

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS
ENGENHARIA MECÂNICA
WILSON DE CARVALHO LUCIO

N. CLASS.....
CUTTER.....
ANO/EDIÇÃO.....

**DEMONSTRAR FORMAS DE EVITAR REFUGO EM PEÇAS DE FERRO
FUNDIDO CINZENTO CONSIDERANDO A PORCENTAGEM DE CARBONO,
SILÍCO E COBRE NA LIGA FUNDIDA**

Varginha

2014

FEPESMIG

WILSON DE CARVALHO LUCIO

**DEMONSTRAR FORMAS DE EVITAR REFUGO EM PEÇAS DE FERRO
FUNDIDO CINZENTO CONSIDERANDO A PORCENTAGEM DE CARBONO,
SILÍCO E COBRE NA LIGA FUNDIDA**

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. Fabiano Farias de Oliveira.

Varginha

2014

WILSON DE CARVALHO LUCIO

**DEMONSTRAR FORMAS DE EVITAR REFUGO EM PEÇAS DE FERRO
FUNDIDO CINZENTO CONSIDERANDO A PORCENTAGEM DE CARBONO,
SILÍCIO E COBRE NA LIGA FUNDIDA**

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. Fabiano Farias de Oliveira

Prof.

Prof.

OBS.:

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

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus colegas, professores e a minha família e esposa por terem ajudado 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

Este trabalho aborda as principais características do ferro fundido cinzento no qual existe uma correlação íntima entre as propriedades do ferro fundido e a sua estrutura, correlação essa que, no caso particular do ferro fundido cinzento, é mais estreita e mais complexa, tendo em vista a presença de carbono livre na forma de grafita e a sua forma, distribuição e dimensões que os veios de grafita apresentam e mais a influência que exerce para o aparecimento de defeitos como depressões, rechupes e trincas que nesse sentido, a espessura da peça exerce. Deste modo, este trabalho visa apresentar soluções e propor mudanças no processo de fundição do ferro fundido cinzento de modo a reduzir refugos gerados pela influência dos elementos químicos carbono, silício e cobre na formação de defeitos de fundição.

Palavra chave: Ferro fundido cinzento. Estrutura Mecânica. Composição Química.

ABSTRAT

This paper addresses the major characteristics of the cast iron in which there is a close correlation between the properties of the cast iron and its structure, this correlation which, in the particular case of gray cast iron, is narrower and more complex in view of the presence free carbon in the form of graphite and its shape, size and distribution of graphite shafts that have the most influence and which exercises to the appearance of defects such as depressions, sink marks and cracks in that sense, the thickness of the piece plays. Thus, this paper presents solutions and propose changes in the gray iron foundry process to reduce waste generated by the influence of the chemical elements carbon, silicon and copper in the formation of casting defects.

Keyword: gray cast iron. Mechanical structure. Chemical Composition.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Estrutura micrográfica de um FC.....	22
Figura 02 – Células eutéicas.....	22
Figura 03 – Ferro fundido com grafita lamelar.....	23
Figura 04 – Grafita lamelar tipo A.....	24
Figura 05 – Grafita lamelar tipo B.....	24
Figura 06 – Grafita lamelar tipo C.....	25
Figura 07 – Grafita lamelar tipo D.....	25
Figura 08 – Grafita lamelar tipo E.....	26
Figura 09 – Austenita.....	30
Figura 10 – Rechupe.....	31
Figura 11 – Trinca em uma peça ferro fundido cinzento.....	32
Figura 12 – Bolha de gás.....	33
Figura 13 – Defeito em peça fundida cinzento.....	34
Figura 14 – Trinca provocada pela contração do metal.....	35
Figura 15 – Item 158, região em destaque da trinca.....	35
Figura 16 – Rastreabilidade da peça.....	36
Figura 17 – Certificado de qualidade.....	38
Figura 18 – Relatório de ensaio.....	39
Figura 19 – Rechupe com deformação visual.....	40
Figura 20 – Ficha técnica de composição química da peça.....	41
Figura 21 – Ficha técnica de composição química do metal base.....	42
Figura 22 – Relatório de ensaio.....	43
Figura 23 – Ficha técnica de processo.....	45
Figura 24 – Certificado de qualidade.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Propriedades mecânicas dos ferros fundidos cinzentos, de acordo com E B- 126 da ABNT.....	18
Tabela 02 – Características mecânicas da matriz metálica.....	20
Tabela 03 – Composição química para ferros fundidos cinzentos.....	21
Tabela 04 – Acompanhamento por defeito.....	36
Tabela 05 – Resultado teste 01.....	42
Tabela 06 – Resultado teste 02.....	44
Tabela 07 – Acompanhamento por defeito.....	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Conceitos básicos de metalurgia	13
3 METALURGIA DOS FERROS FUNDIDOS	14
3.1 Ferros fundidos	14
3.2 Fundição: arte, tecnologia e ciência aplicada	14
3.2.1 Fatores técnicos e econômicos	15
3.2.2 Estrutura da indústria de fundição	15
3.2.2.1 Composição das ligas	16
3.2.2.2 Produtos	16
3.2.2.3 Processos	17
4. FERRO FUNDIDO CINZENTO	18
4.1 Especificação do ferro fundido cinzento	19
4.2 Relação entre carbono, silício e fósforo	20
4.3 Fatores que determinam as propriedades mecânicas dos ferros fundidos cinzentos	21
4.3.1 Matriz metálica	21
4.3.2 Células eutéticas	22
4.3.3 Tipos de grafitas encontradas no ferro fundido cinzento	23
5 INFLUÊNCIA DOS PRINCIPAIS ELEMENTOS QUÍMICOS	27
5.1 Carbono	27
5.2 Silício	27
5.3 Manganês	27
5.4 Fósforo	27
5.5 Enxofre	28
5.6 Cobre	28
6 PROBLEMAS COM A COMPOSIÇÃO QUÍMICA	29
7 SOLIDIFICAÇÃO DO FERRO FUNDIDO CINZENTO	30
7.1 Defeitos típicos em peças de ferro fundido cinzento na solidificação	31
7.1.1 Rechupe	31
7.1.2 Trincas	32
7.1.3 Bolha de gás	32
8 METODOLOGIA	34
8.1 Acompanhamentos de reclamações de clientes	34
8.2 Verificação da situação atual	35
8.3 Levantamento de causas	36
8.4 Soluções propostas	40
8.5 Resultados e discussão	42
9 CONCLUSÃO	48
REFERENCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

Na história da fundição principalmente em empresas que fabricam peças automotivas existe um enorme controle sobre esse material devido à importância que esses produtos são aplicados na indústria automobilística. Esses controles passam desde uma simples inspeção visual e até testes que aplicam os produtos aos seus esforços máximos assim a conferir que a sanidade do produto e suas características físicas e mecânicas estejam dentro do desejado pelo cliente. Essas propriedades físicas e mecânicas se devem à composição química do metal no ato de sua fabricação. Além disso, devido aos inúmeros tipos de processos e máquinas existentes no meio industrial que processam o metal, não há um método geral, uma “receita” capaz de determinar como as equipes de produção devem 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, este trabalho visa melhorar a produção de ferro fundido cinzento em uma indústria metalúrgica, a partir da aplicação dos conceitos relacionados às técnicas de produção e de uma metodologia abrangente de análise de falhas, para que sejam reduzidos os problemas físicos, químicos e mecânicos do produto que causam refugos e conseqüentemente aumentando a produção e reduzindo os custos envolvidos no processo para repor os produtos refugados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Abaixo segue referencial teórico abordando definições gerais sobre metalurgia, análise de falhas e indicadores de desempenho.

2.1 Conceitos básicos de metalurgia

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 pode ser realizada 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).

3 METALURGIA DOS FERROS FUNDIDOS

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

3.1 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 na temperatura do eutético. As maiorias dos ferros fundidos contem 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)

3.2 Fundição: arte, tecnologia e ciência aplicada

Sendo a fundição essencialmente uma atividade humana, o conhecimento ou 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 aprendidos 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.

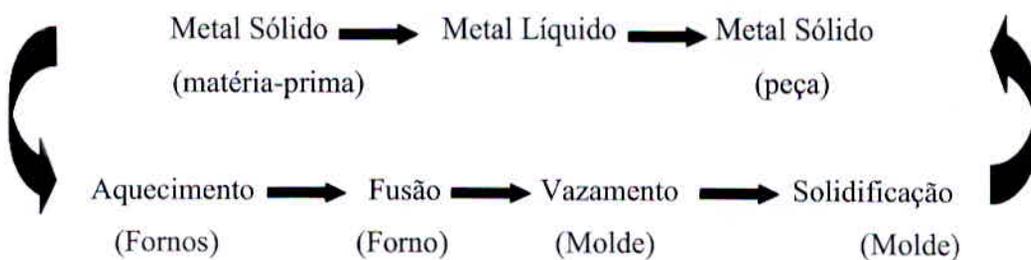
Fundição é o processo de conformação mecânica que consiste na fusão do metal ou da liga metálica em fornos próprios e o posterior vazamento do metal líquido em moldes, cuja forma e dimensões internas são as mesmas da peça a ser produzida. O processo de fundição pode ser considerado como o menor caminho 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 envolve 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 varias reações químicas que ocorrem podem ser tratadas ela aplicação das leis da fisico-química e do mesmo modo, a formação da estrutura bruta de fusão a partir do liquido, 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.

3.2.1 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 de uma 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 o por ultimo os fatores econômicos que representa o numero de peças necessárias, uma apenas ou vários milhares, que pode determinar a escolha econômica de um processo de fundição. Conceito de um processo de fundição:



3.2.2 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”.

