

DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE COMPONENTES HIDRÁULICOS EM FERRO FUNDIDO VERMICULAR DESTINADOS AO SANEAMENTO E IRRIGAÇÃO ¹

Ivaldo Assis do Nascimento ²
Assis Moura Nascimento ³
André Luís de Brito ⁴

Resumo

O ferro fundido tem uma ampla gama de propriedades que possibilitam a sua aplicação em diferentes peças. Essas propriedades em sua maior parte estão correlacionadas com a sua estrutura que pode ser modificada pelo controle de algumas variáveis. A evolução dos conhecimentos da metalurgia do ferro acompanha o desenvolvimento da tecnologia o que permite a obtenção de materiais de alta qualidade. Se buscarmos as linhas de estrutura do progresso, vemos que na história da humanidade, os materiais de fabricação de tubos, evoluíram da madeira para a pedra, seguida da argila, depois vieram o cobre e o chumbo, passando para o ferro. O ferro fundido representa um papel importante na confecção de produtos hidráulicos, sendo, que as propriedades principais especificadas (estanqueidade, resistência a tração, modulo de elasticidade, alta resistência ao desgaste, à fadiga e a corrosão) permitem que esse material seja capaz de manter fluidos hidráulicos sob alta pressão e velocidade. No presente trabalho executou-se testes utilizando-se terras – raras como agente vermicularizante, variando a inoculação entre FeSi e SiCa na panela e molde, com adições de bismuto e zircônio na panela de vazamento. Na quinta experiência (0,12%MM), optou-se pela inoculação no molde com 0,25%CaSi em pó, porém adicionamos 0,45% de FeSiZr + 0,002%Bi na panela. Os resultados foram totalmente satisfatórios, comprovando-se a soma do efeito deletério do zircônio, principalmente em peças finas, com a menor ação porém com mais eficácia da inoculação no molde, em promover a grafita vermicular.

Palavras-chave: Ferro fundido; Fabricação; Vermicular.

DEVELOPMENT AND PRODUCTION OF HYDRAULIC COMPONENTS IN VERMICULAR CAST IRON USED IN SANITATION AND IRRIGATION

Abstract

Cast iron can be used to make different parts due to its wide range of properties. Most of these properties are correlated to its structure that can be changed by controlling some variables. The evolution of knowledge concerning iron metallurgy has accompanied the development of technology, which has enabled it to obtain high quality materials. If lines of progress are observed, one can see throughout history, materials used to make piping, evolved from wood to stone, followed by clay, then came copper and lead, moving on to iron. Cast iron plays an important role in the making of hydraulic products, as the specified main properties (imperviousness, resistance against traction, resistance against hydraulic products, elasticity module, high resistance against wear, fatigue and corrosion) allow this material to hold hydraulic fluids under conditions of high pressure and speed. In this work tests were carried out using soils – rare ones, as vermicular agents, varying inoculation between FeSi and SiCa in the pan and mould, with additions of bismuth and zircon in the emptying pan. In the fifth experiment (0,12%MM), the choice was inoculation in the mould with 0,25%CaSi in powder, however, 0,45% of FeSiZr + 0,002%Bi was added in the pan. Results were totally satisfactory, proving the added deleterious effects of zircon, mainly in thin parts, with less action, however, and more efficiency in inoculation in the mould, in promoting vermicular graphite.

Key words: Cast iron; Fabrication; Graphite

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Engº Eletrecista - Diretor Técnico e Coordenador da Divisão de Ensino e Pesquisa da Spectru Ltda.*

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

⁴ *Técnico Industrial Metalúrgico Especializado – Técnico do Laboratório de Metalurgia Extrativa da Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda / Pólo Universitário de Volta Redonda / Universidade Federal Fluminense e Técnico de Pesquisa e Desenvolvimento da Divisão de Metalurgia da Spectru Instrumental Científico Ltda.*

1 INTRODUÇÃO

Somente por volta de 1350 é que se obteve ferro em estado líquido, onde observou-se que havia grafita precipitada na forma lamelar. As experiências de se modificar a cristalização dessa grafita, para a forma nodular começaram em 1936. Em 1955, houve sugestão da utilização de um material com morfologia de grafita intermediária as duas primeiras, sendo denominada de vermicular. Este tipo de ferro fundido encontrou grande aplicação em discos e tambores de freio, coletores de escape, cabaçotes, pistões, lingoteiras e placas de assentos, engrenagens, bloco de motores, carcaças de turbinas e bombas, componentes hidráulicos e engrenagens. A sua utilização em tubulações se motiva pelo fato do ferro fundido vermicular possuir uma resistência à corrosão maior que o nodular, menor custo e maior facilidade de fabricação com menor refugo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Corrosão: Conceitos e Mecanismos Básicos^(1,2)

