

N. CLASS. M 671.2

CUTTER M 741.2

ANO/EDIÇÃO 2015

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS

ENGENHARIA MECÂNICA

ANDRÉ LUIZ MACEDO

**UTILIZAÇÃO DE RESFRIADOR DE AÇO TIPO MOLLA PARA SOLUCIONAR
RECHUPE EM PEÇAS FUNDIDAS**

Varginha

2015

ANDRÉ LUIZ MACEDO

**UTILIZAÇÃO DE RESFRIADOR DE AÇO TIPO MOLA PARA SOLUCIONAR
RECHUPE EM PEÇAS FUNDIDAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – Unis/MG, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel sob orientação do Prof. Esp. Jonathan Nery.

Varginha

2015

ANDRÉ LUIZ MACEDO

**UTILIZAÇÃO DE RESFRIADOR DE AÇO TIPO MOLA PARA SOLUCIONAR
RECHUPE EM PEÇAS FUNDIDAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – Unis/MG, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. Esp. Jonathan Nery

Prof.

Prof.

OBS.:

Dedico este trabalho a todos aqueles que contribuíram para sua realização.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus colegas, professores e a minha família pela contribuição na construção deste trabalho.

“A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro”

Albert Einstein

RESUMO

O processo de fundição, em linhas gerais, consiste em derramar metal líquido na cavidade de um molde, permitindo a obtenção de peças, com o formato da referida cavidade, após a solidificação do metal. Os processos podem ser classificados pelo tipo de molde, pela força ou pressão usada para preencher o mesmo com o metal líquido. Esta tecnologia aplica-se a vários tipos de metais, tais como: aços, ferros fundidos, alumínio, cobre, zinco, magnésio e respectivas ligas. O resfriador é um artefato metálico utilizado para se obter um resfriamento uniforme em peças com espessuras variadas, evitando a precipitação de poros internos oriundos do processo de resfriamento, também conhecidos tecnicamente como rechupes. Os resfriadores garantem a sanidade interna e as propriedades mecânicas em peças fundidas em ferro nodular, requisitos que são exigidos pelo cliente, evitando para o fabricante perdas e maior rentabilidade, principalmente em itens com geometria complexa, onde apenas o uso de reservatórios de metal, os chamados massalotes não podem ser utilizados ou não sejam suficientes. Em virtude, destas características, o presente trabalho visará desenvolver um resfriador do tipo mola para correção de problema de rechupe em peças fundidas em material nodular, apresentando a forma mais viável para diminuir o índice de devolução para valores aceitáveis pelos controles de qualidade da empresa, garantindo assim a satisfação do cliente.

Palavras-chave: Fundição, Resfriador, Rechupe, Massalotes.

ABSTRAT

The casting process, in general, consists in pouring molten metal into the cavity of a mold, allowing to obtain parts with the shape of said cavity after solidification of the metal. The type of mold can classify processes, by force or pressure used to fill the same with the liquid metal. This technology is applicable to various types of metals such as steel, cast iron, aluminum, copper, zinc, magnesium and alloys thereof. The cooler device is a metal used to obtain a uniform cooling in parts with different thicknesses, avoiding the precipitation of internal pores derived from the cooling process, also known technically as sink marks. The coolers ensure inner health and mechanical properties of castings in nodular iron, requirements which are demanded by the customer, avoiding to the manufacturer losses and greater profitability, especially to items with complex geometry, where only the use of metal tanks, called massalotes can not be used or are inadequate. In virtue of these features, this paper aims to develop a cooler spring type for shrinkage problem correction in castings in ductile materials pieces, presenting the most viable way to reduce the return rate for acceptable values for the company's quality controls, thus ensuring customer satisfaction.

Keywords: Casting. Cooler. Shrinkage, Massalotes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Ciclo da fundição.....	05
Figura 02 – Propriedades do ferro fundido nodular.....	07
Figura 03 – Rechupe cubo de aço fundido.....	10
Figura 04 – Defeito em peça fundida nodular.....	17
Figura 05 – Defeito em peça nodular retirada no cliente.....	17
Figura 06 – Destaque da massa de metal onde aparece o defeito.....	18
Figura 07 – Gráfico indicador de refugo item 226 no cliente.....	18
Figura 08 – Foto do ferramental do item 226	19
Figura 09 – Foto do ferramental do item 226 destacando em tracejado a falta de massalotes.....	19
Figura 10 – Desenho 3D item 226 destacando região onde aparece o defeito.....	20
Figura 11 – Desenho 3D item 226 evidenciando falta de área para utilizar massalote.....	20
Figura 12 – Cálculo do sistema de alimentação e massalotes.....	21
Figura 13 – Simulação da posição do massalote no modelo.....	22
Figura 14 – Desenho 3D do resfriador mola desenvolvido para o item 226.....	23
Figura 15 – Comparativo entre os resfriadores.....	23
Figura 16 – Confeção do resfriador mola.....	24
Figura 17 – Molde de fundição com os resfriadores previamente posicionados.....	24
Figura 18 – Peça usinada do lote testado.....	25
Figura 19 – Indicador de refugo e devolução item 226.....	25
Figura 20 – Cálculo do calor perdido.....	26

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	3
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 Processo de fundição.....	4
2.1.1 Fatores técnicos e econômicos.....	5
2.1.2 Estrutura da indústria de fundição.....	5
2.2 Processo metalúrgico.....	6
2.2.1 Ferros fundidos.....	6
2.3 Ferro fundido nodular	7
2.4 Rechupes.....	8
2.5 Módulo de resfriamento e massalotes.....	10
2.6 Resfriadores.....	11
2.7 Convecção.....	12
2.8 Qualidade.....	13
2.9 Custos.....	14
2.9.1 Custos de falhas internas.....	15
2.9.2 Custos de falhas externas.....	15
3 METODOLOGIA.....	16
3.1 Acompanhamento de reclamações de clientes.....	16
3.2 Verificação da situação atual.....	17
3.3 Levantamento de causas.....	19
3.4 Soluções propostas.....	20
3.5 Resultados e discussão.....	22
4 CONCLUSÃO.....	27
REFERÊNCIAS.....	29

1 INTRODUÇÃO

Na história da fundição, principalmente em empresas que fabricam elementos automotivos, existe um enorme controle sobre o material, devido à importância destas peças na indústria automobilística. Os controles vão desde uma simples inspeção visual, há testes que aplicam os produtos a seus esforços máximos, conferindo a sanidade e suas características físicas e mecânicas, comparando se as mesmas estão dentro do desejado pelo cliente. Essas propriedades físicas e mecânicas se devem à composição química do metal no ato de sua fabricação, assim como, o processo de solidificação e resfriamento da peça dentro do molde de fundição, não deixando de ser mais importante o sistema de solidificação e enchimento, o qual a mesma é submetida. Além disso, devido aos inúmeros tipos de processos e máquinas existentes no meio industrial que processam o metal, não há um método geral, ou seja, uma “receita” capaz de determinar como a equipe de produção deve agir. Portanto, faz-se necessário que cada empresa desenvolva seus próprios métodos de produção, definindo quais as técnicas deverão ser utilizadas em cada processo e implantando métodos de análise adequados. Deste modo, as intervenções serão mais eficientes e as causas das falhas poderão ser investigadas, para que sejam propostas medidas de melhoria.

Assim, em virtude destas características, o presente trabalho visará desenvolver um resfriador do tipo mola para correção de problema de rechupe em peças fundidas em material nodular, apresentando a forma mais viável para diminuir o índice de devolução para valores aceitáveis pelos controles de qualidade da empresa, garantindo assim a satisfação do cliente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Abaixo referencial teórico abordando definições gerais sobre fundição, processos metalúrgicos, ferro fundido nodular, rechupe, módulo de resfriamento e massalotes, resfriadores, qualidade e custos.

2.1 Processo de fundição

Sendo a fundição essencialmente uma atividade humana, o conhecimento e a habilidade de como fazer peças fundidas podem ser aprendidos através de treinamento prático e teórico. Para finalidades educacionais, pode-se, primeiro aprender como fazer e depois estudar o conhecimento básico, ou inversamente, esse estudo pode preceder ou ser acompanhado por treinamentos práticos. A arte da fundição, como qualquer outra, é transmitida através da prática, embora alguns de seus aspectos possam ser apreendidos e entendidos da leitura. A tecnologia de fundição tão logo se aceita o fato de que um dos objetivos da fundição é produzir uma grande quantidade de peças ou produtos em condições ótimas, ou alcançar requisitos específicos orientados pelos clientes.