3.2.2.1 Composição das ligas

Pela combinação de varias de suas propriedades físicas e químicas, alguns metais e suas ligas são mais facilmente que outros, liquefeitos e convertidos em produtos fundidos de qualidade (KONDIC, 1973, p. 4).

. Essa propriedade é definitivamente importante para as necessidades de comercio e sua organização, instituições de pesquisa e grupos industriais utilizam dos diferentes processos de fundição ou aplicações da peça fabricada a partir da combinação do metal.

Os cinco tipos de ferros fundidos comercialmente existentes são: o cinzento, dúctil, maleável, grafítico compacto e branco. Todos estes tipos, exceto o branco, são compostos de uma fase grafítica em uma matriz que pode ser ferrítica, perlítica, bainítica, martensítica temperada ou uma combinação destas. Abaixo descritivo de cada ferro fundido e sua característica predominante.

- a) Ferro fundido cinzento este é uma material frágil e quebradiço devido a sua microestrutura, não servindo muito bem a aplicações que requeiram elevada resistência a tração.
- b) Ferro fundido dúctil apresenta uma estrutura nodular e lhe confere maior resistência mecânica e ductilidade ao material, aproximando suas características às do aço.
- c) Ferro fundido branco extremamente duro e frágil chega a ser inadequado para a usinagem em alguns momentos.
- d) Ferro fundido maleável gerado através da transformação do ferro fundido branco após tratamento térmico em temperatura e atmosfera controladas. Alta resistência mecânica e considerável ductilidade e maleabilidade.
- e) Ferro fundido grafítico compacto sua propriedade varia entre as do ferro fundido cinzento e as do dúctil. Possui maior resistência mecânica do que o cinzento e possuem menor expansão térmica do que o dúctil.

3.2.2.2 Produtos

A indústria de fundição pode-se dividir em dois grandes grupos de acordo com tipo de produto fabricado, ou seja, os que produzem lingotes e aquelas que fabricam peça. (KONDIC, 1973, p. 5)

Os lingotes quase sempre são formas fundidas que apresentam geometria simples, e são aplicados geralmente em trabalho mecânico subsequente, com a finalidade de produzir outras formas como exemplo (chapas, tiras, perfis, barras, fios etc.) onde esses subprodutos são transformados através dos processos de laminação, forjamento, extrusão e repuxamento.

3.2.2.3 Processos

Assim como algumas formas sólidas podem ser produzidas por fundição ou por outros métodos de conformação, um grande número de formas pode ser produzido por um dos vários processos de fundição (KONDIC, 1973, p. 7). Esses processos são agrupados em duas categorias: da natureza do molde, ou da maneira de verter o metal líquido e encher as cavidades dos moldes. Daí a existência, na indústria, de fundições em moldes metálicos ou de areia (sílica ou outro mineral), onde a natureza dos moldes usados forma a base da classificação, e de fundições por gravidade, sob pressão e por centrifugação, classificados de acordo com o método produtivo e método de vazamento do metal nos moldes.

4. FERRO FUNDIDO CINZENTO

Ferro fundido é uma liga ferrosa constituída pelos elementos carbono (C), silício (Si), manganês (Mn), enxofre (S), fósforo (P) e o próprio ferro (Fe) podendo ter outros elementos químicos na sua composição devido à necessidade especificada (FONSECA, 2007, p. 81).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT - EB-126), os ferros fundidos são designados pelas letras FC, indicativas de “ferro fundido cinzento”, seguindo-se dois algarismos representativos do limite mínimo de resistência à tração.

Portanto, podem-se prever, com razoável aproximação, as propriedades dos ferros fundidos cinzentos, em função da sua composição química, principalmente teores de carbono grafítico e silício, da espessura das peças e da forma como a grafita apresenta. (CHIAVERINI, 1996, p.516)

A tabela 1 relaciona esses materiais.

As classes FC-10 e FC-15 correspondem aos ferros fundidos cinzentos comuns, com excelente fundibilidade e melhor usinabilidade. A classe FC-15 é utilizada, entre outras aplicações, em bases de máquinas, carcaças metálicas e aplicações semelhantes.

As classes FC-20 e FC-25, também de boas fundibilidade e usinabilidade, apresentam melhor resistência mecânica e se aplicam principalmente em elementos estruturais, tais como barramentos, cabeçotes e mesas de máquinas operatrizes.

As classes FC-30 e FC-35, com maiores dureza e resistência mecânica, aplicam-se em engrenagens, pequenos virabrequins, bases pesadas de máquinas, colunas de máquinas, buchas e grandes blocos de motor.

A classe FC-40 é a classe de uso comercial que possui a maior resistência mecânica, apresentando, para essa finalidade, combinação dos elementos de liga, entre eles, níquel, cromo e molibdênio. Essa classe se caracteriza por ser extremamente resistente ao desgaste porém frágil quanto à submetida a esforços de impacto o que faz do seu uso restrito dependendo da aplicação exigida.

Tabela 1 – Propriedades mecânicas dos ferros fundidos cinzentos, de acordo com a EB-126 da ABNT.

Classe	Diâmetro da barra de ensaio	Limite de resistência à tração (min.)	Dureza Brinell (valores máximos)	Resistência à flexão estática (valores médios)
--------	-----------------------------	---------------------------------------	----------------------------------	--

	D, mm (no estado bruto de fusão)	d, mm (usinada)						
			Kgf/mm ²	MPa		Kgf/mm ²	MPa	
FC10	30	20	10	100	201	-	-	
FC15	13	8	23	230	241	34	330	
	20	12,5	18	180	223	32	310	
	30	20	15	150	212	30	290	
	45	32	11	110	201	27	260	
FC20	13	8	28	270	255	41	400	
	20	12,5	23	230	235	39	380	
	30	20	20	200	223	36	350	
	45	32	16	160	217	33	320	
FC25	13	8	33	320	269	-	-	
	20	12,5	28	270	248	46	450	
	30	20	25	250	241	42	410	
	45	32	21	210	229	39	380	
FC30	20	12,5	33	320	269	-	-	
	30	20	30	290	262	48	470	
	45	32	26	260	248	45	440	
FC35	20	12,5	38	370	-	-	-	
	30	20	35	340	227	54	530	
	45	32	31	300	269	45	500	
FC40	30	20	40	390	-	60	590	
	45	32	36	350	-	57	560	

Fonte: (CHIAVERINI, 1996, p.517)

4.1 Especificação do ferro fundido cinzento

Os ferros fundidos cinzentos são especificados em função de suas características mecânicas em função do seu limite de resistência à tração obtida em corpo de prova normalizado. (FONSECA, 2007, p. 89).

As classes seguem o seguinte formato onde se representa o ferro fundido cinzento através da sigla FC e seu limite mínimo de resistência a tração em mega Pascal (MPa) através de um numero conforme exemplo abaixo.

FC200

- a) FC – Ferro fundido cinzento
- b) 200 – limite mínimo de resistência a tração em MPa.

4.2 Relação entre carbono, silício e fósforo

A presença de silício e fósforo no ferro fundido modifica o teor de carbono no ponto eutético, pois o silício e fósforo atuam como carbono, mas com um poder três vezes menor. O carbono é o elemento mais importante na liga, pois ele que da origem a grafita que caracteriza ferro fundido. Devido à presença da grafita em sua microestrutura, considera-se que o ferro fundido cinzento apresenta alongamento desprezível (FONSECA, 2007, p. 93). A presença da grafita provoca no ferro fundido cinzento, quando submetido a um esforço de tração, o chamado efeito entalhe. Essa característica da grafita diminui sua resistência mecânica se comparado com outros ferros fundidos. Podem ser observadas as características mecânicas de matriz metálica do ferro fundido cinzento conforme tabela 2.

Tabela 2 - Característica mecânica da matriz metálica.

	Limite de resistência à tração MPa	Alongamento (%)	Dureza (HB)
FERRITA	250 a 270	60	140
CEMENTITA	> 10000	NULO	550 a 700
PERLITA	700 a 800	10 a 15	200 a 250
GRAFITA	DESPREZÍVEL	DESPREZÍVE	DESPREZÍVE

Fonte: (FONSECA, 2007, p. 92)

- a) Ferrita constituinte de baixa dureza, grande alongamento e pequena resistência a tração.
- b) Cementita constituinte de dureza superior, elevada resistência à tração e alongamento nulo.

c) Perlita constituinte de dureza inferior a da cementita, possui boa resistência à tração e pequeno alongamento.

d) Grafita constituinte muito macio de extrema fragilidade com características mecânicas desprezíveis.

A tabela 3 mostra composição química sugerida para ferros fundidos.

Tabela 3 – Composição química para ferros fundidos cinzentos.

