Igor Seidl

ANÁLISE DO EFEITO DA TEMPERATURA DE INTERPASSE SOBRE AS PROPRIEDADES DO AÇO SA-335 P91

Monografia apresentada ao Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para conclusão de curso de Especialização.

São Paulo

Março/2014

Igor Seidl

Engenheiro Eletricista, 2006

ANÁLISE DO EFEITO DA TEMPERATURA DE INTERPASSE SOBRE AS PROPRIEDADES DO AÇO SA-335 P91

Monografia apresentada ao Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para conclusão de curso de Especialização.

Área de Concentração:
Engenharia da Soldagem

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Duarte Brandi

São Paulo

Março/2014

Seidl, Igor.

Análise do efeito da temperatura de interpasse sobre as propriedades do aço SA-335 P91 – São Paulo, 2014.

110 p.

Monografia (Especialização em Engenharia de Soldagem) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1. Aços P91. 2. 9Cr-1Mo-V. 3 Temperatura de Interpasse.

I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Programa de Educação Continuada em Engenharia. II. t

"Sem ambição, nada se inicia.

Sem trabalho, nada se termina.

O prêmio não será enviado a você.

Você deve vencê-lo."

(Ralph Waldo Emerson)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Adriana Ramos, minha amada esposa e ao meu filho Matheus Ramos que estão sempre comigo em pensamento.

Faço também deste trabalho uma homenagem póstuma ao homem que me estimulou na leitura e na curiosidade por descobrir e compreender, meu avô, João da Silva, assim como à sua esposa, minha avó, Lea Abreu da Silva, cuja perseverança sempre foi um modelo para mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço profundamente aos meus orientadores, Professor Sérgio Brandi e Professor Diego Martins Garcia por suas diversas e decisivas contribuições para o presente trabalho.

Agradeço também à todos os colegas de trabalho cujo apoio foi fundamental: Monir Rodrigues de Castro, Jones Rogério Gomes Peres, Amanda de Paula Bastos, Bruno de Lima Braga, Ferdinando Pereira dos Santos e José Marcos Principessa.

Agradeço ao MSc. Eng. Dany Michell Andrade Centeno, do Laboratório de Soldagem do Departamento de Engenharia Metalúrgica da USP, por sua decisiva colaboração na obtenção das fotos das microestruturas dos corpos de prova utilizados no presente trabalho.

Finalmente, agradeço aos meus pais e à minha irmã pela criação que recebi e pelo apoio constante que foram fundamentais para que conseguisse vencer mais este desafio.

RESUMO

O aço SA-335 P91, é um aço-liga 9Cr-1Mo-V. O desenvolvimento dos aços 9Cr-1-Mo-V foi iniciado nos anos 50, pelo ORNL (Oak Ridge National Laboratory), tendo recebido diversas melhorias nos anos 70, quando se buscava obter um aço com tenacidade de pelo menos 54J para uma temperatura de serviço a 512 °C. Nos anos 80 foram reconhecidas as elevadas propriedades mecânicas dos aços P91, o que levou à sua candidatura e posterior inclusão como material para aplicação em Caldeiras aprovado pelo Código ASME Sessão I. Neste trabalho pretende-se estudar a variação das propriedades do P91 quando submetido a diferentes temperaturas de controle de interpasse. Foram preparados inicialmente três corpos de teste, obtidos a partir de cortes de 700mm no mesmo tubo com 12 polegadas de diâmetro e 33mm de espessura e cada um foi submetido a uma temperatura de controle de interpasse diferente, tendo permanecido os demais fatores inalterados. Os três corpos de teste foram então utilizados para a retirada dos corpos de prova para os ensaios de tração, dobramento, microdureza, Charpy, macrografia e micrografia e a partir da análise dos resultados desses ensaios chegamos a uma conclusão sobre a extensão e forma de influência da temperatura de interpasse na tenacidade do P91.

Palavras chave: aços P91, aços 9Cr-1Mo-V, temperatura de interpasse.

ABSTRACT

The SA-335 P91 Steel, is a 9Cr-1Mo–V high alloy steel. The development of 9Cr-1Mo-V steels was introduced in the 50s, by the ORNL (Oak Ridge National Laboratory), having received several improvements in the 70's, when it sought to obtain a steel toughness of at least 54J for a temperature of service up to 512ºC. In the 80s the high mechanical properties of P91 steels were recognized, which led to its nomination and subsequent inclusion as a material for application in boilers approved by ASME Code Section I . This paper aims to study the change of the properties of P91 when subjected to different interpass temperatures. First three samples were obtained from samples of 700m (length) in the same tube with 12 inches in diameter and 33mm thick. Each test piece was welded with different interpass temperature while all the other parameters remained unchanged. The three test coupons were used for the removal of test specimens for tensile, bending, hardness, Charpy, macrograph and micrograph tests. By analyzing the results of these tests, it is possible to reach a conclusion of the extent and form of influence of the interpass temperature on the toughness of P91.

Keywords : P91 steels, 9Cr-1Mo-V steels, interpass temperature.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS.

API:	American Petroleum Institute
ASME:	American Society of Mechanical Engineers International
ASTM:	American Society For Testing And Materials
AWS:	American Welding Society
BPVC:	Boiler & Pressure Vessel Code
CP:	Corpo de Prova
CSEF:	Creep Strength-Enhanced Ferritic Steels
CT:	Corpo de teste
EPRI:	Electric Power Research Institute
EPS:	Especificação do Procedimento de Soldagem
EVS:	Ensaio Visual de Solda
FCAW	Flux-Cored Arc Welding
GMAW	Gas Metal Arc Welding
GTAW:	Gas Tungsten Arc Welding

HV:	Dureza Vickers
LE:	Limite de Escoamento
LR:	Limite de Resistência
MB:	Metal de Base
MS:	Metal de Solda
NACE:	National Association of Corrosion Engineers
PETROBRAS:	Petróleo Brasileiro S.A.
PWHT	Post Weld Heat Treatment
RQPS:	Registro de Qualificação do Procedimento de Soldagem
SAW	Submerged Arc Welding
SMAW:	Shielded Metal Arc Welding
SNQC:	Sistema Nacional de Qualificação e Certificação
ZAC:	Zona Afetada pelo Calor

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.

Os aços 9Cr-1Mo-V, conhecidos como P91 ou aços 9Cr-1Mo modificados, começaram a ser desenvolvidos nos anos 50, mas tiveram um grande crescimento na sua aplicação apenas a partir dos 80, quando a sua aceitação pelo Código ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) Sessão I contribuiu para sua popularização. Atualmente, trata-se de um material largamente empregado em caldeiras, seja na tubulação, em *headers* ou outros componentes [1].

Desde então, os aços P91 vêm sendo amplamente utilizados em caldeiras e na indústria de energia, assim como em refinarias quando se requer características mecânicas melhoradas para serviços em altas temperaturas. O seu principal atrativo para os projetistas e proprietários está no seu baixo custo e elevada resistência à temperatura quando comparado com aços inoxidáveis austeníticos [2].

As propriedades melhoradas do P91 derivam da adição controlada de vanádio, nióbio e nitrogênio, que em condições adequadas permitem a precipitação dos carbonetos de $M_{23}C_6$ e MX (Nb ou V), o que acaba por propiciar maior resistência e melhor resistência à fadiga do que os aços Cr-Mo comuns.

A soldabilidade do P91 foi uma preocupação desde o desenvolvimento inicial do mesmo e vem sendo estudada para a determinação de pré-

aquecimento, pós-aquecimento e tratamentos térmicos pós-soldagem apropriados [3].

As plantas de ciclo combinado de hoje, que operam com condições de vapor mais exigentes e ciclos de trabalho mais rigorosos do que há alguns anos atrás, tem levado os projetistas a adotarem cada vez materiais com resistência à fluência elevada e materiais como o P91 em sessões críticas como a planta de vapor e o sistema de recuperação de calor do gerador de vapor (HRSG – *heat recovery system generator*) [12].

O uso de materiais como P91 para aplicações em elevadas temperaturas pode levar à redução significativa da espessura dos materiais empregados se comparado com materiais como P22, conforme ilustra a imagem abaixo.

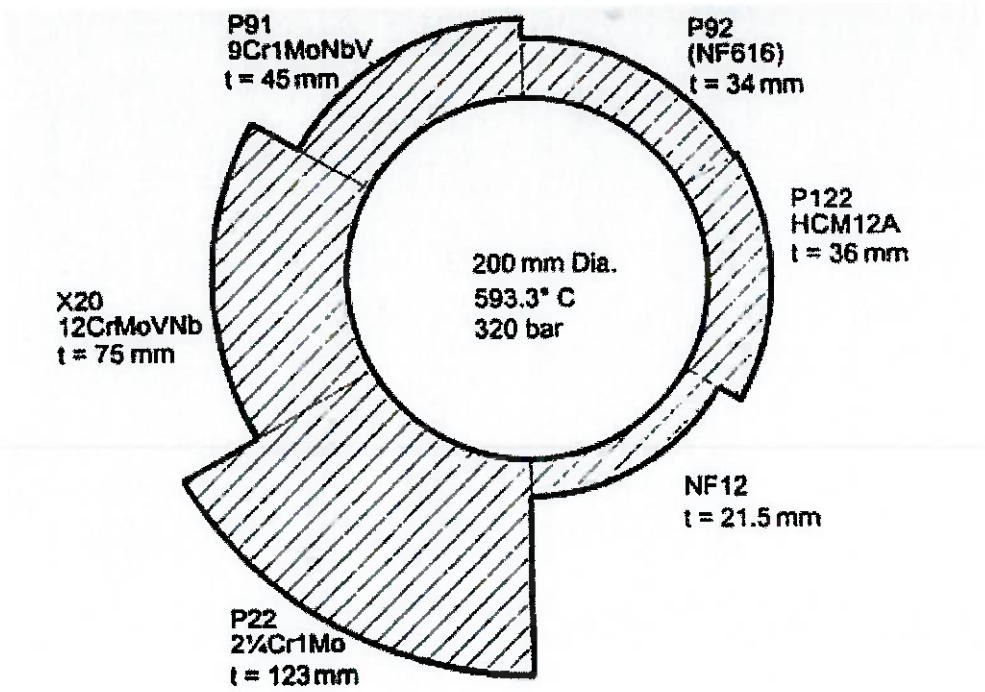


Figura 1-1 – Espessura de materiais para trabalho em alta pressão [13]

As paredes mais finas reduzem substancialmente o stress térmico e com isso melhoram a vida útil.

O P91 vem sendo mais e mais utilizado na indústria de ciclo combinado devido sua maior resistência a fatiga térmica e resistência a fluência melhorada se comparado com suas alternativas. No entanto, fabricantes, construtores e operadores estão frequentemente e inadvertidamente prejudicando a microestrutura e com isso degradando as propriedades mecânicas do material.

As frequentes iniciações e paradas e mudanças de cargas impostas pelos ciclos de trabalho tipicamente causam problemas menores para os materiais de plantas de turbinas a gás de ciclo combinado, mas essas variações representam desafios sérios para componentes do sistema de recuperação de calor do gerador de vapor (HRSG), tais como tubulações de vapor e *superheaders headers*. Se os gradientes térmicos forem suficientemente grandes e forem repetidos suficientemente vezes o resultado será trinca por fadiga térmica [4].

Um método efetivo para combater a fadiga térmica é usar materiais com maior resistência, tais como os P91, que permitam componentes de pressão fabricados com menores espessuras. Componentes menos espessos possuem um gradiente menor de temperaturas na espessura da parede e levam menos tempo para atingir o equilíbrio térmico, sendo assim menos propensos à fadiga térmica [4].

Muitas plantas existentes estão utilizando ou pretendendo utilizar P91 como substituto para materiais que falharam e grande parte dos fabricantes agora utilizam ligas de P91 para fabricação de sessões dos superaquecedores em HRSGs.

Em adição à fadiga térmica induzida pelas rápidas variações nas condições do vapor, as seções do superaquecedor sofrem com fluência por conta da elevada temperatura com que operam. Felizmente, o grau 91 oferece também maior resistência à fluência quando comparado às baixas ligas tradicionais.

A substituição do P22 por P91 pode gerar:

- Redução de espessura de praticamente 2/3 e do peso do componente em praticamente 60%;
- Aumento da resistência tolerável na temperatura de 950F a 1100F na vai de até 150%;
- Aumento do limite de oxidação em 100ºF, permitindo uma menor tolerância à corrosão;
- Aumento da resistência à fadiga térmica por um fator de 10 a 12 vezes.

Muitos na indústria ficaram corretamente impressionados com as propriedades mecânicas mas falharam em compreender um princípio: as propriedades melhoradas do P91 dependem inteiramente da formação e manutenção de uma condição precisa de microestrutura durante sua vida de serviço. Especificamente, é necessária a criação e manutenção de uma estrutura

martensítica revenida, que permite a obtenção de uma junta soldada ou metal de base com alta resistência à tensão em altas temperaturas do material.

Falha em obter essa microestrutura durante a fabricação original do material ou em qualquer etapa posterior que possa alterar a microestrutura (dobramento à quente, forjamento, solda, etc) podem degradar severamente as propriedades em alta temperatura do material.

Para tornar o problema ainda maior, os ensaios de controle/garantia da qualidade normalmente realizados pelos usuários finais podem ser incapazes de detectar esse tipo de degradação.

Essa dependência de uma microestrutura precisa é uma grande diferença em relação aos hábitos da indústria de energia. Com materiais tradicionais como o P22 e o P11, usualmente operando em situações de baixo stress a microestrutura resultante tem pouca influência nos resultados. Na realidade, para esses materiais, foi constatado que uma ampla gama de microestruturas produzidas, seja por processos regulamentados ou não, ainda produziam resultados suficientes.

Os aços ferríticos martensíticos como os P91 também estão sendo considerados para aplicação em várias plantas avançadas de geração nuclear de 4ª geração como vasos de pressão, tubing e tubulação. Eles são substitutos atrativos para aços inoxidáveis devido ao seu custo reduzido, coeficiente de expansão térmica mais baixo e melhor estabilidade de radiação [9].

Neste trabalho, realizou-se a soldagem de três corpos de teste, cortados todos a partir do mesmo tubo de SA-335 P91, com 12 polegadas de diâmetro e 33 milímetros de espessura. Cada um dos três corpos de prova possuía um comprimento inicial de 700 milímetros. As soldas foram realizadas com o processo GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*, conhecido como TIG no Brasil) para o passe de raiz e com o processo SMAW (*Shield Metal Arc Welding*, ou eletrodo revestido em português) para os passes de enchimento e acabamento. Todas as soldas foram realizadas pelos mesmos soldadores, com os mesmos tipos de consumíveis e utilizando a mesma especificação de procedimento de soldagem (EPS). O único parâmetro que sofreu variação foi a temperatura de interpasse, que foi estipulada em três faixas distintas para a verificação dos efeitos de sua variação nas propriedades da junta soldada.

Foi utilizada carta registradora para o acompanhamento da temperatura de interpasse, com medições realizadas a uma e a três polegadas do chanfro. Adicionalmente, foi também empregado um pirômetro digital óptico para a medida da temperatura no metal de solda. Os detalhes dos métodos empregados para a execução dos experimentos propostos estão detalhados no item quatro do presente trabalho e o no item cinco são analisados os dados obtidos e a discussão dos resultados obtidos nos ensaios.

Finalmente, as conclusões do trabalho são apresentadas no item seis.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

Esta seção tem por objetivo reunir informações relevantes sobre o tema principal deste trabalho e fornecer embasamento teórico e prático para a o desenvolvimento e análise das atividades e ensaios propostos.

2.1 AÇOS P91

Os aços P91 pertencem à família dos aços CSEF (*Creep strength-enhanced ferritic*), que é a sigla em inglês para aços ferríticos com a resistência à fluência aumentada. Trata-se de uma família composta por aços Cr-Mo, com variações nas adições desses elementos, e ainda por diversos outros materiais. No geral, esse aumento da resistência à fluência se dá por um controle preciso da microestrutura desses materiais, que requerem processos bem controlados, tanto na fabricação quando nos processos de soldagem.

São aços para o trabalho em altas temperaturas e sua faixa de temperatura de operação recomendada varia em função dos fluídos/gases que serão utilizados em seu interior, adotando-se valores mais conservadores nos casos de utilização com H_2S e outros meios notoriamente corrosivos.

2.1.1 Histórico e desenvolvimento

Os aços P91 são produto de um histórico de sucessivos desenvolvimentos que culminaram na sua obtenção. Apesar de sua aplicação ter sido vislumbrada especificamente para a utilização em caldeiras, o potencial desses aços foi recentemente reconhecido por outros setores, tais como a indústria geração de energia nuclear e a indústria petroquímica.

2.1.2 Principais características do Metal de Base

Conforme Shireesha [4] menciona, em seu trabalho sobre a importância da química dos materiais de adição nas propriedades mecânicas dos aços 9Cr-1Mo modificados, os aços 9Cr-1Mo-V foram desenvolvidos de forma a possuírem propriedades mecânicas consideravelmente melhoradas se comparadas com seus antecessores P9 e P22. Estas melhorias foram obtidas pela adição de pequenas quantidades de nióbio, vanádio e nitrogênio na composição química do metal de base. Graças a uma distribuição de finos carbonitretos de nióbio e vanádio e a uma relação otimizada de Nb/V eles possuem uma melhor resistência à fluência. Também foram reportadas vantagens do P91 em relação aos aços inoxidáveis austeníticos 304 para aplicações específicas [5]. Em adição a alta resistência à fadiga e baixo coeficiente de condutividade térmica o aço P91 tem boa tenacidade, baixo coeficiente de expansão térmico e não é susceptível a trinca de reaquecimento. Por conta dessas características, em alguns aspectos os P91

são superiores até mesmo aos aços inoxidáveis que são vulneráveis à fadiga térmica por conta de seu elevado coeficiente de expansão térmica e baixa condutividade térmica.

É importante salientar que existem diferenças significativas na aplicação entre os graus para tubos de troca térmica (*tubing*, T91) e para tubulações de processo (P91). Essa diferença é baseada nas seguintes variáveis de aplicação:

1. Em tubulações para troca térmica dos superaquecedores e reaquecedores utilizados nas caldeiras, o gás aquecido da fornalha é a fonte do calor, e a energia térmica flui da parte exterior das paredes para as linhas de centro dos tubos. Devido a essa sutil, mas importante diferença, a temperatura do metal do tubo pode ser mais elevada do que a temperatura do vapor contido no tubo.
2. Em tubulações de processo a temperatura do metal não excede a temperatura do vapor, já que o vapor é a fonte de calor. Nessa condição a energia térmica flui das linhas de centro dos tubos para a parte exterior de suas paredes.

As diferenças acima mencionadas nas condições de trabalho dos tubos empregados para diferentes aplicações acaba por gerar diferentes restrições quanto à sua utilização. Dessa maneira, embora os aços 9Cr-1Mo-1V sejam utilizados tanto para tubulações de troca térmica quanto para tubulações de processo, os limites de temperatura do vapor definidos são diferentes para cada aplicação. Assim, quando utilizados para aplicações de tubulações, as temperaturas de operação de vapor vão até 590ºC. Já para aplicações com tubos

de troca térmica as temperaturas de operação de vapor de vão normalmente até 565ºC [6].

2.1.3 Temperaturas de transição

As temperaturas de transição do P91 variam conforme sua composição química, sendo que duas temperaturas de transição são importantes na caracterização do P91 e estas são usualmente conhecidas como Ac_1 e Ac_3. O Ac_1 é a temperatura na qual a austenita começa a se formar durante o aquecimento, ao passo que Ac_3 é a temperatura na qual a transformação da ferrita para austenita é completa durante o aquecimento.

A temperatura Ac_1 pode ser tão baixa quanto 785ºC dependendo da composição, embora o mais comum seja variar entre 800ºC e 830ºC [10]. Dessa maneira, é preciso cuidado para se garantir que a temperatura do tratamento térmico de alívio de tensões não ultrapasse o valor de Ac1, o que levaria a formação de austenita, prejudicando assim as propriedades do P91.

2.1.4 Tratamento Térmico

O tratamento térmico dos aços P91 envolve um processo controlado de revenimento, para permitir aos elementos de V e NB que se precipitem em carbonitretos ocupando os espaços em regiões com falhas na microestrutura.

Esse processo é chamado de *pinning* e serve para ancorar regiões com falhas, segurando assim a estrutura coesa. A importância dessa microestrutura e do preenchimento dos vazios com carbonetos e nitretos foi confirmada por um estudo de Onizawa [6] apresentando em 2005 na conferência do European Collaborative Creep Committee (ECCC), em Londres.

Os limites máximos para dureza Brindell podem variar de 238 a 250 HBW (HBW é o número da dureza Brindell obtido utilizando como identador esfera de tungstênio) conforme aplicação, ao passo que os limites de dureza máxima estabelecidos pelo Código ASME para os aços 9Cr-Mo (não modificados) estão entre 179 e 217 HBW. No caso de serviços em H_2S, a dureza máxima permitida pela norma NACE MR0103-2012 [10](NACE, *National Association of Corrosion Engineers*) é de 248 HBW. A NACE SP0472-2010 [11] (conhecida anteriormente como RP0472) estabelece o limite máximo de 248 HV10 (onde HV10 é a dureza Vickers obtida com aplicação de carga de 10kgf durante 10 a 15 seg) para aplicações de processos e entre 260 – 270 HV10 para aplicações de utilidades.

Para se obter o equilíbrio adequado entre tenacidade à fratura, resistência à fadiga e resistência à fragilização de longo prazo, a composição da liga e dos elementos residuais são tipicamente controladas para proporcionarem uma estrutura de fase única, evitando a ferrita delta. A ferrita delta reduz a tenacidade e a resistência à fadiga. Ao se manter o cromo equivalente abaixo de 10% a tendência à formação de ferrita delta é reduzida. Mesmo materiais com cromo equivalente entre 10 e 12 exibem dureza adequada quando a ferrita delta não excede 5% [8].

2.1.5 Temperabilidade

Os aços P91 também possuem uma característica de temperabilidade a alta profundidade que pode ser evidenciada na comparação com outros aços Cr-Mo, tais como o 2 1/4Cr-1Mo. A figura 4-1 ilustra essa situação.

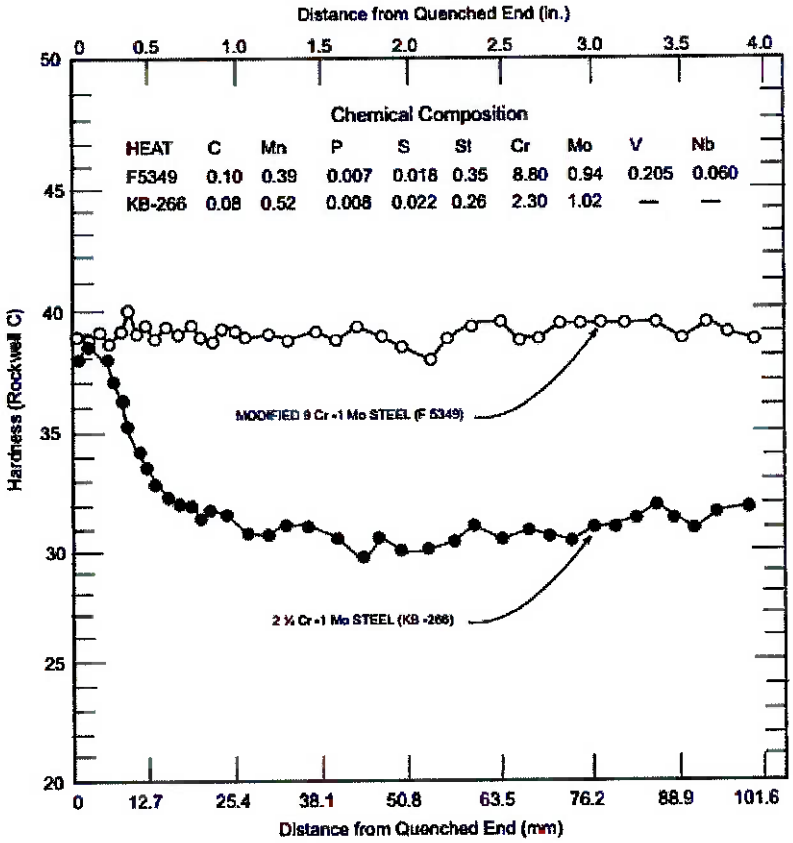


Figura 2-1 – Comportamento de alta profundidade de temperabilidade [8]

Essa característica de elevada temperabilidade irá requerer cuidados adicionais para se evitar a ocorrência de trincas a frio induzidas pelo hidrogênio, conforme constato no trabalho de Negromonte [16].

2.1.6 Consumíveis para a soldagem do P91

A composição dos consumíveis varia mas os elementos mais significativos são níquel e manganês. Esses 2 elementos influenciam nas temperaturas críticas tais como Ac_1, Ms e Mf. As especificações para o metal de base permitem no máximo 1% (Ni + Mn), mas é possível ter valores muito mais elevados nos consumíveis. Quando (Ni+Mn) atinge 1,4% o Ac_1 cai para 780ºC, o Ms cai para abaixo de 350ºC e o Mf fica abaixo da temperatura de pré-aquecimento definida como 200ºC. Nessas condições até cerca de 20% de austenita retida foi observada no metal de adição. Resfriar a solda até a temperatura ambiente antes de se realizar o PWHT é uma maneira de se evitar a formação de martensita fresca (não revenida) depois do PWHT. Outra maneira é selecionar um consumível com baixo (Ni+Mn), digamos com menos de 1% [17].

O Ac_1 relativamente baixo é outra preocupação quando se emprega PWHT em temperaturas elevadas tais como 775ºC, que fica muito próximo do Ac_1. Baseado em termodinâmica computacional Santella [17] calculou o efeito dos principais elementos de liga no valor de Ac_1 para o P91. A análise indicou que a concentração de (Ni+Mn) tem a influência mais forte e que a expressão abaixo poderia ser utilizada para guiar a definição da temperatura máxima de PWHT:

$$Ac_1 = (854{,}5 \pm 0{,}6) - (43{,}9 \pm 1)x(Ni+Mn) - (9 \pm 0{,}4)x(Ni+Mn) \ [^{o}C]$$

Há indicações, porém, de que essa expressão pode sobrestimar o Ac_1 quando os valores de (Ni+Mn) forem elevados.

2.2 SOLDABILIDADE

Embora os aços P91 tenham sido desenvolvidos já se buscando obter uma boa soldabilidade [3], existem cuidados que se fazem necessários na realização de boas soldas com esse material. Entre os principais problemas que têm ocorrido na utilização do P91 podemos citar o projeto inadequado de juntas que envolvam materiais dissimilares, tipicamente P91 com P11, P22 ou aço inoxidável. A avaliação adequada das dimensões e propriedades dos matérias envolvidos na soldagem dissimilar é essencial para que se garanta um resultado adequado.

Existem outras questões relevantes que também devem ser avaliadas quando se for realizar soldagens com P91. As principais estão relacionadas abaixo.