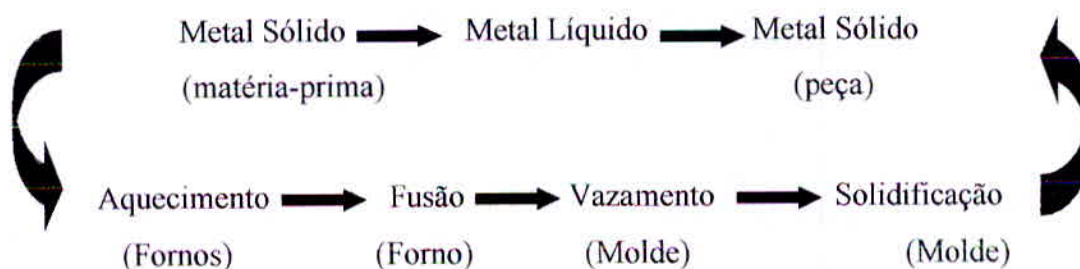
Fundição é o processo de conformação mecânica que consiste na fusão do metal ou da liga metálica em fornos próprios e o posterior vazamento do metal líquido em moldes, cuja forma e dimensões internas são as mesmas da peça a ser produzida. O processo de fundição pode ser considerado como o menor caminho entre a matéria-prima e o bem produzido. (FONSECA, 2007, p. 25).

A ciência aplicada de fundição pode ser considerada como um processo de conversão de certas matérias-primas metálicas em produtos úteis a sociedade. Muitos problemas encontrados podem ser mais bem analisados em termos e conceitos de ciência aplicada, no qual, envolvem os ramos da física e química. No processo de fundição, os metais são aquecidos, tratados para atingir a composição química definida no processo, vazados nos moldes e resfriados em ambientes diferentes e várias reações químicas que ocorrem, podem ser tratadas pela aplicação das leis da físico-química e do mesmo modo, a formação da estrutura bruta de fusão a partir do líquido, durante a solidificação de uma peça, pode ser entendida e controlada pela aplicação das teorias da formação e crescimento de cristais, que são ramos da metalurgia física.

2.1.1 Fatores técnicos e econômicos

São quatro os principais grupos de fatores responsáveis pela maneira como se desenvolveu o uso dos diferentes métodos de moldagem e fundição de peças. São eles: a composição da liga; onde a temperatura de fusão dessa liga pode exigir tipos específicos de materiais de moldagem, enquanto que, o projeto da peça pode exigir que a liga tenha boas propriedades de fundição; o peso e geometria da peça, pois é mais fácil produzir peças grandes em moldes feitos de areia compactada do que em moldes metálicos; propriedades das peças produzidas que podem ter diferentes tipos de moldes que impõem suas próprias características às propriedades das peças produzidas e por último os fatores econômicos que representam o número de peças necessárias, uma apenas ou vários milhares, que podem determinar a escolha econômica de um processo de fundição. Conceito de um processo de fundição:

Figura 01- Ciclo da fundição



Fonte: Fonseca, 2007.

2.1.2 Estrutura da indústria de fundição

Os vários componentes da indústria de fundição de um país industrializado podem ser agrupados em três formas distintas, com base na composição dos metais, nos tipos de produtos fabricados e nas espécies de processos de fundição utilizados.

Segundo Paranhos (2007, p. 12) “O setor de produção é a parte mais importante do grupo de atividades de uma empresa, que por este motivo deve ser administrada para utilizar eficientemente os recursos disponíveis e atingir o objetivo a que se propõe”.

2.2 Processo metalúrgico

Metalurgia é a arte e a ciência da produção de metais e ligas metálicas com a forma e propriedades convenientes a sua utilização prática (FONSECA, 2007, p. 23).

Na fundição a metalurgia ou o processo de conformação mecânica que consiste na fusão do metal, ou da liga metálica, em fornos próprios e o posterior vazamento do metal líquido em moldes, cuja forma e dimensões internas são as mesmas da peça a ser produzida.

A transformação dos metais e ligas metálicas em peças de uso industrial podem ser realizadas por intermédio de inúmeros processos, a maioria dos quais, tendo como ponto de partida o metal líquido ou fundido, que é derramado no interior de uma forma, cuja cavidade é conformada de acordo com a peça que se deseja produzir (CHIAVERINI, 1977, p. 179). O processo de fundição pode ser considerado como o menor caminho entre a matéria prima e o bem produzido (FONSECA, 2007, p. 25). Pela combinação de várias de suas propriedades físicas e químicas, alguns metais e suas ligas são mais facilmente que outros, liquefeitos e convertidos em produtos fundidos de qualidade satisfatória.

A fundição, assim permite a fabricação de peças praticamente de qualquer forma, com pequenas limitações em dimensões, forma e complexidade (CHIAVERINI, 1977, p. 186).

A característica fundamental das peças fundidas baseia-se, entretanto, no fato de que nenhum processo de deformação ou trabalho plástico é usado para alterar sua forma básica bruta-de-fusão (KONDIC, 1973, p. 6).

Metalurgia designa um conjunto de procedimentos e técnicas para extração, fabricação, fundição e tratamento dos metais e suas ligas.

2.2.1 Ferros fundidos

É o termo genérico utilizado para as ligas Ferro-Carbono, no qual, o conteúdo de Carbono excede o seu limite de solubilidade na Austenita e na temperatura do eutético. A maioria dos ferros fundidos contém no mínimo 2% de carbono, mais Silício (Si) entre 1 e 3% e Enxofre (S), podendo ou não haver outros elementos de liga (FONSECA, 2007, p. 59).

Os ferros fundidos em geral e os cinzentos em particular são um exemplo de tais ligas, onde uma combinação de propriedades úteis e baixo custo de processo e produto explicam o fato de ser a indústria de fundição de ferros fundidos, em termos de significação econômica, o ramo predominante da indústria de fundição na maioria dos países. (KONDIC, 1973, p. 4).

2.3 Ferro fundido nodular

Quando a grafita está na forma de nódulos os ferros fundidos são chamados de nodulares ou esferoidais, designados por FE de acordo com a Norma NBR 6916/1981. Por exemplo: FE 38017 indica que o ferro fundido tem grafita esferoidal. As propriedades indicadas na figura 02 correspondem ao estado bruto de fusão.

Figura 02 – Propriedades do ferro fundido nodular

Classe	Limite de Resistência (LR) (Mpa)	Limite de Escoamento (LE) (Mpa)	Alongamento (A) (%)	Dureza Brinell (HB)	Microestrutura predominante
FE 38012	380	240	17,0	140 - 180	Ferrítica
FE 42012	420	280	12,0	150 - 200	Ferrítica - Perlitica
FE 50007	500	350	7,0	170 - 240	Ferrítica - Perlitica
FE 60003	600	400	3,0	210 - 280	Perlitica
FE 70002	700	450	2,0	230 - 300	Perlitica
FE 80002	800	550	2,0	240 - 312	Perlitica
FE 38017 - RI	380	240	17,0	140 - 180	Ferrítica

Fonte: ABNT (NBR 6916/1981)

De acordo com a Norma NBR 8650/1984 (figura 02), estes ferros fundidos são aplicados, em flanges, engrenagens, pinhões, etc. Os teores de carbono variam entre 3,40% e 3,80%, os de manganês entre 0,30% e 1,00%, e os de silício, entre 2,10% e 2,80%. Os teores de fósforo e enxofre são geralmente menores que 0,09% e 0,02%, respectivamente, com magnésio residual entre 0,04% e 0,06%. O níquel, cobre, estanho e o cromo são os elementos de liga mais comuns para elevar as propriedades de resistência mecânica.

Outros fatores que também tem efeitos marcantes sobre a microestrutura do material são as velocidades de resfriamento e sub-resfriamento e o tempo de solidificação. Na produção de ferro nodular, o líquido de base algumas vezes está severamente restrito a pequenas quantidades de elementos minoritários que interferem na formação da grafita

esferoidal. O nodulizante mais comumente empregado é o magnésio que possui elevada afinidade para reagir com enxofre e com o oxigênio com a formação de compostos estáveis. Este fato, na prática, obriga a necessidade de realizar operações de dessulfurização e de refino do líquido e adições prévias de elementos nodulizantes.

Desta forma, pode-se afirmar que modificações no processo de fabricação de materiais têm um efeito direto sobre o desempenho do produto.

2.4 Rechupes

Rechupes são definidos como vazios ou cavidades formadas nos últimos estágios da solidificação. Apresentam-se com forma irregular, esponjoso, com a superfície interior composta por cristais dendríticos. Geralmente ocorrem próximo ao centro das maiores seções da peça, em transições de seções com variações de espessura, junções, cantos ou pontos quentes. Ocorrem também como depressões ou vazios abertos em faces superiores de peças grossas e planas, em forma lamelar no centro da seção e ainda em forma de trincas largas, ou ainda, podem se apresentar na forma de microporosidades conhecidas como microrechupes. (AFS. ANALYSIS OF CASTING DEFECTS, 1994 p.111; PLUTSHACK; SUSCHIL, 1996; GALANTE et al, 1997; BLAIR, et al 2005; STEFANESCU, 2005).

Os estudos da formação de rechupes, bem como, o dimensionamento de massalotes têm os seguintes marcos: Nicolas Chvorinov (1939) introduziu a “regra de Chvorinov” que é expressa por um modelo matemático para calcular o tempo de solidificação para um fundido com forma geométrica simples. A regra descreve que o tempo de solidificação é uma relação entre o volume do fundido e a área superficial de resfriamento. Em função do tempo de solidificação, dimensiona-se um massalote que alimente o fundido desde que este esteja ligado diretamente ao fundido e se solidifique após o mesmo.