A corrosão das superfícies de ferro e aço é, genericamente, um mecanismo inverso ao, da sua metalurgia. Em sentido mais amplo, a corrosão dos metais engloba fenômenos químicos e eletroquímicos que ocorrem entre a superfície do metal e os materiais com os quais permanece em contato. Tais fenômenos processam-se por reações que originam deslocamentos de elétrons do metal corroído (anodo) através de uma solução condutora (eletrólito) formando-se íons metálicos que se dirigem ao catodo oxidando-se e desintegrando o metal.

No caso específico do ferro, este tende a dissolver-se no eletrólito (água ou umidade ambiental) e ser oxidado pelo oxigênio. Na ausência de umidade em ambientes absolutamente secos, o ferro não é passível de corrosão.

A ferrugem, óxido de ferro hidratado ($4\text{Fe}+2\text{H}_2\text{O}+3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3.\text{H}_2\text{O}$), é um composto esponjoso e não aderente, formando camadas porosas e permeáveis que permitem a continuidade do processo de oxidação-corrosão.

A relação entre quantidades de água e oxigênio necessárias para a progressão da corrosão por unidade de superfície no aço ou ferro fundido, foram estabelecidas por alguns estudos em: 11 mg de água e 30 mg de oxigênio para 70 mg/cm²/ano de corrosão.

Avaliação dos Meios Corrosivos^[3]

A avaliação dos meios corrosivos é de extrema importância nos diferentes ramos de atividades, devido à deterioração que os diferentes materiais, metálicos e não-metálicos, podem sofrer quando colocados nestes meios. Os meios corrosivos que mais freqüentemente estão em contato com tubulação de ferro fundido são as águas e o solo. Deve-se destacar que estes meios, agindo isoladamente, ocasionam processos corrosivos intensos, entretanto, se houver a ação conjunta de meios corrosivos e solicitações mecânicas, têm-se a destruição acelerada do material metálico.

- *Água* :

Os materiais metálicos, em contato com água, tendem a sofrer corrosão. Esta corrosão vai depender de várias substâncias que podem estar contaminando a mesma :

- gases dissolvidos: oxigênio, dióxido de carbono, amônia, dióxido de enxofre e outros
- sais dissolvidos: cloreto de sódio, de ferro, de magnésio, carbonato de sódio, bicarbonato de cálcio, de magnésio e de ferro
- bactérias e limos.

Na apreciação do caráter corrosivo da água também devem ser considerados o pH, velocidade de escoamento e temperatura da água.

Para gases dissolvidos na água, e considerando-se o oxigênio, que é o mais freqüentemente encontrado, verifica-se que o mesmo pode:

- funcionar como despolarizante, acelerando o processo corrosivo
- passivar superfícies metálicas, protegendo as mesmas contra a corrosão

Os outros gases podem também acelerar a ação corrosiva da água.

Os sais dissolvidos na água, como são eletrólitos fortes, podem influenciar no processo corrosivo acelerando-o. Convém, porém, não generalizar essa afirmativa, pois, dependendo do sal, pode-se ter uma diminuição do processo corrosivo. Podendo-se ter casos em que os sais dissolvidos funcionam como inibidores de corrosão.

As bactérias presentes na água podem ocasionar casos de corrosão microbiológica. Estes microorganismos podem agir de diversas formas:

- ⇒ oxidam compostos inorgânicos de enxofre a ácido sulfúrico, tornando a água ácida e bastante agressiva : são as chamadas bactérias oxidantes de enxofre, como *Thiobacillus thiooxidans*
- ⇒ redução de sulfato a sulfeto, agindo como despolarizadores catódicos, acelerando, portanto, o processo corrosivo: são as bactérias redutoras de sulfato, como *Desulfovibrio desulfuricans*, que são bactérias anaeróbias
- ⇒ oxidam ions Fe^{2+} , dissolvidos na água, para ions Fe^{3+} , que vão formar depósitos de óxido ou hidróxido de ferro (III), $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ ou $Fe(OH)_3$, que ficam aderidos nas paredes das tubulações, constituindo os chamados tubérculos. Estes diminuem a capacidade de vazão da tubulação e, ao mesmo tempo, criam condições para ocorrência de corrosão por aeração diferencial. Este óxido de ferro, finamente dividido, pode ser arrastado pela água, dando uma coloração avermelhada à mesma. Permitindo então a cultura e proliferação de algas e limos.

