

SOLDABILIDADE EM FERRO FUNDIDO***Fábio Seabra Puglia***

Graduando em Engenharia Mecânica / ISECENSA
f_puglia@hotmail.com

Deivid Edson de Alvarenga Silva

Graduando em Engenharia Mecânica / ISECENSA
deivid.alvarenga@bol.com.br

Yuri Porto Nogueira Campos

Graduando em Engenharia Mecânica / ISECENSA
yuri_nogueira1991@hotmail.com

Mário Lucas Santana Silva

Mestre em Engenharia e Ciências dos Materiais / UENF
mariolucas@ymail.com

RESUMO

O surgimento da soldagem veio para facilitar e otimizar processos industriais uma vez que sua utilização viabilizou a intensificação nos estudos dos materiais, suas aplicações e também sua soldabilidade. A soldagem em ferro fundido devido as suas dificuldades como o alto teor de carbono, é mais utilizada quando o equipamento exige manutenção ou reparação. Mesmo com muitas dificuldades e o desenvolvimento do estudo a respeito de ferros fundidos, estes materiais têm seu emprego aumentado, uma vez que apresentam propriedades mecânicas adequadas e tem diversos pontos positivos, no que diz respeito à economia da indústria. Como qualquer soldagem de manutenção, o tamanho da peça e sua geometria são fatores que dificultam a realização do trabalho, bem como a necessidade de interrupção, ou ao menos uma diminuição do processo produtivo. Contudo, esses fatores que dificultam a soldabilidade em ferro fundido serão abordados neste artigo, como a obtenção de um melhor resultado na manutenção de uma peça composta por ferro fundido.

Palavras Chave: Soldabilidade em Ferro Fundido; Soldagem de Manutenção; Processos de Soldagem.

ABSTRACT

The emergence of welding came to facilitate and optimize industrial processes since their use allowed the intensification of studies of materials, their applications and also its weldability. Welding cast iron because of their difficulties as the high carbon content, is most commonly used when the equipment requires maintenance or repair. Even with many difficulties and the study of development on cast iron, these materials have increased their use, since they have appropriate mechanical properties and has many good points, with regard to the economics of the industry. Like any welding maintenance, the part size and geometry are factors that hinder the realization of the work as well as the need to interrupt, or at least a reduction in the production process. However, those factors that hinder the weldability cast iron will be covered in this article, such as obtaining a better result in the maintenance of a piece composed by cast iron.

Keywords: Weldability Cast iron; Maintenance Welding; Welding Processes.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Soldagem

Soldagem como o método em que se consegue a união de metais, assegurando na junta a continuidade das propriedades químicas e físicas do metal base. O processo de soldagem também é usado para a deposição de material sobre a superfície, com o objetivo de recuperar peças desgastadas ou para a formação de um revestimento (BRANDI, 1992). Sendo assim, a soldagem se tornou o método mais barato, importante e versátil de união entre os materiais.

1.1.1 Processos De Soldagem

FBTS (1983) descrevem a existência de dois grandes grupos de processo de soldagem, que são eles:

PROCESSO DE SOLDAGEM POR FUSÃO - baseia-se no uso de calor, aquecimento e fusão parcial das partes a serem unidas. Neste processo, utilizam-se meios de proteção para minimizar as tendências de reações do material fundido, com os gases da atmosfera. Dentre os principais processos de soldagem por fusão estão:

- *Soldagem ao arco submerso* - processo pelo qual um arco estabelecido entre um eletrodo metálico contínuo e a peça provoca aquecimento resultando na união dos metais. A ponta do arame de soldagem, o arco elétrico e a peça de trabalho são cobertos por uma camada de um material mineral granulado conhecido por fluxo para soldagem. Parte do fluxo é fundida gerando uma capa protetora sobre a poça de fusão da solda. O restante não fundido é recolhido para a reutilização. Trabalha com correntes de soldagem superiores a 1000A o que possibilita altas taxas de deposição. A soldagem por Arco Submerso é geralmente realizada com equipamentos automáticos e é utilizada na soldagem de tubos, em estruturas pesadas e na recuperação de peças.