Com base nos conceitos introduzidos por Chvorinov (1939), propôs o “fator forma”, que é uma relação entre as dimensões externas da placa (comprimento, largura e espessura). Por meio do fator forma, define-se o volume do massalote e suas dimensões.

Wlodawer (1966) apresentou o conceito do módulo de solidificação, que também tem por base a proposta de Chvorinov (1939). O método proposto por Wlodawer passou a ser o mais aplicado no dimensionamento da alimentação de peças de aço fundido e serviu de base para o desenvolvimento de programas para dimensionamento de massalotes.

Mais recentemente, com o desenvolvimento dos programas computacionais, a formação de rechupes e o dimensionamento de massalotes passaram a ser modelados com o uso de softwares, que também se baseiam nos conceitos de Chvorinov (1939).

A revisão a seguir relaciona a análise clássica da formação de rechupes, complementando-a com contribuições mais recentes.

No processo de fundição por gravidade, a cavidade do molde é preenchida por metal líquido durante o vazamento. Normalmente, o metal líquido recebe um sobreaquecimento acima de sua temperatura de solidificação, para permitir que o líquido ocupe toda a cavidade do molde, gerando a peça completa (FINARDI, 1993). Como o fundido sólido tem densidade mais elevada do que o metal líquido, é natural que o volume da peça sólida seja menor que o volume do fundido líquido dentro do molde (PLUTSHACK; SUSCHIL, 1996).

Porém, o super-resfriamento imposto ao líquido, devido à diferença de temperatura entre a parede do molde e o metal cria, quase que, instantaneamente uma fina pele de metal sólido, que define a forma externa da peça. Adicionalmente, tanto o líquido quanto o sólido, sofrem dilatação ou contração térmica. À medida que o metal sólido é resfriado, a variação de volume associada à contração também contribui para que o volume sólido seja menor que o volume líquido. É esta diferença volumétrica que causará os rechupes nos fundidos (AFS. Analysis of Casting Defects, 1994 p.111; BLAIR, et. al 2005; STEFANESCU, 2005).

Gases dissolvidos no metal podem aumentar o tamanho dos rechupes, ou ainda, contribuir para a formação de porosidades internas em regiões típicas para formação de rechupes. Durante o resfriamento e solidificação, esses gases dissolvidos no metal são rejeitados do líquido, e, atingindo-se uma pressão crítica para formação de uma bolha de gás, inicia-se uma porosidade. Se esta bolha se forma na zona pastosa nos últimos estágios da solidificação, ela ficará presa na rede dendrítica e contribuirá para aumentar o tamanho do rechupe ou mesmo o tamanho de microrechupes. (FINARDI, 1993; MONROE, 2004; STEFANESCU, 2005).

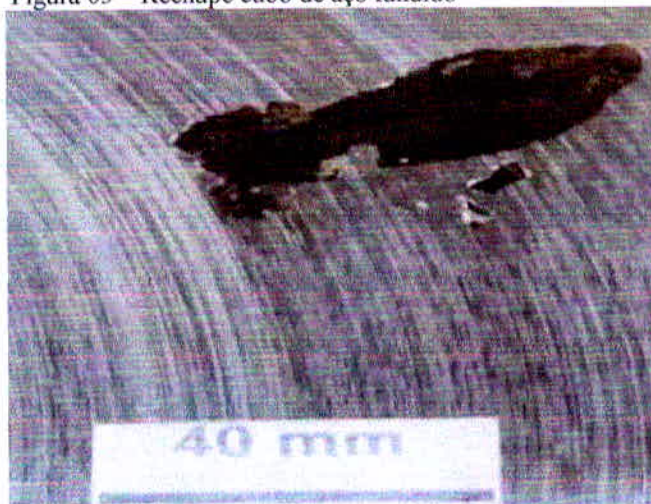
Para garantir a sanidade interna dos fundidos em relação à formação de rechupes são utilizados massalotes ou alimentadores, que funcionam como um reservatório de metal líquido, dimensionado e posicionado na seção de maneira a alimentá-la, transferindo para dentro dele o vazio que se formaria no fundido. Após solidificação e resfriamento, os massalotes ou alimentadores serão removidos das peças na fase de rebarbação e retornam para a fusão como sucata ou retorno de fundição (PLUTSHACK; SUSCHIL, 1996).

Wlodawer (1966), Maehara (1991) e Plutshack e Suschil (1996) relatam que, quando o metal se solidifica e resfria para formar o fundido, ele passa por três estágios distintos de

contração volumétrica: contração líquida, contração de solidificação e contração no estado sólido.

A Figura 03 mostra a seção de um cubo com 100 mm de aresta fundido em aço ao carbono, apresentando rechupe.

Figura 03 – Rechupe cubo de aço fundido



Fonte: O autor.

2.5 Módulo de resfriamento e massalotes

Segundo PLUTSHACK e SUSCHIL, 1996; SCHMIDT et al, 2003, a razão volume da cavidade do molde sobre a área de resfriamento do fundido (área de contato com a areia de moldagem), é definida como módulo da seção a ser alimentada.

“Wlodawer (1966) define que, para que o massalote atue corretamente, seu tempo de solidificação deve ser maior que o da seção e propôs que, para o aço, o módulo do massalote deve ser 1,2 vezes o módulo da seção a alimentar”. Isto é mostrado na equação (1).

$$M_r = 1,2.M_c \quad (1)$$

De posse do módulo do massalote, calcula-se suas dimensões (PLUTSHACK; SUSCHIL, 1996; SCHMIDT et al, 2003). Para massalotes cilíndricos, com diâmetro igual à altura, o diâmetro do massalote será igual a cinco vezes o seu módulo (MAEHARA, 1991). Além da necessidade do massalote apresentar módulo maior que o módulo da seção a ser alimentada, ele deve ter um volume suficiente de líquido para compensar as contrações

líquidas e de solidificação. Para se certificar se seu volume é suficiente, Wlodawer (1966) propôs que a inequação (2) fosse satisfeita:

$$v_m \geq k.r.v_p.(p_s/l) \quad (2)$$

Onde:

V_m - Volume do massalote

r - Coeficiente de contração volumétrica do metal

k - Coeficiente que depende das condições de funcionamento do alimentador

V_p - Volume da peça sólida e fria

l - Densidade do metal líquido

p_s - Densidade do metal sólido

O uso de massalotes é necessário para compensar a contração volumétrica que ocorre durante a solidificação. Mas, sua presença significa custo e diminuição no rendimento metálico, que, por definição, é a relação entre o peso líquido do fundido e o peso total do fundido. Logo, minimizar o uso de massalotes e ainda garantir a sanidade interna da peça deve ser uma busca constante nas fundições (SCHMIDT et al, 2003). Além da deficiência de alimentação, os rechupes podem ainda ser causados por variações no processo que, de alguma maneira possam interferir na solidificação como composição química do metal, nível de desoxidação, ou ainda a parâmetros operacionais como temperatura de vazamento, tempo de vazamento, velocidade de resfriamento imposta pelo material do molde ao metal líquido, durante a solidificação e resistência à compressão da areia, (GALANTE et al, 1997; MONROE, 2004; STEFANESCU, 2005; BLAIR, M. et al, 2005).

2.6 Resfriadores

Os resfriadores são empregados rotineiramente nas fundições para diminuir o número de massalotes e também para provocar a solidificação dirigida. Normalmente, são materiais metálicos com condutibilidade térmica mais elevada, que se colocam no interior dos moldes o que permite o resfriamento mais rápido de certas seções da peça. No entanto, para seu uso alguns cuidados devem ser tomados: devem estar secos, livres de ferrugem, jateados e pintados. Para evitar trincas nas peças recomenda-se que a espessura dos resfriadores metálicos seja decrescente, desta forma, haverá uma região de transição entre uma região de

resfriamento rápido (com resfriador) e uma região de resfriamento mais lento (areia). Caso utilizado um resfriador de espessura constante haverá a formação de uma região mais propensa ao surgimento de trincas, devido à formação de um intervalo sólido-líquido de baixa resistência e elevada tensão, ao esforço de contração sólida do material, propiciando fissuras no momento da contração. Outra maneira de evitar esse problema é a colocação de um material resfriador moldável de coeficiente de difusibilidade térmica intermediária entre o resfriador e a areia do molde (ABREU, 2003, p. 85).

Dentre os resfriadores existentes, os mais comuns são os metálicos. Os resfriadores são classificados nos seguintes tipos: metálicos internos e externos; materiais granulados moldáveis, minerais cujo coeficiente de difusividade térmica é maior que 1; aletas resfriadoras, diminuem o módulo por meio do aumento da superfície resfriadora.

Quando a superfície de contato com os resfriadores é grande, devem-se utilizar vários resfriadores pequenos de modo a facilitar a saída dos gases e evitar os efeitos da dilatação, que podem provocar defeitos nas peças. Recomenda-se que os resfriadores não ultrapassem as seguintes dimensões: área da face de contato < 150 cm² e comprimento < 200 mm (ABREU, 2003, p. 86).

Para Wlodawer (1966, p. 126) a espessura do resfriador deve ser determinada tendo-se a área de contato e o volume do mesmo.

