

CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO PROCESSO FCAW PARA RECUPERAÇÃO DIMENSIONAL EM MANCAIS DE ENCOSTO (FABRICADOS EM FERRO FUNDIDO NODULAR CONFORME ASTM A 536 grau 60-40-18) de LAMINADORES DE TIRAS A QUENTE E DE TIRAS A FRIO) PARA O SETOR SIDERURGICO *

Vicente Pinto Neto¹
Jose Luis Pimentel²
Giovani Fernandes da Costa³
Felipe Diniz de Jesus⁴

Resumo

Este trabalho apresenta a análise e os resultados de ensaios físico-químicos e metalográfico, na recuperação dimensional, utilizando Procedimento de Soldagem com Arame Tubular (FCAW) em materiais de base em Ferro Fundido Nodular do tipo ASTM A 536 classe 60-40-18, aplicados em Mancais de Encosto de LTQ e LTF Siderúrgico. Para qualificação e aprovação do processo, foram realizados testes em amostras soldadas simulando condições de trabalho os quais são aqui apresentados. Através deste trabalho, concluiu-se a recuperação de seis Mancais de Encosto Siderúrgicos com Peso unitário médio de 8 Ton.

Palavras-chave: Mancal; Ferro fundido; Soldagem; Laminação.

CHARACTERIZATION AND EVALUATION FCAW PROCESS FOR OVERLAY WELD USING in BACKUP CHOCKS CAST IRON NODULAR MATERIAL (as ASTM A 536 grade 60-40-18) FOR THE ROLLING MILLS HOT AND STRIP COLD WELDING STEEL INDUSTRY)

Abstract

This paper presents the analysis of the results of physic-chemical tests and metallographic analyses, for application to dimensional repair overlay weld using welding procedure with Flux-cored gas Shielded - FCAW process, Backup Chocks for LTQ backboard and LTF Steel. The definition, qualification and approval of the welding process to be used, preliminarily been performed chemical tests and metallographic in samples welded with the base material in Cast Iron. The results presented in this paper were used to rebuild to the dimensional repair of the six chocks with average unit weight of 8 Ton.

Keywords: Rolling mill; Chocks; Cast iron; Weld overlay.

¹ Engº Metalúrgico e de Soldagem, Msc, Especialista em Soldagem, Primetals Brasil Ltda.

² Engº Mecânico, Especialista em Laminação, Primetals Brasil Ltda.

³ Técnico de Desenvolvimento Sênior, Primetals Brasil Ltda.

⁴ Planejador de Manutenção Industrial, Primetals Brasil Ltda.

1 INTRODUÇÃO

Os Mancais de Encosto são utilizados nas laminações das indústrias siderúrgicas e de processamentos de metais. Estes componentes são submetidos a complexos mecanismos de desgaste.

Aumentos de produtividade e de ações contínuas de redução de custo operacional, garantindo a qualidade do produto laminado, vêm levando as laminações de Tiras a Quente e de Tiras a Frio a optarem por novos materiais e procedimentos de fabricação e de recuperação. Visando principalmente ao aumento de disponibilidade do equipamento e de redução de custo na manutenção.

Os Mancais em análise neste projeto possuem dimensões aproximadas de 1500 mm x 950 mm (Comprimento x largura) e altura de 1300 mm, com peso em torno de 8000 Kg. O material de fabricação original especificado pelo projeto o aço fundido DIN GS45.

A Figura 1 apresenta as dimensões básicas do Mancal em análise, com as regiões que apresentavam perdas dimensionais com o trabalho, devido a desgaste por contato.