	FC100	FC150	FC200	FC250	FC300	FC350
Carbono	3,4 a 3,7	3,2 a 3,5	3,1 a 3,4	2,9 a 3,1	2,8 a 3,0	2,8 a 3,0
Silício	2,6 a 2,8	2,3 a 2,5	2,2 a 2,4	1,9 a 2,1	1,8 a 2,0	1,8 a 2,0
Manganês	0,3 a 0,4	0,4 a 0,5	0,5 a 0,6	0,6 a 0,8	0,8 a 1,0	0,8 a 1,0
Enxofre	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Fósforo	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Matriz	Perlita/Ferrita	➔	➔	➔	➔	Perlitica
Dureza HB	100 – 150	140 – 190	170 – 240	180 – 240	200 – 260	>260

Fonte: (FONSECA, 2007, p. 94)

4.3 Fatores que determinam as propriedades mecânicas dos ferros fundidos cinzentos

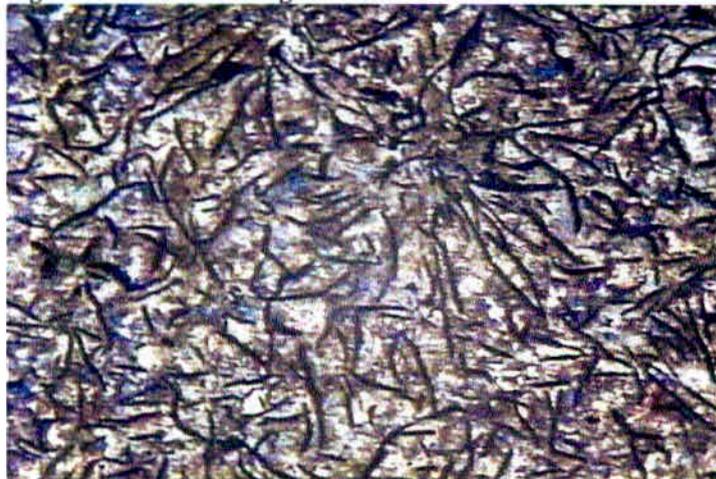
As propriedades mecânicas dos ferros fundidos são determinadas basicamente por dois fatores seguintes no qual são de extrema importância para que o material tenha sua aprovação e garantia da suas propriedades mecânicas.

- Estrutura do material composta por matriz metálica, tipo de grafita e células eutéticas.
- Incidência de defeitos.

4.3.1 Matriz metálica

A matriz metálica (Figura. 1) é o arranjo que as fases de solidificação assumem para formação da estrutura do material. A matriz metálica é formada pelas fases metálicas e juntamente com a grafita, um não metal forma a estrutura do material (FONSECA, 2007, p. 95).

Figura 1 – Estrutura Micrográfica de um FC

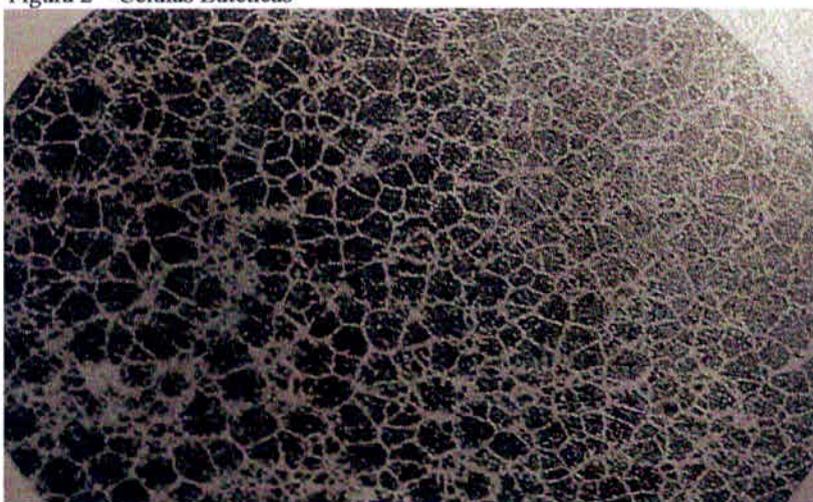


Fonte: o autor

4.3.2 Células eutéticas

Célula eutética (Figura. 2) é a unidade de solidificação e crescimento que, a partir de núcleos, constitui-se de um agregado de austenita e grafita num formato aproximadamente esférico. Um elevado número de células eutéticas provocará a formação de uma estrutura mais refinada, isto é, grãos mais finos.

Figura 2 – Células Eutéticas



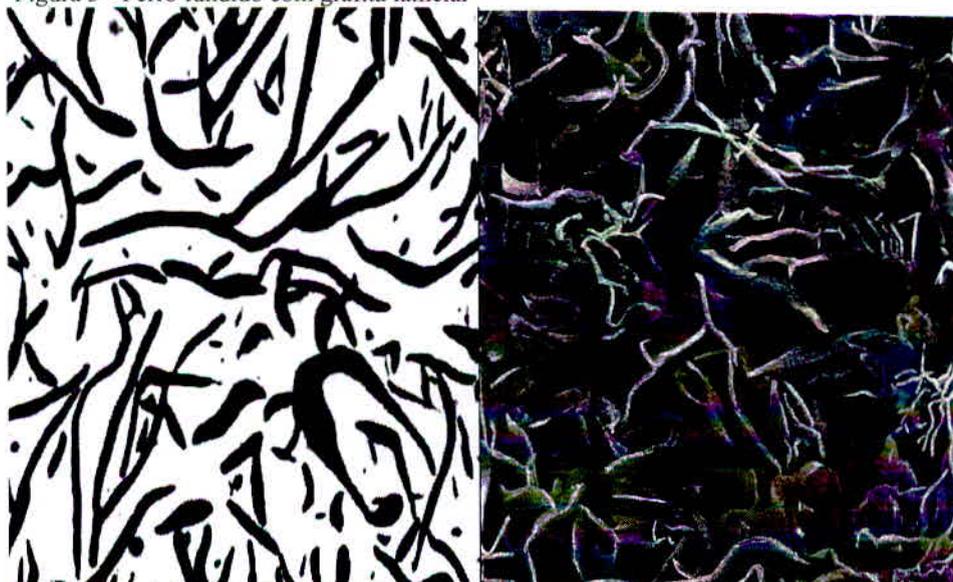
Fonte: (FONSECA, 2007, p. 97)

4.3.3 Tipos de grafitas encontradas no ferro fundido cinzento

Para o ferro fundido cinzento a grafita sob a forma de lamelas (Figura. 3) é de grande importância. A grafita é simplesmente carbono livre, que confere ao ferro fundido cinzento uma elevada condutibilidade térmica tornando se uma das principais características. A lamela de grafita não apresenta quaisquer características mecânicas. Quanto maior o número de lamelas e maiores for, menores serão as características mecânicas do ferro fundido, pois haverá maior probabilidade de ruptura do material.

Segundo Fonseca (2007, p. 99) o ferro fundido cinzento apresenta-se de forma bem variada, e esta variação afetará diretamente as características mecânicas do material. Os tipos de grafita lamelar são grafita lamelar tipo A, grafita lamelar tipo B, grafita lamelar tipo C, grafita lamelar tipo D e grafita lamelar tipo E e podendo ter combinações dessas mesmas grafitas para formarem uma característica necessária para o produto final.

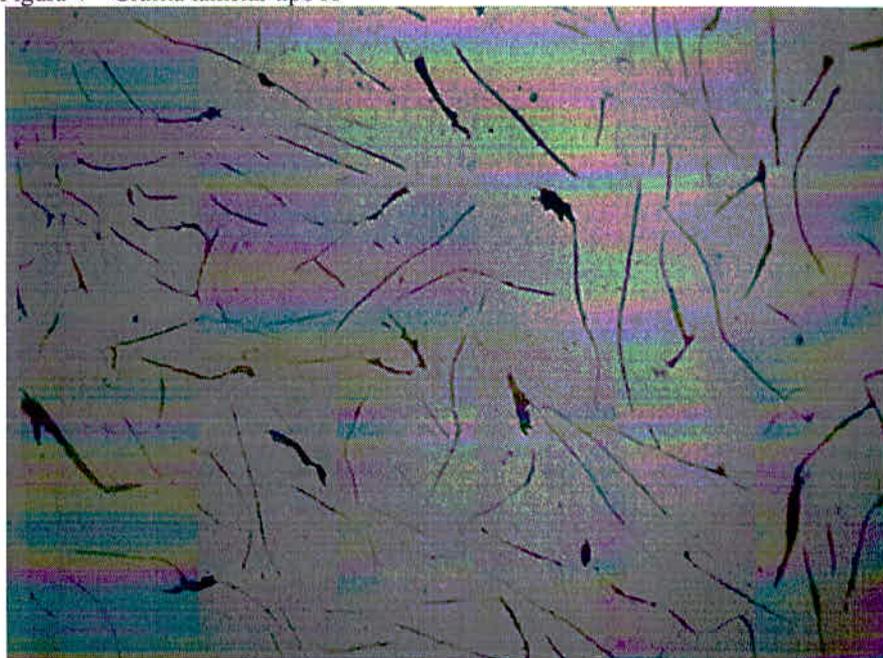
Figura 3 - Ferro fundido com grafita lamelar



Fonte: o autor

A grafita lamelar tipo A (Figura. 4) é geralmente encontrada em peças de espessuras médias e de composição química hipoeutética. É classificado de acordo com o tamanho de suas lamelas de 1 a 8, sendo que os tamanhos de 4 a 6 são os recomendados. Essas características da grafita tipo A apresenta em termos de propriedade mecânica as melhores condições para um grande numero de produtos no mercado o que torna esse tipo de material o mais recomendado e aplicado no ramo de peças de ferro fundido.