As vantagens do processo são: elevada velocidade de soldagem, maiores taxas de deposição, boa integridade do metal de solda, processo de fácil uso, melhor ambiente de trabalho e maior segurança para o operador.

E as suas limitações: o processo de soldagem por arco submerso é limitado em relação às posições de soldagem plana e horizontal em ângulo.

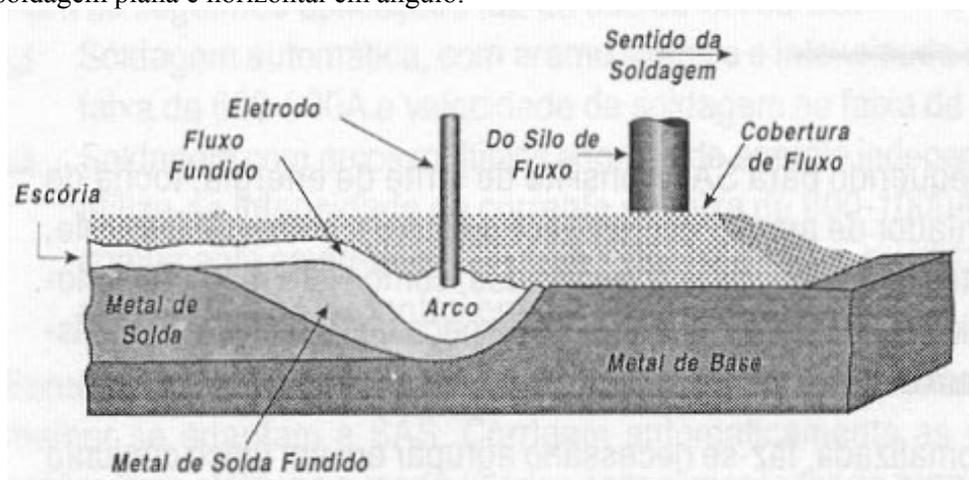


Figura 1 - Soldagem ao Arco Submerso

- *Soldagem a plasma* - é um método baseado no processo GTAW (Gas Metal Arc Welding, ou Soldagem ao Arco Elétrico com atmosfera de proteção gasosa) apresentando, como diferença fundamental, a utilização de um bocal extra que causa a concentração do arco elétrico que atua como uma fonte extremamente estável de calor permitindo a soldagem da maioria dos metais com espessuras de 0,02 a 6 mm ou mais. Na soldagem a plasma existem dois fluxos de gás separados, o gás plasma que flui à volta do eletrodo não consumível de tungstênio, formando o núcleo do arco plasma e um gás de proteção que evita a contaminação do banho em fusão. A soldagem a plasma por apresentar um elevado custo, é mais utilizada em indústrias de alta tecnologia.