2.2.1 Tipos de Trinca no P91

Os materiais 9Cr-1Mo-V estão sujeitos a quarto tipos de falhas mecânicas, que podem ser visualizadas na figura 2-2:

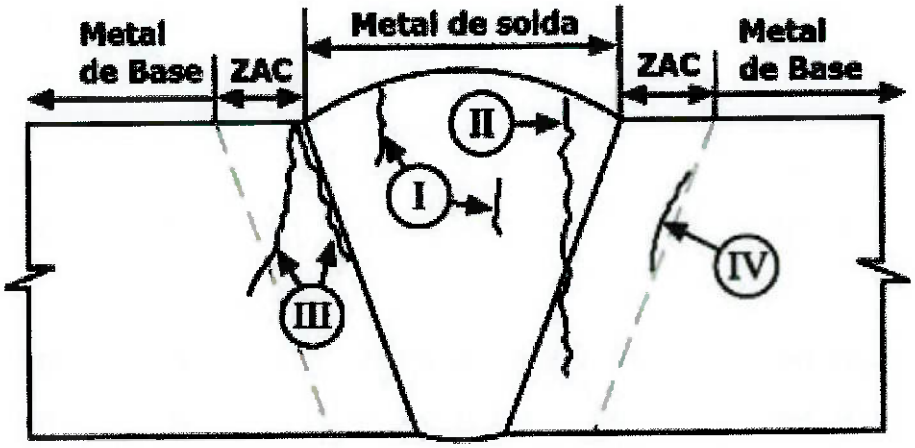


Figura 2-2 – Tipos de Trincas no P91, extraído de Negromontee, J. M. de Medeiros (2012) [13]

A figura 2-2 acima, adaptada por Negromonte a partir do relatório técnico publicado pelo EPRI sobre a dureza ótima de juntas soldadas de P91 [15] ilusta os quatro tipos de trinca podem ser sucintamente descritos, conforme demonstrado no trabalho de Negromonte [13] como sendo:

Tipo I – Trinca longitudinal ou transversal no metal de solda, sendo que esta permanece inteiramente no metal de solda.

Tipo II – Trinca é longitudinal ou transversal no metal de solda, mas cujo crescimento ocorre no entorno da ZAC.

Tipo III – Uma trinca que ocorre na região de crescimento de grão.

Tipo IV – Trinca se inicia ou cresce na Zona Intercrítica da ZAC (a região de transição entre a região de refino de grão completamente transformada da ZAC e a região parcialmente transformada do metal de base)

Entre estas, as trincas do tipo IV são as que mais comumente estão associadas a problemas nos materiais P91. Mesmo soldas perfeitas ainda são passíveis da ocorrência das trincas do tipo IV quando em serviço, que resultam da redução na resistência à fluência localizada na região intercrítica da ZAC. O aquecimento do metal de base imediatamente adjacente à solda a temperaturas entre 800-900ºC durante a soldagem produz uma estrutura com carbonetos grosseiros e grãos de ferrita, ao invés da estrutura desejada de martensita revenida com carbonetos refinados.

Quando tensão é aplicada na junta soldada, a deformação por fluência é localizada nessa pequena faixa resulta em trincas finas. Trincas do tipo IV são predominantes em baixas tensões tipicamente encontradas em serviço.

Um parâmetro que vem recebendo pouca atenção mas que é relevante é a temperatura de resfriamento após o último passe de solda e antes do início do tratamento térmico. Temperaturas de resfriamento apropriadas resultam em transformação completa do metal de solda de austenita para martensita, de modo que não exista austenita retida antes do tratamento térmico.

A austenita que for mantida após o resfriamento será transformada ou em uma forma que não seja a martensita (por exemplo, ferrita) ou então durante o PWHT (*Post Weld Heat Treatment*) passará a ser uma martensita não revenida. Ambas as situações não são desejadas [9].

Desta maneira, Trinca Tipo IV é o nome normalmente associado ao fenômeno de fragilização de uma região da ZAC mais distante do metal de solda,

em que ocorre uma queda de dureza devido ao sobre-revenimento (*over-tempering*) em temperaturas abaixo do ponto de transformação crítica inferior, conhecido como Ac_1 e que é o ponto em que a austenita começa a se formar durante o aquecimento. Essas regiões com dureza mais baixa exibem resistência de ruptura à tensão reduzidas se comparadas com o metal de base não afetado pelo calor, resultando em uma redução da vida útil da junta solda [8].

Trinca tipo IV ocorre na região intercrítica da ZAC devido ao refino de grãos nessa região, ao crescimento e coalescimento de precipitados e à transformação parcial da matriz em austenita, que posteriormente forma martensita de baixa resistência nessa região. Normalmente, observa-se redução considerável de dureza nessa região da ZAC, podendo atingir valores menores do que os do metal de base não submetido ao tratamento térmico. Essa característica pode ser um indicativo, mas não existe nenhuma relação quantitativa entre a dureza medida e a tal susceptibilidade [11].

Assim, em função dos problemas associados à trincas do tipo IV e da sua característica de criação de uma região de baixa dureza na ZAC, adicionalmente aos requisitos normativos, é usual a solicitação para que o material seja testado ao impacto após o tratamento térmico, sendo requerida média de pelo menos 33.9J com nenhum valor inferior a 21,7 @ 21ºC pela norma AWS B4.0 [15].

Se for para aplicação em serviços de H2S então os requisitos da NACE MR0103 [16] são normalmente especificados.

2.2.2 Forma do cordão de solda.

O formato do cordão e a posição têm efeitos significativos sobre a tenacidade dos aços P91. Cordões de pouca altura permitem certo grau de revenimento pelo calor da soldagem que promove um refinamento do grão nas camadas previamente depositadas do metal de adição. Cordões com maior altura e em sessões transversais minimizam esses efeitos.

Devido às alterações no formato do cordão de solda é normalmente observada perda de tenacidade na posição vertical (3G) e sobrecabeça (4G) com SMAW, sendo que o mesmo no geral não ocorre na posição plana (1G) [8].

2.2.3 Energia de soldagem

A máxima energia de soldagem para SMAW e GTAW manuais tipicamente não excede 1,2kJ/mm (30kJ/in). Para FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*, ou soldagem por arame tubular) e SAW (*Submerged Arc Welding*, ou soldagem por arco submerso), a máxima energia de soldagem é normalmente limitado a 2,2kJ/mm (55kJ/in) [8].

2.2.4 Interrupções

Qualquer interrupção durante a soldagem deve ser evitada até que pelo menos 10 mm de metal de adição ou 25% a 30% da espessura da junta tenham sido depositadas. Se qualquer interrupção ocorrer e a solda for resfriar abaixo da temperatura de pré-aquecimento, as soldas devem ser envolvidas em cobertura apropriada para promover o resfriamento lento e controlado até que possa ocorrer o pré-aquecimento novamente. No entanto, ensaios não destrutivos adicionais são tipicamente realizados devido aos riscos advindos de soldas interrompidas [8].

A avaliação de soldabilidade deles incluiu: resposta da trinca de reaquecimento, susceptibilidade à trinca induzida por hidrogênio e a seleção de consumíveis para três processos. Relata também que soldas dissimilares com aços inox austeníticos foram realizadas com bons resultados [3].

2.2.5 Trinca a quente.

A avaliação da susceptibilidade à trinca à quente foi conduzida utilizando o teste Tigamajig em 11 experimentos, conforme mencionado no estudo de soldabilidade da OAK Ridge [3]. O resultado foi o de que esse tipo de trinca não deve causar preocupação na soldagem dos P91. A mesma conclusão foi confirma por outros laboratórios e por fabricantes comerciais.

2.2.6 Pré-aquecimento.

Testes de junta em Y foram utilizados para determinar o pré-aquecimento. Nos testes, trincas foram observadas tanto em peças sem pré-aquecimento como naquelas aquecidas à 93ºC. Nenhuma trinca foi observada em peças com pré-aquecimento a partir de 204ºC.

2.2.7 Região de baixa dureza da ZAC.

Durante os estudos de soldabilidade realizados pelo laboratório OAK [3], observou-se que em todos os experimentos houve uma região de baixa dureza na ZAC. Acreditou-se que era devido ao coalescimento dos carbonetos por conta da sobre têmpera em uma região estreita (região intercrítica da ZAC) e essa conclusão permanece válida até os dias de hoje.

Susceptibilidade à trinca de alívio de tensão (stress relief cracking – SRC) e trinca induzida por hidrogênio (HAC, Hydrogen-assisted Cracking).

Os estudos conduzidos demonstraram que a microestrutura da ZAC no P91 é independente das taxas de resfriamento normalmente encontradas durante a soldagem. Adicionalmente, a susceptibilidade do P91 à trinca de alívio de tensão foi considerada menor do que a do P22 e a ZAC foi considerada como sendo aproximadamente a mesma. Não foram identificadas maiores preocupações quanto a SRC e HAC [3], sendo que também não é possível estabelecer uma

correlação quantitativa entre a redução de dureza na ZAC e a redução resistência à fluência.

As juntas soldadas também podem desenvolver dureza extremamente elevada no metal de solda e baixa tenacidade nessa região.

O metal de base normalmente apresenta energia absorvida acima de 100J para temperaturas acima de 0ºC [11].

2.2.8 Processos de Soldagem

Na maior parte dos casos, propriedades mecânicas aceitáveis são obtidas com o processo SMAW, desde que a formulação dos consumíveis seja compatível com a designação –B9 e que exista habilidade suficiente dos soldadores.

Juntas feitas com GTAW tipicamente apresentam resultados de tenacidades bem maiores do que as realizadas com processos que utilizem escória ou fluxo. Juntas de topo com acesso apenas por um dos lados são tipicamente soldadas com GTAW e o interior é purgado com gás inerte com atmosfera de no máximo 4% de oxigênio. O gás inerte é usualmente mantido pelas duas primeiras camadas de metal de adição. Passes de raiz em outros processos são usualmente goivados (*back-gouged*) ao metal brilhante [12].

Soldas com o processo SAW podem ser realizadas de modo automático, semiautomático ou robotizado utilizando fontes de corrente e tensão constantes.

Já soldas com o processo FCAW pode ser utilizado se aprovado pelo comprador. No geral, é aprovado para aplicações que envolvam soldas que não sejam consideradas críticas, tais como soldas em componentes que não estejam submetidos à alta pressão. Quando utilizado geralmente requer proteção gasosa e soldas verticais são feitas na progressão ascendente. Se permitidos para vasos de pressão, no geral não se permite que realizem passes de raiz ou soldas de topo com acesso unilateral e é exigida transferência globular ou por spray. Todas as áreas a serem soldadas são exigidas serem limpas ao metal brilhante antes da soldagem de cada passe e limpas completamente antes da deposição dos passes seguintes [12].

GMAW (*Gas Metal Arc Welding*, ou soldagem por arco elétrico com gás de proteção) não é geralmente utilizada. Há fabricantes que qualificaram procedimentos GMAW, mas não é pratica difundida e por tanto tipicamente a maior parte dos usuários não permitem a realização do GMAW para P91.

a) Gás de purga e de proteção

Gases de purga e de proteção são geralmente utilizados com gases de grau para soldagem (*welding grade*) de argônio ou nitrogênio. Gases com grau para soldagem são especificados como sendo 99,998% puros.

Passes de raiz em tubos, tubings e outros componente requerem purga no passe da raiz e pelo menos no primeiro subsequente [8].

b) GTAW

Detalha um estudo de vários corpos de prova com GTAW e, basicamente, informa que não foram constatadas dificuldades. Pré-aquecimento empregado foi de 150ºC, para o corpo de prova com 1" de espessura e interpasse máximo de 260ºC [3].

c) SMAW

O desenvolvimento dos eletrodos revestidos para P91 foram realizados principalmente no Combustion Engineering´s Metallurgical and Materials Laboratory (MML). A ênfase estava em melhorar a resistência ao impacto de Charpy das soldas com SMAW mantendo uma resistência em alta temperatura suficientemente elevada e também a estabilidade dos carbonetos. Nas fases iniciais do processo, foram utilizadas 191 combinações de 127 diferentes formulações de revestimento [3].

Esses trabalhos iniciais mostraram a relação dos diversos componentes na obtenção das propriedades de resistência ao impacto (Charpy). Adições de boro e zircônio se mostraram prejudiciais, tungstênio demonstrou ter pequena influência no resultado e nitrogênio também. Adições controladas de vanádio de 0,17% e com 0,08% de carbono deram melhorias nas temperaturas de transição. Nióbio acima de 0,05% foi prejudicial.

Esses e outros resultados foram fundamentais para se obter eletrodos com formulações que propiciem resultados de resistência ao impacto aceitáveis.

Todos esses testes iniciais foram realizados a partir de eletrodos com alma sólida e comum (com o próprio P91, sem adições). Posteriormente foram realizados testes com adições na alma do eletrodo.

O estudo demonstrou que os eletrodos com núcleo com adições obtiveram resultados bem superiores aos primeiros eletrodos desenvolvidos, com núcleo de P91 puro.

A resistência ao impacto de Charpy mostrou-se mais influenciável por pequenas modificações no conteúdo de carbono e nióbio do que por outros elementos [3].

2.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O TRATAMENTO TÉRMICO DOS AÇOS P91

2.3.1 Temperatura de pré-aquecimento

A temperatura de pré-aquecimento é importante para se evitar trincas à frio e no geral faz-se com que seu valor coincida com a temperatura mínima de interesse. Os pré-requisitos existente no código estabelecem um mínimo que varia de 177 a 250°C, embora na prática a temperatura mínima de pré-aquecimento mais empregada seja de 200°C.

A temperatura ideal de pré-aquecimento mantém uma relação direta com a espessura da junta a ser soldada. Temperaturas de pré-aquecimento baixas de

até 149 °C podem ser aceitáveis para soldas de passe de raiz em juntas com pouca espessura realizadas com GTAW [8]. Já em juntas de grande espessura uma temperatura de pré-aquecimento mais elevada, de até 250°C pode ser mais adequada para se evitar trincas.

2.3.2 Temperatura de interpasse

É a temperatura na região soldada no instante anterior ao início do próximo passe de solda a ser realizado. Na prática, a temperatura mínima de interpasse é normalmente igual à temperatura mínima de pré-aquecimento, mas isso não é um requisito [14].

A temperatura de interpasse é tão ou mais importante do que a temperatura de pré-aquecimento no que diz respeito às propriedades mecânicas e microestruturais. A resistência à tensão do material soldados é uma função da temperatura de interpasse e altos valores de temperatura de interpasse tendem à reduzir a resistência do metal soldado. No caso dos aços 9Cr-1Mo-V, para temperaturas de interpasse acime de 260°C essa tendência é invertida. Por exemplo, a AWS (*American Welding Society*) em seu "*Policy statement on the northridge earthquake*" recomenda que temperaturas de interpasse não ultrapassem 290°C quando ensaios de tenacidade ao impacto Charpy forem requisitos [14]. Quando se espera temperaturas realmente elevadas de interpasse a definição de um limite máximo pode ser necessário.

Devido à características dos tratamentos térmicos de certos materiais, pode ser crítico o controle da temperatura de interpasse dentro de limites pré-estabelecidos para que se garantam as propriedades mecânicas adequadas do material e da zona afetada pelo calor, e este é o caso comum para a soldagem de aços P91.

A temperatura mínima de interpasse deve ser suficiente para prevenir trincas, enquanto a temperatura máxima deve garantir as propriedades mecânicas desejadas. A API (*American Petroleum Institute*) TR 938 B, por exemplo, apesar de informar que a faixa de temperaturas usuais para o controle de interpasse é de 200°C a 300°C, diz também que para diversas aplicações é permitida a utilização de temperaturas de interpasse de até 370°C [1].

Soldas com menores seções transversais de soldagem tendem a "acumular" calor, gerando uma tendência ao aumento da temperatura de interpasse, pois na medida em que a operação de soldagem continua, a temperatura de suas partes aumenta. Como regra geral, se a área da sessão transversal for menor do que 20 in² (130cm²), então a temperatura de interpasse irá subir com cada passe sequencial, dado que as velocidades/intervalos padrão não se alterem. No entanto, se a área da sessão transversal for maior do que 40in² (260cm²) então a tendência geral é de que a temperatura caia a cada passe subsequente a menos que uma fonte de calor externa seja aplicada.

No caso do trabalho realizado, o tubo empregado para a preparação de todos os corpos de teste possuía 33mm de espessura, com diâmetro externo de 33,78cm, e diâmetro interno de 30,48cm (ambos os valores nominais),

resultando em uma área de 20,73cm². Ou seja, a tendência é a de que o calor seja mantido e a temperatura se eleve localmente, mesmo se não houvesse uma fonte de calor externa sendo aplicada e no caso havia, pois os equipamentos de tratamento térmico foram mantidos durante toda a realização da soldagem a fim de se garantir a temperatura mínima de interpasse de 200ºC.

2.3.3 Tratamento térmico pós-soldagem

O tratamento térmico pós-soldagem adequado é essencial no P91 para evitar trinca por corrosão de stress (SCC, *Stress Corrosion Cracking*). Essa modificações são necessárias pois estudos demonstram que o risco de temperar a temperatura excessiva e porque demonstram que certos elementos, principalmente níquel e magnésio alteram as características de transformação dos materiais [12].

3 OBJETIVO

Este trabalho tem como principal objetivo estudar as mudanças nas propriedades do P91 quando soldado com diferentes temperaturas de interpasse. Foi escolhido um aço SA-335 P91 e foram preparados três corpos de teste para serem soldados com diferentes temperaturas de interpasse. Após a realização da solda dos corpos de teste iniciais, os mesmos serviram para a retirada de corpos de prova para a realização de diversos ensaios, que possibilitarão a comparação entre as propriedades obtidas com as soldas realizadas com diferentes temperaturas de controle de interpasse.

4 MATERIAIS E MÉTODOS.

4.1 MATERIAIS

Trata-se de um breve descritivo dos materiais empregados e dos métodos utilizados na realização dos ensaios.

4.1.1 Aço SA-335 P91:

O aço empregado no presente trabalho foi o SA-335 P91. A especificação SA é a dada pelo Código o ASME e informa que o material está de acordo com as especificações do Código e é aceitável para a utilização na fabricação de produtos a serem selados (produzidos por empresas com a autorização do ASME para os respectivos serviços), como vasos de pressão e caldeiras. No geral, as especificações SA são idênticas à sua fonte original, que no caso são as especificações A da ASTM (*American Society For Testing And Materials*) por exemplo, o ASTM A335 P91. No entanto, como existem exceções e por vezes são exigidos requisitos adicionais nos materiais ASME, é recomendado que quando a aplicação for para produtos ASME a solicitação do material seja clara e especifique o material conforme o ASME Sessão II, dentro de sua parte apropriada (A, B, C ou D) [15].

No presente trabalho o material tinha como finalidade aplicação na construção de uma caldeira, projetada e montada conforme ASME e por isso foi utilizada a especificação SA-335 P91 e não a A-335 P91.

As propriedades químicas e físicas do SA-335 P91 utilizado estão apresentadas na tabela próxima tabela, que apresenta as especificações fornecidas pelo fabricante.

Tabela 4-1 – Propriedades químicas e físicas do SA-335 P91

Propriedades Químicas								
Grau	UNS	C	Mg	Max	Max	Si	Cr	Mo
P91	K91560	0,08-0,13	0,30-0,60	0,020	0,010	0,20-0,50	8,00-9,00	0,85-1,05
Outros:	V 0,18-0,25; N 0,030-0,070; Ni 0,40 max; Al 0,02max; Cb 0,06-0,10; Ti 0,01max.; Zr 0,01max.							
Propriedades Físicas								
Limite de resistência					620 MPa			
Limite de escoamento					440 MPa			

4.1.2 Consumíveis.

Os corpos de testes foram soldados utilizando-se o processo TIG (GTAW) para a realização da raiz e o processo de eletrodo revestido (SMAW) para os passes de enchimento e acabamento.

Para a realização da soldagem no processo TIG (GTAW) foi utilizada vareta classificada como AWS 5.28 ER90S-B9, cujas características, conforme fornecidas pelo fabricante, estão descritas na tabela 4-2:

Tabela 4-2 – Composição Química da vareta TIG AWS 5.18 utilizada

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni
0,1	0,2	0,8	8,7	1,00	0,6

Tabela 4-3 – Informações adicionais da vareta de solda utilizada

Tipo de corrente	Diâm.	Comprimento	Gás de Proteção
CC-	3,2	1000 (mm)	100% Ar
Propriedades Mecânicas			
Limite de resistência: 785 MPa Limite de escoamento: 690 MPa Alongamento: 20% Charpy V (20°C) – 200J Charpy V (0°C) – 180J Charpy V (-20°C) – 150J Charpy V (-40°C) – 90J			

Já para a realização da soldagem com o processo de eletrodo revestido foi utilizado eletrodo com especificação AWS 5.5 9018-B9 com as seguintes características, conforme fornecidas pelo fabricante:

Tabela 4-4 – Composição Química do Eletrodo AWS 5.5

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Cu	Nb	N
0,1	0,17	0,8	8,5	1,00	0,19	0,04	0,04	0,04

Tabela 4-5 – Informações adicionais do eletrodo AWS 5.5

Tipo de corrente	Diâm.	Comprimento	Gás de Proteção
CC+	4	350mm	-
Propriedades Mecânicas			
Limite de resistência: 821 MPa Limite de escoamento: 711 MPa Alongamento: 19% Charpy V (20°C – com alívio de tensão a 760°C por 2h) – 83J			

4.2 PREPARAÇÃO E CORTE DOS CORPOS DE TESTE

Os três corpos de teste utilizados no experimento foram obtidos a partir de um mesmo tubo de material 9Cr-1Mo-V, com 12 polegadas de diâmetro e 33mm de espessura. Foi disponibilizado um tubo de 3000mm de comprimento para a realização dos experimentos e esse tubo foi subdivido de forma a obtermos três corpos de teste com 700mm de comprimento cada um.

Todos os trabalhos de preparação dos corpos de teste e posterior soldagem dos mesmos foi realizado em condições de campo, em um dos empreendimentos de uma empresa de engenharia, no nordeste do país.

Uma vez preparados, cada corpo de teste (CT) foi devidamente identificado, e receberam a denominação de @280, @320 e @360. Foram previstas três situações distintas para o controle da temperatura de interpasse, uma para cada um dos corpos de teste. Abaixo, segue tabela com as especificações definidas.

Tabela 4-6 – Controle de interpasse por corpo de teste

Nome	Temperatura Mínima de Interpasse	Temperatura Máxima de Interpasse
@280	280ºC	320ºC
@320	320ºC	340ºC
@360	360ºC	380ºC

Primeiramente, foi definida a faixa de controle da temperatura de interpasse para o primeiro corpo de teste a ser soldado (@320), de tal maneira que a mesma ficasse próxima ao limite superior da faixa de temperaturas

recomendadas pela API TR 938B para os processos GTAW e SMAW, que é de 250ºC a 350ºC respectivamente [1].

Definiu-se na sequência que seria importante também ter uma amostra mais próxima dos limites usuais de controle de interpasse, mas voltada para a produtividade que busca nesse tipo de serviços. A redução no tempo total de soldagem faz com que se procure trabalhar mais próximo das faixas de controle de temperatura superiores pois essas demandam menos tempo de espera entre os passes, reduzindo assim o tempo total de soldagem.

Dessa maneira, optou-se por definir como faixa de controle as temperaturas entre 280ºC e 320ºC para o corpo de teste denominado @280.

Considerou-se então que uma vez que a condição proposta no @320 fosse considerada adequada. Optou-se por se trabalhar com um terceiro corpo de teste na faixa superior de temperaturas, acima daquelas usualmente utilizadas, ou seja, foi adotada a faixa proposta de 360ºC a 380ºC para o terceiro corpo de teste, denominado @360, sendo que a própria API TR 938B informa que em muitas situações aceita-se um limite superior para a temperatura de interpasse de até 370ºC.

Posteriormente, cada um dos corpos de teste teve seu comprimento reduzido, passando a ter apenas 250mm de comprimento cada, de modo a facilitar o transporte das peças para São Paulo, onde foram.

Figura 4-1- Corpos de prova sendo preparados o transporte

4.3 ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (EPS)

Todas as soldas foram realizadas utilizando como referência um procedimento de soldagem previamente estabelecido e qualificado conforme o ASME IX pela empresa executora dos serviços de soldagem.

A especificação de procedimento de soldagem (EPS) utilizada pode ser consultada no Anexo C do presente trabalho.

4.4 PLANEJAMENTO E ACOMPANHAMENTO DE SOLDAGEM

A questão do local para a realização da medição da temperatura durante a realização do acompanhamento e controle da temperatura de interpasse é uma em que ocorrem divergências entre algumas das normas e recomendações consultadas.

O Código ASME não especifica local para a realização da medida de temperatura de interpasse, nem em seus códigos de referência, como o ASME IX [18] e o ASME V [19], nem em seus códigos de projeto, como o ASME I [20] e o ASME VIII [21]. Já a AWS D1.1 [22] defini que a realização da medida da temperatura de interpasse deverá ocorrer a pelo menos 3 polegadas do chanfro e a AWS D1.5 [23] recomenda que seja medida a uma distância pelo menos igual à medida da maior espessura a ser soldada. Finalmente, a N-133L [26] recomenda que a medição seja feita no próprio metal de solda, na região onde ocorrerá o próximo passe.

Funderburk [14], em seu trabalho sobre a importância do controle da temperatura de interpasse, pondera que as distâncias propostas pela AWS são conservadoras e fazem muito sentido quando se tem em vista a temperatura mínima de interpasse, mas quando é importante também controlar a temperatura máxima de interpasse deve-se considerar que as temperaturas nas regiões próximas à realização da solda irão exceder significativamente os valores medidos nas regiões propostas pela AWS e que nessas situações é mais recomendável realizar-se a medição a 1 polegada de distância da região soldada.

Dessa maneira, decidiu-se que para o presente trabalho seriam empregados vários métodos de acompanhamento dessa temperatura, de modo que as medições realizadas pelos diferentes métodos pudessem ser posteriormente comparadas e avaliadas.

A partir da utilização de termopares e registrados do equipamento de tratamento térmico empregado para se garantir a temperatura mínima de interpasse de 200ºC durante todo o processo de soldagem, foram definidos 3 pontos de verificação de temperatura por termopares, conforme ilustra a Figura 4-3.

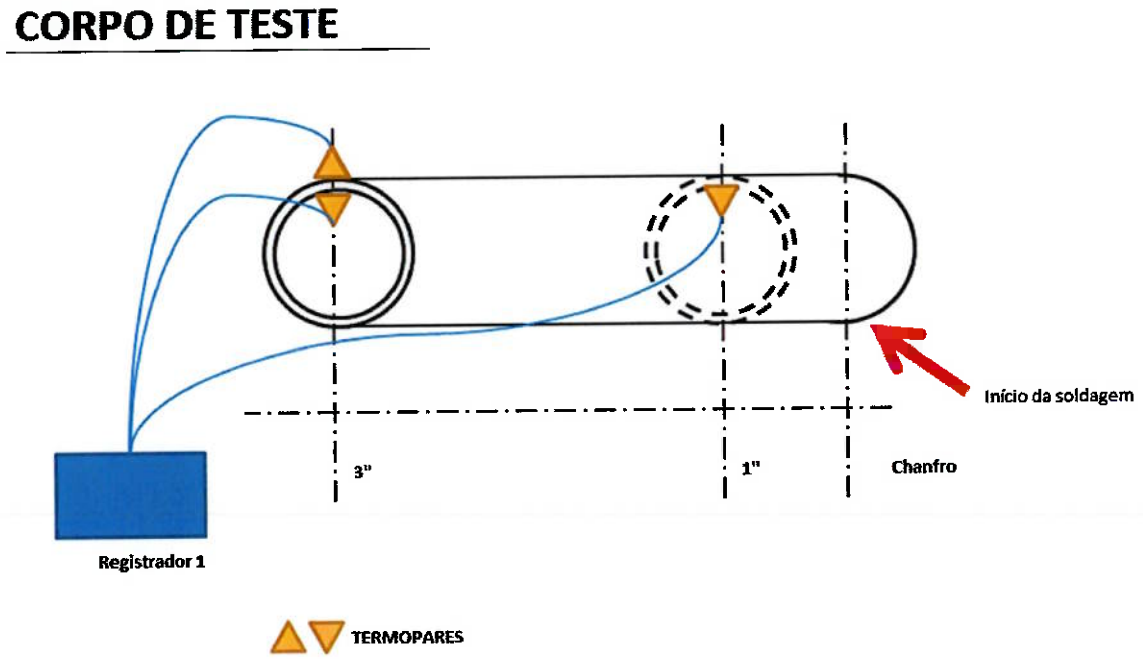


Figura 4-2 – Posicionamento dos termopares

Dois termopares foram posicionados a três polegadas da raiz da junta, um na parte interior e outro na parte exterior do tubo, ao passo que o terceiro termopar foi posicionado na parte inferior do tubo a uma polegada da raiz da junta. Não foi posicionado termopar a uma polegada da parte exterior da junta devido à dificuldade apresentada para a manutenção da fixação do mesmo quando da realização das atividades de limpeza entre a realização dos passes.