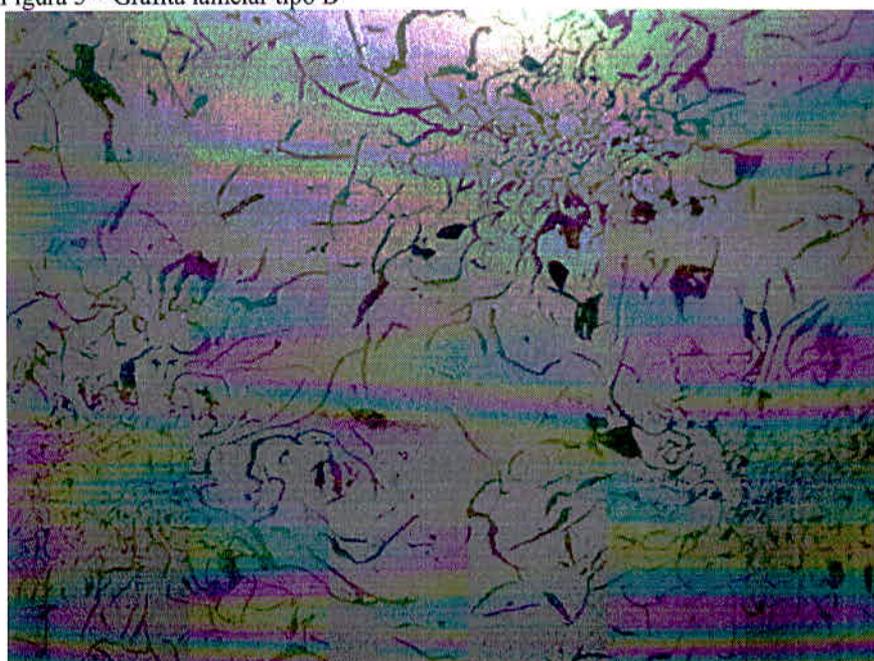
Figura 4 – Grafita lamelar tipo A



Fonte: (FONSECA, 2007, p. 99)

A grafita lamelar tipo B (Figura. 5) é geralmente encontrada nas mesmas condições que favorecem a formação da grafita tipo A, porém em partes da peça com maior velocidade de resfriamento. Apresenta em peças com paredes finas, com maior tendência.

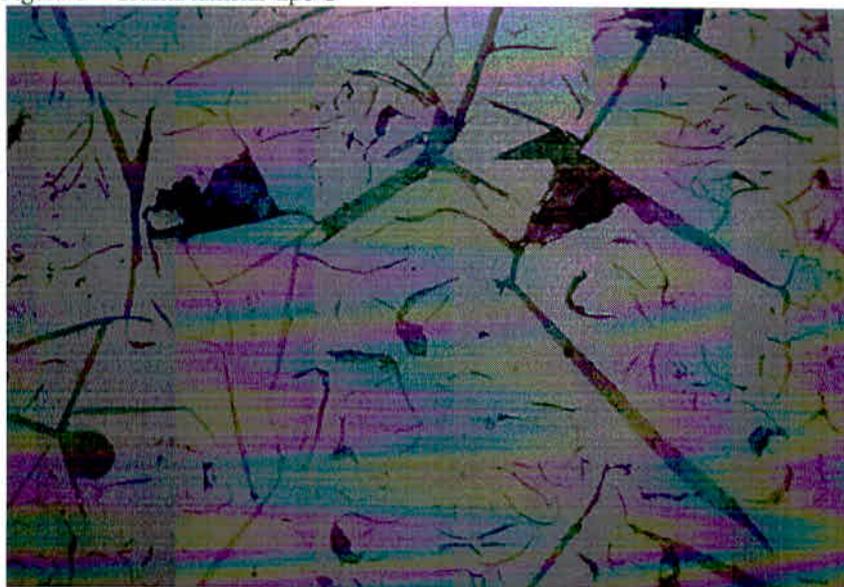
Figura 5 – Grafita lamelar tipo B



Fonte: (FONSECA, 2007, p. 100)

A grafita lamelar tipo C (Figura. 6) é também chamada de grafita primária é encontrada em peças de composição química bastante hipereutética e apresenta grandes dimensões. Essa grafita geralmente é indesejada na estrutura da peça devido que apresenta características de diminuir consideravelmente as propriedades mecânicas.

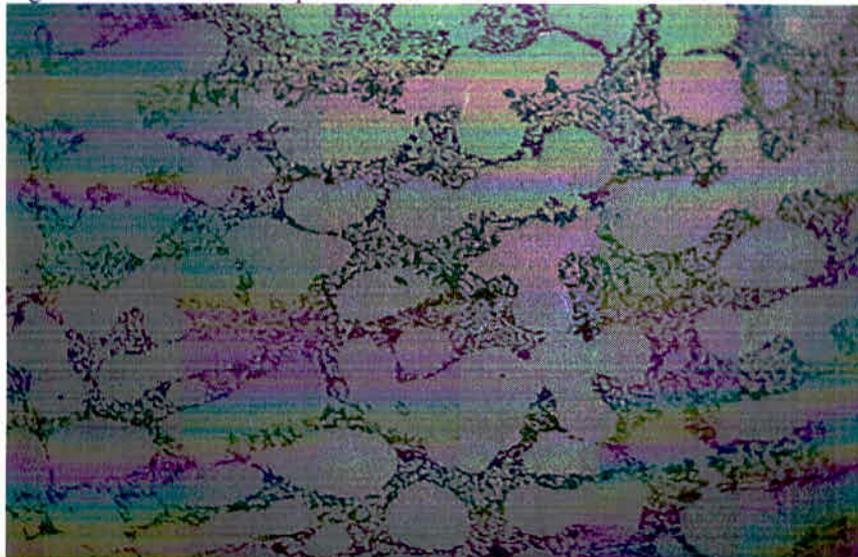
Figura 6 – Grafita lamelar tipo C



Fonte: (FONSECA, 2007, p. 100)

A grafita lamelar tipo D (Figura. 7) é geralmente encontrada em peças de composição química hipoeutética e resfriadas rapidamente. Possuem lamelas de pequenas dimensões e em grande número, distribuídas de maneira desordenada.

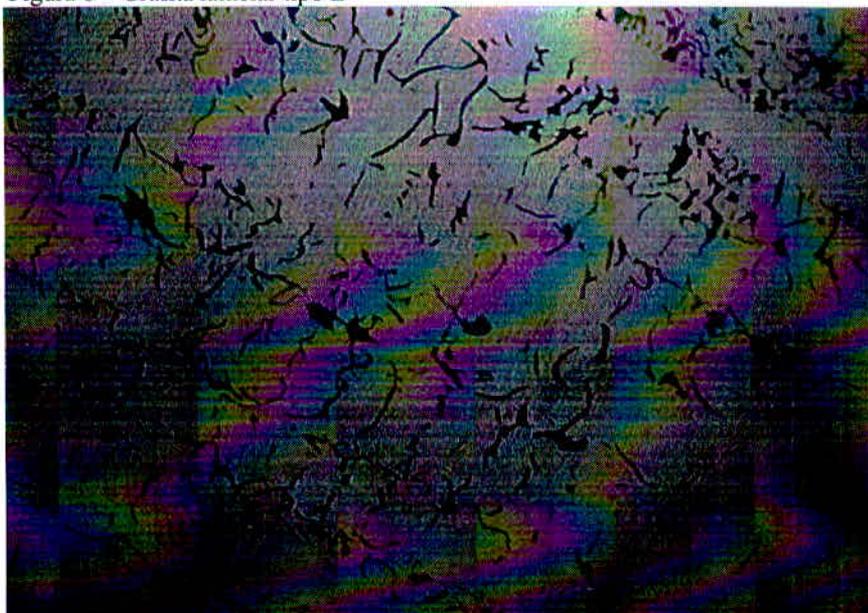
Figura 7 – Grafita lamelar tipo D



Fonte: (FONSECA, 2007, p. 101)

A grafita lamelar tipo E (Figura. 8) é geralmente encontrada em peças de composição química bem hipoeutética e resfriadas rapidamente. São lamelas de pequenas dimensões e em grande número. Essas grafitas podem ser encontradas também com as grafitas tipo D fazendo uma combinação no qual também afeta as propriedades mecânicas do produto.

Figura 8 – Grafita lamelar tipo E



Fonte: (FONSECA, 2007, p. 101)

5 INFLUÊNCIA DOS PRINCIPAIS ELEMENTOS QUÍMICOS

Cada elemento químico tem sua influência sobre a formação da estrutura do material.

5.1 Carbono

Quanto maior o teor de carbono, maior a tendência à formação de grafitas grandes e grosseiras, portanto devido a esse fato o carbono é chamado de elemento grafitizante (FONSECA, 2007, p. 105). Grafita muito grande contribui para a diminuição das características mecânicas do ferro fundido.

5.2 Silício

Elemento também considerado grafitizante. Ao ser adicionada numa liga Ferro Carbono (FeC), favorece a formação da ferrita, uma solução sólida de carbono em ferro cristalizado no sistema cúbico de corpo centrado. Elemento ferritizante, e é encontrado dissolvido na mesma forma. O silício com teores maiores tende a alterar as características mecânicas da ferrita, onde se aumenta a resistência à tração e à dureza, diminuindo o alongamento (FONSECA, 2007, p. 105).

5.3 Manganês

Considerado um elemento antigrafitizante onde favorece a formação de carbonetos (cementita) evitando a formação de grafitas. Por favorecer a formação de carbonetos, o manganês é também considerado um elemento perlitizante. Ele atua diretamente na formação da matriz do ferro fundido, o manganês durante a solidificação do material, a uma temperatura de 1190°C o enxofre presente na liga tende combinar-ser com o ferro formando sulfetos de ferros que por serem de extrema dureza e baixa propriedade mecânica interferem na propriedade mecânica da peça final. O manganês neutraliza o enxofre evitando a formação de sulfetos de ferro e por isso a necessidade que se faça certa neutralização do enxofre com um determinado teor de manganês.

5.4 Fósforo

Este elemento tende a favorecer a formação de grafita e sua presença em teores mais elevados tende a fragilizar o ferro fundido, porém aumenta significativamente a fluidez do metal líquido.

5.5 Enxofre

O enxofre é encontrado na microestrutura do ferro fundido, sob a forma de sulfeto de ferro ou de sulfeto de manganês.