2.7 Convecção

INCROPERA (2003) explica que a convecção é a transferência de calor que ocorre entre uma superfície e um fluido, quando estes se encontram com temperaturas diferentes. Esta transferência carrega partes do fluido, de uma região quente para uma região fria.

A equação que expressa a taxa de transferência possui a forma:

$$q = h A_s (T_s - T_\infty) \quad (2)$$

h = coeficiente de troca de calor por convecção (W/m²K)

A_s = área superficial, ou de contato

T_s = temperatura superficial da peça

T_{∞} = temperatura do meio fluido

Alguns fatores influem na transferência de calor por convecção:

- a) Natureza do fluido. – corpo fora da piscina

- b) Velocidade relativa de escoamento – mão para fora do carro em movimento
- c) Geometria – dia quente corpo relaxado, dia frio corpo rígido.
- d) Acabamento superficial – bola de golfe com ranhuras

2.8 Qualidade

Sobre a garantia da qualidade do produto, Campos (1992) assinala que ela é uma função a ser assumida pela empresa, tendo como principal finalidade, confirmar se todas as atividades da qualidade estão sendo conduzidas da forma requerida. Isso significa atestar se todas as ações necessárias para o atendimento das exigências dos clientes, estão sendo conduzidas de forma mais completa e melhor do que a empresa concorrente.

O estudo do último estágio de evolução da qualidade, conforme é proposto por Garvin (1992), apoia-se na abordagem que Toledo e Carpinetti (2000, p.2) fazem sobre a gestão da qualidade total. Eles destacam que “o entendimento predominante das últimas décadas e que certamente representa a tendência futura é a conceituação de qualidade como satisfação dos clientes” (TOLEDO e CARPINETTI, 2000, p.3).

Essa definição da qualidade, relacionada com a satisfação dos clientes, presente no último estágio proposto por Garvin (1992), denominado de estágio da gestão da qualidade total, formula a ideia do conceito da qualidade partindo da ótica do cliente, na busca da satisfação das suas necessidades.

Ainda nesse último estágio evolutivo da implementação de um sistema de gestão da qualidade, a alta direção da empresa deve se envolver diretamente no processo, ainda que, os resultados obtidos com as novas práticas não sejam observados de imediato.

Com base nessa compreensão, Juran e Gryna (1992), afirmam que a gestão da qualidade total consiste de um processo que é estruturado cuidadosamente para que as metas da qualidade, a longo prazo, sejam estabelecidas nos níveis mais altos da organização, além de serem determinados e garantidos os meios a serem usados para o cumprimento dessas metas.

É também elucidativa, desse último estágio e da definição de qualidade, a seguinte citação:

A gestão da qualidade total significa que a cultura da organização é definida pela busca constante da satisfação do cliente através de um sistema integrado de ferramentas, técnicas e treinamento. Isso envolve a melhoria contínua dos processos

organizacionais, resultando em produtos e serviços de qualidade (SASHKIN e KISER, 1994, p.34).

Nas palavras de Slack et al (1999), a Gestão da Qualidade Total é uma filosofia, é uma forma de pensar e de trabalhar, que se preocupa com o atendimento das necessidades e expectativas dos clientes, mudando o foco da qualidade da operação para toda a organização.

Por outro lado, Sashkin e Kiser (1994) afirmam que alguns fatores devem ser considerados para que a implementação de um programa de gestão da qualidade total seja bem-sucedida. São eles: a) a participação e liderança da alta gerência para iniciar a atividade de gestão da qualidade total; b) a criação de equipes multifuncionais para auxiliar o início de um esforço para a implementação; c) trabalhadores e equipes com autoridade para identificar e resolver problemas e aperfeiçoar os processos de trabalho.

De tudo que foi exposto, percebe-se que a implementação do processo da gestão da qualidade numa empresa será mais bem-sucedida na medida em que haja a boa vontade e o comprometimento de todas as suas instâncias em torno desse objetivo.

Na Gestão da Qualidade Total, a qualidade passa a ter uma posição de destaque nas empresas no processo de planejamento estratégico e na redefinição da estrutura organizacional e das normas ou procedimentos de gerenciamento (RODRIGUES, 2010). Isso leva ao surgimento de um ambiente propício para que a qualidade seja vista com base no cliente, na busca da sua satisfação.

O sistema de administração da qualidade de uma empresa é o conjunto das atividades de planejamento, execução e controle da qualidade de produtos e processos, de acordo com Silva Jr. et al (1997). Para uma melhor compreensão do significado dos sistemas de gestão da qualidade, e para atender às exigências metodológicas deste trabalho, faz-se necessária a definição da categoria processo.

Harrington (1991) define processo como sendo qualquer atividade, ou conjunto de atividades, que toma uma entrada (informação, materiais), adiciona valor a ela e fornece uma saída a um cliente específico.

2.9 Custos

Os custos dos processos de melhorias podem ser classificados em custos diretos e indiretos. Nos custos diretos, os custos das falhas internas e externas ao processo estão associados às não conformidades. Já os custos de prevenção e avaliação/controle são

inversamente proporcionais: quanto maior o investimento em prevenção, menor será a necessidade de avaliação e controle. Referente aos custos indiretos, eles estão relacionados às necessidades ou maneiras dos clientes, durante a venda e na pós-venda, são de essencial importância. Apenas um cliente descontente, ou que se sinta lesado, pode infectar todo um grupo e afetar de forma irreversível a imagem de um produto ou organização (RODRIGUES, 2010).

2.9.1 Custos de falhas internas

Custos de falhas internas estão ligados às falhas encontradas antes da transferência do produto ao consumidor. Eles são custos que desapareceriam caso não houvesse defeitos no produto antes do envio (JURAN e GRZYNA, 1991). Oakland (1994) e Paladini et al. (2006) apresentam um conceito similar para custos de falhas internas. Dizendo que são custos diretos ou indiretos e ocorrem quando os resultados do trabalho deixam de atender aos padrões de qualidade projetados, detectados antes de os produtos serem enviados para o cliente. As falhas internas incluem:

- a) Desperdício: Atividades relacionadas com trabalhos desnecessários à manutenção de estoques resultantes de erros, organização ou comunicação deficientes, materiais errados, etc.
- b) Sucata: Produto defeituoso, material de produção ou de escritório, que não pode ser reparado, usado ou vendido.
- c) Retrabalho: Correção de material defeituoso, ou de erros, no atendimento dos requisitos do cliente.
- d) Reinspeção: Reexame de produtos, ou de trabalho que foi reparado.
- e) Degradação: Reclassificação do produto que, embora fora das especificações, é utilizável e é vendido com preço menor que o normal.
- f) Análise de falhas: Trabalho necessário para estabelecer os motivos de falhas internas de produtos ou serviços.

2.9.2 Custos de falhas externas

Para Oakland (1994) e Juran e Gryna (1991), custos de falhas externas incidem quando produtos deixam de atender os requisitos de qualidade do cliente, sendo o defeito

detectado só após o produto ser entregue para o mesmo. Esses custos desapareceriam se não houvessem defeitos. As falhas externas abrangem:

- a) Gastos com garantia: Produtos que apresentaram defeitos e são substituídos sob determinada forma de garantia.
- b) Reclamações: Custos decorrentes do trabalho de investigação de reclamações de clientes atribuídas a produtos com defeito.
- c) Devoluções: O manejo e verificação de produtos rejeitados pelo cliente, inclusive os custos de transporte.
- d) Responsabilidade civil: A consequência de ação sobre a responsabilidade legal, referente ao produto e outras exigências, que podem até incluir alteração no contrato.
- e) Perda de imagem: O impacto no nome e na imagem da organização, que danifica diretamente as futuras expectativas de vendas.
- f) Concessões: Os custos das concessões feitas aos clientes por motivo de produtos fora do padrão e aceitos pelo cliente na condição em que se encontram.

Com os custos de falhas externas, o fabricante ou fornecedor do produto pode ter amplos prejuízos devido à perda de clientes, exposição da má qualidade do produto pelo cliente, despesas em atender o cliente, entre outros. Alguns clientes mais contestáveis, como, por exemplo, as montadoras automotivas, chegam a cobrar até o custo da área de trabalho para prática de inspeção seletiva. É importante destacar que os custos de falhas podem estar presentes em várias áreas da organização, iniciando na área de Pesquisa e Desenvolvimento, na área de Recursos Humanos, Marketing e Distribuição, e não exclusivamente restringidos à produção (PALADINI et al., 2006).