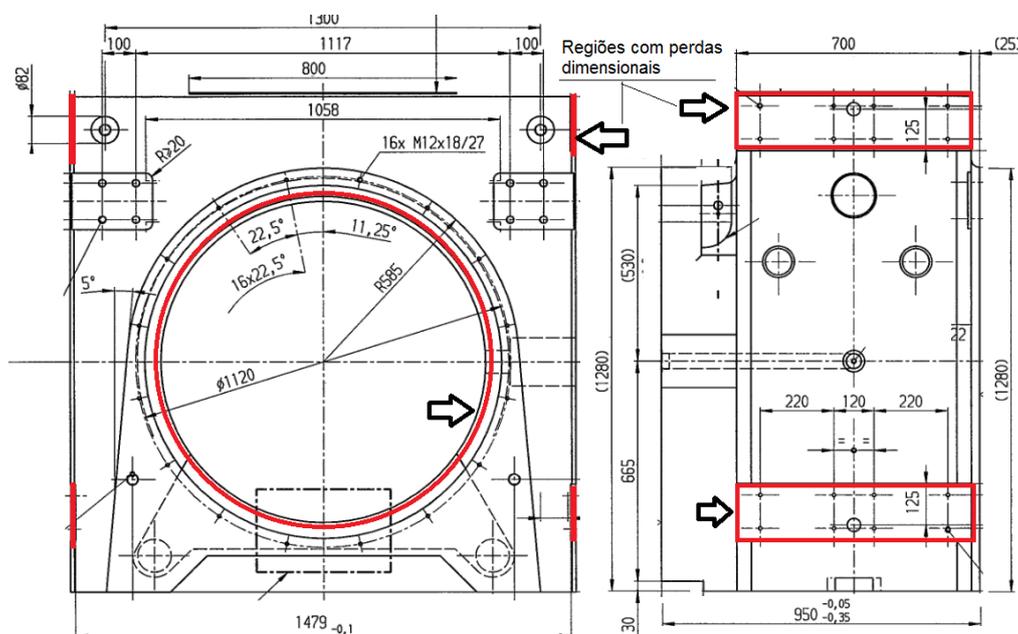


Figura 1 – Apresenta as dimensões básicas do Mancal em análise;

Os Ferros fundidos dos tipos nodulares e o cinzento possuem composição semelhante quanto ao conteúdo de silício e carbono e em termos de práticas de fundição gerais para a produção do Ferro Fundido.

Foram considerados também que, dentre as boas qualidades do ferro fundido na fabricação de peças de grande porte, pode-se destacar a fácil usinabilidade, porém a falta de ductilidade plástica do ferro fundido, frequentemente contribui para o aumento da dificuldade de soldagem deste material.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A elaboração deste trabalho considerou três fases distintas:

Na primeira Fase, fez-se uma análise da fundamentação teórica sobre o assunto, destacando as caracterizações do ferro fundido e suas diversas ligas, os conceitos básicos de soldagem, seus critérios de qualidade pré-estabelecidos e a teoria do revestimento superficial para recomposição dimensional;

Na segunda Fase envolveu-se a análise dos requisitos de projeto e pesquisa sobre o metal base especificada no projeto e sobre os materiais de adição de revestimento superficial disponíveis comercialmente, para esta necessidade. Nesta fase analisaram-se química e metalograficamente amostras retiradas do corpo dos Mancais. Cujas finalidades principais foram a confirmação do material de base.

Na terceira Fase, foram efetuados os testes de soldabilidade em corpos de prova, a fim de verificar o desempenho do processo de soldagem, comportamento dos materiais de adição (especificação e diâmetro) e os parâmetros de soldagem a serem empregados e definição da fonte de soldagem.

A obtenção de soldas de boa qualidade em peças fundidas é possível através do uso dos processos de soldagem ao arco com eletrodos revestidos, soldagem com eletrodo tubular, MIG/MAG e TIG quando usados com arames e eletrodos baseados no níquel.

O carbono está presente no ferro fundido de duas formas: como carbono combinado (cementita, perlita, martensita, etc.) e como carbono livre (grafita). No ferro fundido cinzento, a grafita tem uma aparência de lamelas, e no ferro fundido nodular, uma aparência esferoidal, enquanto que no ferro fundido maleável, uma aparência quase esferoidal. Diferente do aço, contudo, o ferro fundido tem um excesso de carbono (proveniente da grafita) na sua matriz. Durante a soldagem, a matriz poderá enrijecer localmente com o carbono e, sob-rápido resfriamento, a zona afetada pelo calor, poderá tornar-se muito frágil, devido ao acúmulo de tensões residuais na formação da martensita, e cementita. Estes fatores metalúrgicos fazem o ferro fundido ser mais difíceis de soldar do que o aço.

