 8 - Máquinas com câmara à vácuo

À direita, máquina EDG PCAST 1700 R2, utilizada para fabricação de joias e peças de alta precisão com velocidade máxima de 1700 RPM. À esquerda, máquina Fornax 1 da BEGO, utilizada na fabricação de próteses dentárias. Ambas funcionam com câmara a vácuo.

2.1.2 Máquinas de molde rotativo verticais

Diferentemente das máquinas vistas anteriormente, cujo molde se move de forma dependente a um braço e a um sistema de contrapesos, as máquinas de molde rotativo verticais tem o eixo do motor ligado ao molde diretamente ou indiretamente por meio de uma transmissão. O metal já fundido é derramado nas paredes do molde enquanto ele se move em altas velocidades. Foram as primeiras máquinas de fundição por centrifugação, utilizadas inicialmente para fabricação de rodas de trem.

O molde cilíndrico é ligado ao eixo do motor e gira. Para evitar a solidificação precoce do metal, os moldes são pré-aquecidos e o metal fundido é aquecido a temperaturas superiores ao seu ponto de fusão. Ao derramar o metal líquido dentro do molde, a força centrífuga força o metal contra o as paredes do molde.

Para que ocorra equilíbrio físico, todo o metal deverá se depositar de forma uniforme no molde, e a grande aceleração garante microestrutura de boa densidade. As impurezas e substâncias menos densas que o metal, por efeito da aceleração centrípeta e o princípio de Arquimedes, tendem a se concentrar no interior da peça, podendo ser facilmente removidos ao término do processo.

Conforme as necessidades de cada projeto e as características da máquina, o molde pode ser resfriado para acelerar a solidificação do metal no seu interior. Certas máquinas podem trabalhar sem paradas, sendo necessário resfriamento do sistema para garantia do bom funcionamento e longevidade do equipamento. Lubrificação é essencial para que as peças girem livremente em torno de seus eixos de fixação, evitando atrito excessivo.

Na imagem abaixo, podemos ver um esquema de como funcionam as máquinas de fundição por centrifugação vertical.

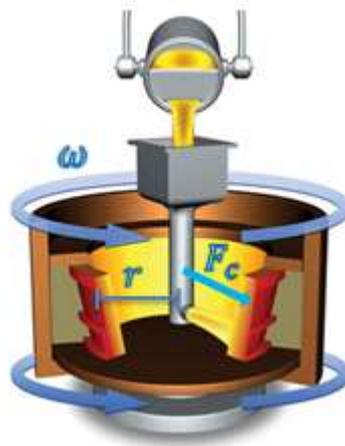


Figura 9 - Projeto de molde

Na próxima imagem, temos um exemplo de projeto de molde para máquinas de fundição por centrifugação.