3 METODOLOGIA

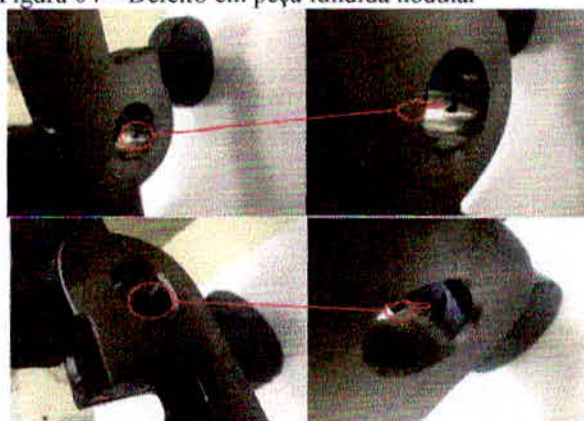
O trabalho será dividido em quatro fases:

- a) Fase I – Acompanhamento de reclamação de clientes
- b) Fase II – Verificação da situação atual
- c) Fase III – Levantamento de causas
- d) Fase IV – Apresentações das soluções

3.1 Acompanhamentos de reclamações de clientes

O trabalho foi baseado nas reclamações do cliente, que informava que a peça de ferro fundido nodular, “alavanca”, apresentava após a usinagem defeitos de fundição caracterizados como rechupes. Conforme figura 04, após o processamento no setor de usinagem é possível verificar que há indícios de defeito gerado no processo de fundição, acarretando em parada de linha no cliente, este exigindo que a peça com defeito seja retirada para análise e substituída, gerando um custo extra para fundição comprometendo seu faturamento.

Figura 04 – Defeito em peça fundida nodular



Fonte: O autor

3.2 Verificação da situação atual

Após a retirada da peça no cliente e de posse da mesma na planta da fundição, foram observados problemas no item denominado (226 alavanca), onde este apresentava poros internos que compromete sua aplicação funcional no cliente. Após levantamento de causas pela equipe multifuncional, observou-se o defeito de rechupe geradas pela contração do metal, durante a sua solidificação e resfriamento dentro do molde conforme figura 05.

Figura 05 – Defeito em peça nodular retirada no cliente



Fonte: O autor

Essa região apresentada na figura 05 é uma região que concentra uma massa de metal maior e com isso durante o processo de fusão do metal até o vazamento no molde, a diferença de geometria, ou seja, a coexistência de regiões espessas e finas gera alteração de resfriamento entre estas, conseqüentemente precipitando rechupe na massa maior, por conta de ser a última parte a sofrer contração e a resfriar. Essa massa de metal pode ser visualizada na figura 06.

Figura 06 – Destaque da massa de metal onde aparece o defeito

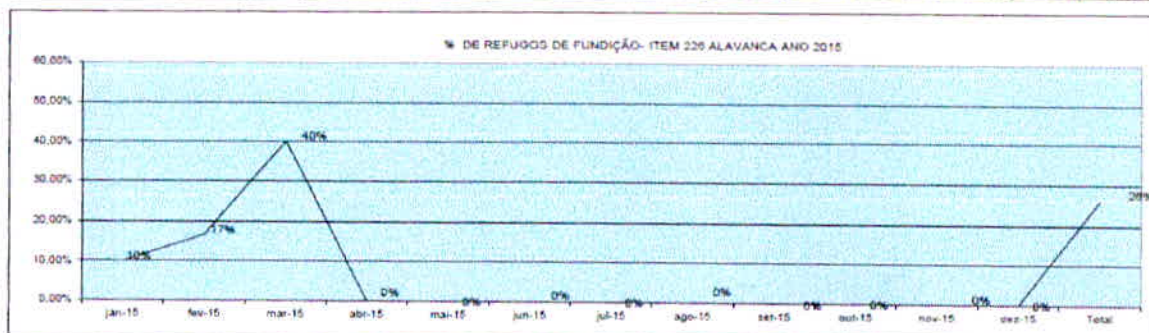


Fonte: O autor

Pode-se observar, pelos dados coletados dentro da planta industrial, que para este item tem-se um número elevado de refugo, tendo como causa o defeito de rechupe, em peças entregues ao cliente no início do ano de 2015, conforme figura 07 abaixo.

Figura 07 – Gráfico indicador de refugo item 226 no cliente

TIPH		ITEM 1307.495.226											
Valor Unitário	19,13												Total
INDICADOR	jan-15	fev-15	mar-15	abr-15	mai-15	jun-15	jul-15	ago-15	set-15	out-15	nov-15	dez-15	Total
Qtde Faturada	130	150	250										530
Qtde refugado	13	25	100										138
% DEVOLUÇÃO	10,00%	16,67%	40,00%	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	26,04%
Valor Faturado	2486,9	2869,5	#REF!	4782,5	0	0	0	0	0	0	0	0	#REF!
Valor Devolvido	0	296,08	544,19	0	0	0	0	1080,7	0	0	0	0	1.921
Saldo	2486,9	2573,42	#REF!	4782,5	0	0	0	-1080,7	0	0	0	0	#REF!
%	0,0%	10,3%	#REF!	0,0%	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#REF!
META	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%

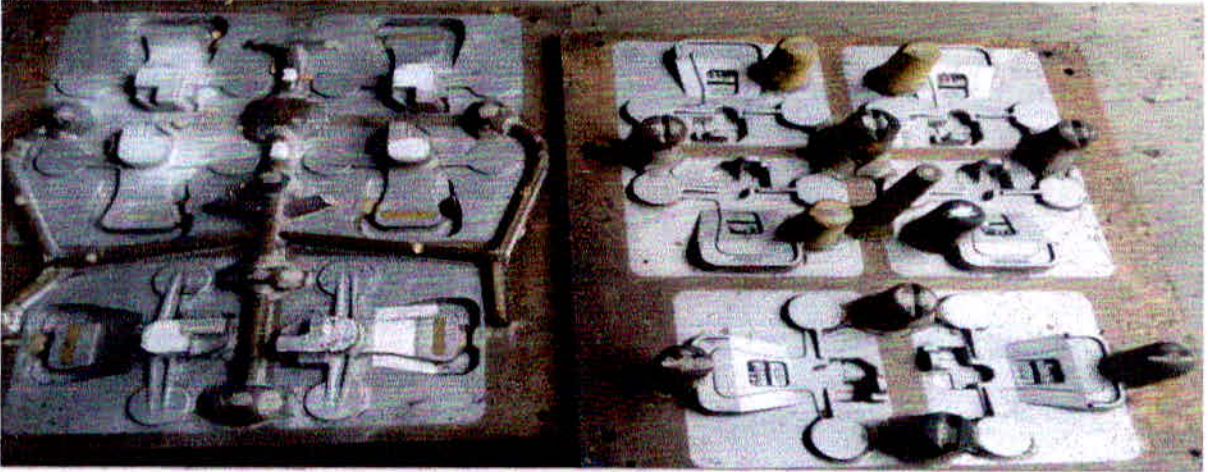


Fonte: O autor

3.3 Levantamento de causas

Assim que a peça foi devolvida e constatado que realmente o problema estava relacionado ao sistema de alimentação, enchimento e resfriamento, a equipe foi verificar a ferramenta de produção do item em questão. Abaixo figura 08 ferramental de fabricação do molde do item 226.

Figura 08 – Foto do ferramental do item 226



Fonte: O autor

Na ferramenta, observa-se que o local onde deveria existir massalotes, para alimentar a região que precipita o defeito, não existe este reservatório, ou seja, os massalotes. Sabe-se que formação do defeito se dá pela falta de metal líquido para compensar a contração volumétrica da peça, isto é decorrente de vários fatores, desde a falta ou dimensionamento incorreto de massalotes até um sistema de enchimento ineficiente.

A figura 09 destaca as regiões onde deveriam existir massalotes.

Figura 09 – Foto do ferramental do item 226 destacando em tracejado a falta de massalotes

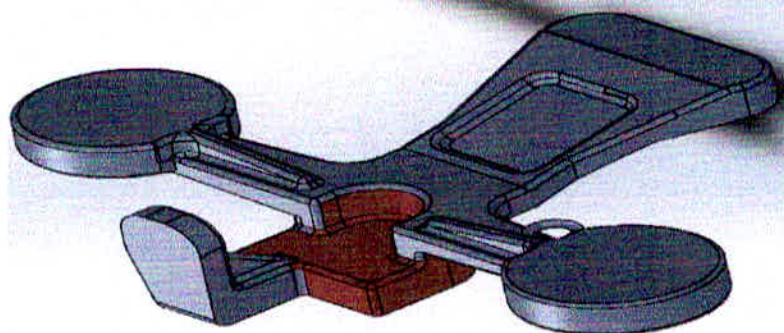


Fonte: O autor

Observa-se que por conta da inexistência de massalote, a última região a contrair e solidificar é onde precipita o rechupe, a função do massalote é retirar o vazio gerado pela falta de volume de metal líquido proveniente desta contração, como não foi utilizado este recurso no ponto em discussão aparece o defeito.

A figura 10 a seguir mostra em vermelho a região da peça onde ocorre o problema.

Figura 10 – Desenho 3D item 226 destacando região onde aparece o defeito



Fonte: O autor

3.4 Soluções propostas

Para a resolução deste problema, foi criado um resfriador de aço do tipo mola, a fim de homogeneizar o processo de solidificação e resfriamento, ou seja, fazendo com que todas as partes resfriem igualmente, não precipitando o defeito.

A possibilidade de utilizar um massalote, a forma tecnicamente mais viável para sanar este problema, foi descartada, visto que onde este deveria ser acrescentado na ferramenta de produção do item em questão, seria impossível por conta da geometria do modelo somada a área reduzida para a introdução deste reservatório de metal líquido.

A figura 11 destaca a região mencionada acima para melhor entendimento.