5.6 Cobre

Este elemento tem uma ação grafítizante, diminuindo tendência à formação de regiões coquilhadas que acabam fragilizando a estrutura da peça. É um perlitzante mais eficiente que o níquel, principalmente para eliminar restos de ferrita. Os teores usuais estão entre 0,5 a 2% podendo usar até 3% em peças espessas. O cobre com a sua ação na reação perlítica consegue aumentar a resistência e a dureza. Tende a melhorar a resistência à corrosão principalmente em meios contendo enxofre.

6 PROBLEMAS COM A COMPOSIÇÃO QUÍMICA

O problema metalúrgico mais importante enfrentado no processo de fusão é o da variação da composição química do metal. Para se produzir uma peça fundida com as propriedades desejadas, é necessária que a liga fundida tenha uma composição especificada. Para se obter a composição química final da liga e normalmente obtida de uma carga de composição química inicial diferente, que se altera no curso do processo de fusão. Antes do vazamento os elementos especificados da liga devem estar dentro dos limites desejados e os elementos indesejáveis chamados também de impurezas devem estar abaixo dos limites especificados no processo dos produtos a ser fabricado.

Segundo Kondic (1973, p. 21) “Para se produzir uma peça fundida com as propriedades desejadas, é preciso que a liga fundida tenha uma composição especificada”.

As variações que a composição química sofre durante o aquecimento do metal até o seu ponto de início de vazamento os processos de fusão caem em dois grupos mais importantes: processos de simples fusão e processos de fusão e refino. Ao primeiro grupo pertencem os processos de fusão onde ocorrem variações de composição química relativamente pequena exigindo pequenas correções ou podendo nem haver ajuste. Esse grupo é típico de fusão ao ar de algumas ligas de baixo ponto de fusão e ligas leves. Num processo que combine fusão e refino, a carga a ser fundida deve ser ajustada de modo a obter a composição química desejada. A extensa variedade de matérias-primas, combustíveis e fornos conduziram ao desenvolvimento de grande numero de processos de fusão em uso atualmente para as diferentes ligas.

A maioria dos problemas de controle de composição química pode ser resolvida com o auxílio de ciências básicas, mas as soluções obtidas devem ser compatíveis com os fatores ligados à engenharia do equipamento de fusão e à engenharia de produção (volume e velocidade de fusão, temperaturas de superaquecimento e custos). (KONDIC, 1973, p. 38).

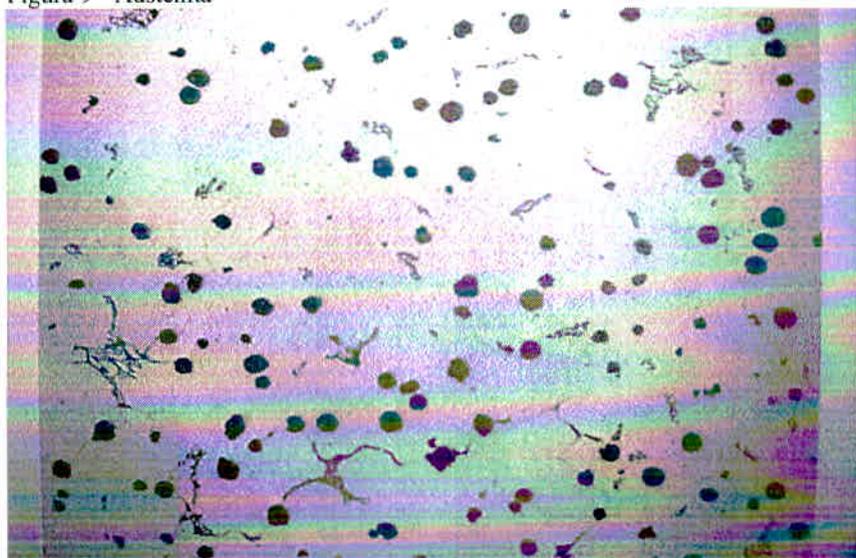
7 SOLIDIFICAÇÃO DO FERRO FUNDIDO CINZENTO

Os ferros fundidos com grafita são ligas do sistema ferro-silício e carbono que se solidificam através de uma reação eutética, caracterizando-se pela formação de duas fases: austenita e grafita.

Essas fases que contribuem para que o ferro fundido cinzento dependendo de seu ponto de solidificação modifique suas propriedades físicas e mecânicas assim atendendo as características necessárias.

A austenita é constituinte do sistema ferro carbono formado por solução sólida de carbono e eventualmente outros elementos, em ferro gama. Conforme figura 09 é possível verificar a fase austenita.

Figura 9 - Austenita



Fonte: o autor

Dentro desta característica das ligas, as mais comuns são os ferros fundidos cinzentos e nodulares. Os ferros fundidos têm uma característica bastante peculiar durante sua solidificação. Ocorre um aumento de volume do líquido devido à precipitação da grafita e tal fenômeno é chamado de expansão gráfitica. Esta expansão pode favorecer a alimentação de uma peça, compensando a contração líquida e de solidificação, como também promover o deslocamento das paredes do molde, alterando o volume do mesmo, favorecendo a formação de rechupes e porosidades.

Os ferros fundidos cinzentos têm em sua composição química geralmente a solidificação eutética e a hipoeutética, conforme aumentam as propriedades mecânicas

requeridas onde o carbono equivalente é menor que 4,3% na liga. Os ferros fundidos cinzentos apresentam um pequeno intervalo de solidificação nas composições químicas comerciais. A maior parte da grafita forma-se diretamente no líquido sendo essa fase de baixa densidade, sua precipitação provoca um aumento de volume e de pressão no líquido. Acompanhado à solidificação de ferros fundidos cinzentos nota-se uma contração primária correspondente à contração líquida do metal e no caso de ligas hipoeutéticas, a contração do metal na solidificação da na fase pró-eutética.

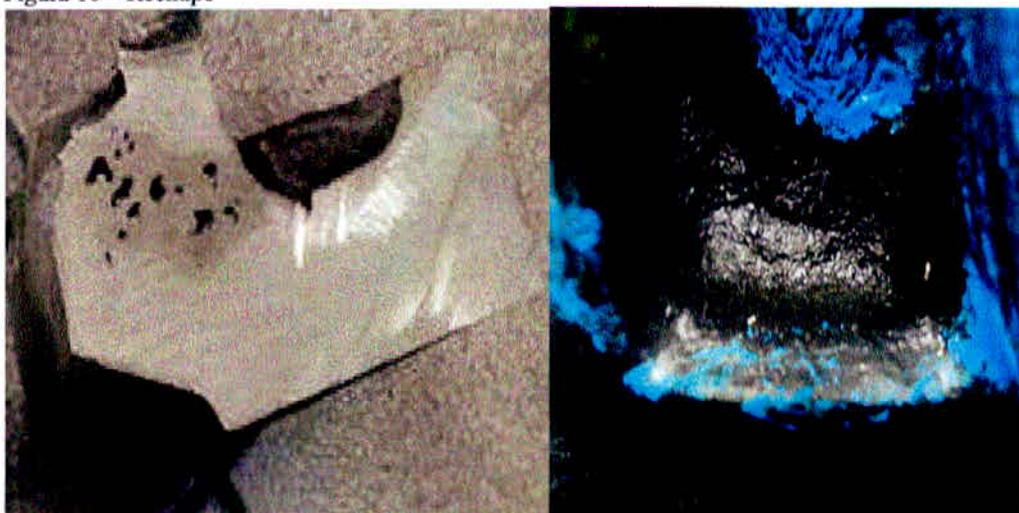
7.1 Defeitos típicos em peças de ferro fundido cinzento na solidificação

Uma identificação precisa do defeito deve ser feita antes de se tomar decisões a respeito de medidas corretivas.

7.1.1 Rechupe

Rechupes são, na sua maioria, cavidades internas e externas que se apresentam distribuídas de maneira isolada ou interconectadas, de forma irregular e aspecto interno mostrando formação dendrítica (Figura. 10). Este tipo de defeitos forma-se nos pontos quentes da peça, ou seja, em pontos de maior massa de metal. Os rechupes são formados devido à falta de metal líquido para compensar a contração volumétrica da peça.

Figura 10 – Rechupe



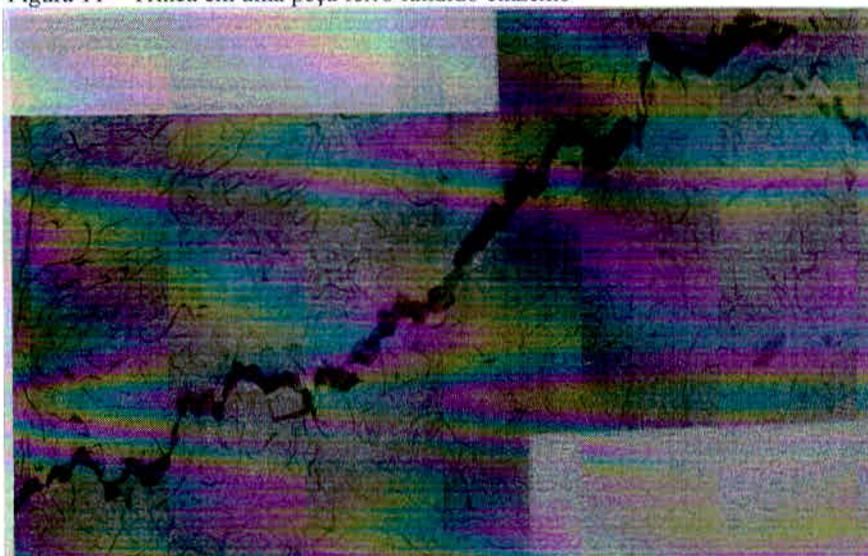
Fonte: o autor

A composição química do ferro base tem forte influência sobre a formação de rechupes. Teores de carbono muito baixos têm levado à formação de rechupes.