Adicionalmente, utilizou-se também um pirômetro óptico para a realização da medição da temperatura instantaneamente na região do metal de base onde ocorreria o próximo passe, conforme recomendação da N-133L.

De maneira resumida, os parâmetros de soldagem utilizados podem ser verificados na tabela abaixo.

Tabela 4-7 – Parâmetros de soldagem

NORMA DE REFERÊNCIA: ASME IX Ed. 2007 Add 2009 (b)	
PROCESSO (S) DE SOLDAGEM: GTAW (TIG) X SMAW (ER)	**Tipo:** Manual
Abertura de raíz: máx. 4,0mm	Máxima Espessura por Passe: 12,7mm
Cobre Junta: Sem	INSERTS CONSUMÍVEIS: Não
PROGRESSÃO DE SOLDAGEM: Ascendente	TEMP. PRÉ-AQUEC.: 200ºC
DISTÂNCIA TUBO C/ PEÇA DE TRABALHO: N/A	ÚNICO OU MÚLTIPLO PASSE: Múltiplos
OSCILAÇÃO MÁXIMA: Máx. 5 x Ø Eletr.	MÉTODO GOIVAGEM (ARCO OU ESMERILHAMENTO): ESMERILHAMENTO
ELETRODOS (MULTIPLOS OU SIMPLES) : Simples	MARTELAMENTO (SIM OU NÃO): Não
MÉTODO DE LIMPEZA INICIAL / INTERPASSES (ESCOVAMENTO OU ESMERILHAMENTO): Esmerilhamento / Escovamento	

PARÂMETROS ELÉTRICOS		
TIPO	AMPERAGEM (A)	TENSÃO (V)
CC-	100-150	09-15
CC+	70-150	20-30

METAL DE ADIÇÃO						
PASSE	ESPEC. (SFA)	CLASSE (AWS)	N.º. F	N.º. A	DIÂMETRO mm	VELOC. cm/min
GTAW	5.18	ER-90S-B9	6	6	2,5/3,25	5,9 a 15
SMAW	5.1	E 9018-B9	4	5	2,5/3,25	10 a 25

4.5 PREPARAÇÃO DOS CTS E ACOMPANHAMENTO DE SOLDAGEM

Os corpos de teste foram preparados para soldagem em condição de campo.

Os corpos de testes foram preparados para serem soldados na horizontal (posição 2G conforme ASME IX, 2013 [20]). Uma vez posicionados sobre a bancada preparada para a realização da soldagem foram instalados os termopares.

Todas as soldas foram realizadas por pessoal qualificado conforme ASME IX e acompanhadas por inspetor de soldagem N1 qualificado e certificado pelo Sistema Nacional de Qualificação e Certificação (SNQC).

O inspetor de soldagem N1 também ficou responsável pela realização da medição da temperatura pelo pirômetro óptico. Todos os corpos de teste foram soldados e acompanhados pelo mesmo pessoal, não havendo alterações nos soldadores, inspetores, ou pessoal responsável pelos equipamentos de tratamento térmico.

O pré-aquecimento foi feito realizado por resistências elétricas e os termopares responsáveis pelo devido monitoramento foram posicionados conforme N-133L. Além do registro das temperaturas, foram registrados também os tempos de execução dos passes de solda e dos intervalos para se atingir a temperatura de interpasse desejada. Foi realizada também a medição das

correntes instantâneas o que (com as demais medidas realizadas) possibilitou o cálculo da energia de soldagem.

Havia inicialmente uma grande preocupação por parte da equipe de produção com o tempo de resfriamento para os corpos de prova com temperaturas de interpasse mais baixa, receando-se que este fosse demasiadamente longo e impactasse consideravelmente no tempo total de soldagem. A medição de todos os tempos decorridos durante a execução da soldagem dos corpos de prova possibilitou uma análise quanto à essa preocupação da equipe de produção.

4.6 ENSAIOS

Os ensaios não destrutivos de LP, EVS e radiografia (apenas no CP 1, para avaliação da integridade das juntas soldadas) foram realizados no próprio local de realização da soldagem. Já os ensaios laboratoriais de tração, dobramento, Charpy IV, para a avaliação das propriedades mecânicas, bem como os ensaios de macrografia e micrografia.

4.6.1 Análise Química do Material

Foi realizada a análise química do metal de base a partir de amostra do @320. Não se realizou amostras dos outros CPs pois todos foram retirados a partir do mesmo tubo, logo, com a mesma composição química.

O método de preparação do ensaio foi segundo a norma ASTM E 415 – 08 (espectrometria) [25] e o critério de aceitação conforme a norma ASTM A 335 Gr. P91 [26], cuja tabela de composição química pode ser verificada abaixo.

Tabela 4-8 – Composição Química do ASTM A 335 Gr. P91

Grau	**Descrição UNS**	**C**	**Mn**	**P (máx)**	**S (máx)**	**Si**	**Cr**	**Mo**
P91	K91560	0,08 a 0,12	0,30 a 0,60	0,0020	0,010	0,20 a 0,50	8,00 a 9,50	0,85 a 1,05
Outros	V – 0,18 a 0,25; Nb – 0,06 a 0,10;		N – 0,03 a 0,05; Ti – 0,01 máx.;		Ni – 0,40 máx.; Zr – 0,01 máx			Al – 0,02 máx

4.6.2 Tração e dobramento

Foram realizados ensaios de tração dos corpos de teste conforme a norma para ensaios mecânicos ASTM A 370 [27]. Para este fim, foi utilizada uma máquina universal de ensaios da marca Wolpert, tipo eletro-hidráulica com capacidade máxima para 60.000 kgf, que pode ser vista na figura abaixo.

Figura 4-3 – Imagens da máquina utilizada para os ensaios de tração

Cada corpo de teste teve 2 corpos de prova retirados para esse fim, a saber: @280 T1, @280 T2, @320 T1, @320 T2,@360 T1, @360 T2. O método de preparação dos ensaios foi conforme QW-462.1 (b) [18], enquanto o método para o ensaio seguiu também as diretrizes do QW-152 [18].

Os ensaios de dobramento guiado também foram feitos conforme ASTM A 370 [27], e seguindo os critérios para preparação do QW-462.2 [18] e de realização do ensaio conforme o QW-162 [18]. Foram preparados 4 corpos de prova para cada um dos corpos de teste, a saber: @280 DL 1, @280 DL 2, @280 DL 3, @280 DL 4, @320 DL 1, @320 DL 2, @320 DL 3, @320 DL 4, @360 DL 1, @360 DL 2, @360 DL 3, @360 DL 4.

4.6.3 Microdureza

É amplamente utilizado o ensaio de dureza com equipamentos portáteis no campo, mas a falta de compreensão sobre os fatores que podem influenciar no resultado desses testes tem gerado diversos problemas.

Existem diversos equipamentos portáteis para a realização das medições de dureza, operando com princípios distintos e cada um com peculiaridades próprias que são capazes de influenciar no resultado das medidas realizadas. Adicionalmente, as condições de trabalho das peças por si só podem gerar dificuldades consideráveis na realização de medidas precisas para se obter a dureza desses materiais.

Por exemplo, não é raro que as superfícies de tubos estejam descarbonizados em diferentes graus como um resultado dos tratamentos térmicos na fabricação. Se as camadas descarbonizadas não forem plenamente removidas antes da realização dos testes, a medição da dureza será reduzida proporcionalmente à espessura da camada que permaneceu.

Uma medida que poderá ser adotada é estabelecer uma faixa de valores aceitáveis para o resultado de ensaios de dureza no campo e se determinar faixar que irão requere exames adicionais para avaliar a adequação das medidas iniciais realizadas e/ou a adequação do material ao serviço [12].

Embora não sejam requisitos normativos, a realização do perfil de dureza durante a qualificação de procedimento de soldagem é uma prática recomendada

[1]. Foram realizados ensaios de microdureza HV_{500} (ou seja, microdureza Vickers com 500 kgf) nos três corpos de teste, conforme figura 4-5.

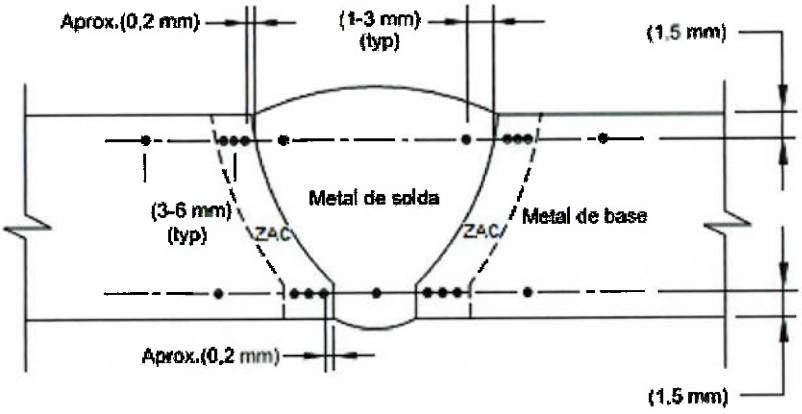


Figura 4-4– Perfil de dureza da norma N-133L [26].

Os ensaios foram realizados com microdurometro da marca Precision, modelo HV-1000, que pode ser visto na figura abaixo.

Figura 4-5 – Microdurometro utilizado nos ensaios

O método de ensaio seguiu as recomendações da ASTM E 384-09 [28] e foi realizado com 500 kgf.

4.6.4 Ensaio de Charpy

Os ensaios Charpy não são requisitos para a qualificação de procedimentos de soldagem em aços carbono 9Cr-1Mo-V, conforme o Código ASME Seção IX, a menos que seja especificado requisito de impacto. De toda forma, sua realização era essencial para o intuito do presente trabalho visto que se pretende analisar a influência da temperatura de interpasse na tenacidade do material.

Foram preparados 15 corpos de prova por corpo de teste, sendo 3 corpos de prova para verificação da energia absorvida na raiz, 3 para a energia absorvida na ZAC, 3 para a energia absorvida no metal de solda a 2 mm da face, 3 para a energia absorvida na ZAC a 2 mm da face e finalmente 3 para a energia absorvida no metal de base.

A preparação dos corpos de prova e o método de ensaio utilizado foram ambos em conformidade com a norma ASTM A 370-10 [27]. Todos os ensaios foram realizados com temperatura de ensaio de 0ºC.

4.6.5 Caracterização microestrutural

A caracterização da microestrutura foi feita no material na seção transversal da solda. A preparação metalográfica foi feita considerando as seguintes etapas:

i. Lixamento sob fluxo de água das amostras embutidas, utilizando-se lixas de carbeto de silício de 100, 240, 300, 400, 600 e 1000mesh, nesta sequência;
ii. Polimento das amostras em pano, com pasta abrasiva de diamante, de 9, 3 e 1μm, nesta sequência;

Uma vez obtida a superfície totalmente polida o material foi submetido a ataque químico com Villela (0,5 ml ácido pícrico, 2,5 ml HCl, 50 ml álcool etílico) com tempo aproximado de 50s.

As aquisições de imagens foram feitas pela câmera digital Opticam OPT 10000 acoplada no microscópio de marca Olympus BX60M, como apresentado na fig. 1.

Figura 4-6 – Microscópio Óptico utilizado

Aproveitaram-se os corpos de prova dos ensaios de dureza para a realização das macrografias. Dessa maneira, foram utilizados os corpos de prova dos ensaios de dureza do @280 e @360.

As micrografias foram realizadas a partir dos corpos de prova do ensaios de dureza do @280 e @360 e foram realizadas com ampliação de 100x, 200x e 500x nas três regiões de interesse (MB – metal de base, ZAC – Zona afetada pelo Calor e MS – Metal de Solda).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta parte do trabalho apresentará os resultados dos ensaios realizados bem como a discussão dos valores obtidos face ao que se esperava e às informações conhecidas sobre o material provenientes de normas e outros trabalhos.

5.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS

Seguem os resultados obtidos, separados por ensaio. Todos os relatórios recebidos referentes aos ensaios realizados se encontram no Anexo I, disponíveis para consulta e/ou conferência.

5.1.1 Análise Química do Material

A Tabela 5-1 apresenta os resultados da composição química do metal de base.

Tabela 5-1 – Análise Química.

AQ	Concentração dos elementos na amostra (%).							
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	V
Especificado	0,08 – 0,12	0,30 – 0,60	Máx. 0,020	Máx. 0,010	0,20 – 0,50	8,00 – 9,50	0,85 – 1,05	0,18 – 0,25
Encontrado	0,10	0,52	0,006	0,000	0,37	8,41	0,91	0,23
Desvio Padrão	0,00	0,01	0,002	0,000	0,02	0,17	0,03	0,00

AQ	Concentração dos elementos na amostra (%).						
	N	Ni	Al	Nb	Ti	Zr	Resultado
Especificado	0,030 – 0,070	Máx. 0,40	Máx. 0,02	0,06 – 0,10	Máx. 0,01	Máx. 0,01	Aprovado
Encontrado	0,070	0,40	0,01	0,08	0,00	0,01	
Desvio Padrão	0,001	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	

O resultado confirma que no que se refere à composição química o material é, de fato, um aço ASTM A 335 [26].

5.1.2 Tração e dobramento

Os resultados obtidos estão mostrados na tabela 5-3.

Tabela 5-2 – Resultados dos ensaios de Tração.

	T1			T2		
Rótulos de Linha	@280	@320	@360	@280	@320	@360
Área	675,1	675,1	656,2	673,6	664,3	663
Carga (kgf)	45,982	46940	44972	45956	56384	44978
Carga (N)	450,93	460,32	441,02	450,67	444,71	441,08
Espessura	34,8	34,8	34	34,9	34,6	34
Lar	19,4	19,4	19,3	19,3	19,2	19,5
Laudo	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
Local de Ruptura	MB	MB	MB	MB	MB	MB
Tensão (MPa)	668	682	672	669	669	665

Os resultados estão apresentados na figura 5-1. Nesta figura nota-se que o efeito da temperatura de interpasse no limite de resistência da junta soldada

não foi significativo, com os limites do @320 (temperatura de interpasse entre 320ºC a 340ºC) sendo superiores aos obtidos no @280 (temperatura de interpasse entre 280ºC a 320ºC).

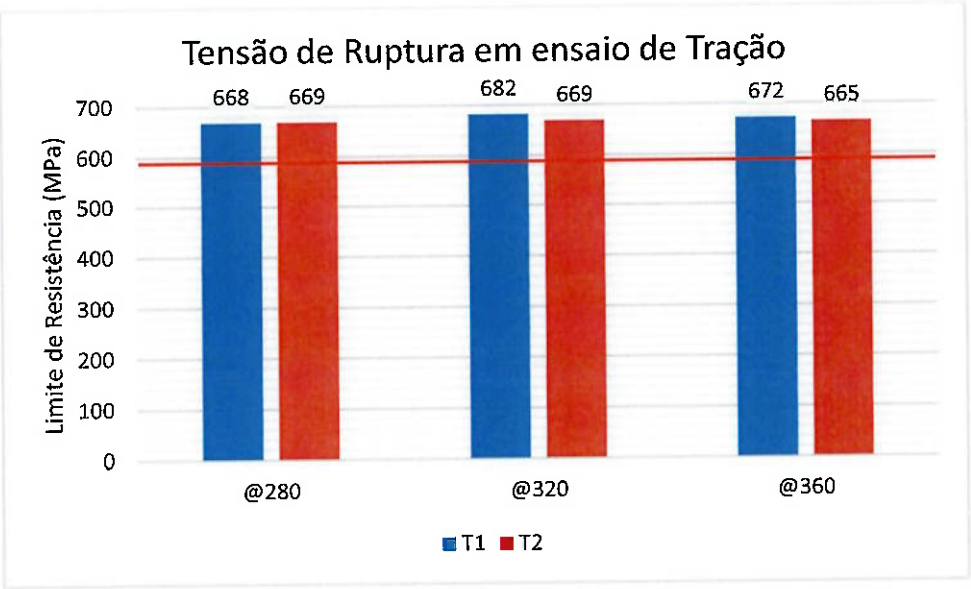


Figura 5-1 – Imagens da máquina utilizada para os ensaios de tração

Todos os corpos de prova ensaiados receberam o resultado de aprovados pois tiveram sua ruptura em valores bem acima do limite de resistência mínimo especificado para o P91, que é de 585 MPa, atendendo assim ao critério de aceitação definido pelo QW-153 [18]. Verificou-se que não houve variação significativa no limite de resistência em função da variação na temperatura de interpasse.

Entre todos os corpos de prova que foram submetidos ao ensaio de dobramento guiado, apenas o @320 DL 4 apresentou uma descontinuidade, que foi uma abertura de 2,00 mm e que por estar dentro das condições estabelecidas

pelos critérios de aceitação, foi aprovado. Todos os demais corpos de prova não apresentaram quaisquer descontinuidades, tendo sido assim também aprovados. Assim como no caso do teste de tração, não houve variação significativa nos resultados em função da variação na temperatura de interpasse.

Dessa maneira, como no caso da análise química, os resultados obtidos nos ensaios de dobramento e tração foram todos considerados satisfatórios e os 3 corpos de testes estariam aprovados mediante os critérios estabelecidos para a qualificação de procedimento de soldagem conforme o Código ASME, Sessão IX [18]. Apenas nas condições em que o teste de impacto for requerido é que a realização dos ensaios de Charpy passariam a ser necessários.

5.1.3 Microdureza

Os resultados das medidas de dureza Vickers HV_{500} para os três corpos de prova estão mostrados nas tabela 5-4 a 5-6.

Tabela 5-3 – Microdureza do @280 – HV_{500}

Metal Base	ZAC			Solda		ZAC			Metal Base
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
228	210	216	222	261	276	297	239	223	223
Metal Base	ZAC			Solda		ZAC			Metal Base
11	12	13	14	15		16	17	18	19
221	212	216	236	269		225	223	219	220

Tabela 5-4 – Microdureza do @320 – HV_{500}

Metal Base	ZAC			Solda		ZAC			Metal Base
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
210	216	216	220	272	270	260	249	226	218
Metal Base	ZAC			Solda		ZAC			Metal Base
11	12	13	14	15		16	17	18	19
220	261	270	280	295		290	264	232	226

Tabela 5-5 – Microdureza do @360 – HV_{500}

Metal Base	ZAC			Solda		ZAC			Metal Base
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
218	241	255	258	262	271	268	264	251	221
Metal Base	ZAC			Solda		ZAC			Metal Base
11	12	13	14	15		16	17	18	19
220	280	290	290	271		266	266	266	220

As células que contém resultados cujos valores de dureza se encontram acima do recomendado (280 HV) foram grifadas em negrito e itálico para maior facilidade de visualização. Todos esses valores foram obtidos nas medições de microdureza do perfil de durezas tomados no eixo inferior, na altura da raiz da solda (e a 1,5 mm da superfície).

A fim de se possibilitar uma melhor visualização desses resultados, foi elaborado o gráfico apresentado na figura 5-4.

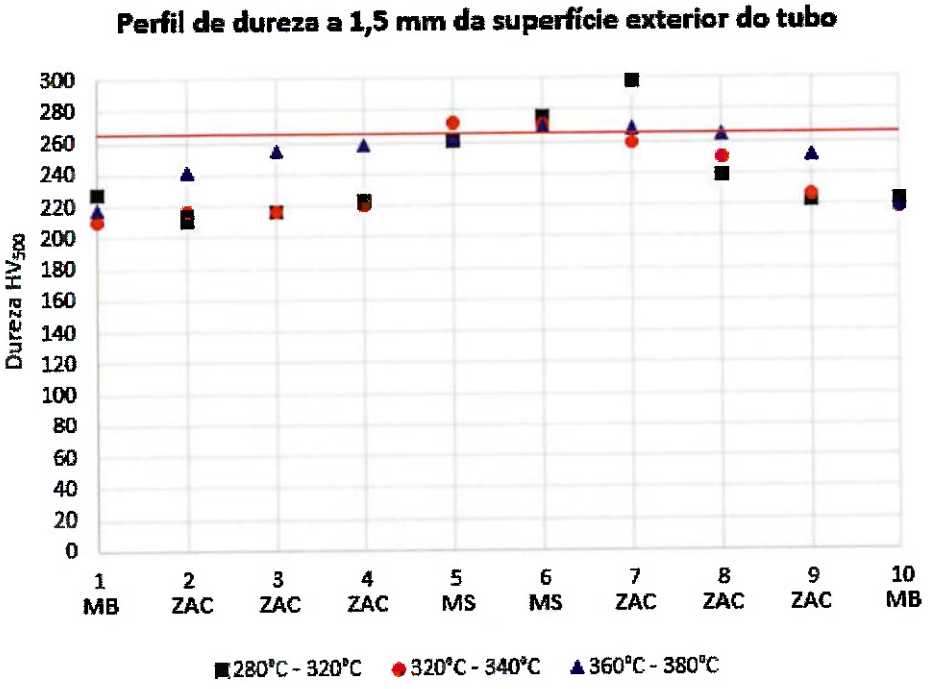


Figura 5-2 – Comparação dos 3 corpos de prova na parte exterior do tubo

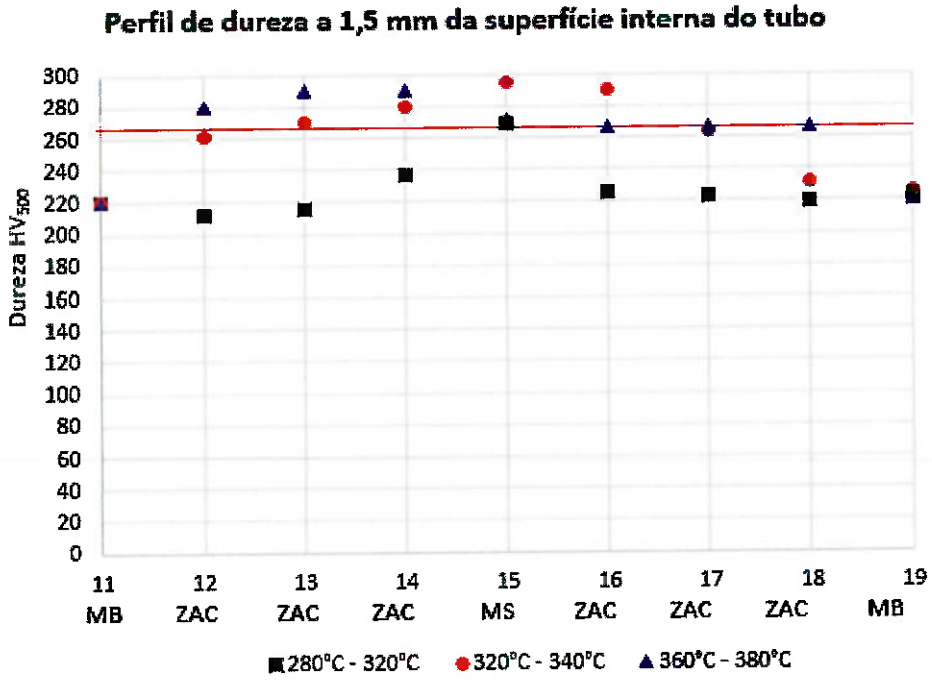


Figura 5-3 – Comparação dos três corpos de prova na parte interna do tubo

Conforme ilustram as figuras 5-2 e 5-3, todos os corpos de prova apresentaram durezas acima do limite aceitável pelo Código ASME.

Na face externa do tubo, que foi soldada utilizando-se o processo SMAW, os pontos de dureza acima do aceitável foram 2 na região soldada para o caso do @320 (320°C – 340°C), e 1 na região soldada e 1 na ZAC para o @280 (280°C – 320°C) e @360 (360°C – 380°C).

Na face interna do tubo, que foi soldada utilizando-se o processo GTAW, houve apenas 1 ponto de dureza elevada no @280 (280°C – 320°C), localizada na região soldada e diversos pontos nos @320 (320°C – 340°C) e @360 (360°C – 380°C).

Embora os resultados dos ensaios de dureza não tenham correspondido às expectativas, é possível observar que na soldagem da raiz (feita com GTAW) os corpos de prova com temperatura de interpasse mais elevada (@320 e @360) apresentaram resultados consideravelmente inferiores ao corpo de prova realizado com menor temperatura de interpasse (@280) pois tiveram valores de dureza acima do considerado aceitável na maioria dos pontos verificados, tanto na ZAC quanto na região soldada .

5.1.4 Charpy

Os resultados obtidos se encontram nas tabelas abaixo, onde @280, @320 e @360 referem-se às amostras ensaiadas para cada corpo de prova (foram 3 amostras para cada, denominadas C1, C2 e C3).

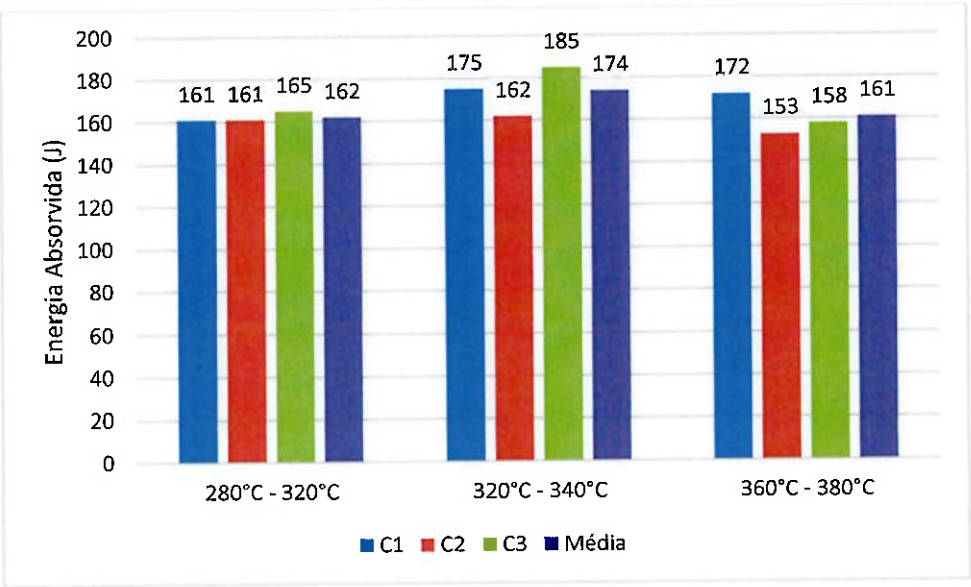


Figura 5-4 – Charpy no Metal de Base

O resultado do ensaio de Charpy no metal de base foi bastante similar em todos os corpos de prova. A realização do processo de soldagem não deve ter influência sobre o metal de base e o tratamento térmico pós soldagem aplicado (que poderia influenciar no metal de base) foi idêntico em todos os casos, já que a única variável que foi alterada no presente trabalho foi a temperatura de interpasse, que é o objeto de estudo deste.