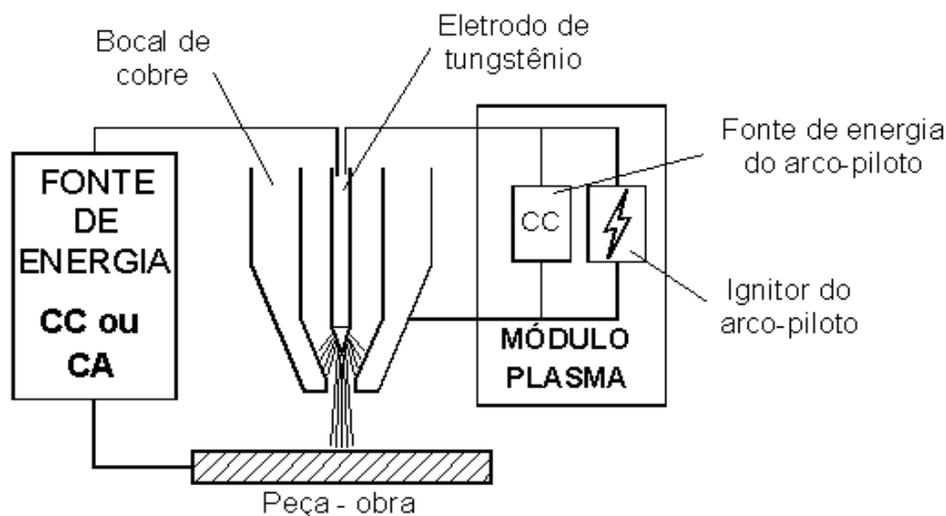
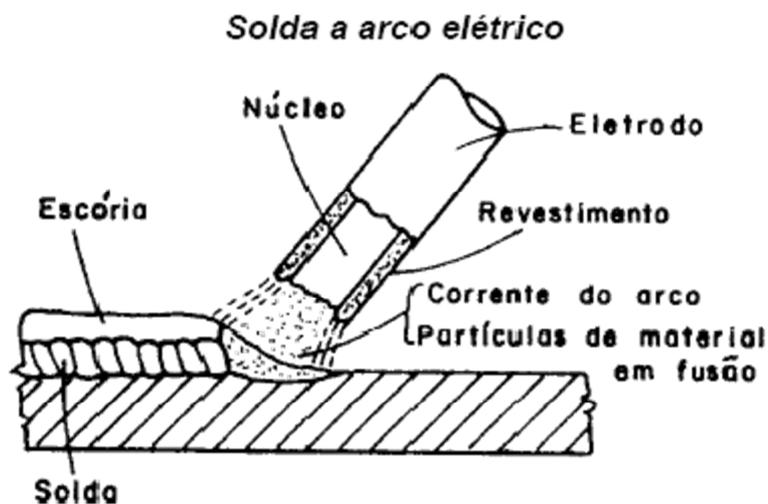
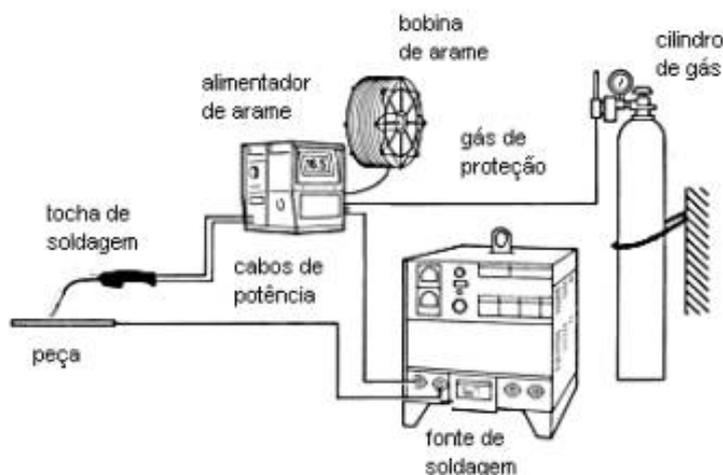


Figura 2 - Soldagem a Plasma

- *Soldagem a arco com eletrodos revestidos* – neste processo o aquecimento é ocasionado por um arco localizado entre um eletrodo especial revestido e a peça, resultando na coalescência dos metais. O eletrodo é formado por um núcleo metálico, revestido por uma camada de minerais. O seu equipamento usual consiste em fonte de energia (ou máquina de soldagem), porta-eletrodo e cabos, além de equipamentos de segurança para o soldador (máscara, luvas, avental, etc.) e para a limpeza do cordão e remoção de escória (picadeira e escova de aço). Usado na soldagem de quase todos os metais, exceto cobre puro, metais preciosos, reativos e de baixo ponto de fusão.



- *Soldagem GMAW (MIG/MAG)* - é um processo de soldagem a arco gás-metal que ocorre por meio do arco elétrico. A proteção do arco e poça de fusão é obtida por um gás ou mistura de gases. Se este gás é inerte (Ar/He), o processo é chamado **MIG** (Metal Inert Gas), se o gás for ativo (CO₂ ou misturas Ar/O₂/CO₂), o processo é chamado **MAG** (Metal Active Gas). Neste processo de soldagem é utilizada a corrente contínua e geralmente o arame é utilizado no pólo positivo (polaridade reversa). É utilizado na soldagem de aços carbono, baixa e alta liga, não ferrosos, com espessura $\geq 1\text{mm}$, na soldagem de tubos, chapas, etc. Pode ser soldado em praticamente todas as posições.