No caso dos ferros fundidos nodulares, a escolha da temperatura ótima é mais complexa e nem sempre o preaquecimento é benéfico ou necessário. Para situações em que altas tensões térmicas podem ser geradas, a temperatura deve ser baixa, da ordem de 150 a 180°C. Para temperaturas mais altas, acima de 315°C, carbonetos são formados ao longo da linha de fusão, baixando as propriedades mecânicas. No caso de ferros fundidos nodulares ferríticos o preaquecimento não é recomendado.

O processo de soldagem com arame tubular é um processo a arco elétrico que produz coalescência de metais pelo aquecimento com um arco entre um eletrodo contínuo (aramé) e a peça em trabalho. A proteção do arco é provida por um fluxo situado no interior do eletrodo tubular. Proteção adicional pode ou não pode ser obtida de uma fonte externa de gás ou mistura de gases de proteção. Junto com os ingredientes do fluxo (formação da escória, desoxidantes e estabilizadores do arco), a alma de um eletrodo do processo tubular pode incluir adições metálicas. Eletrodos podem ser auto protegido ou eles podem requerer uma proteção gasosa. Dependendo da forma da escória, o arco pode alcançar ou penetração profunda ou superficial.

“O revestimento superficial é definido na AWS A 3.0, (Standard Welding - Terms and Definitions)”.

Os processos superficiais podem ser agrupados como:

- Depósito de material superficial para aumentar a resistência a corrosão ou ao calor (cladding);
- Depósito de material para atingir dimensões requeridas (build up);
- Depósito de um material superficial a fim de preparar a superfície para outra aplicação de solda (buttering);
- Material superficial depositado por soldagem para reduzir o desgaste (hardfacing).

A presença de constituintes frágeis acarretados pela martensita, a Zona Termicamente Afetada (ZTA) terá menor capacidade para absorver as tensões originadas da soldagem. A largura desta região e a dureza destas microestruturas devem, portanto, ser limitadas.

2.1 Considerações Metalúrgicas na soldagem:

2.1.1 Zona Afetada pelo Calor (ZAC ou ZTA)

A soldagem de ferro fundido é caracterizada pelo rápido resfriamento da poça de fusão comparado com o mais lento resfriamento do ferro durante a fundição. O ciclo térmico da solda não produz uma microestrutura desejável. A solda resultou em uma microestrutura como mostrado na Figura (2).

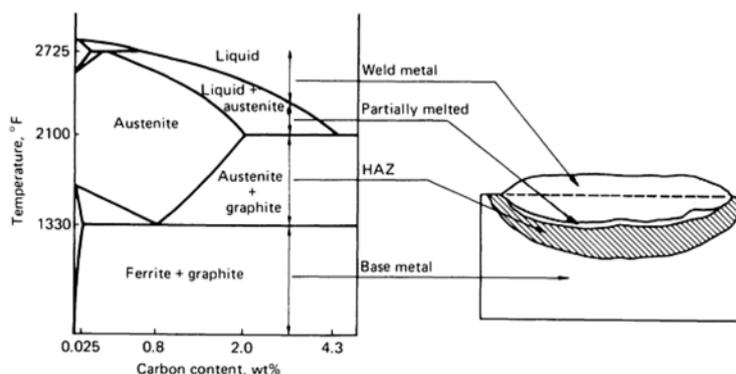


Figura 2 – Representação esquemática das Zonas de Temperaturas na soldagem típica do Ferro Fundido.

2.1.2 Região Parcialmente Fundida

A região parcialmente fundida na Figura 2 é uma extensão da ZTA, ocorrendo quando um alto pico de temperatura causa uma fusão parcial das impurezas de baixo ponto de fusão contidas no metal base, próximo da linha de fusão do cordão. Esta região é extremamente frágil, o que afeta adversamente as propriedades mecânicas, um fator que deve ser levado em consideração para produzir juntas soldadas satisfatórias.