7.1.2 Trincas

Trincas (Figura. 11) são caracterizadas por apresentarem descontinuidade do metal. São frestas ou fissuras em certas partes da peça causada por tensões internas compressão e tração geradas durante a solidificação. Essa forma indevida da peça propicia à concentração de tensões devido a diferentes tempos de solidificação. Forma indevida da peça, propicia a concentração de tensões devido a diferentes tempos de solidificação.

Figura 11 – Trinca em uma peça ferro fundido cinzento



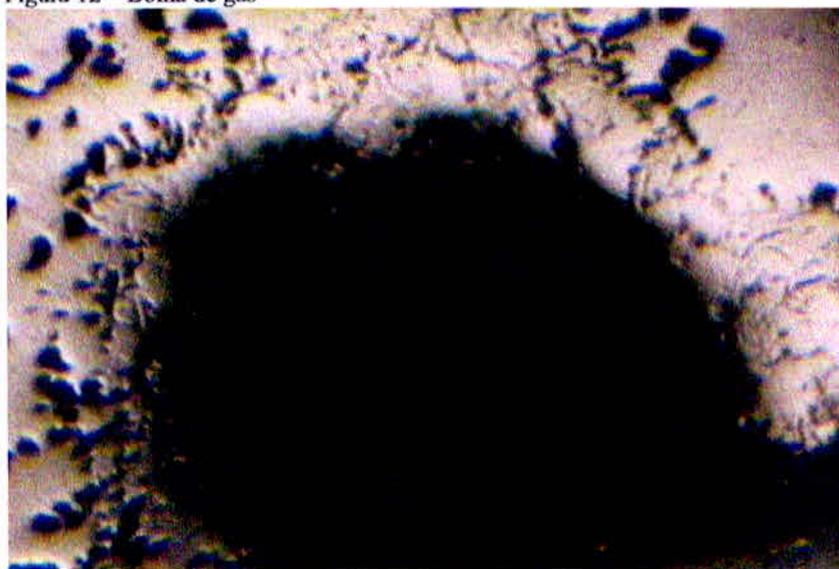
Fonte: o autor

7.1.3 Bolha de gás

Este tipo de defeito refere-se aquelas cavidades encontradas logo abaixo da superfície da peça e que são reveladas somente após a usinagem ou jateamento das mesmas. Estas cavidades podem ser esféricas ou de forma irregular apresentando um revestimento interno de cor cinza ou cinza azulado. Inclusões de sulfetos de manganês são normalmente encontrados na matriz junto ao defeito ou até mesmo na escoria. A bolha de gás (Figura. 12) pode ter origem proveniente de matéria-prima oxidada que durante a fusão do metal são liberados óxidos no banho e se não forem eliminados antes do vazamento do molde podem reagir e liberar gases no qual aparecerão em pontos que não há saída para eles. Para reduzir a

ocorrência deste tipo de porosidade existem técnicas como manter baixa a temperatura do metal líquido, minimizando assim a dissolução dos gases no metal; adicionar materiais que possa combinar-se com o gás e formar massa sólida; fundir sob condições de vácuo; borbulhar gás inerte (argônio, nitrogênio) no metal líquido arrastando os gases dissolvidos para fora da massa de metal. Outro método mais simples é abrir saída de gases nos moldes para facilitar sua saída e assim obter uma permeabilidade do molde mais eficaz.

Figura 12 – Bolha de gás



Fonte: o autor

8 METODOLOGIA

A metodologia utilizada e apresentada a seguir está estruturada para a realização de análise da composição química e defeitos que prejudicam as propriedades mecânicas da peça onde trabalho será realizado em quatro etapas distintas conforme abaixo:

- a) Acompanhamento de reclamação de clientes
- b) Verificação da situação atual
- c) Levantamento de causas
- d) Apresentações das soluções

8.1 Acompanhamentos de reclamações de clientes

O trabalho foi desenvolvido em cima de varias reclamações de clientes que informavam que peças de ferro fundido cinzento apresentavam após a usinagem defeitos de fundição caracterizados como rechupes e trincas. Conforme figura 13 após o processamento no setor de usinagem é possível verificar que há indícios de defeitos gerados no processo de fundição e que acarreta parada de linha no cliente e necessita que a peça com defeito seja retirada para análise e seja também substituída no qual demanda retrabalho para repor o mesmo item em questão.

Figura 13 – Defeito em peça fundida cinzento

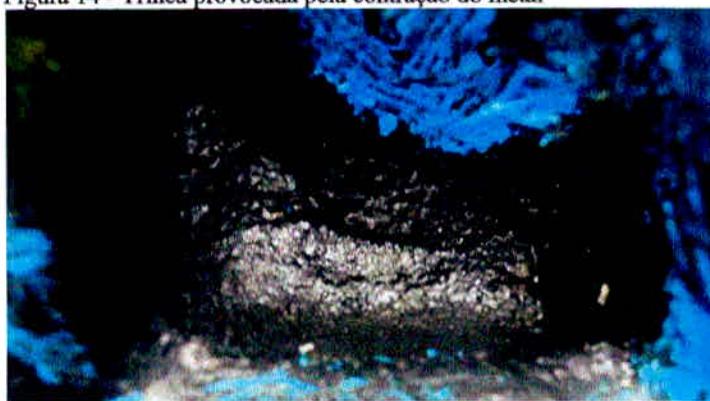


Fonte: o autor

8.2 Verificação da situação atual

Primeiramente foram observados problemas no item denominado (158 carcaça de transmissão), onde apresentava problemas de dureza, trincas, composição química fora do especificado e estrutural que comprometerá sua aplicação funcional no cliente. Após levantamento de causas pela equipe multifuncional observaram-se os defeitos de baixa dureza e principalmente trincas geradas pela contração do metal durante a sua solidificação conforme figura 14.

Figura 14 - Trinca provocada pela contração do metal



Fonte: Autor

Essa região apresentada na figura 14 é uma região que concentra uma massa de metal maior e com isso durante o processo de fusão do metal e até o vazamento do metal líquido no molde a composição química influencia para o surgimento dessa trinca. Essa massa de metal pode ser mais bem visualizada conforme figura 15.

Figura 15 - Item 158, região em destaque da trinca.



Fonte: Autor

Pode observar pelos dados coletados dentro da planta industrial que para este item tem-se um numero elevado de refugo gerado por defeitos relacionados à composição química conforme tabela 04 abaixo.

Tabela 04 – Acompanhamento por defeito

Acompanhamento por defeito 1307495 158													
Data da inspeção	Bolha de gás	Deslocamento bruto	Devolução ZF do Brasil	Ferro Frio	Inclusão de areia	Manuseio	Molde quebrado	Rechupe	Sinterização	Rechupe	Trinca	Usinagem	Total
14/01/14	4	7	0	0	0	0	0	0	0	27	13	2	53
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	4	7	0	0	0	0	0	0	0	27	13	2	53

Fonte: (Técnica Industrial Tiph, 2014)

8.3 Levantamento de causas

Assim que a peça foi devolvida para a planta da fabrica foi possível verificar sua rastreabilidade no qual é possível encontrar o dia, turno e qual material foram aprovados para o mesmo conforme figura 16.

Figura 16 – Rastreabilidade da peça



Fonte: o autor

Conforme figura 16 é possível rastrear a data de fundição. Na parte superior da figura se encontra os números e letra 007 Y onde 007 representam o dia sete de janeiro e o Y representa o ano de 2014. No final da figura se encontra a letra B que indica que foi o segundo material a ser fundido nesse mesmo dia. Após essa verificação buscou se o certificado qualidade da peça no qual contem todas as informações e resultados obtidos registrados após a fusão do item conforme figura 17.

A importância de se rastrear o lote produzido traz facilidades para detectar possíveis causas da ocorrência. O rastreamento é um instrumento fundamental quando a mundialização dos mercados comerciais torna muito difícil a identificação da origem das matérias-primas e das circunstâncias em que se realiza a produção no caso de peças fundidas. Esta indicação permite ainda, no caso de surgir um problema conforme foi detectado no cliente é possível identificar todo o lote contaminado e, se necessário, retirá-lo do cliente, bem como definir a responsabilidade de cada um dos intervenientes na produção. Permite assim, uma intervenção rápida por parte dos responsáveis técnicos.