No caso da água, deve-se considerar a influência do pH no processo corrosivo, pois, dependendo dos valores de pH e do material metálico, pode-se ter corrosão acelerada.

Em relação a velocidade de escoamento, pode-se dizer que quando o fluido está em movimento, uniforme ou turbulento, a taxa de corrosão varia. Um aumento da velocidade de escoamento, tem como consequência queda de pressão, ocorrendo o fenômeno de cavitação ou cavitação-corrosão. O movimento relativo do fluido inicialmente aumenta a taxa de corrosão, pois mais oxigênio entra em contato com a superfície. Em velocidades mais elevadas, a quantidade de oxigênio que entra em contato com a superfície pode causar passivação, havendo decréscimo na taxa inicial de corrosão. Pode-se ter um aumento da taxa de corrosão relacionado com a ação mecânica de erosão devido ao produto de corrosão, isto é, em altas velocidades o líquido alia à sua ação corrosiva a ação erosiva. Em alguns casos, o movimento do fluido pode ser benéfico, pois, homogeneizando a composição do meio e o teor de oxigênio, impede a formação de pilhas de concentração, diminuindo a taxa de corrosão, e, também, impede a deposição de partículas sólidas, que criariam condições para ocorrência de corrosão por aeração diferencial.

Em relação à temperatura, pode-se dizer que, de modo geral, o aumento de temperatura acelera a corrosão, pois têm-se diminuição da polarização e da sobretensão, aumento de condutividade de eletrólito e da velocidade de difusão dos ions. Entretanto, pode, em certos casos, retardar a corrosão porque diminui a solubilidade do oxigênio na água.

- *Solo:*

O comportamento do solo, como meio corrosivo, deve ser considerado de grande importância, levando-se em consideração as enormes extensões de oleodutos, gasodutos, cabos telefônicos e tubulações de água, que exigem um controle rigoroso de manutenção para evitar corrosão acelerada. Em geral a velocidade de corrosão no solo não é muito influenciada por pequenas variações na composição ou estrutura do material. O que vai influenciar mais é a natureza do solo. Assim, destacam-se os seguintes fatores: porosidade (aeração), condutividade elétrica, sais dissolvidos, umidade, correntes de fuga, pH e bactérias. Dentre estes fatores, deve-se destacar como dos mais importantes as correntes de fuga ou estranhas existentes no solo. Este destaque se deve ao fato destas correntes serem causa freqüente de corrosão eletrolítica de tubulações enterradas, nas proximidades de instalações de corrente contínuas, principalmente de sistemas de tração elétrica. Com o desenvolvimento de sistemas de tração elétrica, como transporte ferroviário e subterrâneo (metrô), deve-se considerar com todo cuidado a possibilidade de corrosão eletrolítica, em instalações próximas a estes sistemas, devido a possíveis correntes de fuga provenientes dos mesmos.

As bactérias existentes no solo podem, em alguns casos, destruir os revestimentos protetores aplicados, possibilitando o processo corrosivo: bactérias que consomem o material celulósico usado em revestimentos, havendo oxidação da celulose para ácidos, como acético e butírico, que atacariam o material metálico. Existe também a possibilidade de ação das bactérias de enxofre: oxidantes de enxofre e sulfetos e redutores de sulfato.

Corrosão em Tubulações Enterradas^[4]