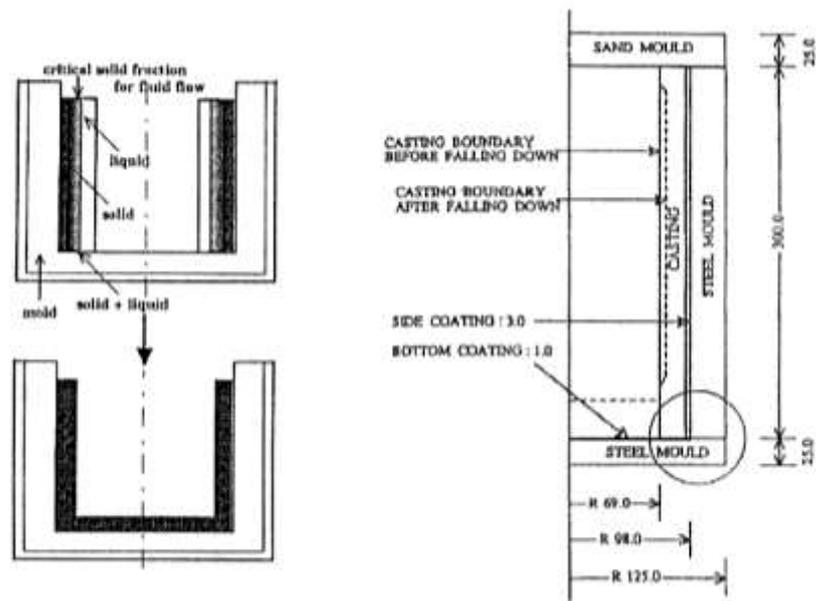


Figura 10 - Projeto de molde de aço/areia para fabricação de tubos metálicos

Fonte: http://www.wtec.org/loyola/casting/03_03.htm



Figura 11 - Peça fabricada por centrifuga vertical com resfriamento por água

Fonte: <http://www.centrifugalcasting.com/>

2.2 MÁQUINAS DE FUNDIÇÃO POR CENTRIFUGAÇÃO HORIZONTAL

Como o próprio nome sugere, a diferença entre as máquinas previamente vistas e as horizontais é a disposição do eixo de rotação no qual o molde descreverá um movimento circular, nesse caso, paralelo ao plano do chão. Máquinas desse tipo são limitadas à produção de peças cilíndricas, sendo geralmente utilizadas para produção de tubos e eixos de grande comprimento. Cada maquinário deve ser produzido conforme as especificações da peça a ser fabricada, tornando o processo viável apenas para grande volume de produção. A variedade de maquinário para centrífugas horizontais é grande, mas dividiremos em dois tipos: as fixas e as móveis.

2.2.1 Centrífugas fixas

As centrífugas fixas produzem peças do tamanho do molde, sem a possibilidade de fabricação de peças com comprimento maior que o componente da máquina. Por esse motivo, essas máquinas são projetadas para fabricação de um único tipo de peça, podendo variar apenas a composição e espessura da peça para um molde específico. São máquinas grandes e pesadas, com motores elétricos ou à combustão, com velocidades de giro entre 300 e 3000 RPM. Os moldes são feitos de aço e materiais refratários e podem, e em certos casos, devem ser pré-aquecidos. O pré-aquecimento, aplicação de talcos ou pós refratários, refrigeração, injeção de metal fundido e extração da peça podem ser automatizados

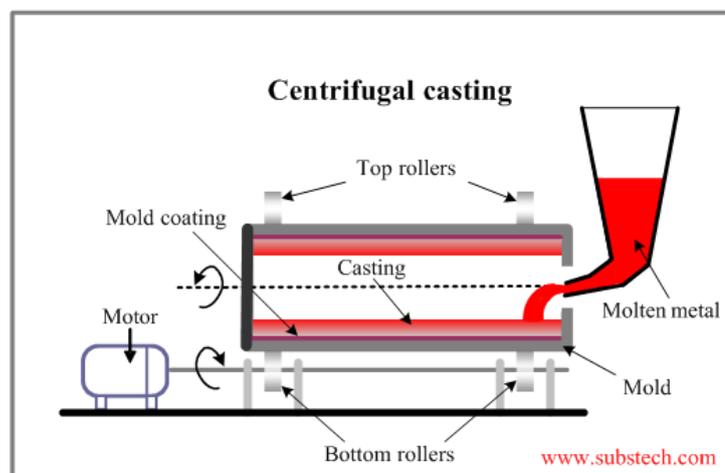


Figura 12 - Funcionamento de uma máquina de fundição por centrifugação

Fonte: <http://www.honedtubes.net/centrifugal-mould.html>

Assim como no caso que discorremos no subitem 2.1.2, o resfriamento do molde é empregado conforme as necessidades de manutenção e segurança da máquina e as especificações mecânicas do material da peça. A lubrificação dos componentes é igualmente importante, garantindo maior eficiência energética, longevidade das peças da máquina e maiores velocidades de rotação.

Abaixo estão imagens de tipos diferentes de centrífugas, mostrando a variedade grande de maquinário que pode ser empregado nesse processo de fundição.