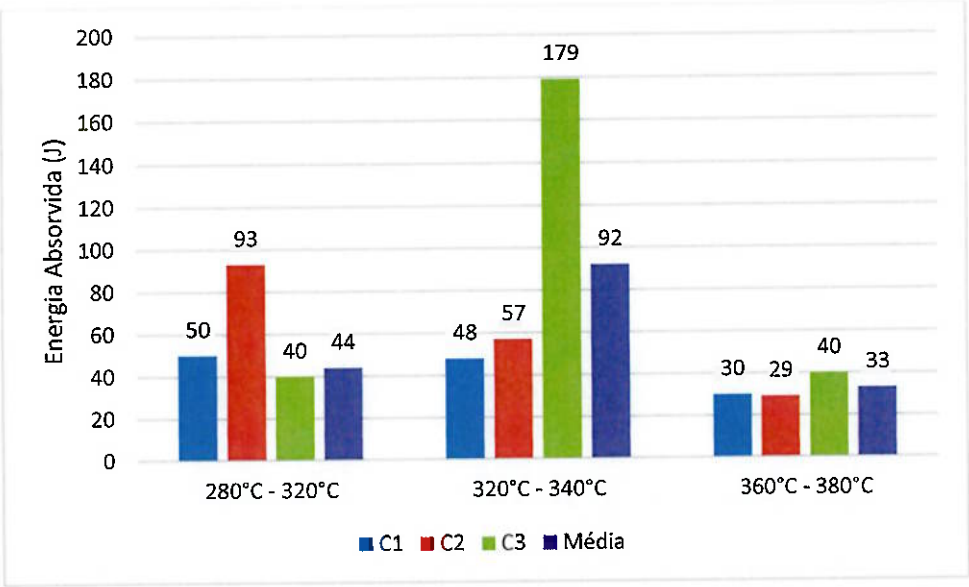


Figura 5-5 – Charpy na ZAC a 2mm da face

Salvo na terceira amostra do corpo de prova soldado com temperatura de interpasse entre 320ºC-340ºC, em todos os outros constatou-se uma grande queda na energia absorvida na ZAC para o ensaio de Charpy realizado a 2mm da face. Aqui verifica-se que o corpo de prova com interpasse entre 320ºC-340ºC apresentou o melhor resultado e o com interpasse entre 360ºC – 380ºC apresentou o pior resultado. Os resultados do ensaio de Charpy na ZAC a 2mm face foram coerentes com os resultados da dureza na ZAC a face externa do tubo e observou-se o resultado esperado de que os corpos de prova que apresentaram maiores durezas foram os com menor capacidade para absorver energia.

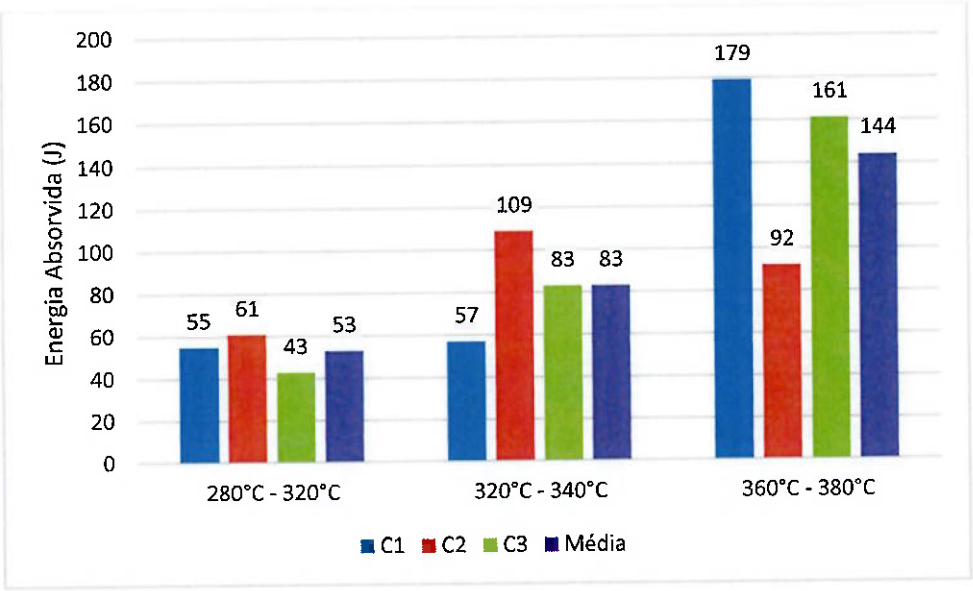


Figura 5-6 – Charpy na ZAC na raiz

Já no resultado do Charpy realizado na raiz da ZAC foi justamente o corpo de prova com temperaturas de interpasse entre 360ºC – 380ºC que apresentou o melhor resultado ficando inclusive, na média, próximo aos valores encontrados no metal de base. O corpo de prova com temperaturas de interpasse mais baixas, de 280ºC – 320ºC foi o que apresentou o pior resultado. Esse resultado não foi diretamente proporcional ao obtido no ensaio de dureza, onde as durezas mais elevadas foram encontradas no @360 e no @280, com durezas mais próximas aos limites aceitos no @320.

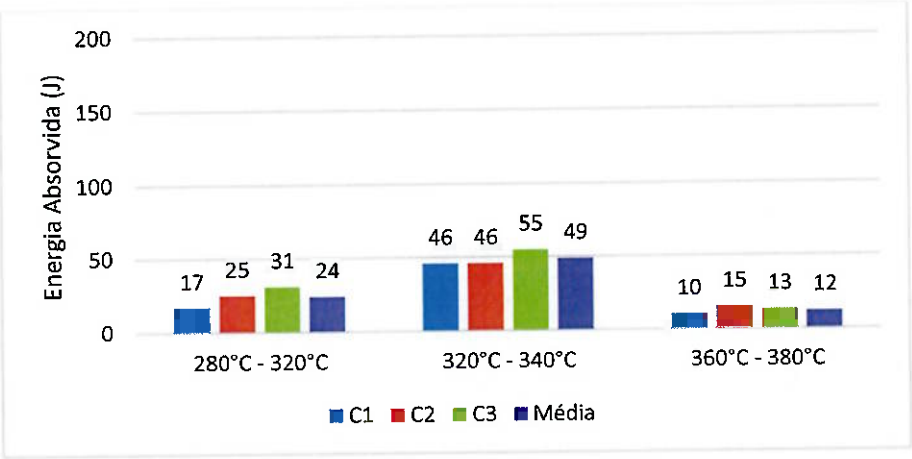


Figura 5-7 – Charpy do metal de solda a 2 mm da face

Ao avaliarmos os resultados do Charpy a 2mm da face do metal de solda constatamos um resultado análogo ao obtido na 2mm da face da ZAC, mas com todos os valores de energia absorvida reduzidos. Dessa forma, o corpo de prova soldado com a temperatura de interpasse entre 320ºC – 340ºC apresentou o melhor resultado e o soldado com temperatura de interpasse entre 360ºC – 380ºC apresentou o pior resultado. O resultado do ensaio de dureza a 2mm da face na região soldada face foi bastante próximo para todos os corpos de prova.

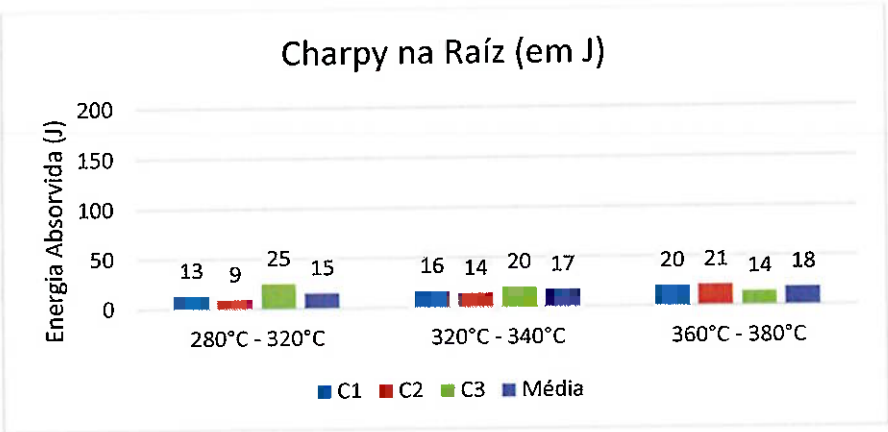


Figura 5-8 – Charpy no metal de solda na raiz

Nos ensaios de Charpy no metal de solda na raiz houve uma redução ainda maior na energia absorvida (as mais baixas na média entre todos os ensaios de Charpy realizados) e que, embora as diferenças entre os resultados com diferentes temperaturas de interpasse nesse caso seja as menores, ainda assim o corpo de prova com temperaturas de interpasse entre 360ºC-380ºC obteve os melhores resultados – assim como havia ocorrido no caso do Charpy na ZAC na raiz.

5.1.5 Caracterização microestrutural

a) Macrografia

A seguir as figuras referentes às macrografias realizadas a partir dos corpos de prova de dureza extraídos dos corpos de teste com temperaturas de interpasse entre 280ºC – 320ºC e com temperatura de interpasse entre 360ºC – 380ºC.

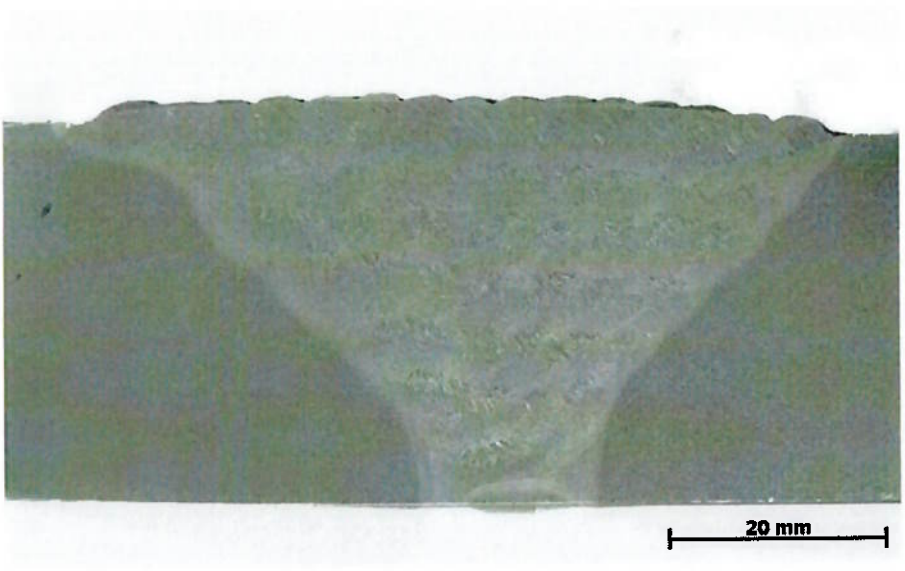


Figura 5-9 – Macrografia do CP -2 (280 ºC – 320 ºC)

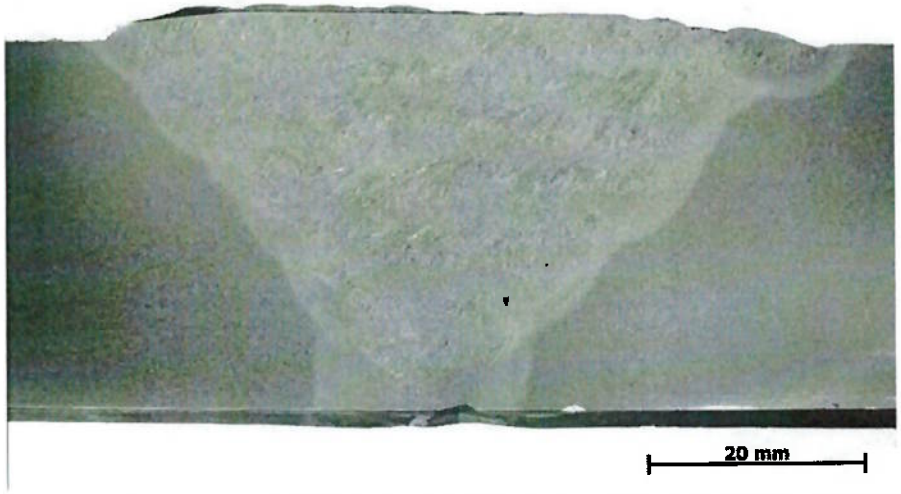


Figura 5-10- Macrografia do CP – 3 (360 ºC– 380 ºC)

b) Micrografias

As micrografias realizadas são apresentadas a seguir e discutidas na sequência de apresentação.

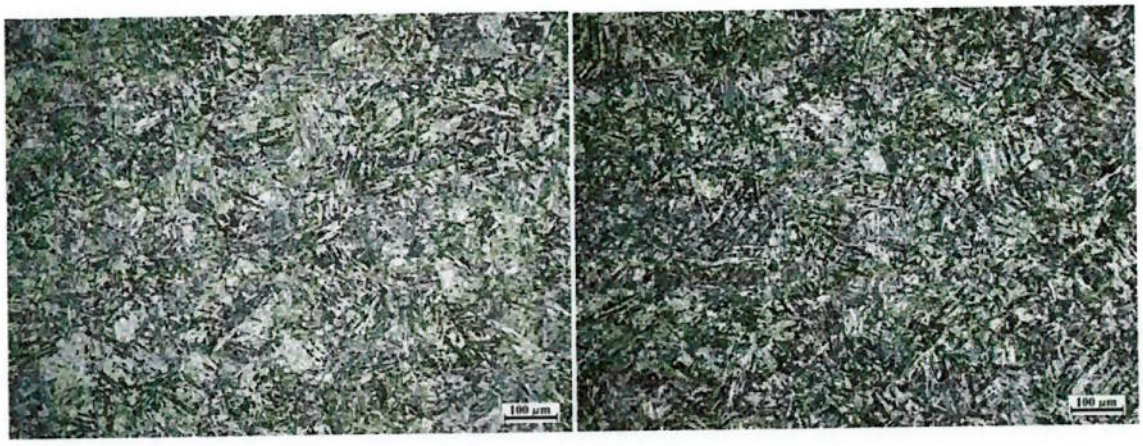


Figura 5-11 – MB no @280 (esquerda) e @360 (direita): ampliação de 100x

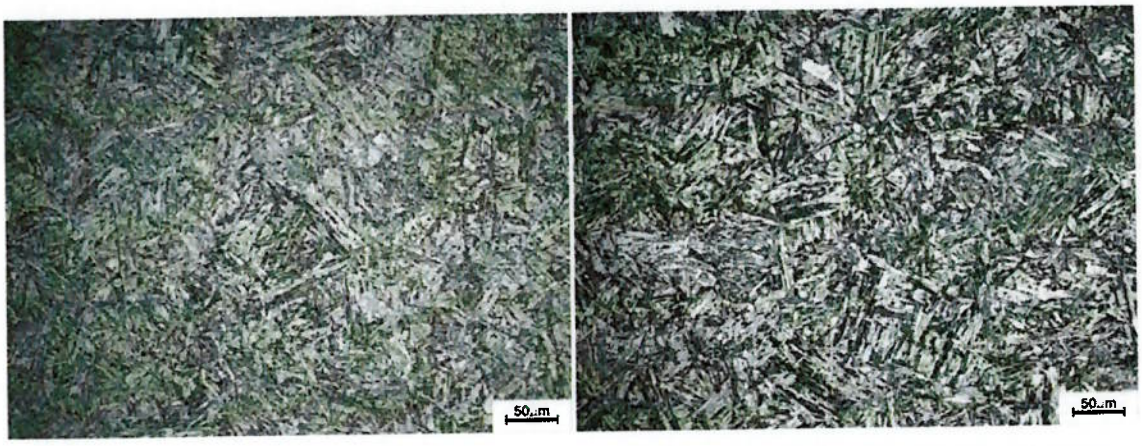


Figura 5-12 – MB no @280 (esquerda) e @360 (direita): ampliação de 200x

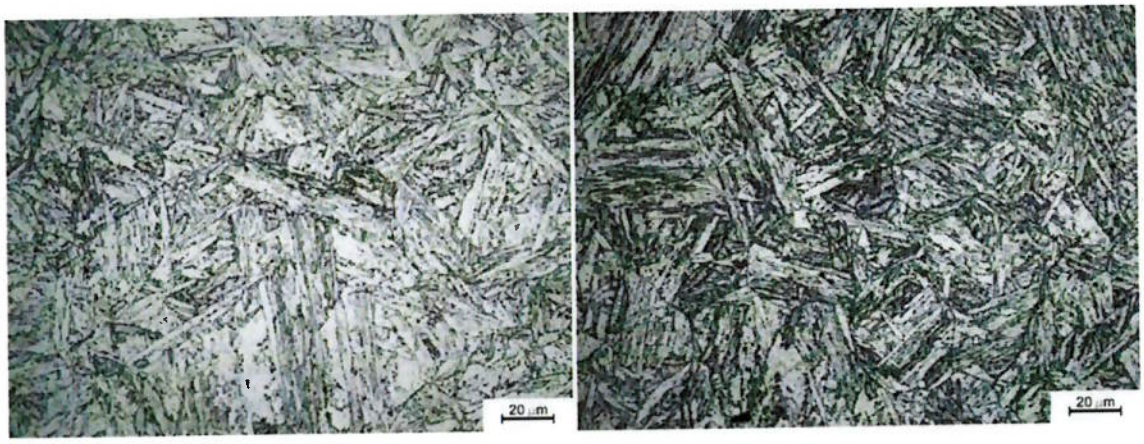


Figura 5-13–MB no @280 (esquerda) e @360 (direita): ampliação de 500x

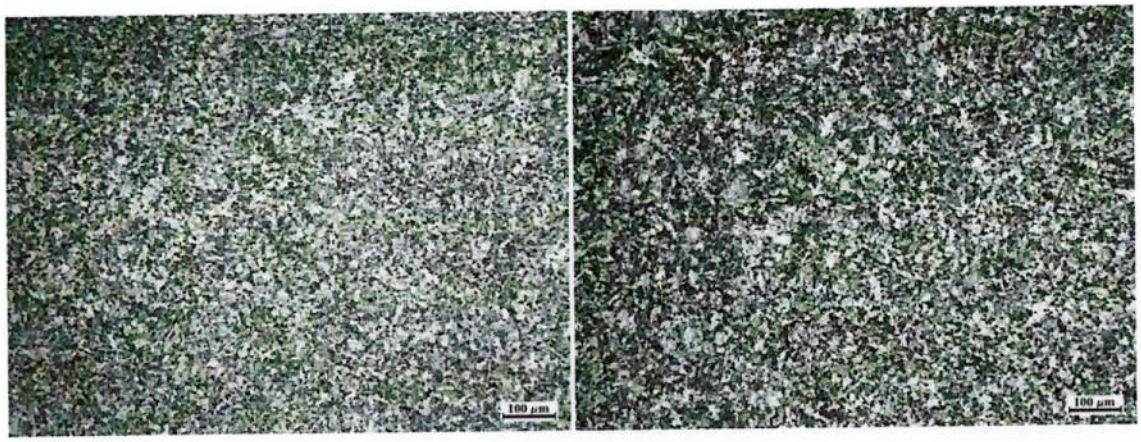


Figura 5-14 – ZAC no @280 (esquerda) e @360 (direita): ampliação de 100x

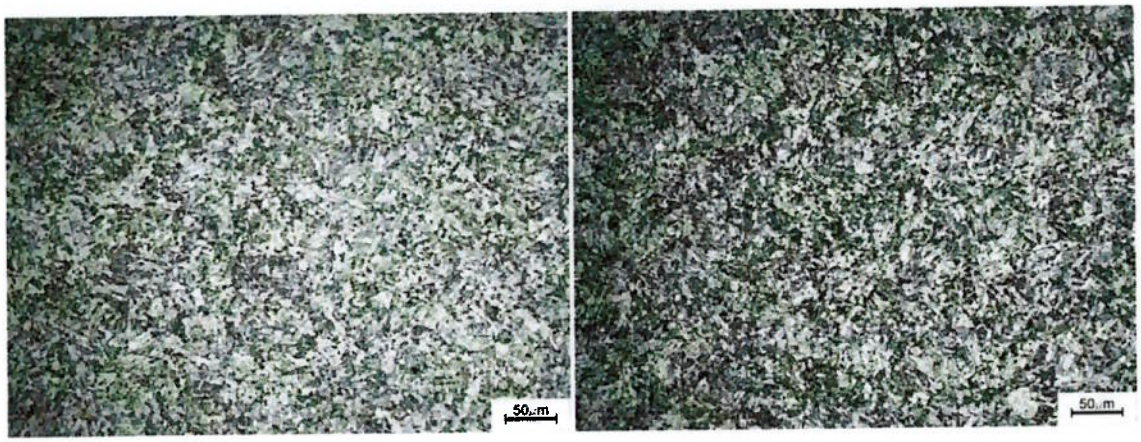


Figura 5-15 – ZAC no @280 (esquerda) e @360 (direita): ampliação de 200x

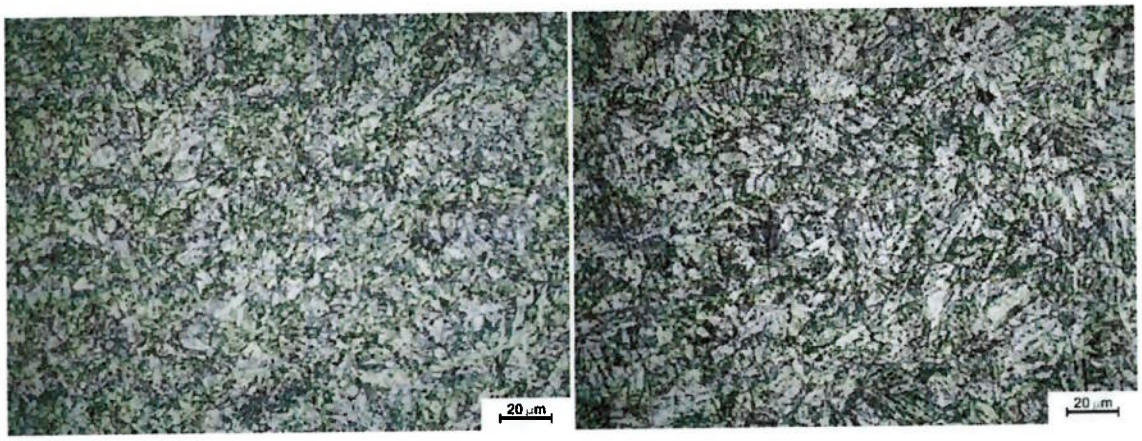


Figura 5-16 – ZAC no @280 (esquerda) e @360 (direita): ampliação de 500x

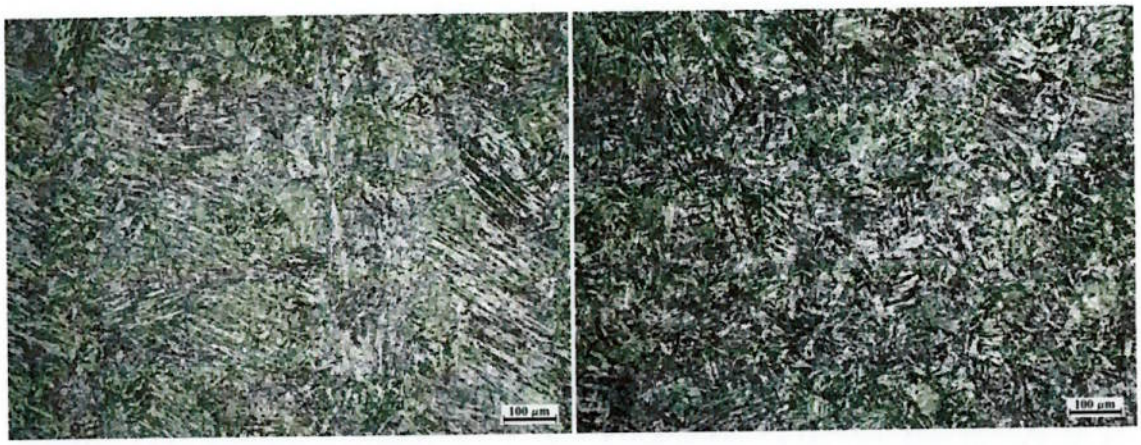


Figura 5-17 – MS no @280 (esquerda) e @360 (direita): ampliação de 100x

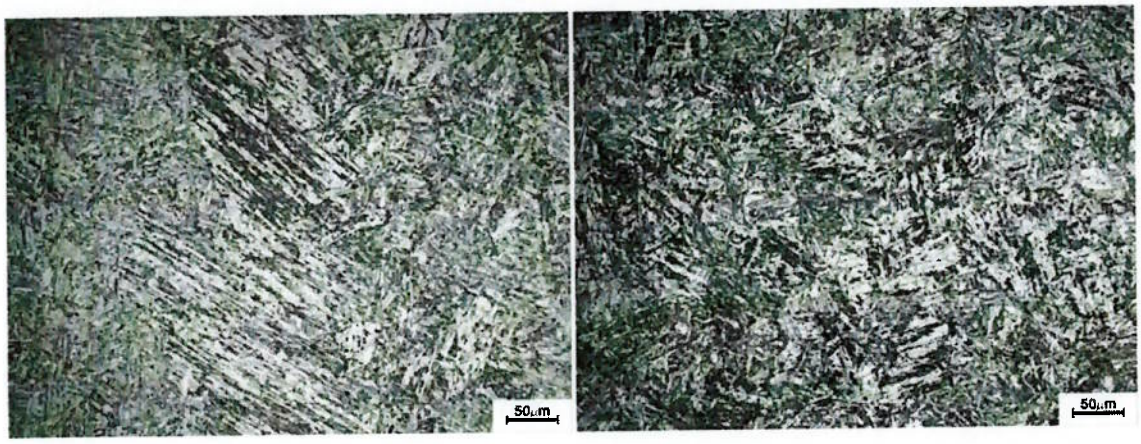


Figura 5-18 – MS no @280 (esquerda) e @360 (direita): ampliação de 200x

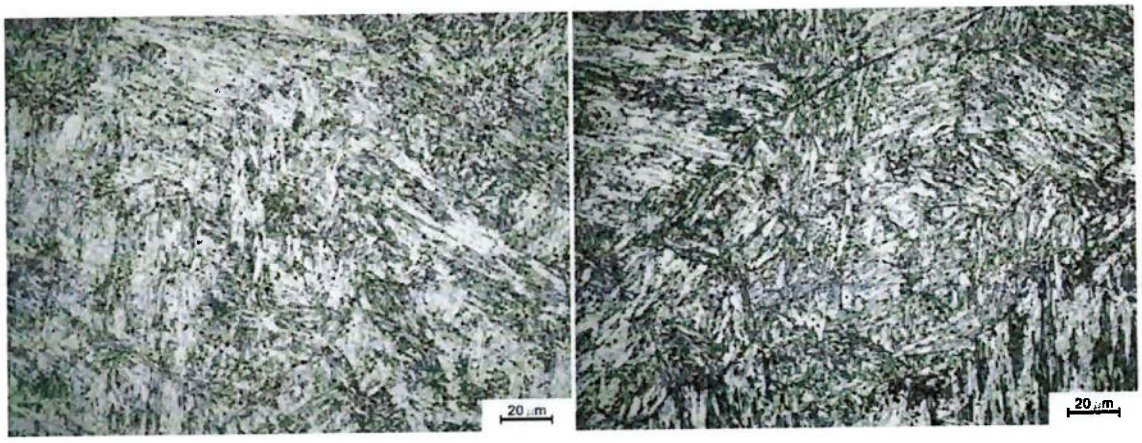


Figura 5-19 – MS no @280 (esquerda) e @360 (direita): ampliação de 500x

As micrografias realizadas no metal de base e apresentadas nas figuras 5-11 a 5-13 são bastante similares em ambos os corpos de prova (@280 e @360), conforme era de se esperar. Nelas pode-se visualizar uma microestrutura composta de martensita revenida, que é o desejável para aços P91.