Figura 17 – Certificado de qualidade

FQ038		CERTIFICADO DE QUALIDADE						
CLIENTE:		DESCRIÇÃO DO PRODUTO:		NÚMERO DA NOTA FISCAL:				
ZF		CARCAÇA						
NORMA:		CÓDIGO DO PRODUTO:						
EM G JL 250 ZF 103		1307495158		QUANTIDADE:				
Nº DESENHO:		MATERIAL:						
1307395175		CINZENTO						
ESPECIFICADO			ENCONTRADO					
ELEMENTOS QUÍMICOS	%C	3,35 a 3,50	3,23					
	%Si	1,70 a 1,90	2,06					
	%Mn	0,70 a 0,80	0,791					
	%P	0,000 a 0,130	0,036					
	%S	0,060 a 0,080	0,077					
	%Mg	0,000 a 0,0035	0,0035					
	%Cu	0,50 a 0,60	0,786					
	%Sn	0,060 a 0,080	0,075					
Propriedade Mecânica	Dureza (HD)	180 - 240	195					
	Valor de Tensão	220 Mpa	190,20					
ANÁLISE METALOGRAFICA	GRAFITA		GRAFITA					
	Tipo / Disposição	TIPO A	85%					
	Tamanho	4 A 5	4 - 6					
	Nodulando	N/A	N/A					
	MICROESTRUTURA		MICROESTRUTURA					
	PERLITA	Predominante	96%					
FERRITA	Restante	5%						
DESCRIÇÃO CORRIDAS PRODUZIDAS			86 B					
DATA DA FUSÃO (RASTREABILIDADE PEÇA)			007 YB					
QUANTIDADE ENVIADA POR CÓDIGO DE CORRIDA								
QUANT. DO LOTE PRODUZIDA POR CÓDIGO DE CORRIDA			138					
NÚMERO DO CERTIFICADO METALÚRGICO			042/2014					
Descrição da disposição final:			<input checked="" type="checkbox"/>	APROVADO	<input type="checkbox"/>	REPROVADO	<input type="checkbox"/>	ACEITÁVEL
Responsável: David dos Santos Bonfim				Data:				

Fonte: (Técnica Industrial Tiph, 2014)

Verificando se o certificado de qualidade observou se que a composição química de alguns elementos estava fora do especificado desejado e que o teste de resistência tração exigido pelo cliente ficou abaixo do mínimo. Os elementos químicos carbono, silício e cobre se encontram fora do especificado e a resistência a tensão desejada é de 220 MPa obteve o valor de 190.2 MPa o que caracteriza que o material esta menos resistente. O relatório de ensaio de tração onde pode obter o valor de tensão já que o cinzento não tem alongamento demonstra como o material se comporta durante um esforço externo.

Observando que alguns elementos químicos estavam fora especialmente o carbono que interfere diretamente na estrutura da peça pode-se detectar que o fato do carbono conter na composição química final na peça um percentual abaixo do especificado contribuiu diretamente para que houvesse uma contração do metal maior que o normal, e associado ao silício e ao cobre que contribui para melhorar as características físicas e mecânicas da peça esses três fatores influenciaram no aparecimento do defeito, levantado na planta do cliente. Esse fato contribuiu para o aparecimento de rechupe em outra peça com geometria bem diferente porém que utiliza a mesma composição química para ser fabricada.

A peça que apresentou os mesmos defeitos na fabrica é denominada como (039 carcaça de transmissão) e o defeito pode ser visto conforme figura 19.

Figura 19 – Rechupe com deformação visual



Fonte: o autor

Essa combinação do carbono com teores baixos na faixa de 3,1 % até 3,40% no produto final facilita para que durante uma fabricação de algum item no qual a composição química apresente um teor de carbono baixo, poderá ao longo de sua produção obter peças que apresentaram algum tipo de defeito relacionado à composição química e que afetará também sua propriedade mecânica conforme visto no item 158 acima.

8.4 Soluções propostas

Para a resolução deste problema foram alteradas as composições químicas do forno e da peça sem sair das especificações e normas do cliente. Essas alterações na composição química foi proposta, pois o carbono tem forte influência no ponto de solidificação na peça, pois ele consegue retardar ou avançar a solidificação o que faz com que a peça tenha um comportamento diferente nos dois casos.

A primeira ação foi utilizar uma composição química em que o carbono teria um percentual de 3,50% no metal líquido no forno e com isso a peça sairia entre 3,40% a 3,50% na sua composição química final. Já o silício, ter na liga do forno um percentual de 1,65% a 1,75% e o cobre com um percentual de 0,6% a 0,70%

Na liga fundida sempre tem uma perda que é considerada para a fabricação de peças de ferro fundido e isso faz com que sempre o material do forno tenha um percentual a mais para compensar essa perda e assim fazer com que o material final, aquele que vai ser vazado no molde para a obtenção da peça saia com a composição química final desejada. Devido a outros elementos e outros processos durante a fusão do metal, o silício é um dos elementos químicos que saem do forno com percentual baixo e aumenta seu percentual na composição química final, isso devido a tratamentos que o metal sofre durante seu processamento.

A composição química alterada tem seus valores no mínimo e no máximo permitidos conforme figura 20 e 21 respectivamente.

Figura 20 – Ficha técnica de composição química da peça

FT 009 - FICHA TÉCNICA DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA PEÇA - FINAL													
MATERIAL: FERRO FUNDIDO CINZENTO (PEÇA-FINAL)													
	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cu	%Cr	%Ni	%Mo	%Sn	%Mg	%Al	C.Eq
C5	3,45	1,9	0,7	0	0,06	0,6	0	0	0	0,06	0	0	4,083
	3,55	2,1	0,8	0,13	0,08	0,7	0,1	0,02	0,0015	0,08	0,004	0,05	4,3
	3,500	2,000	0,750	0,065	0,070	0,650	0,050	0,010	0,001	0,070	0,002	0,025	4,188
C6	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cu	%Cr	%Ni	%Mo	%Sn	%Mg	%Al	C.Eq
	3,3	1,8	0,7	0	0,06	0,85	0	0	0	0,06	0	0	3,9
	3,4	2,0	0,8	0,1	0,08	0,95	0,1	0,02	0,0015	0,08	0,004	0,05	4,1
	3,350	1,900	0,750	0,050	0,070	0,900	0,050	0,010	0,001	0,070	0,002	0,025	4
OBSERVAÇÕES:													
<i>Nas classes de material C5 e C6 o elemento Cromo (Cr) é somente residual.</i>													
ELABORADO POR: TÉCNICO EM FUNDIÇÃO							APROVADO POR: GERENTE ENG. PROCESSOS						
EMISSÃO: 18/02/07							REVISÃO: 35 - 06/03/2014						

Fonte: (Técnica Industrial Tiph S/A, 2014).

Figura 21 – Ficha técnica de composição química do metal base

FT 010 - FICHA TÉCNICA DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO METAL BASE FORNO													
MATERIAL: FERRO FUNDIDO CINZENTO (METAL BASE - FORNO)													
C5	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cu	%Cr	%Ni	%Mo	%Sn	%Mg	%Al	C.Eq
		3,5	1,6	0,7	0	0,06	0,6	0	0	0	0,06	0	0
	3,6	1,7	0,8	0,13	0,08	0,7	0,1	0,02	0,002	0,08	0,004	0,05	4,2
C6	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cu	%Cr	%Ni	%Mo	%Sn	%Mg	%Al	C.Eq
	3,35	1,65	0,7	0,05	0,06	0,85	0	0	0	0,06	0	0	3,917
	3,45	1,75	0,8	0,07	0,08	0,95	0,1	0,02	0,002	0,08	0,004	0,05	4,057
OBSERVAÇÕES:													
<p><i>Nas classes de material C5,C6 o elemento Cromo (Cr) é somente residual.</i> <i>Para item da São Carlos (272-4650), considerar Carbono (C) acima de 3,70% no forno.</i></p>													
ELABORADO POR: TÉCNICO EM FUNDIÇÃO							APROVADO POR: GERENTE ENG. PROCESSOS						
EMISSÃO: 18/02/07							REVISÃO: 01- 06/03/04						

Fonte: (Técnica Industrial Tiph S/A, 2014).

Nas indústrias cada uma delas coloca nomes nas composições químicas que deseja, para facilitar a mão de obra, pois, assim quando iniciar uma produção todos já sabem qual tipo de liga irá produzir. No caso da indústria do trabalho em questão a liga utilizada é chamada de C6, uma nomenclatura simples e que se refere ao material cinzento de número seis, assim quem é responsável pela parte de produção do metal não terá problema para verificar o tipo de composição química necessário para produzir peças ferro fundido.

8.5 Resultados e discussão

Após o desenvolvimento da liga e alterado os teores do carbono, silício e cobre obteve os seguintes resultados conforme tabela 5.

Tabela 05: Resultados teste 01

Item 158 – corrida 95 – Data 15/01/2014

	Especificado	Encontrado	Status
Carbono (C) peça	3,40% a 3,50%	3,49%	Ok
Cobre (Cu) peça	0,6% a 0,7%	0,843%	Não Ok
Estrutura	Perlita	Perlita	Ok
Dureza	180 a 240 HB	197 HB	Ok

Devido ao teste não apresentar resultado satisfatório para a composição química, houve a necessidade de se fazer novamente outro teste aumentando o carbono do forno para 3,55% e o cobre para 0,85% a 0,95%, onde os resultados são demonstrados conforme tabela 06.

Tabela 06: Resultados teste 02

Item 158 – corrida 106 – Data 16/01/2014

	Especificado	Encontrado	Status
Carbono (C) peça	3,45% a 3,55%	3,45%	Ok
Cobre (Cu) peça	0,85% a 0,95%	0,879%	Ok
Estrutura	Perlita	Perlita	Ok
Dureza	180 a 240 HB	217 HB	Ok
Grafita	Lamelar tipo A 85%	Lamelar Tipo A 85% - B5% - D e E 10% -	Ok
Resistência	220 MPa mínimo	223,4 MPa	Ok

Resultados: Não apresentou a trinca e todas as características do material estão conforme norma do cliente.

Fonte: Autor

Com o resultado obtido, tendo a aprovação do laboratório passou a ser usada a composição química especificada, e liberando para os lotes de produção seguinte, e os mesmos mantendo os resultados satisfatórios e com a diminuição de refugos gerados pela composição química. Essas características da composição química são reforçadas nas fichas técnicas de processo, que contemplam todas as informações necessárias inclusive sobre os principais elementos de liga que influência conforme foi discutido anteriormente, e ficam disponibilizadas nas áreas de produção para facilitar a visualização das mesmas durante a entrada de produção de qualquer item conforme figura 23.