A microestrutura da região parcialmente fundida é uma mistura complexa de martensita, austenita, carboneto primário, e ledeburita diversificada com nódulos ou flocos de grafita parcialmente dissolvida.

2.1.3 Zona Fundida

A microestrutura e as propriedades do metal de solda são influenciadas pela seleção dos metais de adição. A poça de fusão produzida por arco elétrico é homogeneizada durante a soldagem, para produzir um cordão de solda relativamente uniforme na composição.

2.1.4 Efeito da Forma da Grafita

A composição e microestrutura do ferro fundido determinam sua soldabilidade. Quando o carbono está presente como grafita esferoidal (nodular) e grafita rosetada esferoidal (maleável).

2.2 Materiais de Adição (Arame e Eletrodos)

Uma variedade de metais de adição existe para a soldagem de ferro fundido. Eletrodos revestidos eram os mais usados. Atualmente arame sólido e arame tubular, baseado no níquel, tem encontrado grande aceitabilidade. A norma internacional ANSI/AWS A 5.15 (Specification for Welding Electrodes and Rods for Cast Iron) designa os principais materiais de deposição para ferro fundido.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após análises no Material de base, os resultados apresentados encontram na Tabela 1 e na Figura 3.

Tabela 1 – Resultado de Análise Química no Material de Base:

Pedido de ensaio : 267539		
Natureza do trabalho : ANÁLISE QUÍMICA.		
RESULTADOS OBTIDOS		
COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)		
Carbono	(C)	2,90
Silício	(Si)	2,81
Manganês	(Mn)	0,07
Fósforo	(P)	0,064
Enxofre	(S)	0,017
Cromo	(Cr)	<0,01
Níquel	(Ni)	0,01
Molibdênio	(Mo)	<0,01
Cobre	(Cu)	<0,01
Normas de Referências: ASTM A751, ed. 2011.		

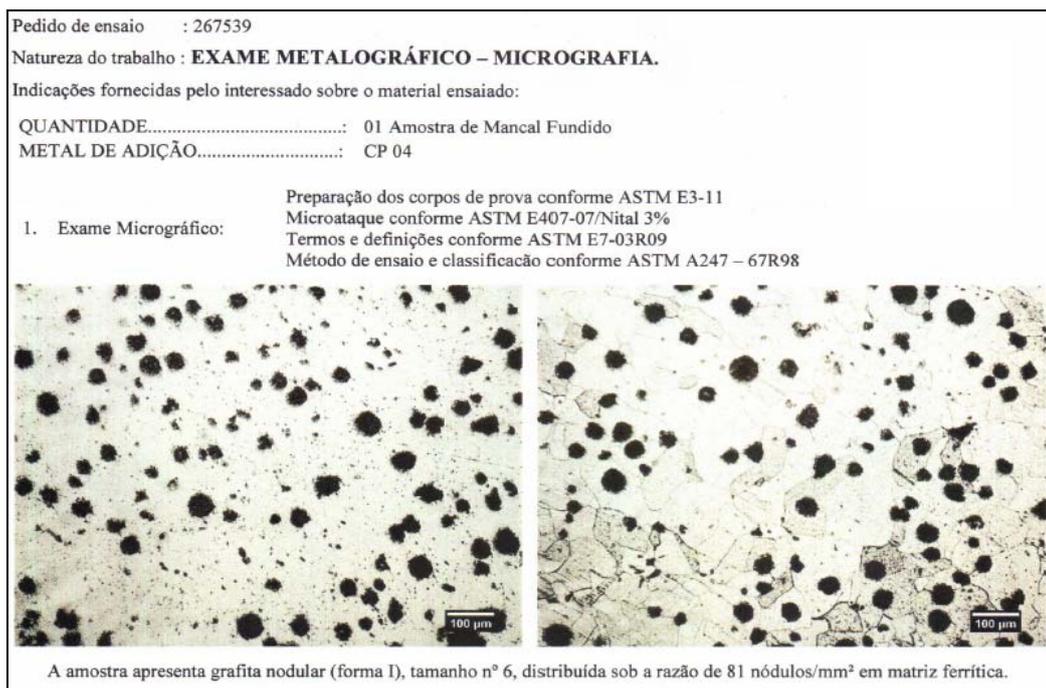


Figura 3 – Resultado metalográfico no Material de base do Mancal;