- *Soldagem a laser* - a união dos metais ocorre através de um feixe de luz de alta intensidade, suficiente para fundir e vaporizar parte do material da junta no ponto de entrada do feixe no material, causando um furo (*keyhole*) que penetra profundamente no metal base.

Este método apresenta algumas vantagens como: não necessita de vácuo sobre a peça, não ocorre a geração de raios X com laser e facilita a automação do processo.

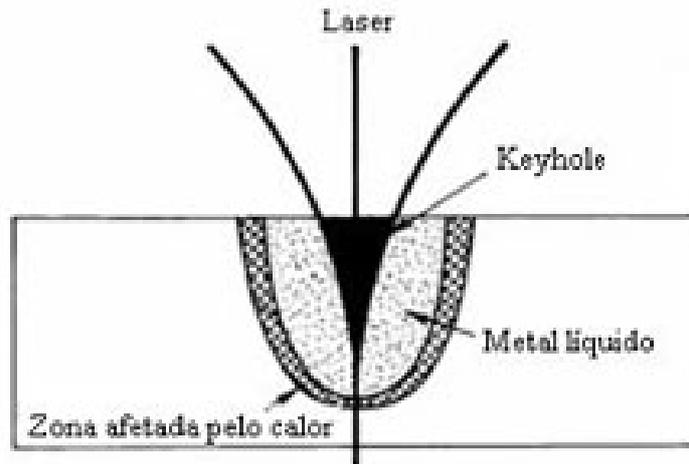


Figura 5 - Soldagem a Laser

- *Soldagem por feixe eletrônico* - ocorre a aplicação de feixe de elétrons em alta velocidade ocorrendo à união dos metais. A energia cinética dos elétrons se transforma em calor durante o impacto, fazendo com que as peças e o material de preenchimento (se houver) se fundem a fim de formar a solda. A soldagem por meio de feixe de elétrons é aplicada na indústria nuclear e aeroespacial.

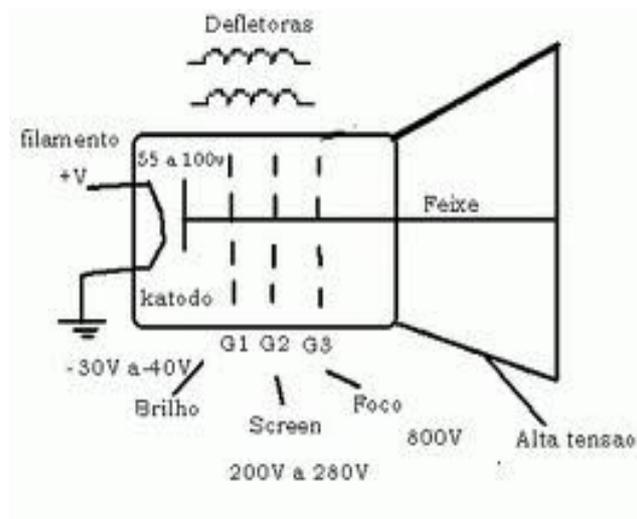


Figura 6 - Soldagem por Feixe de Elétrons

- *Soldagem a Oxi-Gás* - utilizam o calor produzido por uma chama de combustível gasoso e oxigênio para fundir o metal. Se este método for usado por meio de pressão sua aplicação é mecanizada, senão, o uso é manual. O gás mais usado é o acetileno, sendo utilizado na soldagem manual de aço carbono, Cu, Al, Zn, Pb e bronze e na soldagem de chapas finas e tubos de pequeno diâmetro.