Figura 23 – Ficha técnica de processo

FT 003 - FICHA TÉCNICA DE PROCESSO - METALÚRGICO					CÓDIGO PEÇA	CÓDIGO PRODUTO	PROCESSO		
					1307 395 158	TI 150	02		
CLIENTE		DESCRIÇÃO		LINHA DE MOLDAGEM		QTE. MODELOS		QTE MOLDES P/ PANELA (380Kg)	
ZF do Brasil		CARÇAÇA		MOLDAGEM VICK		3			
Nº DO DESENHO	1307 395 175	PESOS			RENDIMENTO METÁLICO		6 moldes		
Nº DA PEÇA	1307 495 158	PESO PEÇA (Kg)	PESO CANAL	PESO ÁRVORE			QTE MOLDES P/ PANELA (250Kg)		
REVISÃO DESENHO	G	15,00	16,50	61,50	73,17%		4 moldes		
DATA DE REVISÃO	24/03/2010								
DADOS OPERACIONAIS									
TEMPERATURA DE VAZAMENTO		TEMPOS			NODULARIZAÇÃO		INOCLUÇÃO		PÓS INOCULAÇÃO
MÍN.	MÁX.	VAZAMENTO	FADING	DESMOLDAGEM	TIPO	QTE (Kg)	TIPO DE INOCULANTE	TRANSFERÊNCIA FÓRMICA/PANELÃO	TRANSE. PANELÃO / PANELINHA
1390°C	1400°C	9 seg.	8 Min.	40 minutos	-	-	Sical 81	1,850 Kg	-
TIPO DE MATERIAL - PROPRIEDADES MECÂNICAS									
MATERIAL	CLASSE / MATERIAL		DUREZA		RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (Mpa)	ESCOAMENTO (Mpa)	ALONGAMENTO %		
	TIPO	CLIENTE	MÁX.	MÍN.					
Cinzentos	C6	EN-GJL-230-ZF103	240	180	220	-	-		
PROPRIEDADES METALÚRGICAS							TRATAMENTO TÉRMICO		
FORMA DA GRAFITA	TIPO DE GRAFITA		TAM. DA GRAFITA		MATRIZ				
LAMELAR	TIPO A (mínimo 85%)		4 a 6		Matriz perlítica com 10% de Ferrita livre, sem Ledeburita		Não		
OBSERVAÇÕES									
* CHECAR A TEMPERATURA INICIAL DO VAZAMENTO					* RETIRAR UMA MEDALHA DA PRIMEIRO PANELÃO VAZADO PARA VERIFICAR COMPOSIÇÃO QUÍMICA FINAL DA FORNADA.				
* BAIXAR O MÁXIMO A PANELINHA DURANTE O VAZAMENTO									
* LIMPAR A ESCÓRIA DA PANELINHA ANTES DO VAZAMENTO									
* RETIRAR UM CORPO DE PROVA DE CINZENTO A CADA CORRIDA VAZADA									
* UTILIZAR 0,26 % DE GRAFALOY NA PANELA DE TRANSFERÊNCIA SOBRE O VOLUME DE METAL VAZADO. PANELA DE 380 Kg UTILIZAR 0,98 Kg									
* SEPARAR AS PEÇAS POR CORRIDAS NA QUEBRA DE CANAL									
Obs. % inoculação molde = 0,70 gramas					Obs. Cu (Cobre)- 0,85% a 0,95%				
					Carbono C - 3,45% a 3,50%				
					Estanho Sn - sair na máxima - 0,08%				
					Sair no forno.				
Elaborado Por		Aprovado por			Emissão	Revisão	Data de revisão		
Analista Técnico em Fundição		Gerente de Engenharia de Processos			03/03/2010	23	22/01/2014		

Fonte: (Técnica Industrial Tiph, 2014)

O certificado de qualidade (Figura. 24), demonstra que após a liberação da composição química, onde apresentou melhor desempenho, observa-se que nas produções seguintes o material cinzento apresentou resultados parecidos, mantendo próximos seus valores mesmo com produções variando dia e turno. Essa sequência de bons resultados demonstra que a composição química definida, esta atuando de maneira satisfatória, tendo em vista que os parâmetros definidos estão dentro das normas dos clientes e seus ensaios para confirmação apresentam resultados satisfatórios.

Figura 24 – Certificado de qualidade

FQ038		CERTIFICADO DE QUALIDADE						
CLIENTE:		DESCRIÇÃO DO PRODUTO:			NÚMERO DA NOTA FISCAL:			
ZF		CARCAÇA						
NORMA:		CÓDIGO DO PRODUTO:						
EM G JL 250 ZF 103		1307495158			QUANTIDADE:			
Nº DESENHO:		MATERIAL:						
1307395175		CINZENTO						
ESPECIFICADO			ENCONTRADO					
ELEMENTOS QUÍMICOS	%C	3,45 a 3,55	3,45	3,48	3,47			
	%Si	1,70 a 1,90	1,82	1,91	1,78			
	%Mn	0,70 a 0,80	0,822	0,801	0,728			
	%P	0,000 a 0,130	0,038	0,039	0,041			
	%S	0,060 a 0,080	0,088	0,062	0,072			
	%Mg	0,000 a 0,0035	0,0012	0,0018	0,0012			
	%Cu	0,85 a 0,95	0,879	0,923	0,911			
%Sn	0,060 a 0,080	0,077	0,083	0,072				
Propriedade Mecânica	Dureza (HD)	180 - 240	217	197	197			
	Valor de Tensão	200 Mpa	223,40	310,90	315,40			
ANÁLISE METALGRÁFICA	GRAFITA		GRAFITA					
	Tipo / Disposição	TIPO A	85%	85%	85%			
	Tamanho	4 A 6	4 - 6	4 - 6	4 - 6			
	Notulidade	N/A	N/A	N/A	N/A			
	MICROESTRUTURA		MICROESTRUTURA					
	PERLITA	Predominante	95%	95%	95%			
FERRITA	Resante	5%	5%	5%				
DESCRIÇÃO CORRIDAS PRODUZIDAS			106 A	113 D	115 B			
DATA DA FUSÃO (RASTREABILIDADE PEÇA)			016 YD	017 YD	017 YNB			
QUANTIDADE ENVIADA POR CÓDIGO DE CORRIDA								
QUANT. DO LOTE PRODUZIDA POR CÓDIGO DE CORRIDA			126	126	126			
NÚMERO DO CERTIFICADO METALÚRGICO			119/2014	126/2014	126/2014			
Descrição da disposição final:			<input checked="" type="checkbox"/>	APROVADO	<input type="checkbox"/>	REPROVADO	<input type="checkbox"/> ACEITÁVEL	
Responsável: Paulo Henrique Roque				Data:				

Fonte: (Técnica Industrial Tiph, 2014)

Os resultados de refugo são coletados por mês e colocados em uma tabela onde se considera vários defeitos que possam aparecer durante o mês e com essa informação é possível demonstrar a evolução com que a liga implantada esta sendo viável para a diminuição do refugo conforme análise interna registrado pela diminuição principalmente do defeito rechupe conforme tabela 07.

Tabela 07 – Acompanhamento por defeito

Acompanhamento por defeito 1307495 158												
Data da inspeção	Bolha de gás	Deslocamento bruto	Devolução ZF do Brasil	Ferro Frio	Inclusão de areia	Manuseio	Molde quebrado	Sinterização	Rechupe	Trinca	Usinagem	Total
14/01/14	4	7	0	0	0	0	0	0	27	13	2	53
27/01/14	0	2	0	0	2	0	1	0	0	0	0	5
Total	4	9	0	0	2	0	1	0	27	13	2	58

Fonte: (Técnica Industrial Tiph, 2014)

Análise da tabela demonstra que os defeitos rechupe e trincas que apresentavam reclamações nos clientes foram eliminados da produção.

9 CONCLUSÃO

O fator principal que orientou o desenvolvimento deste trabalho foi à percepção de pontos que prioritariamente devem ser melhorados no processo produtivo da empresa. Assim, o trabalho teve como principal objetivo, demonstrar o ganho de produtividade e diminuir os refugos utilizando a composição química mais adequada para o processo e levando em consideração as normas que os clientes exigem para as peças fabricadas.

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 a temperatura ambiente contribuem na qualidade do produto fundido. É preciso que estas tenham operadores qualificados e um processo estabilizado, pois assim pode-se alcançar a qualidade do produto fundido e garantir as propriedades mecânicas exigidas pelo cliente.

Além disso, para que se obtenham 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 idéias 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 fabrica industrial.

REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **EB - 126: Peças em ferro fundido cinzento classificadas conforme a resistência à tração.** Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

CHIAVERINI, Vicente. **Estrutura e propriedades dos metais e ligas. Processo de Fabricação.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. LTDA, 1977.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos: Características gerais; tratamentos térmicos, principais tipos.** 7. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1996. v.6.

FONSECA, Marco Túlio. **Metalurgia dos ferros fundidos cinzento e nodulares.** Itaúna: Senai Dr MG/Cefet, 2007.

KONDIC, Voya. **Princípios metalúrgicos de fundição.** São Paulo: Poligono, Ed. da Universidade de São Paulo, 1973.

KRAJEWSKI, Lee J. **Administração de Produção e Operações.** 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

PARANHOS FILHO, Moacyr. **Gestão da produção Industrial.** 20. ed. Curitiba: Ibpex, 2007.

SOUZA, Sergio Augusto de. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos. Fundamentos teóricos e práticos.** 5. ed. São Paulo, Edgar Blüchies, 1982.

TÉCNICA Industrial Tiph S/A. Disponível em: < <http://www.tiph.com.br> >. Acesso em: 21 de Março. 2014, 21h00min.