Como resultado desta avaliação, verificou-se tratar-se de material em Ferro Fundido do tipo Nodular, em desacordo com a especificação original em Aço Fundido conforme projeto. O material enquadrou-se em Ferro Fundido Nodular, norma DIN EN 1563, liga EN-GJS-400-15 ou conforme norma ASTM A 536, na classe 60-40-18. A especificação do material de fabricação original pelo projeto era o aço fundido DIN GS45.

O processo de soldagem empregado neste trabalho foi o de Arame Tubular com proteção gasosa. Para a avaliação dos consumíveis empregados, foram utilizados consumíveis de três fornecedores qualificados, caracterizados com *Amostra A*, *Amostra B* e *Amostra C*. Os corpos de prova foram confeccionados em ferro Fundido Nodular.

Os corpos de prova foram baseados conforme Figura 4 e a soldagem seguindo os parâmetros conforme Tabela 2.

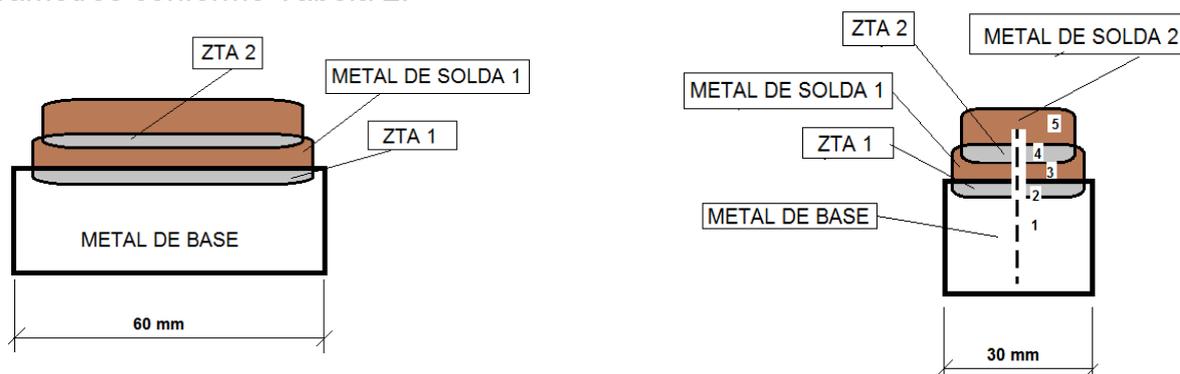


Figura 4 - Configuração dimensional e localização das regiões de amostras dos Corpos de Prova para a realização dos ensaios;

Tabela 2 – Propriedades dos consumíveis dos Fornecedores e os Parâmetros de soldagem utilizados na elaboração dos corpos de prova:

AMOSTRAS	A	B	C
PARÂMETROS	DIN 8573	DIN 8573	DIN 8573
	E NIFE CI	E NIFE CI	E NIFE 1S
	FCAW	FCAW	FCAW
LR MPa mín	600	350	590
LE MPa mín	300	300	315
Along % mín	8	10	25
Dureza HB	170-210	170-200	130-150
Corrente A	120-200	150-200	110-180
Voltagem V	24-32	25-30	20-30
Gás de proteção	AR+ CO2	AR+ CO2	AR+ CO2

Notas: Corrente CC+, Stick out <20mm, vazão do gás de proteção= 15 a 20 l/min;

3.1 Composições químicas dos Metais de Adição:

Foram utilizadas amostras de Arames Tubulares de três diferentes fornecedores, denominados Amostras A, B e C, cujos resultados encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 – Composição química do Metal Depositado (MA) utilizados (teor em peso) das peças-teste;