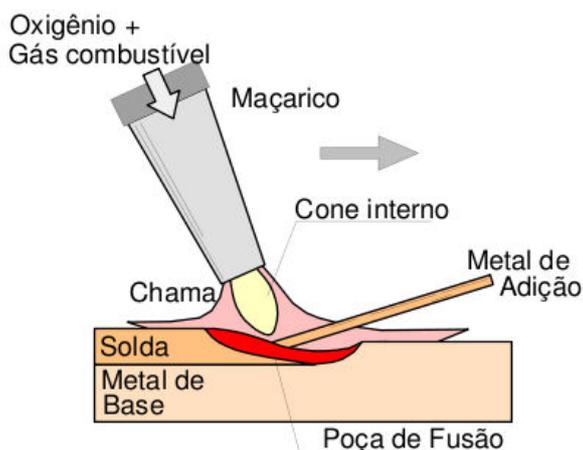


Figura 7 - Soldagem Oxi-Gás

1.2 Soldabilidade

Segundo Infosolda (2014), a soldabilidade é a capacidade do material ser soldado sem a presença de microestruturas que possam interferir nas suas propriedades mecânicas. Um material com boa soldabilidade deve se apresentar, após a soldagem, sem concentração excessiva de tensões internas e com boas propriedades mecânicas de tenacidade e ductilidade.

Para determinar a soldabilidade de um material é fundamental considerar o processo, o procedimento de soldagem, sua aplicação e a estrutura do material observando se as propriedades do metal base são adequadas para resistir a aplicação desejada.

Por isso, se faz necessário uma extrema avaliação da junta soldada que deve apresentar resistência mecânica, ductilidade, tenacidade, resistências à fadiga e à corrosão uniformes ao longo da solda e similares às propriedades do material adjacente.

Existem alguns problemas que podem afetar a determinação da soldabilidade, que são problemas na zona termicamente afetada durante ou após a soldagem como: poros, trincas de solidificação, trincas induzidas pelo hidrogênio, perda de resistência mecânica, problemas na solda que ocorrem na etapa de um processo de fabricação posterior a soldagem, resultando na quebra de componentes na região da solda; e problemas na solda ou no material adjacente que ocorrem em certo momento durante o serviço da estrutura soldada.

Os efeitos de soldagem nas seguintes propriedades: ductilidade do metal de base e do metal de solda, trincas no metal de base e no metal de solda, penetração de solda, formação de poça de fusão, são observados através de alguns testes de soldabilidade que podem ser auto-restringidos ou restrição externa, de acordo com a tensão envolvida.

- *Testes auto-restringidos*- utilizam junta especial que pode gerar na solda tensões transientes e residuais, que levam a formação de trincas. Este grupo abrange o Teste Tekken, Teste Lehigh e o Teste CTS(Controlled Thermal Severity Test).
- *Teste com restrição externa*- são testes feitos durante ou após o processo de soldagem em que as tensões são ocasionadas por um dispositivo externo, aplicando uma carga ou deformação controlada ao material de teste. Este grupo abrange o Teste de Implante, Teste RRC(Rigid Restraint Cracking Test) e o Teste TRC(Tension Restraint Cracking Test).

1.3 Ferro Fundido

A soldagem em ferro fundido apresenta inúmeras peculiaridades; sabendo que o ferro fundido é uma liga metálica de Ferro, Carbono, e Silício, e encontramos um alto teor de carbono (2,11% a 6,7%), além de outros elementos de liga; e que a dificuldade de soldagem é diretamente proporcional ao teor de carbono na estrutura da liga, já que existe uma ligação direta entre a dureza do material e seu endurecimento por resfriamento após a soldagem, o ferro fundido se torna um dos materiais que não apresentam um elevado índice de soldabilidade (MARQUES, 1991)

Modenesi (2004) destaca três classificações para o ferro fundido, que são: Ferro Fundido Branco, Ferro Fundido Cinzento, Ferro Fundido dúctil ou nodular.

- *Ferro Fundido Branco* – ferro cuja estrutura tem ausência de grafita, ou seja, uma estrutura coquilhada, seu principal componente é o cromo que possibilita altas resistências ao desgaste. É utilizado em peças que necessitam de um alto índice de resistência a abrasão. A peça deve ser fundida em suas formas finais, para ser usinada por meio do processo de abrasão com pouca remoção de material.

- *Ferro Fundido Cinzento* - possui grafite livre em sua microestrutura. Apresenta boa usinabilidade, alta fluidez na fundição, é de baixo custo e de fácil fabricação. Este tipo de material é utilizado em larga escala pela indústria de máquinas e equipamentos, indústria automobilística, ferroviária, naval e outras.