Quando uma tubulação de aço ou ferro fundido é enterrada, ele fica sob a ação de processos corrosivos ou pilhas de corrosão, que podem ser causadas por:⁽¹⁾ contatos elétricos entre dois metais diferentes. Quando qualquer dos metais utilizados normalmente em tubulações é colocado em contato, com o solo, existe uma diferença de potencial entre esse metal e o solo. O sentido convencional da corrente se estabelece sempre a partir do metal de potencial mais alto, através do solo, para o metal de potencial mais baixo (o movimento de elétrons se processa em sentido inverso), formando assim a chamada pilha de corrosão. Quando isso acontece, o metal que libera corrente para o solo se corroe, adquirindo comportamento anódico, e o metal que recebe a corrente de solo fica protegido, adquirindo comportamento catódico. A corrosão que se processa em tubos de ferro fundido enterrados ou submersos, resulta da ação, também, de uma pilha galvânica, com o ferro se corroendo em benefício da grafite.⁽²⁾ Heterogeneidades do aço ou ferro, os metais, largamente utilizados em instalações enterradas não são homogêneos. Essas variações fazem com que as superfícies do material se comportem como se fossem constituídas de materiais metálicos diferentes. As pilhas de corrosão, formadas ao longo da superfície do material, tanto podem ser microscópicas como macroscópicas e a intensidade do processo corrosivo

dependerá, da magnitude da diferença de potencial que se estabelece nas pilhas formadas.⁽³⁾ Heterogeneidades do solo, Os solos possuem heterogeneidade que agravam os problemas de corrosão, uma vez que tais variações (resistividade elétrica, grau de aeração, composição química, grau de umidade e outras) dão origem, também, às pilhas de corrosão nas superfícies dos materiais metálicos neles enterrados.⁽⁴⁾ Eletrólise causada por fontes externas de força eletromotriz (como os geradores de corrente contínua das estradas de ferro eletrificadas) ou, como acontece na maioria das vezes,⁽⁵⁾ pela combinação de alguns ou de todos esses fatores atuando ao mesmo tempo. Em casos especiais, bastante raros, uma tubulação enterrada pode ser atacada também pela corrosão química resultante da ação de certos tipos de bactérias.

Formação da grafita vermicular^[5-8]

Os mecanismos de nucleação da grafita ainda não são perfeitamente conhecidos. Existe uma série de teorias a respeito, as quais não fazem afirmações categóricas sobre o tema.

O exame por metalografia convencional, sugere que as partículas de grafita vermicular sejam isoladas (não ramificadas), cada uma das quais sempre correspondendo a uma célula eutética. Porém por microscopia eletrônica de varredura, constata-se que esta grafita apresenta-se contínua em cada célula eutética, interconectada (formando um esqueleto), mas com as pontas arredondadas, com menores relações comprimento/espessura e com menor frequência de ramificação.

A Figura 1 mostra o aspecto via MEV dos tipos de grafita existentes.

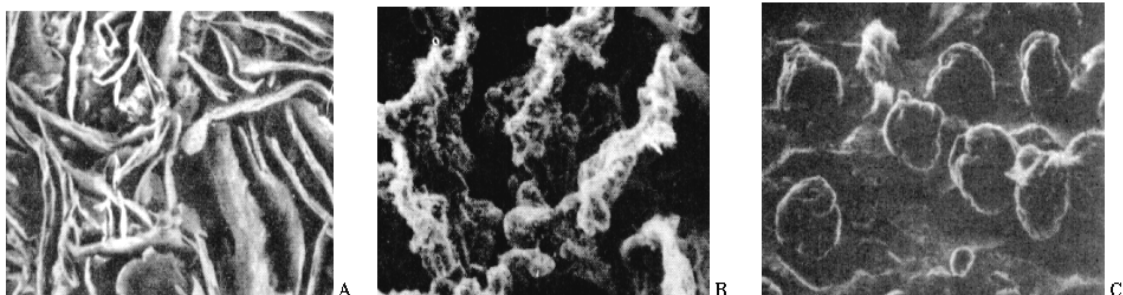


Figura 1 – Morfologia de grafita via MEV – a) lamelar, b) vermicular, c) nodular^[1]

A grafita tem sua morfologia determinada durante a solidificação, sendo afetada pelas condições de nucleação e crescimento.

Em 1951, atribuíram o crescimento da grafita vermicular a um valor insuficiente da energia de superfície grafita-líquido, para se obter a forma esferoidal.

Mais recentemente, cita-se que o crescimento durante a solidificação teria uma forma bimodal; ocorreria em um momento de forma cooperativa e em outro instante de forma divorciada.

Esta teoria, mesmo que ainda não totalmente aceita, tem encontrado base em trabalhos que sugerem que a nucleação das células eutéticas nos ferros fundidos vermiculares é heterogênea e que as partículas que atuam como centros efetivos de nucleação, podem ser as mesmas que nucleiam a grafita lamelar e esferoidal, contudo outras partículas provenientes de adições efetuadas para auxiliar a obtenção da grafita na forma intermediária, podem também ser eficientes.