METAL DE ADIÇÃO	A	B	C
ELEMENTOS	DIN 8573	DIN 8573	DIN 8573
	E NiFe CI	E NiFe CI	E NiFe 1S
	FCAW	FCAW	FCAW
C	1,4	1,8	0,3
Si	0,2	0,9	0,2
Mn	5,2	0,85	3,3
Ni	36,3	58,7	51,2
Cr	0	0	0,1
Mo	0	0	0
Cu	0	0,01	0,01
Fe	42,5	37,7	44,5

3.2 Análises Metalográfica

Foram realizados exames metalográficos nos corpos de prova obtidos no teste de deposição de soldagem. A comparação visual nesta fase, seguiu os padrões das seguintes normas:

Preparação das amostras conforme ASTM E3-11, Microataque conforme ASTM E407-07, Termos e definições conforme ASTM E7-2003R2009, Classificação de grafita conforme ASTM A247- 67R98.

A avaliação microestrutural foi realizada com auxílio de microscopia ótica (Neophot-30, Nikon Opitchot), sendo que todas as amostras foram atacadas com reagente Nital 4%. A Figura 5 apresenta as regiões das retiradas das amostras para a avaliação.

As Figuras 6 a 10 mostram os resultados metalográficos apresentados pelo revestimento do Fornecedor do “Metal de Adição A”, devido a este ter sido o que apresentou o melhor resultado nas avaliações realizadas.

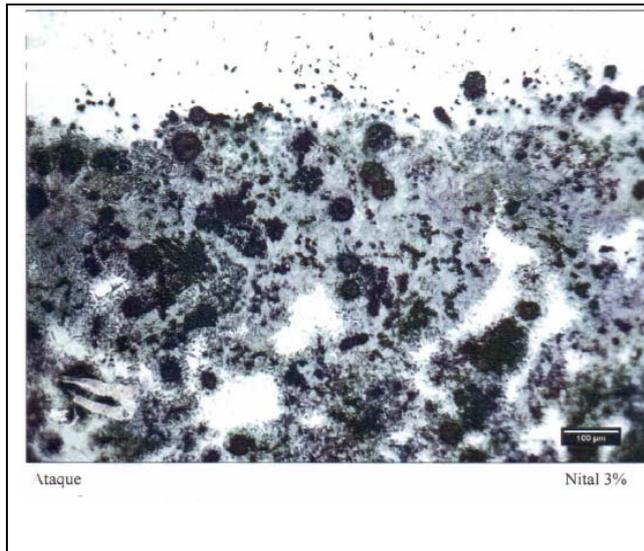


Figura 5 – A ZTA 1 apresentou Microestrutura constituída por martensita revenida e carbonetos primários colunares. Ataque Nital 3%, (100X);

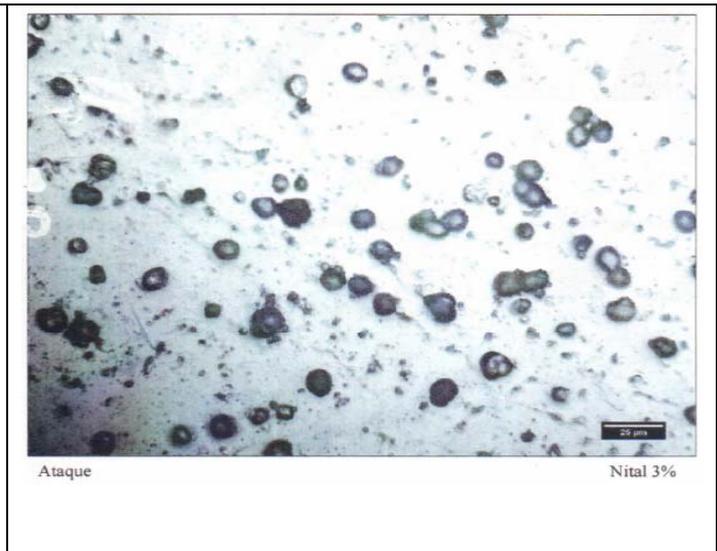


Figura 6– O Metal de Solda 1 apresentou Microestrutura constituída por matriz ferrítica, carbonetos e nódulos de grafita. Ataque Nital 3%, (400X);