Figura 11 – Desenho 3D item 226 evidenciando falta de área para utilizar massalote




Fonte: O autor

A área disponível para colocação de massalote no ferramental é de 3564 mm², conforme dimensões informadas na figura 09, sendo que o mínimo necessário seria de 3850 mm², referente a um massalote com diâmetro de 70 mm, o ideal para este item.

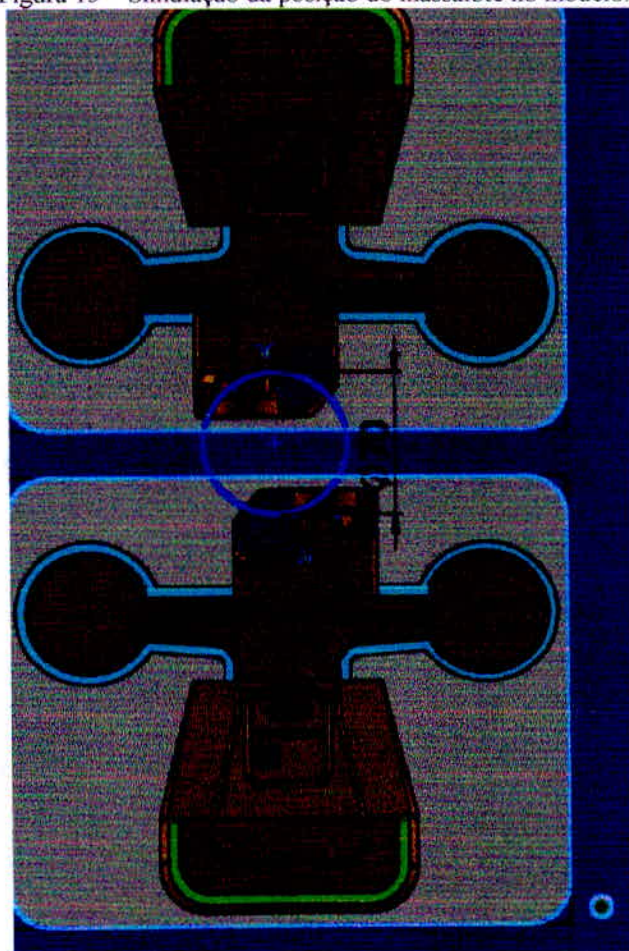
A figura 12 demonstra o cálculo de massalote para o item 226.

Figura 12 – Cálculo do sistema de alimentação e massalotes.

CÁLCULO DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO			
Cálculo do módulo de resfriamento			Fórmula
Informe o volume	37,15	cm ³	$MI = \text{volume da cav. Do molde} / \text{área de troca de calor}$
Módulo 1 (Mc)			Desenho do módulo
Informe a área total	52	cm ²	
Informe a área que não troca calor	11,06	cm ²	
Área total de troca calor	40,94	cm ²	
Valor para o módulo (Mc)	0,91	cm	
CÁLCULO DO MASSALOTE			
MASSALOTE LATERAL CEGO AQUECIDO			
Mc	0,91	cm	
Modulo massalote	1,09	cm	
Diâmetro do massalote	5,4	cm	
Volume do Massalote (vm)	211,26	cm ³	
Volume da cavidade a ser alimentada (vp)	39,27		
$VM \geq k.r.vp.(dl/d/s)$			
Vm	211,26		
k.r.vp.(dl/d/s)	259,17		
Não atende precisa de um massalote maior			
NOVO MASSALOTE PARA SATISFAZER ($VM \geq k.r.vp.(dl/d/s)$)			
MASSALOTE LATERAL CEGO AQUECIDO			
Mc	0,91	cm	
Modulo massalote	1,09	cm	
Diâmetro do massalote	7,0	cm	
Volume do Massalote (vm)	448,99	cm ³	
Volume da cavidade a ser alimentada (vp)	1,15		
$VM \geq k.r.vp.(dl/d/s)$			
Vm	448,99		
k.r.vp.(dl/d/s)	259,17		
Massalote com 70mm de diâmetro atende			

Na figura 12 é possível observar que para atender a regra Wlodawer (1966), onde $vm \geq k.r.vp. (dl/ds)$, é necessário a utilização de um massalote com diâmetro de 70 mm, porém conforme pode-se observar na figura a seguir 13, não há espaço suficiente para a colocação do mesmo no ferramental.

Figura 13 – Simulação da posição do massalote no modelo.



Fonte: O autor

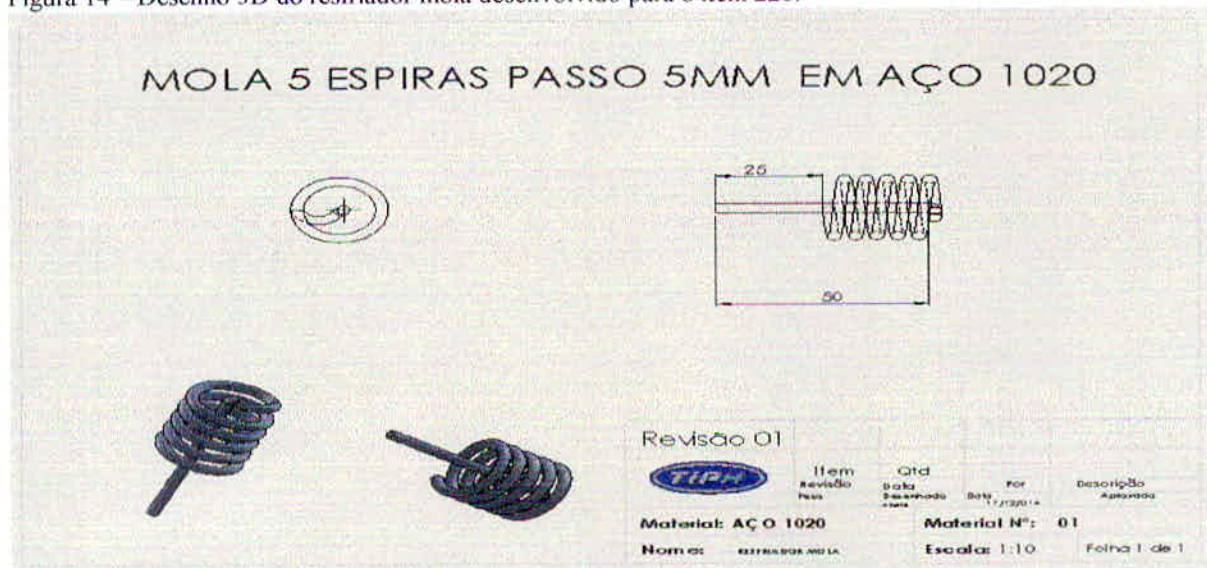
Conforme percebe-se na figura 13, não existe área suficiente para a utilização do massalote, assim foi proposto a utilização de um resfriador de aço do tipo mola, este seria confeccionado exclusivamente para o item em questão, pois os existentes para aquisição no mercado, infelizmente não serviriam para este produto, por conta das dimensões padrões de fabricação destes resfriadores.

3.5 Resultados e discussão

Os resfriadores foram projetados e confeccionados dentro da planta da empresa.

A seguir figura 14 demonstrando a geometria do resfriador desenvolvido para a fundição e correção do problema.

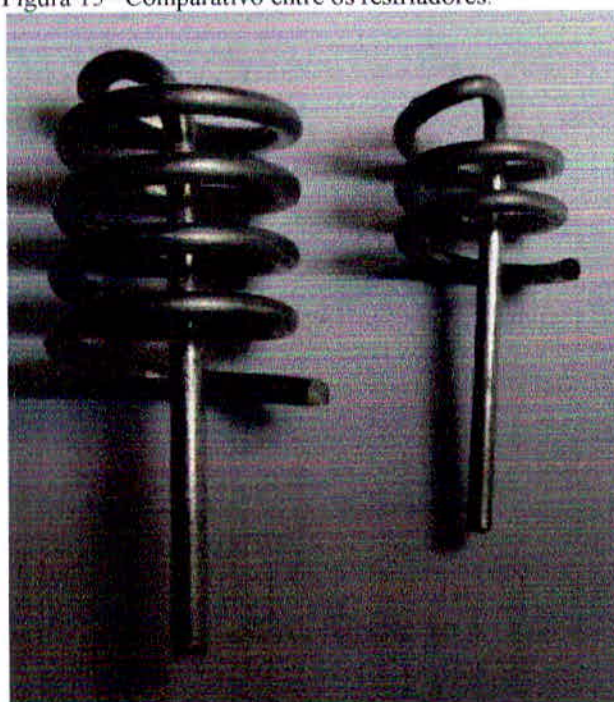
Figura 14 – Desenho 3D do resfriador mola desenvolvido para o item 226.



Fonte: O autor

Conforme figura 15 pode-se observar a diferença entre o resfriador mola existente no mercado e o desenvolvido, à esquerda o disponível para aquisição no mercado.

Figura 15 –Comparativo entre os resfriadores.