- *Ferro Fundido Nodular* - é uma classe onde o carbono mantém-se em forma esferoidal na matriz metálica. Esse material apresenta uma microestrutura típica caracterizada por nódulos ou esferas de grafita. A matriz metálica, que envolve estas partículas, pode ser ferrítica ou perlítica, ou ainda uma mistura destes dois, dependendo do tratamento térmico dado. O ferro fundido nodular é conhecido por sua ductilidade, mas a vantagem mais importante tem sido seu alto módulo de elasticidade e resistência mecânica, em combinação com resistência a corrosão, fácil fundição e usinabilidade.

1.3.1 Propriedades Mecânicas Típicas De Alguns Tipos De Ferro Fundido:

Quadro 1: Relação tipos de ferro fundido e suas propriedades mecânicas

Tipo	Microestrutura da matriz	Limite de escoamento(MPa)	Limite de resistência(MPa)	Alongamento(%)
Cinzento	Ferrítica-perlítica	---	125	---
Cinzento	Perlítica	---	275	---
Maleável	Ferrítica	225	345	10
Maleável	Perlítica	350	480	5
Nodular	Ferrítica	275	415	18
Nodular	Perlítica	380	550	6

Os Ferros Fundidos apresentam propriedades tão boas quanto a de aços estruturais apesar de possuírem porcentagem de carbono superior à do aço, este fato dificulta a soldagem em ferro fundido.

O coeficiente de escoamento do material varia dependendo do tipo de ferro fundido, mas ele é sempre menor que a de um aço. Os ferros fundidos dúcteis e maleáveis apresentam uma maior capacidade de acomodar tensões, e por esse motivo trazem um menor risco de trincamento durante a soldagem.

Quadro 2: Composição química (% em peso) de ferros fundidos não ligados:

Tipos de Ferro Fundido	C	Si	Mn	S	P
Branco	1.8-3.6	0.5-1.9	0.25-0.8	0.06-0.2	0.06 -0.2
Maleável	2.2-2.9	0.9-1.9	0.15-1.2	0.02-0.2	0.02-0.2
Cinzento	2.5-4.0	1.0-3.0	0.2-1.0	0.02-0.25	0.02-1.0
Nodular	3.0-4.0	1.8-2.8	0.1-1.0	0.01-0.03	0.01-0.1
Vermícula	2.5-4.0	1.0-3.0	0.2-1.0	0.01-0.03	0.01-0.1

Considerando a estrutura metalúrgica do material e sua quantidade de carbono definiremos em qual vertente de ferro fundido, a liga se enquadra, e com isso analisar qual será o processo de soldagem mais indicado e o procedimento que deverá ser utilizado, como um preaquecimento ou um tratamento para alívio de tensões. Testes de soldabilidade também serão feitos com a finalidade de observar os efeitos da soldagem, a fim de se obter o melhor resultado possível na restauração da peça em questão.

1.4 Soldagem De Manutenção

A soldagem em ferro fundido devido as suas dificuldades só é realizada quando o equipamento exige manutenção, este tipo de soldagem recebe o nome de soldagem de Manutenção.

Quando uma peça quebra, sua compra e troca demorariam alguns dias, uma vez que é raro as empresas usarem o método de estoque para trocas, o que significa um período com o processo produtivo interrompido, logo prejuízo; a soldagem de manutenção por ser uma solução barata e rápida para resolver esta questão.

Em países com desenvolvimento tecnológico mediano como o Brasil, este tipo de reparo é ainda mais importante, já que as máquinas possuem diversas origens e por vezes estão obsoletas, ou seja não são mais produzidas.

A soldagem de manutenção é totalmente diferente da Soldagem de Produção, nesta segue-se procedimentos reconhecidos internacionalmente (AWS) ou nacionais (NBR, FBTS), que dão diretrizes para a execução da solda, como o uso do consumível apropriado, a tipo de chanfro, a velocidade de soldagem, sua corrente e todos os demais fatores inerentes a uma boa soldabilidade.