Grunding, cita que a resistência mecânica da grafita é desprezível em relação à dos outros materiais microconstituíntes da matriz metálica, podendo assim ser considerada como descontinuidade.

Em um ferro fundido com mesma matriz metálica que um aço, quando a grafita se encontra na forma lamelar, obtém-se apenas 30% da resistência do aço. Modificando a forma desta grafita para esferoidal, alcança-se 70 à 90% dos valores obtidos no aço em questão. A forma vermicular da grafita, faz com que o ferro fundido atinja cerca de 40 a 60% da resistência mecânica de um aço com mesma matriz metálica.

Assim sendo a morfologia da grafita passa a ser um fator importante no controle das propriedades exigidas no projeto da peça. Nestes termos a quantidade de grafita, bem como o carbono equivalente, são fatores de importância especial.

Obtenção da Grafita Vermicular^[7-12]

Vários processos foram estudados, a fim de se obter com reprodutibilidade a forma de grafita, intermediária a lamelar e esferoidal.

- ⇒ Redução do teor de enxofre dissolvido no metal, seguido de resfriamento rápido;
- ⇒ Adição de elementos como Zr, Pb, Bi, Sn e N, em condições especiais;
- ⇒ Controle dos teores de elementos formadores de grafita nodular;
- ⇒ Adição conjunta de elementos nodularizantes (Mg, Ce) e anti-nodularizantes (Ti, Al, Sb)

Vermicularização de Ferros Fundidos Através da Adição de Terras – Raras^[1,7,13-15]

Em 1948, H. Morrogh, executou as primeiras experiências para obtenção da grafita vermicular com a adição de cério.

A fabricação de peças para caminhões e tratores neste material já ocorreria em 1968. Um ano depois em 1969 na Áustria, viria a melhora e consolidação do processo de vermicularização utilizando-se de terras-raras, que também passaria a ser aplicado industrialmente em toda Europa para confecção de peças grandes e pequenas.

O teor de adição de cério, presente nas terras-raras, depende do teor de enxofre do metal-base.

A vantagem do metal tratado com terras-raras está na menor perda do efeito do agente promovedor da grafita vermicular, operação limpa e segura, fácil adição e dissolução, menor quantidade de material adicionado e possibilidade de utilizar seu retorno para produção de outro ferro fundido qualquer.

As principais desvantagens, do processo seriam, grande tendência ao coquilhamento, formação de grafita nodular em seções finas ou moldes metálicos, ocorrência de grafita em grumos (Chunky) em seções mais espessas, necessidade de maior inoculação levando a defeitos ligados a isto, formação acentuada de carbonetos eutéticos, contração elevada gerando porosidades, rechupes e trincas.

Beckert & Buram, desenvolveram um estudo enfocando as variáveis mais importantes deste método de vermicularização, analisando o comportamento metalográfico de barras cilíndricas de 10, 20, 30, 50 mm de \varnothing e blocos em Y de 25 mm de espessura. Os resultados mostraram que para a obtenção de grafita predominantemente vermicular, uma adição de 0,15% em peso de terras-raras é suficiente, acompanhada de uma inoculação com 0,2% de FeSi75%, em ferro base

com faixa de enxofre entre 0,019 a 0,030%, respeitando-se um tempo de espera de mais de 7,5 minutos.

3 TESTES REALIZADOS

As fusões foram efetuadas em forno a indução, com carga composta de gusa, ferro-ligas, aço baixo carbono e retornos. Como vermicularizante utilizou-se terras – raras, como inoculante utilizou-se FeSi e SiCa, efetuando-se também adições complementares de bismuto e FeSiZr. O ferro base (3,80%C, 2,10%Si, 0,04%Mn, 0,003%S, 0,010%P), era superaquecido a 1500°C, durante 5 minutos. Os tratamentos efetuados em temperatura de 1470°C e vazamento a 1370°C. Utilizou-se adições na panela de vazamento tipo sifão com tampa, de 0,08 à 0,12% em peso de terras-raras, com inoculação de 0,3%FeSi75 + 0,002%Bi e 0,25 à 0,50% de CaSi + 0,002%Bi. O inoculante na forma granular para os dois casos foi adicionado no jato de metal após a panela ter preenchido 1/3 do volume total. No caso de inoculação no molde procedeu-se a adição de 0,25% de CaSi, moído para granulometria inferior a 200 mesh. O bismuto, mish-metal e FeSiZr foram colocados no fundo da panela, pré-aquecida, segundos antes do vazamento.