Nas figuras de 5-14 a 5-16 verifica-se a microrestrutura da ZAC em sua região de maior refino de grãos e apesar delas se apresentarem semelhantes em ambos os casos é possível constatar que na imagem com menor ampliação parece haver um crescimento maior dos grãos para o corpo de prova @360.

Finalmente, nas figuras de 5-17 a 5-19 visualiza-se as microestruturas no metal soldado e estas apresentam uma maior diferença entre os resultados encontrados no @280 e no @360. Novamente, na figura com menor ampliação é possível constatar um crescimento de grãos maior no corpo de prova @360.

5.2 ASPECTOS NORMATIVOS E PRÁTICA RECOMENDADA NO AÇO P91

Quando usuários e proprietários descobrem problemas como esses eles muitas vezes ficam frustrados e espantados pois seus equipamentos estavam em adequação ao Código ASME. Esses usuários assumem que estar de acordo com o Código deveria ser o suficiente para evitar tais problemas. Mas essa suposição representa uma mudança crítica no papel percebido dos códigos ASME.

Durante virtualmente toda a sua história, a única proposta dos códigos do ASME foram garantir a segurança e prevenir falhas catastróficas que resultassem em perdas de vidas, ferimentos ou merdas materiais. Apenas recentemente os usuários começaram a enxergar os Códigos como algum tipo de guia para projetos, no qual eles acreditam que a essência de séculos de experiência no projeto, fabricação e construção está compilada.

Felizmente, as partes responsáveis envolvidas reconheceram a discrepância de percepções entre os usuários e os comitês do Código e começaram a agir. O presidente da Seção II do ASME criou um grupo de trabalho de líderes especialistas para lidarem com os problemas da má utilização do P91 e de materiais melhorados para aplicações em alta temperatura.

Em resposta, áreas críticas do ASME estão sendo revisadas para melhor definir o tratamento térmico adequado, a composição química, os limites de contaminação, de trabalho à frio, composição química e design de juntas do P91 e materiais similares [12].

5.3 ANÁLISE COMPARATIVA

Analisando-se o resultado de todos os ensaios realizados, pode-se constar que houve uma grande diferença nos resultados dos ensaios que foram realizados na superfícies externa do tubo, ou seja, no topo da solda (cuja soldagem foi feita com SMAW) para os realizados na superfície interna do tubo,

ou seja, na raiz da solda (cuja soldagem foi feita com GTAW). Convém aqui relembrarmos que houve uma diferença entre os processos e metais de adição empregados na realização da soldagem da superfície interna do tubo (passe de raiz, feito com GTAW com ER90S-B9) e na superfície externa do tubo (passes de enchimento e acabamento, feitos com SMAW com 9018-B9). Além disso, existe também uma diferença considerável na energia de soldagem empregada nesses diferentes processos.

Os resultados obtidos nos ensaios de dureza e de Charpy realizados na raiz (superfície interna do tubo) foram inferiores aos obtidos nesses mesmos ensaios quando realizados na face da solda (superfície externa do tubo), muito embora o metal de adição empregado no processo na raiz (processo GTAW) possua, conforme informação do seu fabricante, uma capacidade de absorção de energia superior ao do metal de adição empregado na face da solda (processo SMAW), com 200J à 20°C e 180J à 0°C para o ER90SB-B9 (vareta TIG) contra 83J à 20°C para o 9018-B9 (eletrodo revestido), que não informa sua energia de absorção à 0°C. A maior energia de soldagem do processo GTAW pode ter sido responsável pelos resultados inferiores obtidos na raiz apesar das características físico-químicas melhores do metal de adição empregado no processo. A espessura da vareta empregada na realização da soldagem (3.2mm) pode não ter sido a mais adequada e a aplicação de uma vareta de menor espessura (2.4mm) com um melhor controle da energia de soldagem efetivamente aplicada poderia ter contribuído para um resultado mais positivo na região da raiz.

Constatou-se também que, nos ensaios de dureza realizados na raiz, os melhores resultados foram encontrados com temperatura de interpasse entre 280ºC - 320ºC, sendo que os resultados obtidos a partir dos demais corpos de prova apresentaram dureza excessivamente elevada tanto na ZAC quanto no metal de solda. Os resultados confirmam a expectativa que existia em se obter melhores resultados com a temperatura de interpasse mais baixa. Curiosamente, os resultados dos testes de Charpy realizados na raiz apresentaram resultados bastante diferentes, com a melhor capacidade de absorção de energia ocorrendo nos corpos de prova com temperatura de interpasse entre 360ºC – 380ºC, que possuem uma dureza elevada conforme os resultados obtidos no ensaio de dureza.

Já para os ensaios realizados no topo da solda, tanto nos ensaios de dureza quanto nos ensaios de Charpy, constatou-se que os melhores resultados foram obtidos a partir do corpo de teste com temperatura de interpasse entre 320ºC – 340ºC, sendo que os piores resultados foram obtidos a partir do corpo de teste com temperatura de interpasse entre 360ºC – 380ºC pois estes apresentaram durezas mais elevadas (e acima dos limites da especificação) e capacidade de absorção de energia reduzida. Ambos os resultados são coerentes com as imagens da caracterização microestrutural, nas quais se percebe tanto na ZAC quanto no metal soldado um maior crescimento de grãos nas amostras do corpo de prova com temperaturas de interpasse entre 360ºC – 380ºC.

Os resultados dos ensaios realizados demonstraram que embora as diferenças perceptíveis na microestrutura tenham sido poucas (maior

crescimento de grãos nas amostras @360) os resultados dessa mudança nas propriedade de absorção de energia e no resultado do ensaio de medição de dureza foram consideráveis. Esses resultados confirmam a grande influência que a microestrutura tem nas propriedades dos aços 9Cr-1Mo-V, assim como a prática recomendada de se manter temperaturas de interpasse abaixo dos 360ºC.

Constatou-se também um comportamento diferenciado na superfície externa do tubo (topo do solda) quando comparada com a superfície interna (raiz da solda). A diferença nos processos de soldagem empregados (SMAW para o enchimento e acabamento e GTAW para a raiz) e também na energia de soldagem podem auxiliar a compreender os motivos para os resultados encontrados.

De toda maneira, os resultados obtidos nos ensaios de dureza fora dos limites estabelecidos pelo ASME demonstram que, caso a dureza fosse um requisito para a qualificação do procedimento de soldagem, medidas adicionais deveriam ter sido tomadas. A variação da temperatura de interpasse nos diferentes corpos de prova demonstrou influenciar ligeiramente na dureza obtida nos tubos, com os melhores resultados sendo obtidos nas temperaturas abaixo de 360ºC. No caso específico da superfície interna do tubo (raiz) o melhor resultado em termos de dureza foi obtido na amostra com faixa de temperatura intermediária (entre 320ºC – 360ºC).

6 CONCLUSÕES.

Com base nos materiais e métodos utilizados neste trabalho é possível concluir que:

Houve uma relação direta entre elevadas temperaturas de controle de interpasse e a obtenção de durezas mais elevadas na ZAC e no metal de solda para o processo GTAW.

Diante dos resultados obtidos nos ensaios de dureza, com a reprovação de todos os corpos de prova, a utilização de eletrodos com menor diâmetro e a consequente redução na energia de soldagem poderiam fazer a diferença para aprovação desses corpos de prova no requisito de dureza e, em último caso, poderia ser analisada a utilização de passe ao revenido ou da ampliação do tempo e/ou elevação da temperatura de tratamento térmico empregados já que todos esses fatores contribuem significativamente para a redução da dureza na junta soldada e na ZAC do P91.

Os ensaios de Charpy também apresentaram resultados insatisfatórios, especialmente os superfície interna do tubo (raiz) e acredita-se que esses resultados podem ser atribuídos a um controle insuficiente da energia de soldagem. O fato dos melhores resultados nos ensaios de Charpy para a superfície interna do tubo terem sido obtidos na amostra com temperaturas de controle mais elevada (e com maior dureza) indicam a necessidade de um estudo mais aprofundado dessa situação específica.

Podemos concluir ao final do presente trabalho que existe uma influência direta do controle da temperatura de interpasse em relação à microestrutura obtida após o processo de soldagem e também das propriedades resultantes de absorção de energia e de dureza.

As temperaturas de interpasse abaixo de 360ºC resultaram em menores dureza e para o caso da superfície do tubo, também resultaram em melhores capacidades de absorção de energia.

Tendo em vista os resultados obtidos e a busca contínua por maior produtividade, é recomendada a adoção da faixa de controle de interpasse mais próxima do limite superior de interpasse permissível pela norma em que se for realizar serviços de soldagem em aços 9Cr-1Mo-V, afim de se obter a melhor relação de propriedades resultantes e produtividade – desde que observados todos os demais cuidados necessários para a realização da soldagem desses aços, tais como a aplicação da energia de soldagem apropriada, o resfriamento adequado das juntas e o tratamento térmico pós soldagem correto.

7 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.

O presente trabalho constatou que a variação na temperatura de controle de interpasse teve diferentes formas e graus de influência em cada um dos dois processos utilizados. Pesquisas sobre a influência da temperatura de controle de interpasse nas características do P91 utilizando-se apenas um processo poderiam complementar aprofundar as discussões e os resultados obtidos nesse trabalho. Da mesma maneira, a avaliação do impacto da mudança da temperatura de controle de interpasse em outros processos (tais como o FCAW e o SAW) não foi avaliada neste trabalho presente texto e poderia ser objeto de estudo de outros trabalhos, contribuindo para a melhor compreensão da influência da temperatura de interpasse nos aços 9Cr-1Mo-V.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **Use of 9Cr-1Mo-V (Grade 91) Steel in the Oil Refining Industry**. Washington, D.C.: API Publishing Services, 2008.

2. EPRI - ELETRIC POWER RESEARCH INSTITUTE. **Guidelines and Specifications for High-Reliability Fossil Power Plants: Best Pratice Guideline for Manufacturing and Construction of Grade 91 Steel Components**. Palo Alto, CA. 2011. (1023199).

3. J.F. KING, V. K. S. M. L. S. J. F. T. E. E. W. P. **Weldability of Modified 9Cr-1Mo Steel**. Oak Ridge, Tenesse. 1986.

4. HENRY, J. F. Growing experience with P91/T91 forcing essencial code changes. **COMBINED CYCLE JOURNAL**, p. 8-10, First Quarter 2005.

5. SHIBLI, I. A. &. C. K. **Failures of P91 Steel at West Burton Plant in England Raise Concerns About Long Term Behavior of the Advanced Steel**. European Technology Development. UK, p. 9. 2003.

6. T.C. TOTEMEIER, J. A. S. H. T. Effect of weld intercooling temperature on the sctructure and impact strength of ferritc-martensitic steels, p. 323-331, April 2006.

7. M. SIREESHA, S. K. A. E. S. S. Importance of filler material chemistry for optimising weld metal mechanical properties in modified 9Cr-1Mo steel. **Science and Technology of Welding and Joining**, v. 6, p. 247-254, April 2001. ISSN ISSN 1362-1718.

8. V.K. SIKKA, C. T. W. E. K. C. T. **Ferritic steels for high temperature applications**. Metals Park, OH: ASM, 1983.

9. RAMESH SINGH, M. S. Handling Welding Challenges of 9-Chrome-Moly Steel. **Pipeline & Gas Journal**, p. 65-69, Outubro 2011.

10. API. **Use of 9Cr-1Mo-V (Grade 91) Steel in the Oil Refining Industry**. API. Washington D.C., p. 43. 2008.

11. NACE - NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS. **Materials Resistant to Sulfide Stress Cracking in Corrosive Petroleum Refining Environments**. [S.l.], p. 41. 2012.

12. NACE - NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS. **Methods and Controls to Prevent In-Service Environmental Cracking of Carbon Steel Weldments in Corrosive Petroleum Refining Environments**. NACE. [S.l.], p. 36. 2010.

13. NEGROMONTE, J. M. D. M. **AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE TRATAMENTOS TÉRMICOS PÓS-SOLDAGEM EM JUNTAS DE**

TUBULAÇÃO EM AÇO LIGA FERRÍTICO ASTM A335 Gr. P91. Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 190. 2012.

14. R.W. SWINDEMAN, M. L. S. P. J. M. B. W. R. K. C. Issues in replacing Cr-Mo steels and stainless steels with 9Cr-1Mo-V steel. **International Journal of Pressure Vessesls and Piping**, 81, 2004. 507-512.

15. EPRI - ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE. **Optimal Hardness of P91 Weldments**. EPRI. Concord, CA, p. 50. 2003.

16. DIEGO M. GARCIA, S. D. B. **Soldagem dos Aços P91:** Evoluções Recentes dos Requisitos de Normas Técnicas. 11ª Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos. [S.l.]: [s.n.]. 2011.

17. AWS - AMERICAN WELDING SOCIETY. **Standard Methods for Mechanical Testing of Welds**. [S.l.], p. 154. 2007.

18. NACE - NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS. **Materials Resistant to Sulfide Stress Cracking in Corrosive Petroleum Refining Environments**. NACE. [S.l.], p. 41. 2012.

19. FUNDERBURK, R. S. The Importance of Interpass Temperature. **Welding Innovation**, v. XI, n. Nº 1, p. 15-16, Jan 1998.

20. ASME. **BPVC Section II - Materials**. [S.l.]. 2013.

21. ASME. **BPVC Section IX - Welding, Brazing, and Fusing Qualifications**. [S.l.]: [s.n.], 2013.

22. ASME. **BPVC Section V - Nondestructive Examination**. [S.l.]: [s.n.], 2013.

23. ASME. **BPVC Section I - Rules for Construction of Power Boilers**. [S.l.]: [s.n.], 2013.

24. ASME. **BPVC Section VIII Div. 1 - Rules for Construction of Pressure Vessels**. [S.l.]: [s.n.], 2013.

25. AMERICAN WELDING SOCIETY. **AWS D1.1/D1.1M:** 2010 - Structural Welding Code - Steel. Miami, FL: [s.n.], 2010.

26. AMERICAN WELDING SOCIETY. **AWS D1.5/D1.5M - Bridge Welding Code**. Miami, FL: [s.n.], 2002.

27. PETROBRAS. **N-133L SOLDAGEM**. [S.l.]: [s.n.], 2013.

28. ASTM INTERNATIONAL. **ASTM Standard E415 - 08 "Standard Test Method for Atomic Emission Vacuum Spectrometric Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel"**. West Conshohocken: [s.n.], 2008.

29. ASTM INTERNATIONAL. **ASTM Standard A335 / A335M - 11 "Standard Specification for Seamless Ferritic Alloy-Steel Pipe for High-Temperature Service"**. West Conshohocken: [s.n.], 2011.

30. ASTM INTERNATIONAL. **ASTM Standard A370-12a "Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products"**. West Conshohocken: [s.n.], 2012.

31. ASTM INTERNATIONAL. **ASTM Standard E384-09 "Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials"**. West Conshohocken: [s.n.], 2009.

ANEXO A – REGISTROS DE ACOMPANHAMENTO DE SOLDAGEM

22

PÁG 02

REGISTRO DE SOLDAGEM

Nº.: EPS TR-13C
REV.: C
DATE:

QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM - CP 01

Número de Passe	Camada	Espec. SFA	Consumível	F-NO	A-NO	Diâmetro (mm)	Corrente/Polaridade	Amps (A) 152 a 154	Volts (V)	Tempo de Soldagem (min)	Comprimento do Passe (mm)	Energia de Soldagem (J/mm)	Velocidade de Soldagem (mm/min)	Altura do Passe (mm)	Cobre Junta
1	2	A5.5	E7018B4	6	5	3,25	CC-	[illegible]	10 a 12	9:38 a 10:36	[illegible] 1040		8,8	4,0	NÃO
2	2		//	//	5	//	//	212 a 213	14 a 15	10:33 a 10:50	//		9,5	3,0	SIM
3	3	A5.5	E9015B3	4	5	//	CC+	157 a 160	24 a 27	10:57 a 11:00	500		6,5	3,0	SIM
4	3	//	//	//	5	//	//	147 a 150	26 a 30	11:01 a 11:06	//		10,4	3,0	SIM
5	4	//	//	//	5	4,0	//	185 a 189	25 a 27	11:07 a 11:10	//		13,3	4,0	SIM
6	4	//	//	//	5	//	//	196 a 200	26 a 28	11:17 a 11:26	//		13,3	4,0	//
7	4	//	//	//	5	//	//	194 a 198	26 a 28	11:18 a 11:22	//		10	//	//
8	5	//	//	//	5	//	//	181 a 190	25 a 27	11:24 a 11:27	//		13,0	3,0	//
9	5	//	//	//	5	//	//	187 a 194	25 a 27	11:31 a 11:34	//		13,3	3,0	//
10	5	//	//	//	5	//	//	184 a 187	24 a 26	11:37 a 11:40	//		13,3	//	//
11	5	//	//	//	5	3,25	//	179 a 184	26 a 28	11:43 a 11:48	//		10,4	//	//
12	6	//	//	//	5	4,0	//	174 a 182	23 a 25	13:42 a 13:45	//		13,0	5,0	//
13	6	//	//	//	5	//	//	178 a 185	23 a 25	13:46 a 13:50	//		13,0	//	//
14	6	//	//	//	5	//	//	173 a 183	23 a 25	13:51 a 13:56	//		10,4	//	//
15	6	//	//	//	5	//	//	195 a 200	24 a 26	14:07 a 14:11	//		10,4	//	//
16	6	//	//	//	5	//	//	187 a 193	25 a 27	14:12 a 14:17	//		10,4	//	//
17	7	//	//	//	5	//	//	187 a 192	24 a 26	14:20 a 14:24	//		13,0	3,0	//
18	7	//	//	//	5	//	//	198 a 206	22 a 24	14:27 a 14:31	//		13,0	//	//
19	7	//	//	//	5	//	//	196 a 200	24 a 26	14:35 a 14:39	//		13,0	//	//
20	7	//	//	//	5	//	//	198 a 200	24 a 26	14:43 a 14:48	//		8,67	//	//
21	7	//	//	//	5	//	//	192 a 198	24 a 28	14:52 a 14:57	//		10,4	//	//
22	7	//	//	//	5	//	//	193 a 199	26 a 27	15:04 a 15:10	//		7,8	//	//
23	8	//	//	//	5	//	//	195 a 198	24 a 26	15:13 a 15:18	//		10,4	//	//
24	8	//	//	//	5	4,0	//	198 a 200	25 a 27	08:14 a 08:17	//		13,3	4,0	//
25	8	//	//	//	5	//	//	184 a 198	23 a 26	08:20 a 08:24	//		13,0	//	//
26	8	//	//	//	5	//	//	198 a 200	24 a 26	08:26 a 08:29	//		13,3	//	//
27	8	//	//	//	5	//	//	199 a 206	25 a 27	08:31 a 08:36	//		10,4	//	//
28	8	//	//	//	5	//	//	188 a 196	24 a 27	08:38 a 08:42	//		13,0	//	//

Continua

Pag 02

REGISTRO DE SOLDAGEM

Nº.: EPS TR-13C
REV.: C
DATE:

QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM - CP 01

Número de Passe	Camada	Espec. SFA	Consumível	F-NO	A-NO	Diâmetro (mm)	Corrente/Polaridade	Amps (A)	Volts (V)	Tempo de Soldagem (min)	Comprimento do Passe (mm)	Energia de Soldagem (J/mm)	Velocidade de Soldagem (mm/min)	Altura do Passe (mm)	Cobre Junta
1	08	A-57	E 9015B9	–	5	4.0	CC+	197 á 201	24 á 26	08:45:08:49	520		130	4.0	S.M
2	08	"	"	"	5	"	"	187 á 198	25 á 27	08:54:08:56	"		260	"	"
3	09	"	"	"	5	"	"	197 á 203	23 á 25	09:06:09:10	"		130	3.0	"
4	09	"	"	"	5	"	"	194 á 198	26 á 28	09:12:09:16	"		130	"	"
5	09	"	"	"	5	"	"	193 á 198	25 á 27	09:21:09:24	"		133,3	"	"
6	09	"	"	"	5	"	"	193 á 197	24 á 26	09:26:09:29	"		133,3	"	"
7	09	"	"	"	5	"	"	192 á 198	25 á 27	09:37:09:44	"		243,3	"	"
8	09	"	"	"	5	"	"	189 á 197	25 á 28	09:52:09:56	"		130	"	"
9	09	"	"	"	5	"	"	188 á 194	25 á 28	09:59:10:04	"		104	"	"
10	09	"	"	"	5	"	"	183 á 196	24 á 27	10:07:10:10	"		133,3	"	"
11	09	"	"	"	5	"	"	186 á 193	25 á 28	10:16:10:20	"		130	"	"
12	10	"	"	"	5	4.0	"	189 á 197	24 á 26	10:25:10:29	"		130	3.0	"
13	10	"	"	"	5	"	"	186 á 199	24 á 27	10:31:10:34	"		133,3	"	"
14	10	"	"	"	5	"	"	197 á 200	25 á 27	10:39:10:44	"		104	"	"
15	10	"	"	"	5	"	"	196 á 201	25 á 27	10:46:10:51	"		104	"	"
16	10	"	"	"	5	"	"	189 á 193	26 á 28	10:56:11:01	"		104	"	"
17	10	"	"	"	5	"	"	188 á 196	29 á 31	12:17:13:21	"		130	"	"
18	10	"	"	"	5	"	"	186 á 191	27 á 29	13:25:13:29	"		130	"	"
19	10	"	"	"	5	"	"	179 á 186	27 á 29	13:34:13:39	"		104	"	"
20	10	"	"	"	5	"	"	189 á 194	28 á 30	13:45:13:49	"		130	"	"
21	11	"	"	"	5	3.20	"	135 á 142	22 á 23	10:18:10:23	"		130	4.0	"
22	11	"	"	"	5	"	"	"	23 á 25	10:24:10:27	"		133,3	"	"
23	11	"	"	"	5	"	"	140 á 142	24 á 26	10:29:10:32	"		133,3	"	"
24	11	"	"	"	5	"	"	149 á 153	"	10:31:10:32	"		130	"	"
25	11	"	"	"	5	"	"	142 á 152	26 á 29	10:42:10:43	"		133,3	"	"
26	11	"	"	"	5	"	"	"	24 á 26	10:47:10:52	"		130	"	"
27	11	"	"	"	5	"	"	140 á 146	23 á 28	10:53:10:56	"		133,3	"	"
28	11	"	"	"	5	"	"	136 á 148	24 á 26	11:02:11:03	"		130	"	"

Continua

12/05/13

Pág 03

REGISTRO DE SOLDAGEM

Nº.: EPS TR-13C
REV.: C
DATE:

QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM - CP 01

Número de Passe	Camada	Espec. SFA	Consumível	F-NO	A-NO	Diâmetro (mm)	Corrente/Polaridade	Amps (A)	Volts (V)	Tempo de Soldagem (min)	Comprimento do Passe (mm)	Energia de Soldagem (J/mm)	Velocidade de Soldagem (mm/min)	Altura do Passe (mm)	Cobre Junta
1	11	523	420/523	4	5	523	CCT	145 a 152	25 a 27	11:06 : 11:09	520		173,3	4,0	SIM
2	11	"	"	"	5	"	"	"	24 a 26	11:11 : 11:16	"		104	"	"
3	11	"	"	"	5	"	"	150 a 152	"	11:17 . 11:22	"		130	"	"
4	11	"	"	"	5	"	"	149 a 150	26 a 28	11:23 11:27	"		130	"	"
5	11	"	"	"	5	"	"	"	25 a 27	11:30 11:34	"		130	"	"
6	"	"	"	"	5	"	"	"	"	11:37 11:42	"		130	"	"
7	"	"	"	"	5	"	"	148 a 150	24 a 26	11:46 . 11:50	"		130	"	"
8					5										
9					5										
10					5										
11					5										
12					5										
13					5										
14					5										
15					5										
16					5										
17					5										
18					5										
19					5										
20					5										
21					5										
22					5										
23					5										
24					5										
25					5										
26					5										
27					5										
28					5										

Continua

PAG 01

CORPO DE PROVA CP-01

TEMPERATURA DE INTERPASSE: 320°C < X < 340°C

Controle do interpasse realizado pelo registrador a 1" (25mm) do chanfro.

PAG 01

Nº do passe	Tempo de Interpasse (MIN)	Temperatura no pirômitro	Temperatura a 3"	Temperatura a 1"
1	03	167	235	245
2	02	176	243	249
3	01	220	252	275
4	01	245	260	315
45	03	220	270	330
46	02	215	280	368
47	02	320	290	347
48	03	360	292	337
50	03	348	305	370
5	03	345	315	367
5	03	305	318	335
6	01	200	220	300
6	01	275	250	304
6	10	276	280	290
6	01	270	269	311
6	03	270	280	335
7	03	280	293	380
7	04	320	305	366
7	04	350	306	385
7	03	325	307	359
7	07	350	307	395
7	03	360	308	320
08	1016	293	316	343
08	03	205	236	260
09	02	260	264	302
9	02	286	279	316
9	02	292	292	356
10	03	310	308	351

PAG 02

Nº do passe	Tempo de Interpasse (MIN)	Temperatura no pirômitro	Temperatura a 3"	Temperatura a 1"
08	05	292	312	357
08	10	270	314	348
08	02	226	302	334
08	05	260	308	366
08	02	270	331	340
09	03	220	308	377
09	08	312	300	314
09	03	252	291	322
09	03	220	295	320
09	06	240	315	368
10	05	248	298	318
10	02	245	284	306
10	05	270	293	349
10	02	315	300	363
10	05	345	309	370
10	136	365	327	403
10	04	200	216	239
10	04	230	233	262
10	06	220	262	320
10	1290	235	264	287
10	02	165	217	235
	02	220	225	256
	02	220	248	266
	04	270	245	230
	02	250	248	273
	02	235	245	280
	05	235	255	310
	02	271	252	290

Pag 02

CORPO DE PROVA CP-01

TEMPERATURA DE INTERPASSE: 320°C < X < 340°C

Controle do interpasse realizado pelo registrador a 1" (25mm) do chanfro.