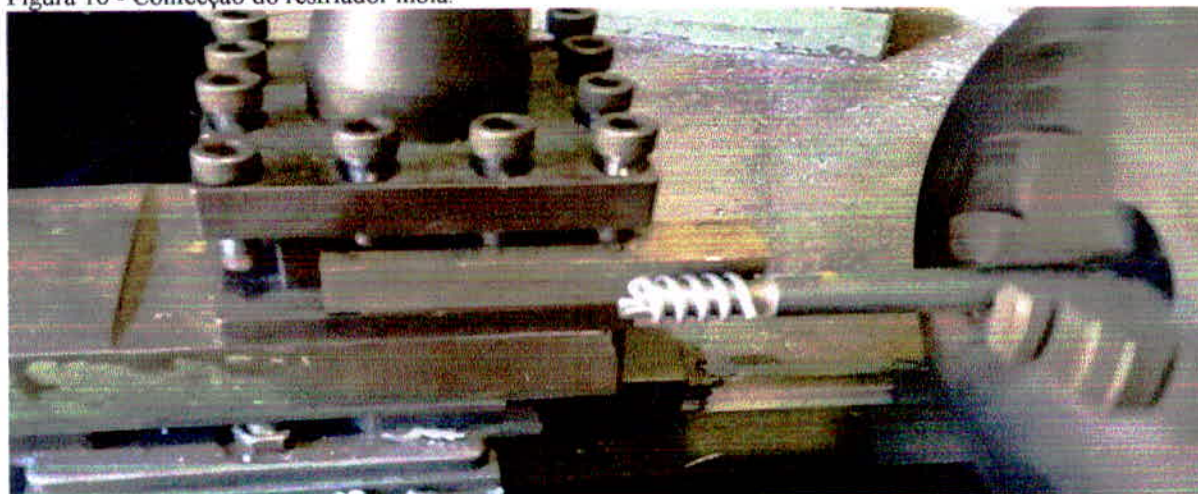


Fonte: O autor

Foram confeccionados 18 resfriadores com auxílio de um torno, estes desenvolvidos para a realização do teste e consequentemente verificação da eficácia da ação.

A figura 16 demonstra a fabricação do resfriador.

Figura 16 - Confeção do resfriador mola.

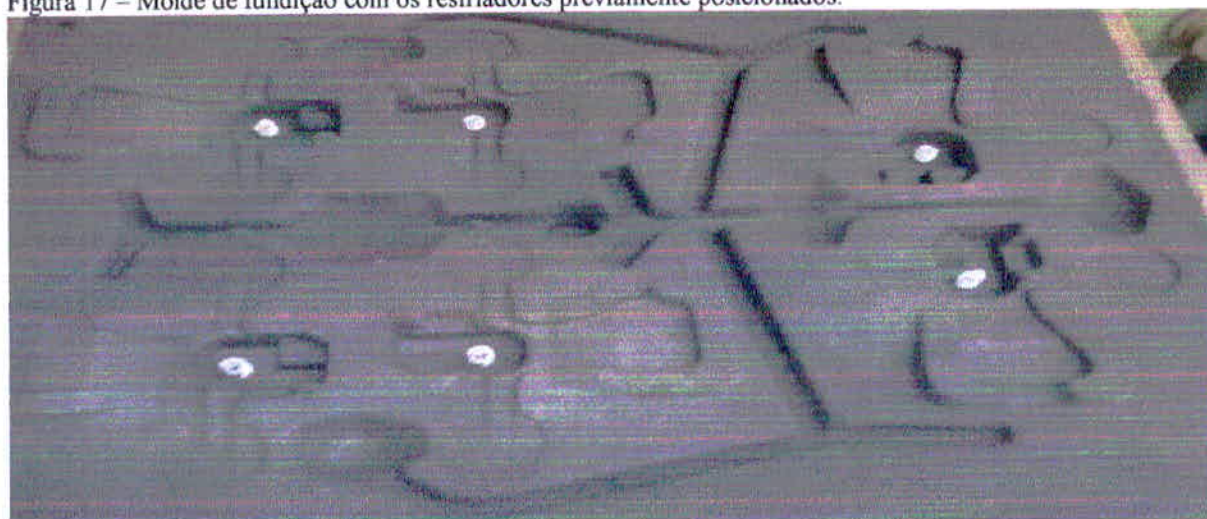


Fonte: O autor

De posse dos materiais necessários para a realização do teste, foram fundidas 18 peças.

Na figura 17 é possível observar a colocação dos resfriadores no molde de fundição que deram origem as peças testes.

Figura 17 – Molde de fundição com os resfriadores previamente posicionados.

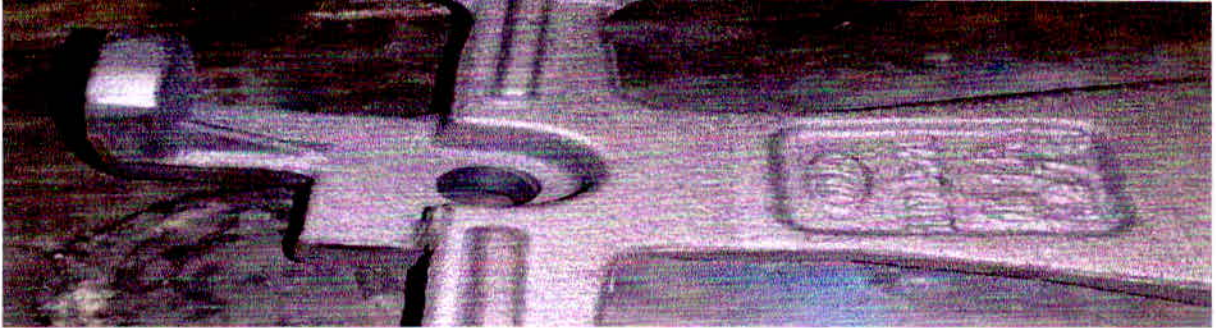


Fonte: O autor

Após a fabricação das peças para testes, foi solicitada a usinagem das amostras para constatar os resultados desta ação.

A figura 18 representa uma peça do lote usinado, pode-se observar o desaparecimento do defeito.

Figura 18 – Peça usinada do lote testado.



Fonte: o autor.

Conforme figura 18, pode-se verificar a eficácia da ação, visto que, o defeito não apareceu.

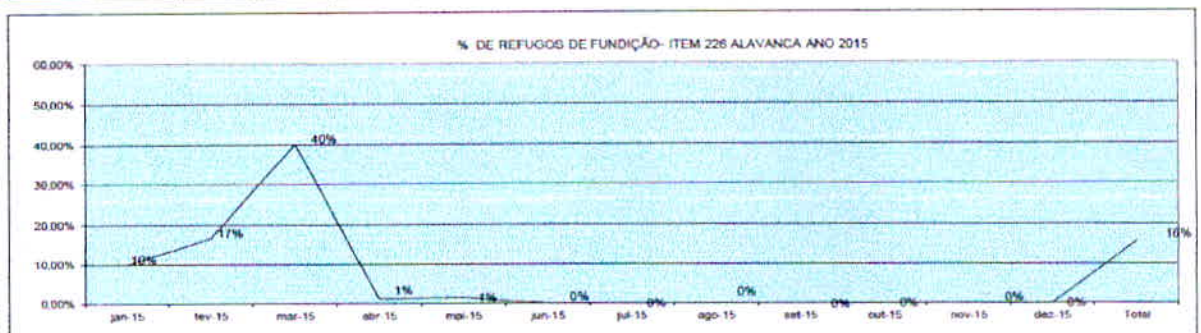
Segundo o PCP da fundição, precisaria ser repostado um lote de 250 peças. Após a conclusão dos testes e a constatação da eficácia da ação, foi liberado a confecção dos resfriadores e do lote para reposição do item.

Após o desenvolvimento do lote, as peças foram enviadas para o cliente. Após serem usinadas, a fundição foi comunicada do resultado, podendo assim atualizar o indicador de refugo e devolução referente ao cliente em questão, assim constatando a eficácia da ação.

A figura 19 mostra os resultados alcançados.

Figura 19 – Indicador de refugo e devolução item 226

TIPM		ITEM 1307.496.226											
Valor Unitário	19,13												
INDICADOR	jan-15	fev-15	mar-15	abr-15	mai-15	jun-15	jul-15	ago-15	set-15	out-15	nov-15	dez-15	Total
Qtde Faturada	130	150	250	250	135								915
Qtde refugado	13	25	100	3	2								143
% DEVOUÇÃO	10,00%	16,67%	40,00%	1,20%	1,48%	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	15,63%
Valor Faturado	2489,9	2869,5	#REF!	4782,5	4782,5	0	0	0	0	0	0	0	#REF!
Valor Devolvido	0	296,88	544,19	0	0	0	0	1080,7	0	0	0	0	1.921
Saldo	2489,9	2573,42	#REF!	4782,5	4782,5	0	0	-1080,7	0	0	0	0	#REF!
%	0,0%	10,3%	#REF!	0,0%	0,0%	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#REF!
META	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%



Fonte: O autor

Conforme observa-se na figura 17 acima, o índice de refugo nos meses de janeiro, fevereiro e abril de 2015 estavam acima da meta estipulada de 1,5%, tendo seu maior índice no mês de abril com 40%, após a entrega do lote modificado, este índice abaixou ficando dentro da meta, com 1,2%. No mês seguinte, maio, foi colocado um novo pedido e o resultado manteve-se, visto que, o valor encontrado foi 1,48%, conforme o indicador o refugo.