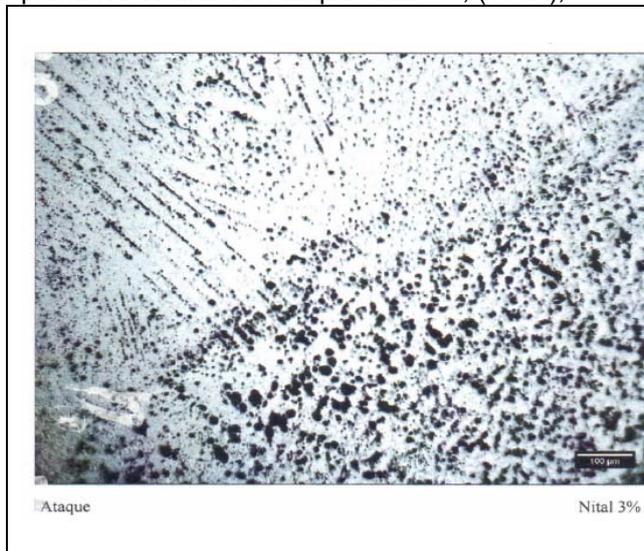


Figura 7 – A ZTA 2 apresentou Microestrutura constituída por martensita revenida e carbonetos colunares. Ataque Nital 3%, (100X);

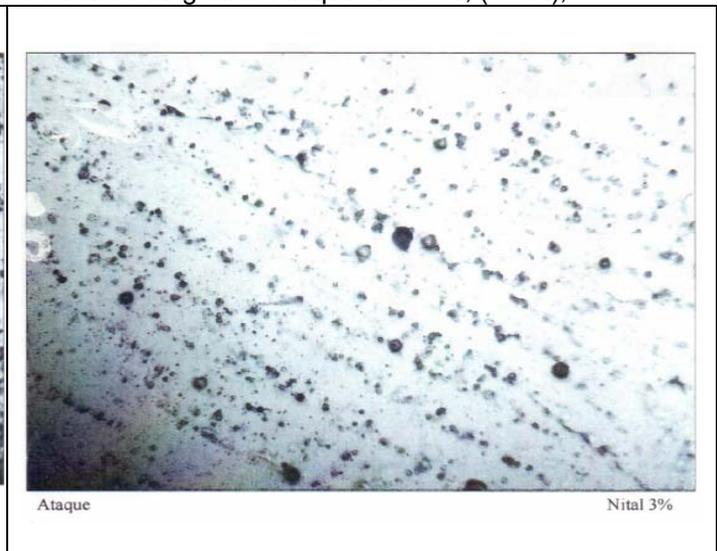


Figura 8– O Metal de Solda 2 apresentou Microestrutura constituída por matriz predominante austenítica, ferrítica, com pequeno índice de carbonetos e nódulos de grafita em pontos isolados. Ataque Nital 3%, (400X);

3.3 Perfis de dureza

A medição do perfil de dureza foi realizada através de microdurômetro HMV-2000 Shimadzu, observando-se o perfil de dureza desde o metal de adição até o metal base, realizando-se uma impressão de dureza cada 2 mm. A Figura 5 mostra a região dos registros do perfil de dureza, de Posições de 1 a 5. Os resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Perfil de Microdureza Vickers HV1 - dos Metais de Adição utilizados, conforme norma ASTM E384, Edição 2010e das peças-teste;

AMOSTRAS	A	B	C
REGIÃO			
1	164 / 164 / 165	164 / 164 / 165	164 / 164 / 165
2	306 / 302 / 310	448 / 431 / 441	377 / 360 / 371
3	223 / 224 / 218	199 / 220 / 237	230 / 276 / 229
4	325 / 243 / 295	455 / 451 / 430	380 / 321 / 370
5	260 / 271 / 255	336 / 282 / 348	285 / 301 / 290

A Figura 5 ilustra a região de transição entre o metal base e o metal de solda 1, caracterizada por ZTA 1, onde se predomina matriz martensítica, com carbonetos primários(13%) em presença de grafita nodular (18%) e pequeno índice de grafita vermicular(1%). Os valores percentuais nas Amostras B e C apresentaram respectivamente: Carbonetos de 17% e de 16%, Grafita Nodular de 19,5% e 22% e Grafita Vermicular de 2% e de 0%;