Pag 03

Nº do passe	Tempo de Interpasse	Temperatura no pirômitro	Temperatura a 3"	Temperatura a 1"
01	01	275	266	302
02	03	345	340	332
03	01	325	320	304
04	04	335	335	345
05	01	240	260	264
06	03	//	//	280
07	05	320	265	272
08				

Nº do passe	Tempo de Interpasse	Temperatura no pirômitro	Temperatura a 3"	Temperatura a 1"

REGISTRO DE SOLDAGEM

PAGO1

Nº.: EPS TR-13C
REV.: C
DATE:

QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM - CP ~~01~~ 02

Número de Passe	Camada	Espec. SFA	Consumível	F-NO	A-NO	Diâmetro (mm)	Corrente/Polaridade	Amps (A)	Volts (V)	Tempo de Soldagem (min)	Comprimento do Passe (mm)	Energia de Soldagem (J/mm)	Velocidade de Soldagem (mm/min)	Altura do Passe (mm)	Cobre Junta
1	01	A5.28	E-9015-B9	04	5	3,25	CC-	133 á 135	31 á 32	09:13 . 12:30	1040		5,2	4,0	não
2	02	"	"	"	5	3,25	CC-	163 á 166	33 á 34	13:39 : 14:03	1040		43,3	2,0	sim
3	03	A5.5	E-9015-B9	04	5	4,0	CC+	162 á 168	23 á 25	14:20 : 14:24	520		520	3,0	"
4	03	"	"	"	5	"	"	169 á 176	23 á 26	14:29 : 14:32	"		173	"	"
5	03	"	"	"	5	"	"	162 á 174	24 á 26	14:35 : 14:43	"		65	"	"
6	04	"	"	"	5	"	"	165 á 170	23 á 25	14:47 : 15:10	"		193	5,0	"
7	04	"	"	"	5	"	"	166 á 174	24 á 26	15:12 : 15:18	"		86,6	"	"
8	04	"	"	"	5	"	"	175 á 180	23 á 25	15:21 : 15:27	"		86,6	"	"
9	04	"	"	"	5	"	"	169 á 177	25 á 27	15:31 : 15:35	"		130	"	"
10	04	"	"	"	5	"	"	166 á 173	24 á 26	15:38 : 15:41	"		173	"	"
11	05	"	"	"	5	4,0	"	174 á 180	24 á 27	08:36 á 08:42	"		104	5,0	"
12	05	"	"	"	5	"	"	194 á 198	24 á 26	08:47 á 08:52	"		130	"	"
13	05	"	"	"	5	"	"	176 á 180	23 á 25	08:57 á 09:02	"		104	"	"
14	05	"	"	"	5	"	"	168 á 173	23 á 25	09:08 : 09:13	"		"	"	"
15	05	"	"	"	5	"	"	170 á 174	24 á 26	09:20 : 09:25	"		"	"	"
16	05	"	"	"	5	"	"	"	"	09:32 : 09:38	"		86,6	"	"
17	06	"	"	"	5	"	"	150 á 156	24 á 27	09:59 : 10:04	"		104	5,0	"
18	06	"	"	"	5	"	"	178 á 182	24 á 26	10:13 : 10:17	"		130	"	"
19	06	"	"	"	5	"	"	176 á 183	25 á 27	10:23 : 10:28	"		104	"	"
20	06	"	"	"	5	"	"	180 á 182	24 á 25	10:36 : 10:40	"		130	"	"
21	06	"	"	"	5	"	"	179 á 184	24 á 26	10:48 : 10:53	"		104	"	"
22	06	"	"	"	5	"	"	172 á 184	24 á 25	11:02 : 11:07	"		"	"	"
23	06	"	"	"	5	"	"	173 á 184	25 á 27	11:13 : 11:18	"		"	"	"
24	07	"	"	"	5	"	"	196 á 200	25 á 27	13:37 : 13:42	"		130	5,0	"
25	07	"	"	"	5	"	"	197 á 201	27 á 29	13:45 : 13:49	"		104	"	"
26	07	"	"	"	5	"	"	196 á 202	25 á 27	13:53 : 13:57	"		130	"	"
27	07	"	"	"	5	"	"	196 á 200	25 á 27	14:05 : 14:10	"		104	"	"
28	07	"	"	"	5	"	"	195 á 202	25 á 28	14:17 : 14:21	"		130	"	"

Continua

REGISTRO DE SOLDAGEM

Pag 02

N°.: EPS TR-13C
REV.: C
DATE:

QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM - CP 01

Número de Passe	Camada	Espec. SFA	Consumível	F-NO	A-NO	Diâmetro (mm)	Corrente/Polaridade	Amps (A)	Volts (V)	Tempo de Soldagem (min)	Comprimento do Passe (mm)	Energia de Soldagem (J/mm)	Velocidade de Soldagem (mm/min)	Altura do Passe (mm)	Cobre Junta
1	07	A.5.5	E-9015-B9	04	5	4,0	CC+	196 a 202	25 a 28	14:28 ; 14:33	520		74,3	5,00	5,00
2	07	"	"	"	5	"	"	195 a 202	25 a 27	14:45 ; 14:47	"		130	"	"
3	07	"	"	"	5	"	"	196 a 203	26 a 28	14:55 ; 15:04	"		57	"	"
4	07	"	"	"	5	"	"	196 a 202	24 a 27	15:10 ; 15:14	"		130	"	"
5	08	"	"	"	5	"	"	198 a 203	25 a 27	15:20 ; 15:25	"		104	0,70	"
6	08	"	"	"	5	"	"	196 a 202	26 a 28	15:32 ; 15:36	"		130	"	"
7	08	"	"	"	5	"	"	188 a 192	25 a 27	15:44 ; 15:48	"		"	"	"
8	08	"	"	"	5	"	"	194 a 197	25 a 27	15:55 ; 16:00	"		104	"	"
9	08	"	"	"	5	"	"	195 a 200	26 a 28	16:06 ; 16:10	"		130	"	"
10	08	"	"	"	5	"	"	193 a 198	24 a 27	16:17 ; 16:21	"		130	"	"
11	08	"	"	"	5	"	"	190 a 199	28 a 30	08:11 ; 08:16	"		104	"	"
12	08	"	"	"	5	"	"	191 a 198	27 a 29	08:17 ; 08:21	"		130	"	"
13	08	"	"	"	5	"	"	194 a 200	25 a 27	08:24 ; 08:29	"		104	"	"
14	08	"	"	"	5	"	"	198 a 202	25 a 28	08:33 ; 08:36	"		"	"	"
15	08	"	"	"	5	"	"	197 a 201	26 a 27	08:42 ; 08:46	"		130	"	"
16	09	"	"	"	5	3,25	"	143 a 147	25 a 27	09:26 ; 09:34	"		65	3,0	"
17	09	"	"	"	5	"	"	144 a 153	26 a 29	09:37 ; 09:42	"		104	"	"
18	09	"	"	"	5	"	"	142 a 148	25 a 29	09:44 ; 09:47	"		173,3	"	"
19	09	"	"	"	5	"	"	148 a 153	25 a 27	09:52 ; 09:56	"		130	"	"
20	09	"	"	"	5	"	"	148 a 153	25 a 28	10:01 ; 10:05	"		"	"	"
21	09	"	"	"	5	"	"	154 a 157	26 a 28	10:09 ; 10:14	"		104	"	"
22	09	"	"	"	5	"	"	148 a 153	25 a 27	10:19 ; 10:23	"		130	"	"
23	09	"	"	"	5	"	"	150 a 154	25 a 27	10:26 ; 10:31	"		104	"	"
24	09	"	"	"	5	"	"	149 a 153	26 a 28	10:35 ; 10:39	"		130	"	"
25	09	"	"	"	5	"	"	148 a 151	26 a 28	10:44 ; 10:47	"		173,3	"	"
26	09	"	"	"	5	"	"	149 a 152	26 a 28	10:51 ; 10:54	"		173,3	"	"
27	09	"	"	"	5	"	"	149 a 153	25 a 27	10:57 ; 11:01	"		130	"	"
28	09	"	"	"	5	"	"	148 a 152	24 a 26	13:30 ; 13:34	"		"	"	"

Continua

REGISTRO DE SOLDAGEM

PAG03

Nº.: EPS TR-13C
REV.: C
DATE:

QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM - CP 01

Número do Passe	Camada	Espec. SFA	Consumível	F-NO	A-NO	Diâmetro (mm)	Corrente/Polaridade	Amps (A)	Volts (V)	Tempo de Soldagem (min)	Comprimento do Passe (mm)	Energia de Soldagem (J/mm)	Velocidade de Soldagem (mm/min)	Altura do Passe (mm)	Cobre Junta
1	09	A55	E9015B3	4	5	3,25	CC+	145 a 155	26 a 28	13:40 ; 13:43	520		173,3	3,0	Sim
2	09	"	"	"	5	"		153 a 159	25 a 28	13:54 ; 13:57	"		86,6	"	"
3					5										
4					5										
5					5										
6					5										
7					5										
8					5										
9					5										
10					5										
11					5										
12					5										
13					5										
14					5										
15					5										
16					5										
17					5										
18					5										
19					5										
20					5										
21					5										
22					5										
23					5										
24					5										
25					5										
26					5										
27					5										
28					5										

Continua

1/1

PAG 01

CORPO DE PROVA CP-01

TEMPERATURA DE INTERPASSE: 320°C < X < 340°C

Controle do interpasse realizado pelo registrador a 1" (25mm) do chanfro.

PAG 02

PAG 01

Nº do passe	Tempo de Interpasse	Temperatura no pirômitro	Temperatura a 3"	Temperatura a 1"
01	[redacted] 69	140	210	224
02	17	146	217	236
03	08	187	230	250
04	03	238	230	297
05	04	233	247	268
06	02	194	220	220
07	03	235	234	258
08	04	252	243	265
09	03	263	247	285
10	1015	300	242	310
11	06	274	220	285
12	06	291	240	304
13	06	310	255	325
14	07	306	270	320
15	07	292	270	326
16	21	270	285	323
17	09	260	260	296
18	06	282	255	305
19	08	322	262	343
20	08	352	268	350
21	09	290	276	335
22	06	326	290	303
23	73	260	275	310
24	02	220	225	260
25	05	238	253	295
26	08	274	264	320
27	07	268	265	320
28	07	299	266	328

Nº do passe	Tempo de Interpasse	Temperatura no pirômitro	Temperatura a 3"	Temperatura a 1"
01	10	316	273	335
02	08	323	277	327
03	06	223	265	301
04	06	199	264	304
05	07	226	252	311
06	08	263	255	318
07	07	269	256	314
08	06	299	266	310
09	07	287	267	315
10	050	323	269	328
11	02	254	241	254
12	03	281	251	284
13	04	332	248	306
14	04	380	251	262
15	40	282	262	297
16	03	230	236	253
17	02	249	245	267
18	05	264	254	287
19	05	256	255	289
20	04	239	243	291
21	05	240	256	288
22	03	246	255	289
23	04	236	255	289
24	05	226	257	291
25	04	226	254	286
26	03	197	258	287
27	129	221	257	291
28	06	181	213	234

Pág 02

CORPO DE PROVA CP-01

TEMPERATURA DE INTERPASSE: 320°C < T < 340°C

Controle do interpasse realizado pelo registrador a 1" (25mm) do chanfro.

Pág 03

Nº do passe	Tempo de interpasse	Temperatura no pirômitro	Temperatura a 3"	Temperatura a 1"
01	04	131	217	242
02	1'12	170	216	226

Nº do passe	Tempo de interpasse	Temperatura no pirômitro	Temperatura a 3"	Temperatura a 1"

REGISTRO DE SOLDAGEM

Nº.: EPS TR-13C
REV.: C
DATE:

QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM - CP 03 PAGOL

Número de Passe	Camada	Espec. SFA	Consumível	F-NO	A-NO	Diâmetro (mm)	Corrente/Polaridade	Amps (A)	Volts (V)	Tempo de Soldagem (min)	Comprimento do Passe (mm)	Energia de Soldagem (J/mm)	Velocidade de Soldagem (mm/min)	Altura do Passe (mm)	Cobre Junta
1	01	A5.18	E9015B3	6	5	3,25	CC-	144 a 145	11 a 12	09:25; 10:32	1040		15,5	4,0	NÃO
2	02	"	"	6	5	3,25	"	162 a 164	11 a 12	10:37; 11:12	"		23,1	2,0	SIM
3	03	A5.5	E9015B3	4	5	4,0	CC+	174 a 180	23 a 26	13:41; 13:46	520		10,4	3,0	"
4	03	"	"	"	5	"	"	167 a 171	26 a 29	13:48; 13:53	"		10,4	3,0	"
5	04	"	"	"	5	"	"	184 a 190	25 a 27	13:54; 13:58	"		130	4,0	"
6	04	"	"	"	5	"	"	196 a 200	25 a 26	08:42; 08:46	"		"	4,0	"
7	04	"	"	"	5	"	"	188 a 194	24 a 26	08:48; 08:52	"		"	4,0	"
8	05	"	"	"	5	"	"	192 a 196	24 a 26	08:53; 08:57	"		"	3,0	"
9	05	"	"	"	5	"	"	188 a 193	25 a 27	08:59; 09:07	"		65	3,0	"
10	05	"	"	"	5	"	"	185 a 192	25 a 27	09:09; 09:15	"		86,6	3,0	"
11	05	"	"	"	5	"	"	190 a 196	24 a 26	09:16; 09:20	"		130	3,0	"
12	06	"	"	"	5	"	"	185 a 190	26 a 28	09:21; 09:27	"		86,6	3,0	"
13	06	"	"	"	5	"	"	185 a 190	26 a 28	09:39; 09:42	"		173,3	3,0	"
14	06	"	"	"	5	"	"	186 a 191	26 a 28	09:42; 09:46	"		130	3,0	"
15	06	"	"	"	5	"	"	187 a 192	27 a 29	09:47; 09:50	"		173,3	3,0	"
16	06	"	"	"	5	"	"	186 a 191	26 a 28	09:51; 10:00	"		57,7	3,0	"
17	07	"	"	"	5	"	"	190 a 196	26 a 29	10:02; 10:07	"		104	6,0	"
18	07	"	"	"	5	"	"	187 a 192	24 a 26	10:08; 10:12	"		130	6,0	"
19	07	"	"	"	5	"	"	192 a 196	24 a 26	10:13; 10:17	"		"	6,0	"
20	07	"	"	"	5	"	"	196 a 200	26 a 28	10:21; 10:28	"		74,3	6,0	"
21	07	"	"	"	5	"	"	188 a 192	25 a 27	10:32; 10:37	"		104	6,0	"
22	07	"	"	"	5	"	"	194 a 200	24 a 26	10:46; 10:51	"		"	6,0	"
23	07	"	"	"	5	"	"	186 a 191	24 a 26	10:53; 10:57	"		130	6,0	"
24	07	"	"	"	5	"	"	192 a 196	26 a 28	10:59; 11:08	"		57,8	6,0	"
25	08	"	"	"	5	"	"	185 a 190	25 a 27	13:44; 13:50	"		86,6	7,0	"
26	08	"	"	"	5	"	"	179 a 185	25 a 27	13:52; 13:56	"		130	"	"
27	08	"	"	"	5	"	"	196 a 200	24 a 26	13:57; 14:02	"		104	"	"
28	08	"	"	"	5	"	"	180 a 194	26 a 28	14:03; 14:07	"		130	"	"

Continua

REGISTRO DE SOLDAGEM

Nº.: EPS TR-13C
REV.: C
DATE:

QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM - CP[redacted]03 PA602

Número de Passe	Camada	Espec. SFA	Consumível	F-NO	A-NO	Diâmetro (mm)	Corrente/Polaridade	Amps (A)	Volts (V)	Tempo de Soldagem (min)	Comprimento do Passe (mm)	Energia de Soldagem (J/mm)	Velocidade de Soldagem (mm/min)	Altura do Passe (mm)	Cobre Junta
1	08	A.55	E9015B3	4	5	4,0	CC+	184 a 190	24 a 25	14:25; 14:30	520		104	[redacted] 11	SIM
2	08	"	"	"	5	"	"	185 a 189	24 a 26	14:32 ; 14:36	"		130	"	"
3	08	"	"	"	5	"	"	194 a 200	25 a 27	14:37; 14:39	"		260	"	"
4	08	"	"	"	5	"	"	195 a 200	24 a 26	14:40 ; 14:44	"		130	"	"
5	08	"	"	"	5	"	"	185 a 196	24 a 26	14:54; 15:00	"		86,6	"	"
6	09	"	"	"	5	"	"	189 a 196	24 a 26	15:20; 15:24	"		130	3,0	"
7	09	"	"	"	5	"	"	190 a 196	24 a 26	15:26, 15:29	"		173,3	"	"
8	09	"	"	"	5	"	"	189 a 197	24 a 26	15:30; 15:34	"		130	"	"
9	09	"	"	"	5	"	"	172 a 180	25 a 27	15:35; 15:39	"		"	"	"
10	09	"	"	"	5	"	"	177 a 182	24 a 25	15:40; 15:43	"		173,3	"	"
11	09	"	"	"	5	"	"	175 a 180	24 a 26	15:44; 15:48	"		130	"	"
12	09	"	"	"	5	"	"	187 a 193	25 a 27	15:49; 15:53	"		130	"	"
13	09	"	"	"	5	"	"	187 a 194	26 a 28	15:54; 15:58	"		130	"	"
14	09	"	"	"	5	"	"	190 a 196	26 a 28	15:59 ; 16:04	"		104	"	"
15	09	"	"	"	5	"	"	182 a 190	25 a 26	16:05; 16:09	"		130	"	"
16	09	"	"	"	5	"	"	187 a 195	26 a 28	16:10; 16:14	"		"	"	"
17	09	"	"	"	5	"	"	188 a 196	25 a 26	16:15; 16:19	"		"	"	"
18	09	"	"	"	5	"	"	184 a 190	26 a 27	16:20; 16:24	"		"	"	"
19	10	"	"	"	5	[redacted] 3,25	"	154 a 160	25 a 27	09:24; 09:31	"		74,3	2,00	"
20	10	"	"	"	5	"	"	152 a 159	25 a 27	09:33; 09:37	"		130	"	"
21	10	"	"	"	5	"	"	152 a 160	24 a 26	09:40; 09:44	"		"	"	"
22	10	"	"	"	5	"	"	150 a 158	24 a 26	09:46; 09:50	"		"	"	"
23	10	"	"	"	5	"	"	154 a 160	24 a 26	09:54; 09:58	"		"	"	"
24	10	"	"	"	5	"	"	155 a 161	24 a 26	10:01; 10:06	"		104	"	"
25	10	"	"	"	5	"	"	154 a 161	25 a 27	10:09; 10:13	"		130	"	"
26	10	"	"	"	5	"	"	155 a 160	24 a 26	10:17; 10:21	"		"	"	"
27	10	"	"	"	5	"	"	148 a 156	25 a 27	10:24; 10:28	"		"	"	"
28	10	"	"	"	5	"	"	154 a 160	27 a 29	10:32; 10:36	"		"	"	"

Continua

1/1

REGISTRO DE SOLDAGEM

Nº.: EPS TR-13C
REV.: C
DATE:

QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM - CP[redacted]03 PAG 03

Número de Passe	Camada	Espec. SFA	Consumível	F-NO	A-NO	Diâmetro (mm)	Corrente/Polaridade	Amps (A)	Volts (V)	Tempo de Soldagem (min)	Comprimento do Passe (mm)	Energia de Soldagem (J/mm)	Velocidade de Soldagem (mm/min)	Altura do Passe (mm)	Cobre Junta
1	10	A5.5	E9015B9	4	5	3,25	CC+	156 a 160	24 a 26	10:40 ; 10:44	520		130	3,0	SIM
2	10	"	"	"	5	"	"	156 a 161	24 a 26	10:48 ; 10:52	"		"	"	"
3	10	"	"	"	5	"	"	156 a 160	24 a 26	10:55 ; 10:59	"		"	"	"
4	10	"	"	"	5	"	"	148 a 152	25 a 27	11:03 ; 11:09	"		86,6	"	"
5					5										
6					5										
7					5										
8					5										
9					5										
10					5										
11					5										
12					5										
13					5										
14					5										
15					5										
16					5										
17					5										
18					5										
19					5										
20					5										
21					5										
22					5										
23					5										
24					5										
25					5										
26					5										
27					5										
28					5										

Continua

PÁG-01

CORPO DE PROVA CP-03

TEMPERATURA DE INTERPASSE: 360°C < X < 380°C

Controle do interpasse realizado pelo registrador a 1" (25mm) do chanfro.

PÁG-01

	Nº do passe	Tempo de Interpasse	Temperatura no pirômitro	Temperatura a 3"	Temperatura a 1"
1	[illegible]	05	187	218	296
2	[illegible]	149	198	220	246
3	[illegible]	02	203	217	286
4	[illegible]	01	198	243	266
5	[illegible]	1120	193	258	299
6	[illegible]	02	258	257	242
7	[illegible]	01	296	282	273
8	[illegible]	02	313	300	304
9	[illegible]	02	341	317	347
10	[illegible]	01	359	336	323
11	[illegible]	01	361	344	339
12	[illegible]	12	374	351	357
13	[illegible]	0	296	349	342
14	[illegible]	01	361	342	335
15	[illegible]	01	359	353	343
16	[illegible]	02	374	348	356
17	[illegible]	01	356	348	318
18	[illegible]	01	354	342	329
19	[illegible]	04	339	356	345
20	[illegible]	04	376	352	352
21	[illegible]	09	375	348	341
22	[illegible]	02	442	332	359
23	[illegible]	02	427	339	319
24	[illegible]	154	427	341	395
25	[illegible]	02	256	266	257
26	[illegible]	01	253	299	277
27	[illegible]	01	311	316	293
28	[illegible]	12	319	323	308

PÁG-02

	Nº do passe	Tempo de Interpasse	Temperatura no pirômitro	Temperatura a 3"	Temperatura a 1"
01	[illegible]	[illegible] 02	323	287	293
02	[illegible]	[illegible] 01	312	308	318
03	[illegible]	[illegible] 01	389	319	332
04	[illegible]	[illegible] 10	378	321	349
05	[illegible]	[illegible] 20	372	319	347
06	[illegible]	[illegible] 02	356	313	377
07	[illegible]	[illegible] 01	349	323	379
08	[illegible]	[illegible] 01	323	307	386
09	[illegible]	[illegible] 01	299	309	311
10	[illegible]	[illegible] 01	327	322	315
11	[illegible]	[illegible] 01	323	328	324
12	[illegible]	[illegible] 01	361	337	339
13	[illegible]	01	388	335	348
14	[illegible]	01	346	336	334
15	[illegible]	01	402	335	351
16	[illegible]	01	409	332	374
17	[illegible]	01	413	335	375
18	[illegible]	1020	404	332	396
19	[illegible]	[illegible] 02	363	325	373
20	[illegible]	[illegible] 03	215	233	231
21	[illegible]	[illegible] 02	223	249	266
22	[illegible]	[illegible] 04	249	259	279
23	[illegible]	[illegible] 03	245	267	294
24	[illegible]	[illegible] 02	221	269	296
25	[illegible]	[illegible] 04	254	268	301
26	[illegible]	[illegible] 03	246	274	304
27	[illegible]	[illegible] 04	239	269	300
28	[illegible]	04	289	269	301

PÁG 02

CORPO DE PROVA CP-03

TEMPERATURA DE INTERPASSE: 360°C < X < 380°C

Controle do interpasse realizado pelo registrador a 1" (25mm) do chanfro.

Nº do passe	Tempo de Interpasse	Temperatura no pirômitro	Temperatur a a 3"	Temperatura a 1"

PÁG 03

	Nº do passe	Tempo de Interpasse	Temperatura no pirômitro	Temperatura a 3"	Temperatura a 1"
1	[illegible]	04	256	265	287
02	[illegible]	03	223	269	294
03	[illegible]	04	216	261	287
04	[illegible]	VIA	239	259	282
05	[illegible]				

ANEXO B – RELATÓRIOS DOS ENSAIOS REALIZADOS

Relatório de Ensaio

REL: 5613/13

Laboratório de Ensaio Acreditado pela CGCRE de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o Nº CRL 0387

Página 1 de 4

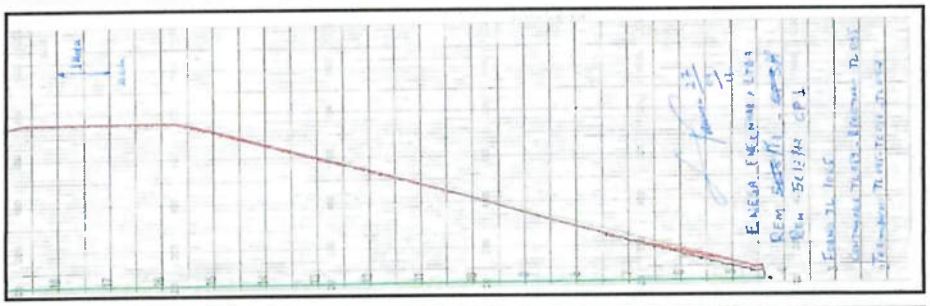
LABORATÓRIO DE ENSAIO PERTENCENTE À REDE BRASILEIRA DE LABORATÓRIOS DE ENSAIOS – RBLE

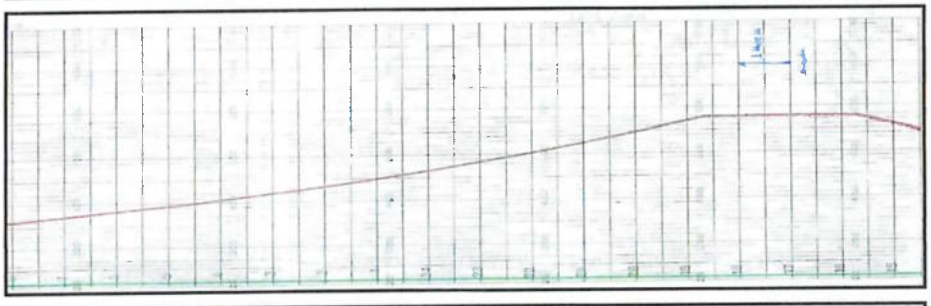
Solicitante / Interessado: ENESA ENGENHARIA LTDA.