Já na soldagem de manutenção estes parâmetros dificilmente serão seguidos, já que desconhecemos a composição química do metal base, que por vezes esta sujo ou contaminado, ou mesmo tensionado.

Somadas a estes obstáculos temos ainda a necessidade de celeridade no processo, para que a linha de produção sofra o menos possível, isto faz da soldagem de manutenção um procedimento tão importante quanto a de produção, porém com uma dificuldade muito maior.

Na soldagem de manutenção, quem decide o que fazer é o soldador, um profissional com ampla experiência na área, que define os procedimentos, e o faz sem a colaboração de um engenheiro ou projetista; baseado no local da falha, na causa da mesma, na temperatura de uso da peça.

Marques (1991) relata a existência do planejamento de soldagem, porque este tipo de soldagem não visa apenas consertar a consequência, mas também eliminar a causa. A soldagem de manutenção pode ser dividida em duas vertentes:

- Manutenção Corretiva: Executada quando a peça já está danificada, conserto.
- Manutenção Preventiva: Divide-se em duas ramificações.

A primeira é quando a peça sofre uma correção, e antes que entre em trabalho novamente faz-se um revestimento para prevenir qualquer futura ruptura; e a segunda é quando uma peça nova recebe um revestimento antes de entrar em operação.

2. CONCLUSÃO:

Mesmo o processo de soldagem em Ferros Fundidos apresentar várias características que dificultam sua realização como, por exemplo, o alto teor de carbono e, em geral, de fósforo e de enxofre; a tendência à formação de cementita na região da solda devido às velocidades de resfriamento relativamente elevadas associadas com a soldagem; a baixa ductilidade do metal base e de sua zona termicamente afetada e também a estrutura porosa dos ferros fundidos cinzento, maleável e nodular favorecendo a absorção de graxas e outras sujeiras durante o seu uso, esse método se difere em relação aos outros pela sua eficácia em tratar trincas e fissuras nesse tipo de material, uma vez que o ganho econômico é considerável quando ao invés de substituir uma peça inteira, pode-se apenas recuperá-la de maneira satisfatória e otimizar tempo no processo numa visão macro.

Conclui-se dessa forma que o processo de soldagem em ferro fundido é um processo que requer cuidados especiais devido a sua complexidade, quanto a composição química do metal, porém sua utilização é bastante viável quanto se leva em consideração o aspecto econômico por ser mais barato do que em algumas ligas metálicas, redução de tempo na manutenção do equipamento (evita a substituição da peça ou equipamento uma vez que ele poderá ser recuperado através da solda), os materiais utilizados para esse procedimento de solda são mais baratos do que alguns processos de solda em outras ligas metálicas e também pela praticidade deste processo uma vez que o maquinário das indústrias brasileiras estão em grande maioria obsoletos, necessitando desta forma de um reparo que seja rápido, prático e econômico.

3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRANDI, S. Et alii (Coordenação). **Soldagem - Processos e Metalurgia**, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 1992, 494 p.

FBTS, **Inspetor de Soldagem**, Fundação Brasileira de Tecnologia da Soldagem, vol. 1, fascículo 1, Norma PETROBRÁS N-1737, Rio de Janeiro, 1983.

FORTES, Cleber. **Metalurgia da Soldagem**. Disponível em: <http://www.esab.com.br/br/por/instrucao/apostilas/upload/apostila-metalurgia-da-soldagem.pdf> Acesso em: 24 mai. 2014

INFOSOLDA. **Soldabilidade dos ferros fundidos**. Disponível em: <http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/metalurgia/136-soldabilidade-dos-ferros-fundidos.html> Acesso em: 20 mai. 2014.

LACERDA, José Carlos & FONSECA, Marcelo Alves. **Apostila Tecnologia de Soldagem**, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (Campus do Vale do Aço), Cel. Fabriciano, Vol. 1, 2008, 62 p.

MARQUES, P. V. **Tecnologia da Soldagem**, ESAB/UFMG, Belo Horizonte, 1991, 352 p.

MODENESI, P. J. **Soldagem de Aços Transformáveis** (apostila), UFMG, Belo Horizonte, 2004.