4 RESULTADOS E DISCUSÃO

No primeiro vazamento (0,08%MM + 0,3%FeSi na panela + 0,002%Bi) obteve-se grafita lamelar, devido a baixa percentagem do vermicularizante (Figura 2).

No segundo teste passou-se para 0,10%MM, mantendo-se as outras variáveis constantes, a forma da grafita obtida foi a Spiky. Se observarmos esta forma de cristalização, podemos considerar como quase vermicular, sendo afetada possivelmente pelo teor de TR e inoculação pouco eficiente (Figura 3).



Figura 2 – Experiência 1 mat. sem ataque 100x

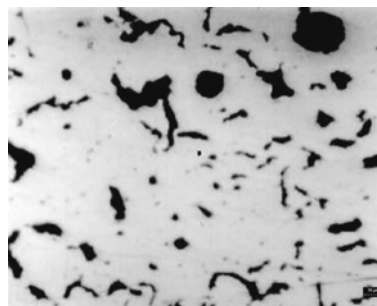


Figura 3 – Experiência 2 mat. sem ataque 100x

No terceiro vazamento, utilizou-se 0,12%MM e motivou-se a substituição do inoculante para 0,25%CaSi + 0,002%Bi na panela. As grafitas obtidas foram do tipo estrelada e esplodida (Figura 4). Observa-se geralmente este tipo de ocorrência em ferros fundidos, muito oxidados, de carbono equivalente elevado, com excessivo teor de nodulizante, com inoculação deficiente ou vazados em temperaturas elevadas. Com isso porém a forma da grafita originalmente seria a nodular. Tomou-se providências de proteção do banho no forno elétrico com carvão em brasa, controle da potência para baixar a altura do menisco do banho e trabalhou-se também com sucata mais limpa e selecionada.

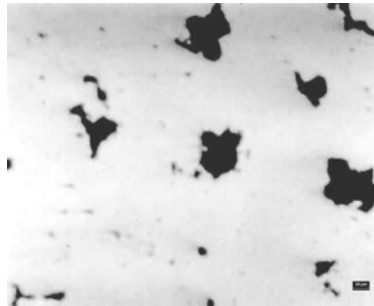


Figura 4 – Experiência 3 mat. sem ataque 100x

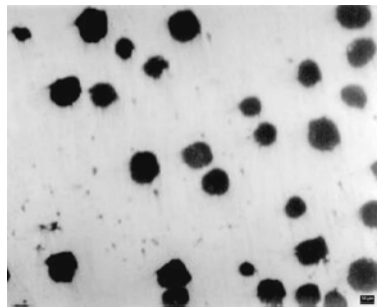


Figura 5 – Experiência 4 mat. sem ataque 100x

Na quarta experiência (0,12%MM), devido ao mencionado anteriormente, optou-se por uma inoculação com 0,5%CaSi + 0,002%Bi na panela, obtendo-se a grafita nodular, devido a combinação favorável da maior velocidade de resfriamento e maior teor de elementos nodulizantes (Figura 5).

Na quinta experiência (0,12%MM), optou-se pela inoculação no molde com 0,25%CaSi em pó, porém adicionamos 0,45% de FeSiZr + 0,002%Bi na panela. Os resultados foram totalmente satisfatórios, comprovando-se a soma do efeito deletério do zircônio, principalmente em peças finas, com a menor ação porém com mais eficácia da inoculação no molde, em promover a grafita vermicular (Figura 6).

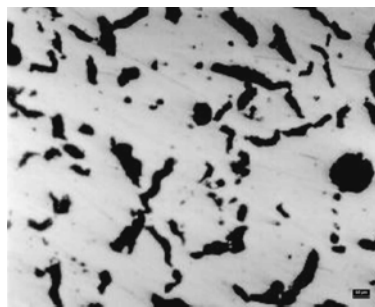


Figura 6 – Experiência 5 mat. sem ataque 100x

As características mecânicas desta série (nº 5), estão na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades mecânicas da experiência 5

LR (Mpa)	LE (Mpa)	LE/LR	A (%)	HB
346	270	0,76	4,7	160-198

5 CONCLUSÃO

As características de boa fundibilidade, resistência mecânica, resist. à corrosão e usinabilidade, tornam o ferro vermicular atrativo para produtos hidráulicos.