Pode-se estimar a perda de calor de metal com a utilização do resfriador, conforme segundo a lei de resfriamento de Newton:

$$q = h A_s (T_s - T_\infty)$$

A figura 20, demonstra o cálculo de perda de calor do metal líquido durante o processo de vazamento e resfriamento. Esta extração de energia está atribuída pela utilização do resfriador.

Figura 20 – Cálculo do calor perdido.

Cálculo do calor perdido com a utilização do resfriador		
Propriedades do ferro líquido		Fórmulas
		Nº de Reynolds
Densidade	6900	kg/m ³
Viscosidade	0,0065	N.s/m ²
Velocidade	0,03	m ² /s
K	75	W/mk
Diâmetro	0,025	m
Temperatura resfriador	298	k
temperatura fluido	1633	k
Área de contato	0,0000359	m ²
Cálculos		
Nº de Reynolds		
R=	796,15	Laminar
Coefficiente de transferência de calor		Coefficiente de transferência de calor
h=	13092,00	w/m ² k
Quantidade de calor retirada		Quantidade de calor retirada
q=	627,45	w

Re=(Densidade. velocidade. Diâmetro)/viscosidade
 *Reynolds <2300 laminar Reynolds >2300 turbulento

Nud=4,364 fluxo calor constante regime lamelar

h=(Nud.k)/diâmetro

q=-h.A.(ts-t)

Fonte: o autor.

Verifica-se na figura 20, que houve uma retirada de 627,45 w de calor do metal, o que contribuiu para um processo de resfriamento uniforme evitando a precipitação de rechupe.

4 CONCLUSÃO

O fator principal que orientou o desenvolvimento deste trabalho foi a percepção de pontos que prioritariamente devem ser melhorados no processo produtivo da empresa, devido ao cenário industrial atual e dificuldades internas, principalmente financeira. Assim, o trabalho teve como principal objetivo, apresentar a forma mais viável para diminuir o índice de refugo e devolução para valores aceitáveis pelos controles de qualidade da empresa, garantindo assim o faturamento e entrega dentro dos prazos estipulados pelo cliente.

Existe uma complexidade na fabricação pelo processo de fundição, pois as variáveis que interferem neste processo são infinitas, deste uma simples operação realizada de forma equivocada, até mesmo a temperatura ambiente são fatores que contribuem na qualidade do produto fundido. É preciso, qualificar os operadores e um processo estabilizado, para alcançar a qualidade do produto fundido e garantir as propriedades exigidas pelo cliente.

Além disso, para que se obtenha resultados satisfatórios, é necessário que o profissional de engenharia conheça as características técnicas e operacionais do equipamento e principalmente do processo de produção e que tenha o conhecimento necessário para levantar ideias que possam ser aplicadas juntamente com a parte teórica, e que tenha liberdade para testá-las, independente de acertar ou errar nos testes, tenha a capacidade de rever os parâmetros aplicados e juntamente com pessoas qualificadas, desenvolver novamente novas situações, para que possa corrigir e assim solucionar problemas que aparecem no dia a dia de produção de uma fábrica industrial.

O presente trabalho visou desenvolver um resfriador do tipo mola para correção de problema de rechupe em peças fundidas em material nodular, conforme os resultados alcançados, esta solução foi eficaz e a mais viável, pelo fato de ser aplicado em uma peça de geometria complexa onde o uso de massalotes não era possível. O índice de refugo nos meses de janeiro, fevereiro e abril de 2015 estavam acima da meta estipulada de 1,5% pelo sistema de qualidade da empresa, tendo seu maior índice no mês de abril com 40%, após a entrega do lote modificado, este índice abaixou ficando dentro da meta, com 1,2%. No mês seguinte, maio, foi colocado um novo pedido e o resultado manteve-se, visto que, o valor encontrado foi 1,48%. Estes resultados foram alcançados após a modificação do processo.

As técnicas e processos relacionados a fundição não são divulgadas pelos fundidores, assim não há referências a respeito que possa auxiliar a estimar quanto de calor pode ser extraído de uma determinada massa para homogeneizar o processo de solidificação e resfriamento de um determinado produto. Através da lei de resfriamento de Newton, pôde-se

estimar a quantidade de energia retirada do ferro líquido, com a inserção do resfriador, ou seja, 627,45 w, o que poderá auxiliar na fundição de itens semelhantes, com mesma composição química e geometria parecida.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 8650:1984 - **Emprego de ferro fundido nodular para produtos automotivos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.
- ABREU, Alírio Gerson da Silva; FONSECA, Marco Túlio da. **Alimentação e enchimento de peças fundidas vazadas em moldes de areia**. Itaúna: Centro Tecnológico de Fundição Marcelino Corradi, 2003.
- AFS. AMERICAN FOUNDRY SOCIETY. **Analysis of Casting Defects**. American Foundrymen's Society Publishing. Des Plaines. (1994), 3th Edition.
- BLAIR, M. et al. **Predicting the occurrence and Effects of Defects in Castings**. JOM. (2005), may.
- CAMPOS, V.F. **Controle da qualidade total: no estilo japonês**. Rio de Janeiro: Bloch, 1992.
- CHIAVERINI, Vicente. **Estrutura e propriedades dos metais e ligas. Processo de Fabricação**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. LTDA, 1977.
- CHVORINOV, N. **Control of the solidification of castings by calculation**. Foundry Trade Journal, V. 70, n. 8, 1939.
- FINARDI, J. **Refino e desoxidação de aço destinado à fabricação de peças fundidas**. IV Combrafund. ABIFA. São Paulo, (1993).
- FONSECA, Marco Túlio. **Metalurgia dos ferros fundidos cinzento e nodulares**. Itaúna: Senai Dr. MG/Cefet, 2007.
- GALANTE, G.; MICHILI, O.; MASPERO, R. **No-Bake. As we see it**. PublishingIMF S.R.L Luino. Italy, (Va), (1997). V.1.
- GARVIN, D.A. **Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.
- HARRINGTON, HJ. (1991). **Business process improvement: the breakthrough strategy for total quality, productivity and competitiveness**. New York: McGraw-hill.
- INCROPERA, F. P.; DEWITT, D.P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 5. ed. Tradução Carlos Alberto Biolchini da Silva, Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos Científicos S.A.,2003.
- JURAN, J. M.; GRZYNA, F. M. **Controle da qualidade handbook: conceitos, políticas e filosofia da qualidade**. São Paulo: Makron Books, 1991.
- JURAN, J.M; GRZYNA, F.M. **A qualidade desde o projeto: Os novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços**. São Paulo: Pioneira, 1992.
- KONDIC, Voya. **Princípios metalúrgicos de fundição**. São Paulo: Polígono, Ed. da Universidade de São Paulo, 1973.

- MAEHARA, Y. **Projetos de Fundição: Padrões de fabricação para aços fundidos**. Scriba Assessoria Editorial, 1ª Edição, (1991).
- MONROE, R. Porosity in Steel. **Steel Founders Society of America National T&O Conference**. (2004).
- NBR 6916. **Ferro fundido nodular ou ferro fundido com grafita esferoidal**. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 1981.
- OAKLAND, J. S. **Gerenciamento da Qualidade Total: TQM**. São Paulo: Nobel, 1994.
- PALADINI, E. P. et al. **Gestão da Qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.
- PARANHOS FILHO, Moacyr. **Gestão da produção Industrial**. 20. Ed. Curitiba: Ibpex, 2007.
- PLUTSHACK, L.A ; SUSCHIL, L. Riser Design. **ASM-Metals Handbook**. (1996). 10th Edition. Vol. 15.
- RODRIGUES, M. V. **Ações para a Qualidade: gestão estratégica e integrada para a melhoria dos processos na busca da qualidade e competitividade**. 3 Ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2010.
- SASHKIN, M., KISER. J. **Gestão da Qualidade Total na Prática**. Ed Campus. Rio de Janeiro, 1994.
- SCHMIDT, J.; ROLA, F.; STUEWE, L. **Simulação como ferramenta para desenvolvimento de projetos de canais de enchimento e alimentação não tradicionais**. IV Seminário de Fundição. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. Volta Redonda, RJ (2003).
- SILVA JR., A.G.; SCHIEFER, G.; HELBIG, R. (1997). Sistema informatizado de gestão da qualidade: uma aplicação para suinocultura na Alemanha. In: **I Congresso da SIB-Agro**. Belo horizonte. Disponível em: <http://www.agrosoft.org.br/trabalhos/ag97/w3w1130.htm>>. Acesso em: 05 jan. 2015.
- SLACK, Nigel et al. **Administração da Produção**. São Paulo. Atlas. 1999.
- STEFANESCU, D. M. Computer simulation of shrinkage related defects in metal castings - a review. **International Journal of Cast Metals Research**. (2005), vol.18 No. 3.
- TOLEDO, J.C; CARPINETTI, L.C.R. Gestão da qualidade na fábrica do futuro. In: **A fábrica do futuro**. São Paulo: Banas, 2000.
- WLODAWER, R. **Directional solidification of steel castings**. New York: Pergamon Press Ltda, 1966.