Figura 13 - Centrífuga em operação na fábrica da Zhagun, na China

Fonte: <http://www.xt-zhagun.com/ENGLISH/equipment.jsp>



Figura 14 - Centrífugas compartilhando o mesmo motor

Fonte: <http://www.kusalava.com/foundry.htm>

2.2.2 Centrífugas móveis

A necessidade de produção de peças de maior comprimento e a otimização nas linhas de produção criaram a demanda por maquinários maiores. Foram criados então meios de produzir peças de comprimento maior do que a do molde, com o uso de moldes rotativos móveis, que além do movimento de rotação realizam translação com um grau de liberdade.

O princípio do funcionamento da máquina continua o mesmo do que foi apresentado anteriormente, porém o resfriamento é um fator de maior importância nas centrífugas móveis. O resfriamento rápido da peça no interior do molde permite que esse se mova mais rapidamente, possibilitando uma maior produtividade, em troca de controle da formação de microestruturas na liga metálica.

O movimento da máquina é feita por sistema de trilhos acionados hidráulicamente ou por motores. A parte da máquina responsável pela injeção do metal fundido deve acompanhar o movimento da máquina caso possuam estruturas de suporte independente.

O processo de fabricação de tubos é geralmente feito por meio dessas máquinas. Em uma das extremidades do molde em alta rotação é injetado metal fundido e é formada a primeira secção do tubo. Na outra extremidade, a ponta do tubo é presa por um braço mecânico ligado a um mancal, permitindo a livre rotação do tubo. O molde começa então a se deslocar pelo trilho ao mesmo tempo em que se injeta mais metal fundido, provocando o aumento do comprimento do tubo.



Figura 15 - Fabricação de tubo de ferro dúctil por centrífuga móvel na SMT, China

Fonte: <http://www.caamsmt.com/Item/list.asp?id=1445>

REFERÊNCIAS

FV TECNOLOGIA. FUNDIÇÃO CENTRIFUGADA, QUANDO E POR QUAIS MOTIVOS ESCOLHER. DISPONÍVEL EM: [HTTP://WWW.FVTECNOLOGIA.COM.BR/ARTIGOS/74386D1F9D41A37C9134C1ECE248EB57.PDF](http://www.fvtecnologia.com.br/artigos/74386d1f9d41a37c9134c1ece248eb57.pdf). ACESSADO EM: 05/06/2015

ENGº ARNALDO F. BRAGA JR. PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE FUNDIÇÃO POR CENTRIFUGAÇÃO. DISPONÍVEL EM: [HTTP://WWW.JMMSASSESSORIA.COM.BR/UPLOAD/FILES/CONAF-FENAF.PDF](http://www.jmmsassessoria.com.br/upload/files/conaf-fenaf.pdf). ACESSADO EM: 06/06/2015

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA. PROCESSOS DE FUNDIÇÃO. DISPONÍVEL EM: [HTTP://WWW.JOINVILLE.IFSC.EDU.BR/~VALTERV/PROCESSOS_DE_FABRICACAO/AULA%20%20PROCESSO%20DE%20FUNDICAO.PDF](http://www.joinville.ifsc.edu.br/~valterv/processos_de_fabricacao/aula%20%20processo%20de%20fundicao.pdf). ACESSADO EM: 09/06/2015

[HTTP://WWW.THYSSENKRUPP.COM/](http://www.thyssenkrupp.com/). ACESSO EM: 08/06/2015

MIKELL P. GROOVER. FUNDAMENTALS OF MODERN MANUFACTURING: MATERIALS, PROCESSES, AND SYSTEMS. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://BOOKS.GOOGLE.COM.BR/BOOKS?ID=QU-QVUD3OvOC&PG=PA257&LPG=PA257&DQ=SPINNING+SPEED+AND+DIAMETER+OF+CAST](https://books.google.com.br/books?id=QU-QVUD3OvOC&pg=PA257&lpg=PA257&dq=spinning+speed+and+diameter+of+cast). ACESSO EM: 10/06/2015

[HTTP://WWW.TEKCAST.COM/COMPARE-PROCESSES_C_91.HTML](http://www.tekcast.com/compare-processes_c_91.html). ACESSO EM: 08/06/2015