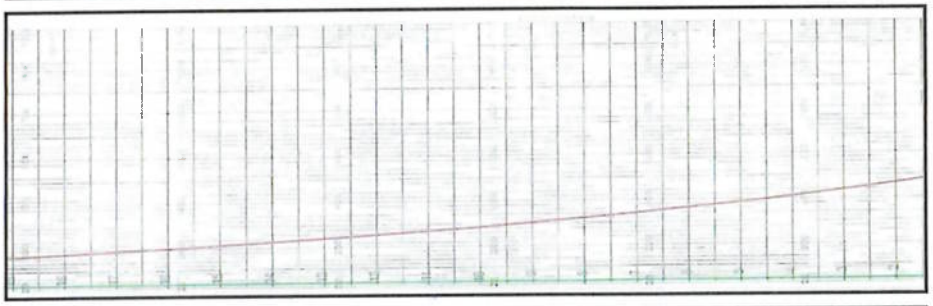
Endereço: Av. das Nações Unidas, 13.797 - Bloco III - 20º andar

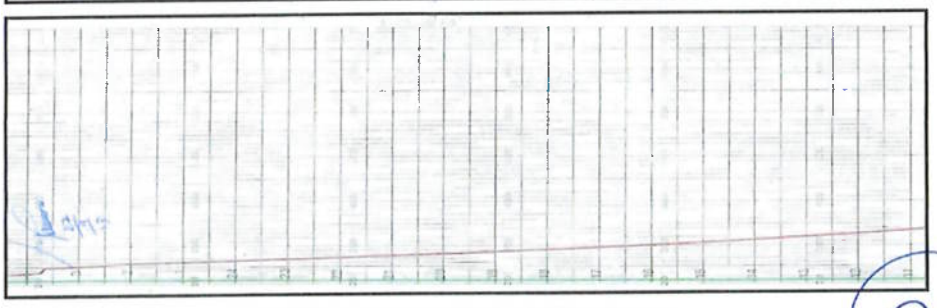
Informações Fornecidas Pelo Solicitante:
Pedido do Solicitante / Interessado ....Mensagem eletrônica
Aplicação .....Qualificação de Procedimento de Soldagem (CP-1)
Norma(s) de Referência .....ASME IX: 2010 e Addenda 2011a
Metal de Base / Metal de Adição .....ASTM A 335 Grau P91
Dimensões da Peça de Teste .....$Ø_{Ext}$ 323,9 x 33,32 x 250 mm (DN 12" Sch 160)

1 - TRATAMENTO TÉRMICO DE ALIVIO DE TENSÕES









Cesar Ribeiro
Signatário Autorizado

Relatório de Ensaio

REL: 5613/13

Laboratório de Ensaio Acreditado pela CGCRE de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o Nº CRL 0387

- Início e Término dos controles: 100ºC

TTAT	Razão de Aquecimento (ºC / h)	Razão de Resfriamento (ºC / h)	Temperatura de Patamar (ºC)	Tempo de Patamar (minutos)
Especificado	Máx. 80	Máx. 80	750 - 760	180
Encontrado	80	55	750 - 760	180

Forno
Identificação.....TL-1024
Termopar.....TL-095
Data em Validade.....21 / 11 / 13
Certificado de Calibração.....56879/12
Termopar.....TL-096
Data em Validade.....04 / 04 / 14
Certificado de Calibração.....57557/13
Termopar.....TL-097
Data em Validade.....04 / 04 / 14
Certificado de Calibração.....57558/13
Termopar.....TL-098
Data em Validade.....04 / 04 / 14
Certificado de Calibração.....57559/13
Registrador Gráfico de Temperatura..TL-035
Controlador de Temperatura.....TL-059
Certificado de Calibração.....56879/12
Data em Validade.....21 / 11 / 13
Entidade Emitente.....Salcas

2 - ENSAIO DE IMPACTO CHARPY

Dimensões (mm)	Temperatura de Ensaio (ºC)	Energia absorvida na solda - raiz (J)			
		C 1	C 2	C 3	Média
10 x 10 x 55	0	16	14	20	17

Dimensões (mm)	Temperatura de Ensaio (ºC)	Energia absorvida na ZTA - raiz (J)			
		C 4	C 5	C 6	Média
10 x 10 x 55	0	57	109	83	83

Dimensões (mm)	Temperatura de Ensaio (ºC)	Energia absorvida no na solda a 2 mm da face (J)			
		C 7	C 8	C 9	Média
10 x 10 x 55	0	46	46	55	49

Dimensões (mm)	Temperatura de Ensaio (ºC)	Energia absorvida na ZTA a 2 mm da face (J)			
		C 10	C 11	C 12	Média
10 x 10 x 55	0	48	57	170	92

Dimensões (mm)	Temperatura de Ensaio (ºC)	Energia absorvida no metal base (J)			
		C 13	C 14	C 15	Média
10 x 10 x 55	0	175	162	185	174

- Incerteza de Medição (U) = +/- 2J

- O campo laudo não faz parte do escopo de acreditação pela CGCRE.

Preparação.....ASTM A 370 – 10, Figura 11
Orientação.....Transversal
Método de Ensaio.....ASTM A 370 - 10
Critério de Aceitação.....Informativo

Máquina de Ensaio
Identificação.....TL-019
Certificado de Calibração.....126.673-101
Data de Validade.....10 / 09 / 14
Entidade Emitente.....IPT

Termômetro
Identificação.....TL-011
Certificado de Calibração.....56624/2013
Data de Validade.....07 / 01 / 14
Entidade Emitente.....Salcas

Projetor de Perfil
Identificação.....TL-003
Certificado de Calibração.....D7731/13
Data de Validade.....23 / 04 / 14
Entidade.....Feinmess

Cesar Ribeiro
Signatário Autorizado

Relatório de Ensaio

REL: 5613/13

Laboratório de Ensaio Acreditado pela CGCRE de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o Nº CRL 0387

3 - ANÁLISE QUÍMICA

AQ	Concentração dos elementos na amostra (%).							
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	V
Especificado	0,08 - 0,12	0,30 - 0,60	Máx. 0,020	Máx. 0,010	0,20 - 0,50	8,00 - 9,50	0,85 - 1,05	0,18 - 0,25
Encontrado	0,10	0,52	0,006	0,000	0,37	8,41	0,91	0,23
Desvio Padrão	0,00	0,01	0,002	0,000	0,02	0,17	0,03	0,00

AQ	Concentração dos elementos na amostra (%).						Laudo
	N	Ni	Al	Nb	Ti	Zr	
Especificado	0,030 - 0,070	Máx. 0,40	Máx. 0,02	0,06 - 0,10	Máx. 0,01	Máx. 0,01	
Encontrado	0,070	0,40	0,01	0,08	0,00	0,01	Aprovado
Desvio Padrão	0,001	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	

- A incerteza dos resultados de cada amostra analisada é dada pela expressão: (U = +/- 1,359. S), onde: U = Incerteza dos resultados e S = Desvio padrão de cada amostra.

- O campo laudo não faz parte do escopo de acreditação pela CGCRE.

Preparação .....-
Método de Ensaio .....ASTM E 415 – 08 (Espectrometria)
Critério de Aceitação.....ASTM A 335, Tabela 1

Máquina de Ensaio
Identificação.....TL-088
Certificado de Calibração 041/12
Data de Validade.....19 / 10 / 13
Entidade Emitente.....GNR Brasil

4 - ENSAIO DE TRAÇÃO

Identificação	Espessura (mm)	Largura (mm)	Área (mm^2)	Carga Máxima		Tensão (MPa)	Local da ruptura	Laudo
				(kgf)	(N)			
T 1	34,8	19,4	675,1	46 940	460 320	682	Metal base	Aprovado
T 2	34,6	19,2	664,3	56.384	444 710	669	Metal base	Aprovado

- Incerteza de Medição (U) = +/- 0,5%

- O campo laudo não faz parte do escopo de acreditação pela CGCRE.

Preparação .....QW-462 1(b)
Método de Ensaio QW-152
Critério de Aceitação.....QW-153
Limite de Resistência Especificado ....Min 585 MPa

Máquina de Ensaio
Identificação.....TL-017
Certificado de Calibração .....DNTT 975c/13
Data de Validade.....04 / 09 / 14
Entidade Emitente.....Dinateste

Extensômetro
Identificação.....TL-0117
Certificado de Calibração.....DNTT 471c/13
Data de Validade.....23 / 04 / 14
Entidade Emitente.....Dinateste

Cesar Ribeiro
Signatário Autorizado

Relatório de Ensaio

REL: 5613/13

Laboratório de Ensaio Acreditado pela CGCRE de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o Nº CRL 0387

5 - ENSAIO DE DOBRAMENTO GUIADO

Diâmetro do Cutelo .....38 mm Distância Entre Roletes ..... 61 mm

Identificação	Dimensões (mm)	Ângulo	Identificação e dimensões das descontinuidades detectadas	Laudo
DL 1	10 x 33,3 x 200	180°	Isento de descontinuidades	Aprovado
DL 2	10 x 33,3 x 200	180°	Isento de descontinuidades	Aprovado
DL 3	10 x 33,3 x 200	180°	Isento de descontinuidades	Aprovado
DL 4	10 x 33,3 x 200	180°	1 abertura (2,0 mm)	Aprovado

- O campo laudo não faz parte do escopo de acreditação pela CGCRE.

Preparação QW-462 2
Método de Ensaio QW-162
Critério de Aceitação.....QW-163

- ✓ Este relatório atende aos requisitos de acreditação pela CGCRE, que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida.
- ✓ Os ensaios foram realizados nas condições ambientais: (21 +/- 1) °C.
- ✓ A incerteza expandida declarada é baseada em uma incerteza padrão combinada, multiplicada pelo fator de abrangência k=2, fornecendo um nível de confiança de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- ✓ Os resultados apresentados neste relatório têm significação restrita às amostras ensaiadas, não sendo extensivo a qualquer lote. É proibida a reprodução parcial deste relatório.

Ensaios realizados em 11 de Outubro de 2013 Emissão de relatório em 14 de Outubro de 2013

Tecgº Sold. Cesar Ribeiro
Signatário Autorizado

José Batista Damasceno
Signatário Autorizado

Relatório de Ensaio

REL: 5613C/13

Página 1 de 1

Solicitante / Interessado: ENESA ENGENHARIA LTDA.

Endereço: Av. das Nações Unidas, 13 797 - Bloco III - 20º andar

Informações Fornecidas Pelo Solicitante:

Pedido do Solicitante / Interessado ....Mensagem eletrônica

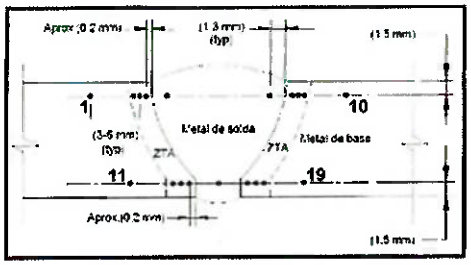
Aplicação .....Qualificação de Procedimento de Soldagem (CP-1)

Norma(s) de Referência .....ASME IX 2010 e Addenda 2011a

Metal de Base / Metal de Adição .....ASTM A 335 Grau P91

Dimensões da Peça de Teste .....$Ø_{ext}$ 323,9 x 33,32 x 250 mm (DN 12 " Sch 160)

1 – MICRODUREZA HV_{500}



Metal Base	ZTA			Solda		ZTA			Metal Base
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
210	216	216	220	272	270	260	249	226	218
Metal Base	ZTA			Solda		ZTA			Metal Base
11	12	13	14	15		16	17	18	19
220	261	270	280	295		290	264	232	226

Preparação .....N133L, figura B 2
Método do Ensaio .....ASTM E 384 - 09
Critério de Aceitação.....Informativo

Máquina de Ensaio
Identificação.....TL-063
Certificado de Calibração 9086/13
Data de Validade.....11 / 06 / 14
Entidade Emitente.....Quality Control

- ✓ O ensaio foi realizado nas condições ambientais: (21 +/- 1) °C.
- ✓ Os resultados apresentados neste relatório têm significação restrita às amostras ensaiadas, não sendo extensivo a qualquer lote. É proibida a reprodução parcial deste relatório.

Ensaio realizado em 14 de Outubro de 2013

Emissão de relatório em 14 de Outubro de 2013

Tecgº Sold. Cesar Ribeiro
Signatário Autorizado

José Batista Damasceno
Signatário Autorizado

Relatório de Ensaio

REL: 5614/13

Laboratório de Ensaio Acreditado pela CGCRE de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o Nº CRL 0387

LABORATÓRIO DE ENSAIO PERTENCENTE À REDE BRASILEIRA DE LABORATÓRIOS DE ENSAIOS – RBLE

Solicitante / Interessado: ENESA ENGENHARIA LTDA.

Endereço: Av. das Nações Unidas, 13.797 - Bloco III - 20º andar

Informações Fornecidas Pelo Solicitante:

Pedido do Solicitante / Interessado ....Mensagem eletrônica

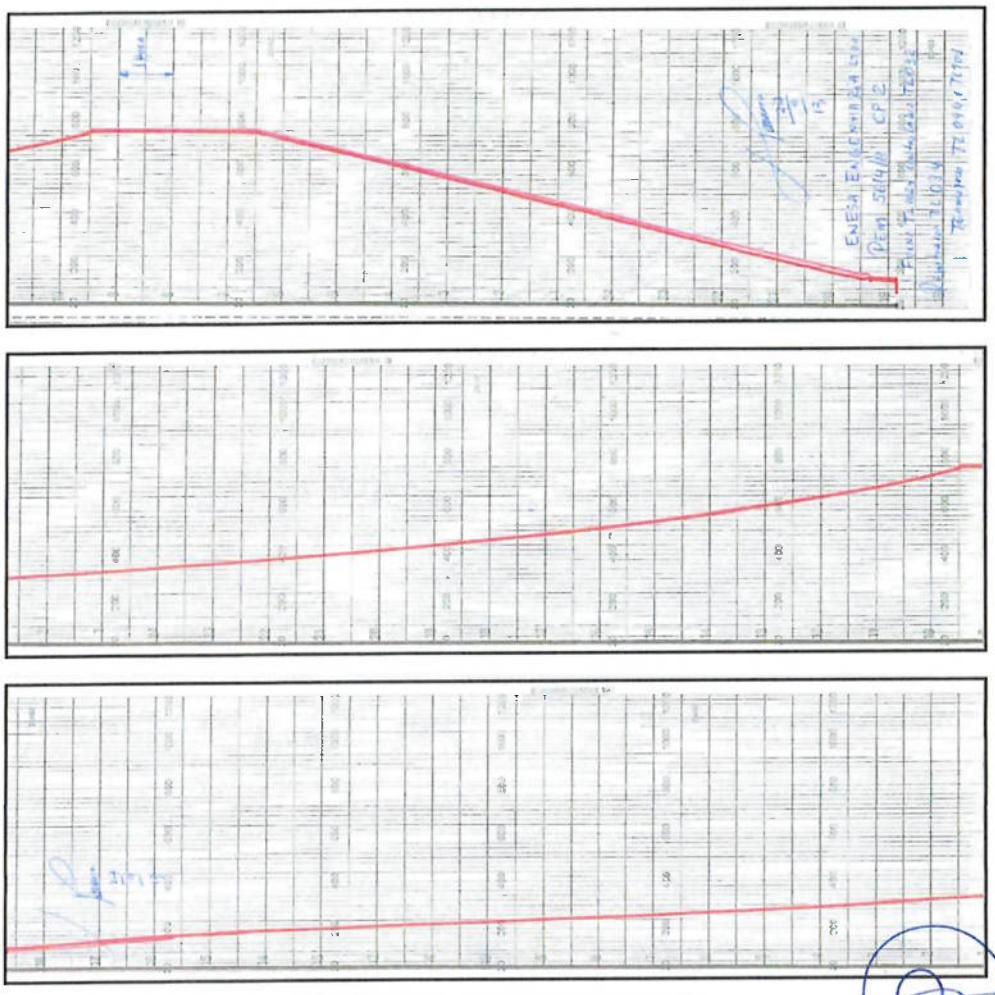
Aplicação .....Qualificação de Procedimento de Soldagem (CP-2)

Norma(s) de Referência .....ASME IX 2010 e Addenda 2011a

Metal de Base / Metal de Adição.....ASTM A 335 Grau P91

Dimensões da Peça de Teste .....$Ø_{Ext}$ 323,9 x 33,32 x 250 mm (DN 12" Sch 160)

1 - TRATAMENTO TÉRMICO DE ALIVIO DE TENSÕES



Cesar Ribeiro
Signatário Autorizado

Relatório de Ensaio

REL: 5614/13

Laboratório de Ensaio Acreditado pela CGCRE de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o Nº CRL 0387

Página 2 de 3

- Início e Término dos controles: 100ºC

TTAT	Razão de Aquecimento (ºC / h)	Razão de Resfriamento (ºC / h)	Temperatura de Patamar (ºC)	Tempo de Patamar (minutos)
Especificado	Máx. 80	Máx. 80	750 - 760	180
Encontrado	60	55	750 - 760	180

Forno
Identificação.....TL-1024
Termopar.....TL-095
Data em Validade.....21 / 11 / 13
Certificado de Calibração.....56879/12
Termopar.....TL-096
Data em Validade.....04 / 04 / 14
Certificado de Calibração.....57557/13
Termopar.....TL-097
Data em Validade.....04 / 04 / 14
Certificado de Calibração.....57558/13
Termopar.....TL-098
Data em Validade.....04 / 04 / 14
Certificado de Calibração.....57559/13
Registrador Gráfico de Temperatura..TL-035
Controlador de Temperatura.....TL-059
Certificado de Calibração.....56879/12
Data em Validade.....21 / 11 / 13
Entidade Emitente.....Salcas

2 - ENSAIO DE TRAÇÃO

Identificação	Espessura (mm)	Largura (mm)	Área (mm^2)	Carga Máxima		Tensão (MPa)	Local da ruptura	Laudo
				(kgf)	(N)			
T 1	34,8	19,4	675,1	45.982	450 930	668	Metal base	Aprovado
T 2	34,9	19,3	673,6	45.956	450.670	669	Metal base	Aprovado

- Incerteza de Medição (U) = +/- 0,5%

- O campo laudo não faz parte do escopo de acreditação pela CGCRE.

Preparação.....QW-462.1(b)
Método de Ensaio.....QW-152
Critério de Aceitação.....QW-153
Limite de Resistência Especificado....Mín. 585 MPa

Máquina de Ensaio
Identificação.....TL-017
Certificado de Calibração.....DNTT 975c/13
Data de Validade.....04 / 09 / 14
Entidade Emitente.....Dinateste

Extensômetro
Identificação.....TL-0117
Certificado de Calibração.....DNTT 471c/13
Data de Validade.....23 / 04 / 14
Entidade Emitente.....Dinateste

3 - ENSAIO DE DOBRAMENTO GUIADO

Diâmetro do Cutelo.....38 mm Distância Entre Roletes.....61 mm

Identificação	Dimensões (mm)	Ângulo	Identificação e dimensões das descontinuidades detectadas	Laudo
DL 1	10 x 33,3 x 200	180º	Isento de descontinuidades	Aprovado
DL 2	10 x 33,3 x 200	180º	Isento de descontinuidades	Aprovado
DL 3	10 x 33,3 x 200	180º	Isento de descontinuidades	Aprovado
DL 4	10 x 33,3 x 200	180º	Isento de descontinuidades	Aprovado

- O campo laudo não faz parte do escopo de acreditação pela CGCRE.

Preparação.....QW-462 2
Método de Ensaio.....QW-162
Critério de Aceitação.....QW-163

Cesar Ribeiro
Signatário Autorizado

Relatório de Ensaio

REL: 5614/13

Laboratório de Ensaio Acreditado pela CGCRE de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o Nº CRL 0387

4 - ENSAIO DE IMPACTO CHARPY

Dimensões (mm)	Temperatura de Ensaio (ºC)	Energia absorvida na solda - raiz (J)			
		C 1	C 2	C 3	Média
10 x 10 x 55	0	13	9	25	15

Dimensões (mm)	Temperatura de Ensaio (ºC)	Energia absorvida na ZTA - raiz (J)			
		C 4	C 5	C 6	Média
10 x 10 x 55	0	55	61	43	53

Dimensões (mm)	Temperatura de Ensaio (ºC)	Energia absorvida na solda a 2 mm da face (J)			
		C 7	C 8	C 9	Média
10 x 10 x 55	0	17	25	31	24

Dimensões (mm)	Temperatura de Ensaio (ºC)	Energia absorvida na ZTA a 2 mm da face (J)			
		C 10	C 11	C 12	Média
10 x 10 x 55	0	50	93	40	44

Dimensões (mm)	Temperatura de Ensaio (ºC)	Energia absorvida no metal base (J)			
		C 13	C 14	C 15	Média
10 x 10 x 55	0	161	161	165	162

- Incerteza de Medição (U) = +/- 2J

- O campo laudo não faz parte do escopo de acreditação pela CGCRE.

Preparação .....ASTM A 370 – 10, Figura 11
Orientação .....Transversal
Método de Ensaio .....ASTM A 370 - 10
Critério de Aceitação .....Informativo

Máquina de Ensaio
Identificação.....TL-019
Certificado de Calibração 126 673-101
Data de Validade.....10 / 09 / 14
Entidade Emitente.....IPT

Termômetro
Identificação.....TL-011
Certificado de Calibração 56624/2013
Data de Validade.....07 / 01 / 14
Entidade Emitente.....Salcas

Projetor de Perfil
Identificação TL-003
Certificado de Calibração.....D7731/13
Data de Validade .....23 / 04 / 14
Entidade .....Feinmess

- ✓ Este relatório atende aos requisitos de acreditação pela CGCRE, que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida.
- ✓ Os ensaios foram realizados nas condições ambientais: (21 +/- 1) °C.
- ✓ A incerteza expandida declarada é baseada em uma incerteza padrão combinada, multiplicada pelo fator de abrangência k=2, fornecendo um nível de confiança de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- ✓ Os resultados apresentados neste relatório têm significação restrita às amostras ensaiadas, não sendo extensivo a qualquer lote. É proibida a reprodução parcial deste relatório.

Ensaios realizados em 11 de Outubro de 2013

Emissão de relatório em 11 de Outubro de 2013

Tecgº Sold. Cesar Ribeiro
Signatário Autorizado

José Batista Damasceno
Signatário Autorizado

TEAM LAB – Tecnologia em Ensaios e Análises de Materiais
Rua Dr. Pelágio Marques, 51 – Vila Matilde – São Paulo – SP – CEP: 03512-010
www.teamlab.com.br - Telefone: 2537-9007 / 2537-9009 / 2082-3400 / 2082-3399

Relatório de Ensaio

REL: 5614C/13

Página 1 de 1

Solicitante / Interessado: ENESA ENGENHARIA LTDA.

Endereço: Av. das Nações Unidas, 13 797 - Bloco III - 20º andar

Informações Fornecidas Pelo Solicitante:

Pedido do Solicitante / Interessado ....Mensagem eletrônica

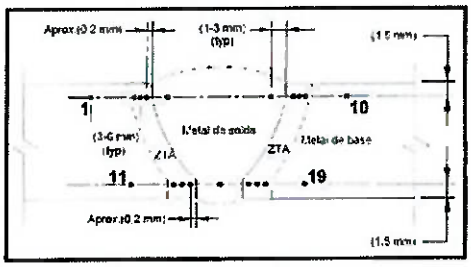
Aplicação .....Qualificação de Procedimento de Soldagem (CP-2)

Norma(s) de Referência .....ASME IX 2010 e Addenda 2011a

Metal de Base / Metal de Adição.....ASTM A 335 Grau P91

Dimensões da Peça de Teste .....$Ø_{Ext}$ 323,9 x 33,32 x 250 mm (DN 12" Sch 160)

1 – MICRODUREZA HV_{500}



Metal Base	ZTA			Solda		ZTA			Metal Base
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
228	210	216	222	261	276	207	230	223	223
Metal Base	ZTA			Solda		ZTA			Metal Base
11	12	13	14	15		16	17	18	19
221	212	216	236	269		225	223	219	220

Preparação .....N133L, figura B 2
Método do Ensaio .....ASTM E 384 - 09
Critério de Aceitação.....Informativo

Máquina de Ensaio
Identificação.....TL-063
Certificado de Calibração.....9086/13
Data de Validade.....11 / 06 / 14
Entidade Emitente.....Quality Control

- ✓ O ensaio foi realizado nas condições ambientais: (21 +/- 1) °C.
- ✓ Os resultados apresentados neste relatório têm significação restrita às amostras ensaiadas, não sendo extensivo a qualquer lote. É proibida a reprodução parcial deste relatório.

Ensaio realizado em 11 de Outubro de 2013

Emissão de relatório em 11 de Outubro de 2013

José Batista Damasceno
Signatário Autorizado

Cesar Ribeiro
Signatário Autorizado

TEAM LAB – Tecnologia em Ensaios e Análises de Materiais
Rua Dr. Pelágio Marques, 51 – CEP: 03512-010 – Vila Matilde – São Paulo – SP
www.teamlab.com.br - Telefone (11) 2537-9007 / 2537-9009 / 2082-3406 / 2082-3399

Relatório de Ensaio

REL: 5615/13

Laboratório de Ensaio Acreditado pela CGCRE de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o Nº CRL 0387

Página 1 de 3

LABORATÓRIO DE ENSAIO PERTENCENTE À REDE BRASILEIRA DE LABORATÓRIOS DE ENSAIOS – RBLE

Solicitante / Interessado: **ENESA ENGENHARIA LTDA.**

Endereço: Av. das Nações Unidas, 13.797 - Bloco III - 20º andar

Informações Fornecidas Pelo Solicitante:

Pedido do Solicitante / Interessado ....Mensagem eletrônica

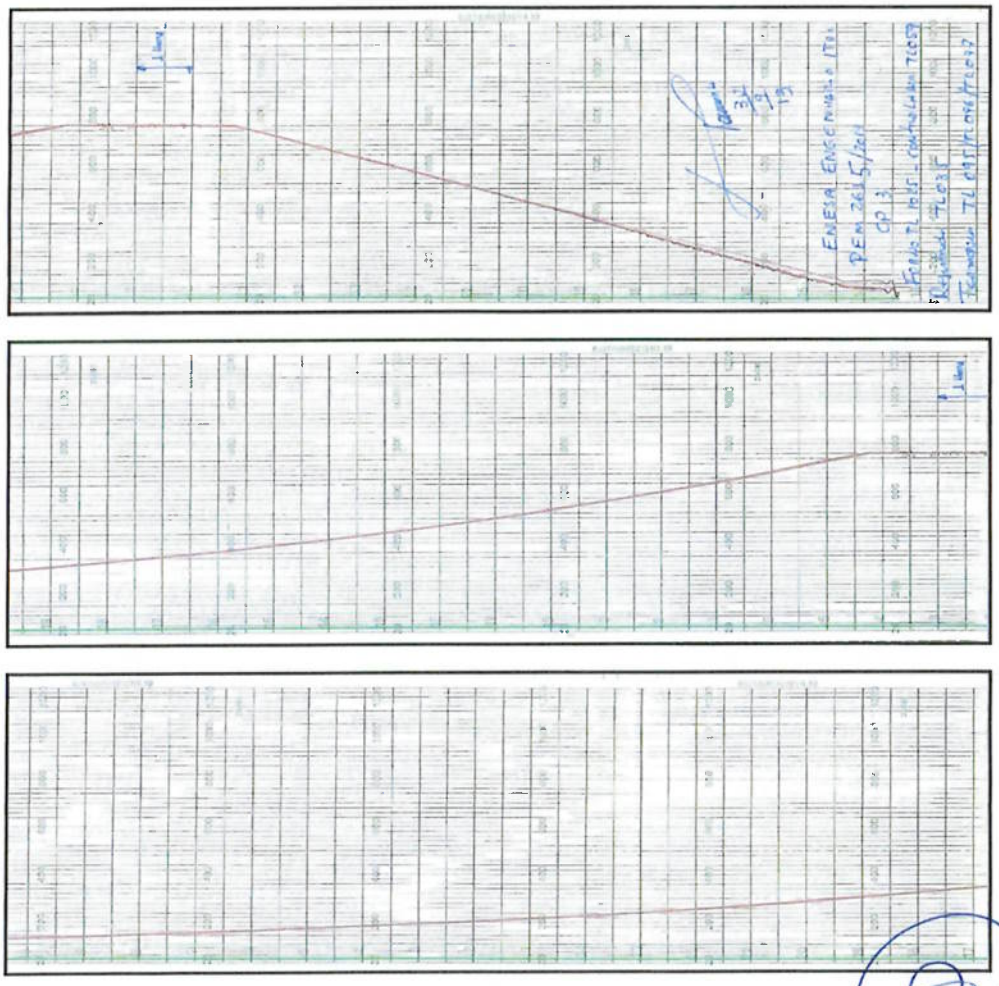
Aplicação .....Qualificação de Procedimento de Soldagem (CP-3)

Norma(s) de Referência .....ASME IX: 2010 e Addenda 2011a

Metal de Base / Metal de Adição.....ASTM A 335 Grau P91

Dimensões da Peça de Teste .....$Ø_{Ext}$ 323,9 x 33,32 x 250 mm (DN 12" Sch 160)

1 - TRATAMENTO TÉRMICO DE ALIVIO DE TENSÕES

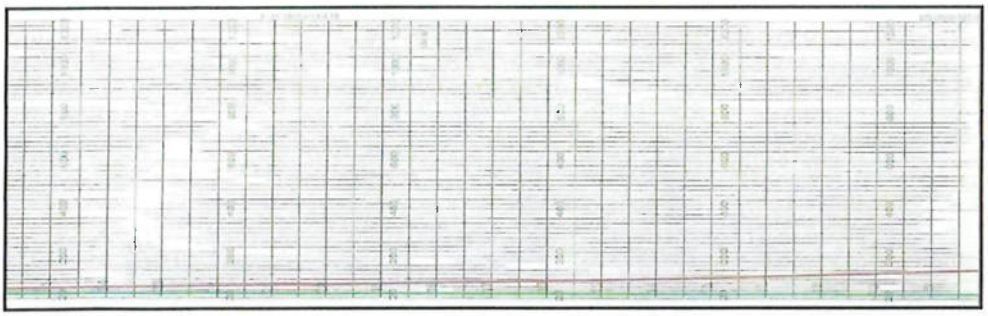


Cesar Ribeiro
Signatário Autorizado

Relatório de Ensaio

REL: 5615/13

Laboratório de Ensaio Acreditado pela CGCRE de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o Nº CRL 0387



- Início e Término dos controles: 100ºC

TTAT	Razão de Aquecimento (ºC / h)	Razão de Resfriamento (ºC / h)	Temperatura de Patamar (ºC)	Tempo de Patamar (minutos)
Especificado	Máx. 80	Máx. 80	750 - 760	180
Encontrado	60	40	750 - 760	180

Forno
Identificação.....TL-1024
Termopar.....TL-095
Data em Validade.....21 / 11 / 13
Certificado de Calibração.....56879/12
Termopar.....TL-096
Data em Validade.....04 / 04 / 14
Certificado de Calibração.....57557/13
Termopar.....TL-097
Data em Validade.....04 / 04 / 14
Certificado de Calibração.....57558/13
Termopar.....TL-098
Data em Validade.....04 / 04 / 14
Certificado de Calibração.....57559/13
Registrador Gráfico de Temperatura..TL-035
Controlador de Temperatura.....TL-059
Certificado de Calibração.....56879/12
Data em Validade.....21 / 11 / 13
Entidade Emitente.....Salcas

2 - ENSAIO DE TRAÇÃO

Identificação	Espessura (mm)	Largura (mm)	Área (mm^2)	Carga Máxima		Tensão (MPa)	Local da ruptura	Laudo
				(kgf)	(N)			
T 1	34,0	19,3	656,2	44.972	441.020	672	Metal base	Aprovado
T 2	34,0	19,5	663,0	44.978	441.080	665	Metal base	Aprovado

- Incerteza de Medição (U) = +/- 0,5%

- O campo laudo não faz parte do escopo de acreditação pela CGCRE.