A Figura 6 ilustra a região do Metal de Solda 1, onde se predomina matriz Ferrítica, com carbonetos primários(2%) em presença de grafita nodular (11%) e pequeno índice de grafita vermicular(1%). Os valores percentuais nas Amostras B e C apresentaram respectivamente: Carbonetos de 3% e de 5% Grafita Nodular de 10% e 9% e Grafita Vermicular de 2% e de 0%;

A Figura 7 ilustra a região de transição entre o metal base e o metal de solda 1, caracterizada por ZTA 2, onde se predomina matriz martensítica, com carbonetos primários (14%) em presença de grafita nodular (12%) e pequeno índice de grafita vermicular(1%). Os valores percentuais nas Amostras B e C apresentaram respectivamente: Carbonetos de 15% e de 18%, Grafita Nodular de 15% e 13% e Grafita Vermicular de 1% e de 2%;

A Figura 8 ilustra a região do Metal de Solda 2, onde se predomina matriz austenítica, com 25% de Ferrítica, com carbonetos primários(3%) em presença de grafita nodular (9%) e pequeno índice de grafita vermicular(1%). Os valores percentuais nas Amostras B e C apresentaram respectivamente: Carbonetos de 6% e de 4%, Grafita Nodular de 12% e 10% e sem presença de Grafita Vermicular;

Os valores dos perfis de dureza mostrados na Tabela 4 e os realizados nas amostras, conforme Figura 5, nos diversos corpos de prova referentes ao material do Fornecedor do “Metal de Adição A”, foram os que apresentaram menores valores nos perfis de dureza, por apresentar matriz predominante ferrítica na região do cordão de solda e inferiores percentuais de carbonetos, consequência das condições do processo.

Os valores dos perfis de dureza mostrados na Tabela 4 traduzem o que foi visto no resultado metalográfico, as amostras que apresentaram os menores valores nos perfis de dureza, foram as que apresentaram matriz predominante ferrítica na região do cordão de solda, como consequência das características da composição química do MA e as condição do processo. Pode também ser observado também que à medida que aumentaram os índices de martensita e de carbonetos, com

consequente variação nos ciclos térmicos, foram obtidos valores mais elevados de dureza devido à formação das regiões com carbonetos e de redução do índice da ferrita.

4 CONCLUSÃO

- O processo de soldagem semiautomático com proteção gasosa com Arame Tubular, com proteção gasosa, utilizando o consumível do Fornecedor do “*Metal de Adição A*” é o mais adequado para o revestimento superficial do item fundido, devido aos resultados de avaliação micrográfica e de dureza;
- Este foi o de menor índice de discontinuidades observado e o de melhor estabilidade operacional durante a soldagem;
- Verificou-se que o controle dos parâmetros de soldadura, o mecanismo de transferência do metal, stick-out, a posição da tocha de soldadura e velocidade são essenciais para se manter a homogeneidade e estabilidade do metal depositado durante preenchimento;
- Os Mancais foram reparados com bons resultados de produção e entregue ao cliente de acordo com critérios de qualidades pré-estabelecidos;

REFERÊNCIAS

- 1 AMERICAN WELDING SOCIETY, Welding Handbook. 9. Ed. Vol. 4, Miami, American Welding Society, cap.8, 2011;
- 2 ENGENHARIA DE SOLDAGEM, Okumura e Taniguchi, LTC 1982;
- 3 METALOGRAFIA DOS PRODUTOS SIDERURGICOS COMUNS, Hubertus Colpaert; Blucher, Edição 4;
- 4 ASM HANDBOOK; Welding, Brazing, and Soldering, Volume 6, ASM 2004;
- 5 ASM HANDBOOK; Metallography And Microstructures, Volume 9, ASM 2004;
- 6 SOLDAGEM-PROCESSOS E METALURGIA, Wainer, Brandi e Mello, Blucher – 2013;
- 7 RELATORIOS TORK: 14071112MERJ; 14073251AQSP; 15092446MERJ..