O tratamento com terras – raras se mostrou simples na sua execução e confiabilidade.

Nas peças fabricadas, os melhores resultados foram obtidos com um teor de terras – raras de 0,12% combinada com a inoculação no molde e as adições de zircônio e bismuto.

REFERÊNCIAS

- 1 BAPTÍSTA, A. L. B. - Um Estudo da Produção Industrial de Ferro Fundido Nodular e Vermicular, com Vistas a Fabricação de Componentes Hidráulicos (tubos e conexões), usados em Saneamento e Irrigação. *UFF/EEIMVR*, Volta Redonda - 1994.
- 2 ASSES. TÉC. DE TINTAS CORAL S.A. - Proteção pela Pintura. **Soldas e Eletrodos**, ano: II, nº 13, Março de 1979, págs.: 38 à 48.
- 3 GENTIL, V. - Avaliação de Meios Corrosivos. **Soldas e Eletrodos**, ano: II, nº 13, Março de 1979, págs.: 14 à 19.
- 4 GOMES, L. P. - Corrosão em Instalações Metálicas Enterradas ou Submersas. **Soldas e Eletrodos**, ano : II, nº 13, Março de 1979, págs.: 10 à 13.
- 5 SANTOS, A. B. S. et al. - Ferro Fundido Vermicular. Obtenção, Microestruturas e Propriedades Mecânicas. **Metalurgia - ABM**, vol.: 36, págs.: 73 à 79, nº 267, Fevereiro de 1980.
- 6 NETO, A. O. - A grafita na Solidificação dos Ferros Fundidos. **Máquinas e Metais**, págs.: 59 à 69, Setembro de 1988.
- 7 BAPTÍSTA, A. L. B. - Ferro Fundido Vermicular : Características e Produção. *UFF / EEIMVR*, Volta Redonda - 1994.
- 8 PIESKE, A. et al - Obtenção de Ferros Fundidos com Grafita Vermicular. **Metalurgia - ABM**, vol. 33, págs.: 333 à 339, nº 235, Junho de 1977.
- 9 BENTES, M. A. G. et al. - Estudo de processos para obtenção de ferro fundido vermicular a partir de gusa de primeira fusão - In: SEMINÁRIO SOBRE ACIARIA, REFRATÁRIOS, FORNOS ELÉTRICOS, FERRO-LIGAS E FUNDIÇÃO (ABM), Porto Alegre - RS, 27 à 30 de Setembro de 1993.
- 10 FERREIRA, E. et al. - Fabricação de lingoteiras em ferro fundido com grafita vermicular - In: SEMINÁRIO DE FUSÃO, VAZAMENTO E SOLIDIFICAÇÃO DE PEÇAS FUNDIDAS (ABM), São Paulo, 28 e 29 de Agosto de 1980.
- 11 PERIM, C. A. et al. - Fabricação de lingoteiras de médio porte em ferro fundido vermicular na companhia siderúrgica de tubarão - In: 50^o CONGRESSO ANUAL DA ABM, vol.: 3 - São Pedro, SP, 01 à 04 de Agosto de 1995.
- 12 FREITAS, R. A. & MALDI, J. - Fabricação de assentos para lingotamento direto em ferro fundido vermicular a partir de gusa de primeira fusão - In : SEMINÁRIO

DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO EM FUNDIÇÃO , Rio de Janeiro, Abril de 1988 .

- 13 BECKERT, E. A. & BURAM, P. V. - Efeitos de algumas variáveis de processo na fabricação de ferros fundidos vermiculares obtidos a partir de tratamentos com terras raras . **Metalurgia - ABM** , vol.: 42, nº 345, Agosto de 1986 , págs.: 555 à 563.
- 14 PIESKE, A. ; FILHO, L. M. C. ; ASSADA, F. - Obtenção de ferros fundidos com grafita vermicular - In : CONGRESSO DE FUNDIÇÃO DA ILAFA , 7 à 11 de Novembro de 1976 - RJ , Brasil, págs.: 49 à 56.
- 15 SANTOS, A. B. S. et al. - Processos de nodulização de ferros fundidos . **Metalurgia - ABM** , vol.: 39, nº 311, Outubro de 1983 , págs.: 521 à 526.