Preparação.....QW-462.1(b)
Método de Ensaio.....QW-152
Critério de Aceitação.....QW-153
Limite de Resistência Especificado....Mín. 585 MPa

Máquina de Ensaio
Identificação.....TL-017
Certificado de Calibração.....DNTT 975c/13
Data de Validade.....04 / 09 / 14
Entidade Emitente.....Dinateste

Extensômetro
Identificação.....TL-0117
Certificado de Calibração.....DNTT 471c/13
Data de Validade.....23 / 04 / 14
Entidade Emitente.....Dinateste

3 - ENSAIO DE DOBRAMENTO GUIADO

Diâmetro do Cutelo.....38 mm
Distância Entre Roletes.....61 mm

Identificação	Dimensões (mm)	Ângulo	Identificação e dimensões das descontinuidades detectadas	Laudo
DL 1	10 x 33,3 x 200	180º	Isento de descontinuidades	Aprovado
DL 2	10 x 33,3 x 200	180º	Isento de descontinuidades	Aprovado
DL 3	10 x 33,3 x 200	180º	Isento de descontinuidades	Aprovado
DL 4	10 x 33,3 x 200	180º	Isento de descontinuidades	Aprovado

- O campo laudo não faz parte do escopo de acreditação pela CGCRE.

Preparação.....QW-462.2
Método de Ensaio.....QW-162
Critério de Aceitação.....QW-163

César Ribeiro
Signatário Autorizado

Relatório de Ensaio

REL: 5615/13

Laboratório de Ensaio Acreditado pela CGCRE de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o Nº CRL 0387

4 - ENSAIO DE IMPACTO CHARPY

Dimensões (mm)	Temperatura de Ensaio (ºC)	Energia absorvida na solda - raiz (J)			
		C 1	C 2	C 3	Média
10 x 10 x 55	0	20	21	14	18

Dimensões (mm)	Temperatura de Ensaio (ºC)	Energia absorvida na ZTA - raiz (J)			
		C 4	C 5	C 6	Média
10 x 10 x 55	0	179	92	161	144

Dimensões (mm)	Temperatura de Ensaio (ºC)	Energia absorvida na solda a 2 mm da face (J)			
		C 7	C 8	C 9	Média
10 x 10 x 55	0	10	15	13	12

Dimensões (mm)	Temperatura de Ensaio (ºC)	Energia absorvida na ZTA a 2 mm da face (J)			
		C 10	C 11	C 12	Média
10 x 10 x 55	0	30	29	40	33

Dimensões (mm)	Temperatura de Ensaio (ºC)	Energia absorvida no metal base (J)			
		C 13	C 14	C 15	Média
10 x 10 x 55	0	172	153	158	161

- Incerteza de Medição (U) = +/- 2J

- O campo laudo não faz parte do escopo de acreditação pela CGCRE.

Preparação .....ASTM A 370 – 10, Figura 11
Orientação .....Transversal
Método de Ensaio .....ASTM A 370 - 10
Critério de Aceitação.....Informativo

Máquina de Ensaio
Identificação.....TL-019
Certificado de Calibração.....126.673-101
Data de Validade.....10 / 09 / 14
Entidade Emitente.....IPT

Termômetro
Identificação.....TL-011
Certificado de Calibração.....56624/2013
Data de Validade.....07 / 01 / 14
Entidade Emitente.....Salcas

Projetor de Perfil
Identificação TL-003
Certificado de Calibração..... D7731/13
Data de Validade ..... 23 / 04 / 14
Entidade ..... Feinmess

✓ Este relatório atende aos requisitos de acreditação pela CGCRE, que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida.

✓ Os ensaios foram realizados nas condições ambientais: (21 +/- 1) °C.

✓ A incerteza expandida declarada é baseada em uma incerteza padrão combinada, multiplicada pelo fator de abrangência k=2, fornecendo um nível de confiança de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

✓ Os resultados apresentados neste relatório têm significação restrita às amostras ensaiadas, não sendo extensivo a qualquer lote. É proibida a reprodução parcial deste relatório.

Ensaios realizados em 11 de Outubro de 2013.

Emissão de relatório em 11 de Outubro de 2013

Tecgº Sold. Cesar Ribeiro
Signatário Autorizado

José Batista Damasceno
Signatário Autorizado

TEAM LAB – Tecnologia em Ensaios e Análises de Materiais
Rua Dr. Pelágio Marques, 51 – Vila Matilde – São Paulo – SP – CEP: 03512-010
www.teamlab.com.br - Telefone: 2537-9007 / 2537-9009 / 2082-3406 / 2082-3399

Relatório de Ensaio

REL: 5615C/13

Página 1 de 1

Solicitante / Interessado: **ENESA ENGENHARIA LTDA.**

Endereço: Av. das Nações Unidas, 13.797 - Bloco III - 20º andar

Informações Fornecidas Pelo Solicitante:

Pedido do Solicitante / Interessado ....Mensagem eletrônica

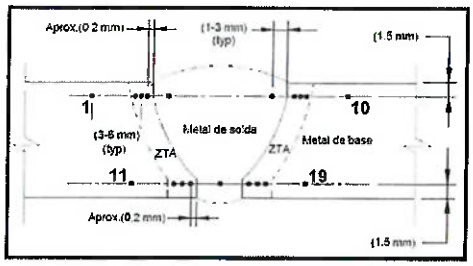
Aplicação .....Qualificação de Procedimento de Soldagem (CP-3)

Norma(s) de Referência .....ASME IX 2010 e Addenda 2011a

Metal de Base / Metal de Adição .....ASTM A 335 Grau P91

Dimensões da Peça de Teste .....$Ø_{Ext}$ 323,9 x 33,32 x 250 mm (DN 12" Sch 160)

1 – MICRODUREZA HV_{500}



Metal Base	ZTA			Solda		ZTA			Metal Base
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
218	241	255	258	262	271	268	264	251	221
Metal Base	ZTA			Solda		ZTA			Metal Base
11	12	13	14	15		16	17	18	19
220	280	290	290	271		266	266	266	220

Preparação .....N133L, figura B.2
Método do Ensaio .....ASTM E 384 - 09
Critério de Aceitação.....Informativo

Máquina de Ensaio
Identificação.....TL-063
Certificado de Calibração 9086/13
Data de Validade.....11 / 06 / 14
Entidade Emitente.....Quality Control

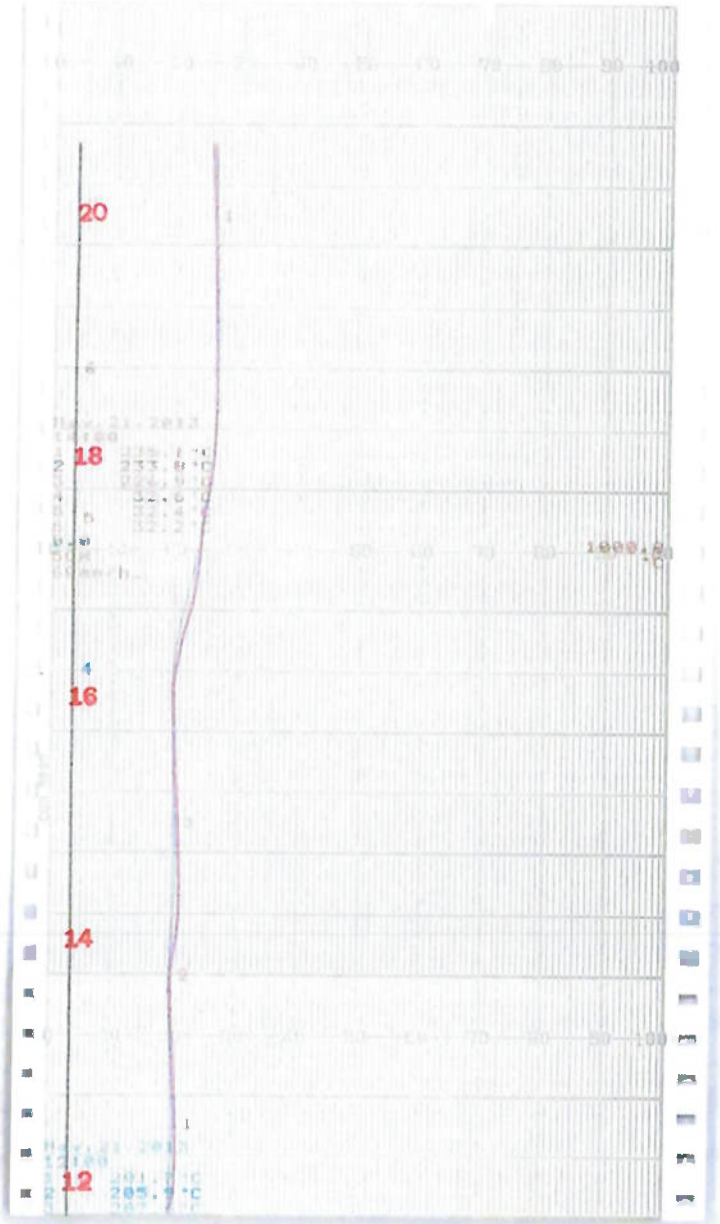
- ✓ O ensaio foi realizado nas condições ambientais: (21 +/- 1) °C.
- ✓ Os resultados apresentados neste relatório têm significação restrita às amostras ensaiadas, não sendo extensivo a qualquer lote. É proibida a reprodução parcial deste relatório.

Ensaio realizado em 11 de Outubro de 2013

Emissão de relatório em 11 de Outubro de 2013

José Batista Damasceno
Signatário Autorizado

Cesar Ribeiro
Signatário Autorizado


20
18
16
14
12

ANEXO C – EPS E RQPS

ENESA ENGENHARI S/A	WELDING PROCEDURE SPECIFICATION	W.P.S. TR – 13 REV. Nº. (C)

CODE OF REFERENCE: ASME IX Ed. 2010 / ASME I Ed.2010

WELDING PROCESS (ES): GTAW X SMAW

ISSUE: 09/02/12	APPROVED: 28/01/03	P.Q.R. Nº. TR – 13

JOINTS (QW 402)

ALL TYPE OF GROOVES AND DIAMETERS

(DETAILS OF PROJECTS)

Root Spacing (mm) – Máx. 4.0 Retainers – No

Backing: No

BASE METALS (QW 403)

SPECIF.: ——————————

Nº P : 16E Gr1 x 16E Gr.1

THICKNESS (MM) : Groove – 4.8 a 71.42 mm / Fillet – All

DIAMETERS: All

PASS OF THICKNESS – ≤ 12,7 mm

FILLER METAL (QW 404)

PASS	SPECIF. (SFA.)	CLASS (AWS)	N.º. F	N.º. A	DIAMETER mm	TRAVEL SPEED. cm/min
GTAW	5.18	ER-90S-B9	6	5	2,6/ 3,25	5,9 a 16
SMAW	5.1	E 9018-B9	4	5	2,6/3,25	10 A 25

FILLER METAL: SOLID

THICKNESS(FILLER METAL) : (GTAW – MÁX = 10.0 MM) (SMAW – MÁX = 71.42 MM)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW 408)

TYPE POLAR.	AMP RANGE	VOLT RANGE
CC-	100 – 150 A	09 – 15 V
CC+	70 – 150 A	20 – 30 V

CONSUMABLE INSERTS: No

GTAW: With Filler Metals

POSITIONS(QW – 405)

POSITION (S) OF GROOVE: All

POSITION (S) OF FILLET: All

WELDING PROGRESSION: Vertical - Uphill

PREHEAT (QW – 406)

PREHEAT TEMP. MIN.: 200° C

INTERPASS TEMP. MAX.: 350°C

PREHEAT MAINTENANCE.: 230 - 250°C (Duration 1 Hour)

METHOD: Electric Resistance

CONTROL TEMP.: Termal Pencil, Pyrometers, Thermocuple

POSTWELD HEAT TREATMENT (QW – 407)

RATE OF HEATING. : Note 3

TIME RANGE: Note 4

CONTROL: 316°C

TEMPERATURE RANGE.: 760 a 760°C

RATE OF COOLING. : Note 3

GAS (QW – 408)

SHIELDING (GTAW): Argon

MIXTURE(GTAW): Pure

FLOW RATE (GTAW): 12 a 15 Litro / Min

BACKING: Argon

FLOW RATE BACKING: 7 a 14 L/M

SHIELDING (GMAW / FCAW) : Not Applicable

MIXTURE (GMAW / FCAW) : Not Applicable

FLOW RATE (GMAW / FCAW): Not Applicable

TRAILING: Not Applicable

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW – 404 E QW 409)

MODE OF METAL TRANSFER. (GMAW / FCAW)	TUNGSTEN ELECTRODES SIZE AND TYPE	ORIFICE OR GAS CUP SIZE (mm)	ELECTRODE FLUX	CURRENT AND POLARITY	AMPS AND VOLTS
Not Applicable	EWth-2 - 3.25mm	7.0 a 9.0	Not Applicable	Any	Any

TECHNIQUE (QW – 410)

CONTACT TUBE TO WORK DISTANCE: Not Applicable

OSCILLATION MAX.: 3 X Ø Rod / Electrode

ELECTRODE (MULTIPLE OR SINGLE) : Single

MULTIPLE OR SINGLE PASS (PER SIDE): Multiple

METHOD OF BACK GOUNGING: Any

PEENING (YES OR NO): No

INITIAL AND INTERPASS CLEANING (BRUSHING, GRINDING, ETC...) : Any

NOTAS

1. This WPS is not applied where it Tests of Impact it is requested.
2. Welding is allowed on the protecting varnish in groove
3. The rates of heating and cooling shall not be more than 60°C/H. However, if necessary can use 316°C/H divided by one half the maximum metal thickness in inches at weld but in no case more than 316°C/H. (ASME B31.1 Ed.2010 Sec. 132.6).
4. The Time PWHT for thicknesses up to 14.0mm must be 2 Hour. Thicknesses greater than 14.0mm but smaller or equal to 50.0 mm the time shall be 3 Hours. Thicknesses greater than 50.0 mm and smaller than 71.4 mm the time of PWHT should be 4 Hours.

ANALYSIS / VERIFICATION

NILTON LASMAR

Mechanical Engineer

Welding Inspector – Nº 1202 Level II

ENESA ENGENHARIA S.A.	REGISTRO DA QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM	R. Q. P. S. N.º: TR-13
		FL.: 1 / 2

NORMA OU CÓDIIGO DE REFERÊNCA: ASME IX - Ed. 2001

PROCESSO (S) DE SOLDAGEM : GTAW + SMAW (com tratamento térmico) | TIPO : MANUAL

CONFORME EPS N.º: TR-13 | COBRE JUNTA: GTAW = Não / SMAW = Sim

METAIS DE BASE QW-403 / QW-442

TESTE	QUALIFICADOS
ESPECIFICAÇÃO.: ASTM A 335 Gr. P91 x ASTM A 335 Gr. P91	P-Nº: 5B X 5B
P-Nº: 5B, Grupo 2 X 5B, Grupo 2	ESPESSURAS : 4,8 a 71,42 mm - para solda em chanfro. Ilimitada - para solda em ângulo.
ESPESSURA METAL BASE : 35,7 mm / DIÂMETRO : 14"	METAL DE SOLDA: GTAW: até 10,0 mm / SMAW: até 71,4 mm
ESPESSURA METAL DE SOLDA: GTAW 5,0 mm; SMAW 30,7mm.	DIÂMETROS : Todos
ESPESSURA DE CADA PASSE DE SOLDA DEPOSITADO: <12,7mm.	

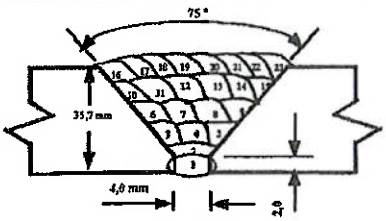
METAIS DE ADIÇÃO QW-404

PASSE	ESPEC. (S. F. A.)	CLASSE (AWS)	N.º F	N.º A	DIÂMETRO	CLASSE FLUXO	MARCA COMERCIAL	OUTROS
RAIZ	A5.28	ER 90S-B9	6	5	3,25 mm	N/A	BOHLER	Certif. 294717
ENCH.	A5.5	E 9018 – B9	4	5	3,25mm	N/A	BOHLER	Certif. 332990
ACAB.	A5.5	E 9018 – B9	4	5	2,5 mm	N/A	BOHLER	Certif. 336684

GTAW: arame sólido SMAW: arame sólido com revestimento externo | Insertos Consumíveis:N.U.(não utilizável) | Guias p/ poça de fusão(retainers):N.U.

POSIÇÃO DE TESTE: 6G | PROGRESSÃO : ASCENDENTE | POSIÇÃO QUALIFICADA : TODAS | PROGRESSÃO: TODAS

JUNTA QW-405



PRÉ / PÓS AQUECIMENTO QW-406

TEMPERATURA PRÉ-AQUECIMENTO: ≥ 200°C

TEMPERATURA INTERPASSES: ≤ 350°C

TEMPERATURA PÓS-AQUECIMENTO: 300°C durante 36 minutos.

TÉCNICA : maçarico tipo chuveiro

OUTROS : N/A

TRATAMENTO TÉRMICO PÓS SOLDAGEM QW-406

TAXA AQUEC.: 120 ° C / h (máximo)	TEMPO T. T : 2 horas	CONTROLE ATÉ : 280 ° C
TEMPERATURA T. T. : 740 ° C	TAXA RESF.: 100 ° C / h (máximo)	OUTROS : N/A

Relatório n.º: TR - 13 | Empresa: ALÍVIO E SOLDAS

GÁS OU FLUXO QW-408

	TIPO	COMPOSIÇÃO	GRANULAÇÃO	VAZÃO	MARCA COMERCIAL	OUTROS
PROTEÇÃO	Argônio	99,997% - AR	N/A	14 L/Min	N/A	N/A
PURGA	Argônio	99,997% - AR	N/A	14 L/Min	N/A	N/A

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

PASSES	TIPO DE CORRENTE	POLARIDADE	TENSÃO (V)	INT. CORRRENTE (A)	OUTROS
RAIZ	CC	DIRETA (-)	10 - 12	110 - 135	N/A
DEMAIS	CC	INVERSA (+)	24 - 30	90 - 150	N/A

TÉCNICA DE SOLDAGEM QW-409

PASSES	TIPO DE CORDÃO	DIMENSÃO / BOCAL	OSCILAÇÃO	DIST. TUBO DE CONTATO PEÇA	ELETROD. MULTIP. OU SIMPLES	VELOCIDADE TRABALHO	OUTROS
RAIZ	RETILÍNEO	8 mm	3 X Φ (máx.)	N/A	SIMPLES	09 - 11 cm / min.	VARETA
ENCH./ACAB	OSCILANTE	N/A	3 X Φ (máx.)	N/A	SIMPLES	15 – 20 cm/min.	ELETRODO

OUTROS: ELETRODO DE TUNGSTÊNIO, TIPO EWTh-2, ø= 3,2 mm .

LIMPEZA INICIAL E INTERPASSES : ESMERILHAMENTO E ESCOVAMENTO.

MÉTODOS DE GOIVAGEM : N. U.

TÉCNICA DE ACOPLAMENTO : DISPOSITIVOS AUXILIARES DE MONTAGEM.

OUTROS : SOLDA EXECUTADA SOBRE VERNIZ PROTETOR DE CHANFRO.

SOLDADOR OU OPERADOR

NOME: ERNANDES ALVES TENÓRIO	CTPS : 65.636 Série 087 RJ	MAT : 213
NOME : AILTON LUIZ SANTOS	CTPS : 69.588 Série 016 RJ	MAT : 405

Luis Fernando Passos Barreto
Inspetor de Solda
ISQ 371 N2

ENESA ENGENHARI S/A	WELDING PROCEDURE SPECIFICATION	W.P.S. TR – 13 REV. Nº. (C)

CODE OF REFERENCE: ASME IX Ed. 2010 / ASME I Ed.2010

WELDING PROCESS (ES): GTAW X SMAW

ISSUE: 03/02/12	APPROVED: 28/01/03	P.Q.R. Nº. TR – 13

JOINTS (QW 402)

ALL TYPE OF GROOVES AND DIAMETERS

(DETAILS OF PROJECTS)

Root Spacing (mm) – Máx. 4.0 Retainers – No

Backing: No

BASE METALS (QW 403)

SPECIF.: ——————————

Nº P : 15E Gr1 x 15E Gr.1

THICKNESS (MM) : Groove – 4.8 a 71.42 mm / Fillet – All

DIAMETERS: All

PASS OF THICKNESS – ≤ 12,7 mm

FILLER METAL (QW 404)

PASS	SPECIF. (SFA.)	CLASS (AWS)	N.º. F	N.º. A	DIAMETER mm	TRAVEL SPEED. cm/min
GTAW	5.18	ER-90S-B9	6	5	2,5/ 3,25	5.0 a 15
SMAW	5.1	E 9018-B9	4	5	2,5/3,25	10 A 25

FILLER METAL: SOLID

THICKNESS(FILLER METAL) : (GTAW – MÁX = 10.0 MM) (SMAW – MÁX = 71.42 MM)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW 409)

TYPE POLAR.	AMP RANGE	VOLT RANGE
CC-	100 – 150 A	09 – 15 V
CC+	70 – 150 A	20 – 30 V

CONSUMABLE INSERTS: No

GTAW: With Filler Metals

POSITIONS(QW – 405)

POSITION (S) OF GROOVE: All

POSITION (S) OF FILLET: All

WELDING PROGRESSION: Vertical - Uphill

PREHEAT (QW – 406)

PREHEAT TEMP. MIN.: 200° C

INTERPASS TEMP. MAX.: 350°C

PREHEAT MAINTENANCE.: 230 - 250°C (Duration 1 Hour)

METHOD: Electric Resistance

CONTROL TEMP.: Termal Pencil, Pyrometers, Thermocuple

POSTWELD HEAT TREATMENT (QW – 407)

RATE OF HEATING. : Note 3

TIME RANGE: Note 4

CONTROL: 316°C

TEMPERATURE RANGE.: 750 a 760°C

RATE OF COOLING. : Note 3

GAS (QW – 408)

SHIELDING (GTAW): Argon

MIXTURE(GTAW): Pure

FLOW RATE (GTAW): 12 a 15 Litro / Min

BACKING: Argon

FLOW RATE BACKING: 7 a 14 L/M

SHIELDING (GMAW / FCAW) : Not Applicable

MIXTURE (GMAW / FCAW) : Not Applicable

FLOW RATE (GMAW / FCAW): Not Applicable

TRAILING: Not Applicable

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW – 404 E QW 409)

MODE OF METAL TRANSFER. (GMAW / FCAW)	TUNGSTEN ELECTRODES SIZE AND TYPE	ORIFICE OR GAS CUP SIZE (mm)	ELECTRODE FLUX	CURRENT AND POLARITY	AMPS AND VOLTS
Not Applicable	EWth-2 - 3.25mm	7,0 a 9.0	Not Applicable	Any	Any

TECHNIQUE (QW – 410)

CONTACT TUBE TO WORK DISTANCE: Not Applicable

OSCILLATION MAX.: 3 X Ø Rod / Electrode

ELECTRODE (MULTIPLE OR SINGLE) : Single

MULTIPLE OR SINGLE PASS (PER SIDE): Multiple

METHOD OF BACK GOUNGING: Any

PEENING (YES OR NO): No

INITIAL AND INTERPASS CLEANING (BRUSHING, GRINDING, ETC...) : Any

NOTAS

1. This WPS is not applied where it Tests of Impact it is requested.
2. Welding is allowed on the protecting varnish in groove
3. The rates of heating and cooling shall not be more than 50°C/H. However, if necessary can use 315°C/H divided by one half the maximum metal thickness in inches at weld but in no case more than 315°C/H. (ASME B31.1 Ed.2010 Sec. 132.6).
4. The Time PWHT for thicknesses up to 14.0mm must be 2 Hour. Thicknesses greater than 14.0mm but smaller or equal to 50.0 mm the time shall be 3 Hours. Thicknesses greater than 50.0 mm and smaller than 71.4 mm the time of PWHT should be 4 Hours.

ANALYSIS / VERIFICATION

NILTON LASMAR

Mechanical Engineer

Welding Inspector – Nº 1202 Level II