



I Curso de Especialização em Engenharia da Soldagem

Turma 2011 - CTA DEMEC-TC/UFPR

GUBER EDUARDO GUERRERO PÉREZ

**FUNDAMENTOS DA SOLDAGEM DE PINOS POR ELETROFUSÃO USADOS NA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

CURITIBA

2013

GUBER EDUARDO GUERRERO PÉREZ

**FUNDAMENTOS DA SOLDAGEM DE PINOS POR ELETROFUSÃO USADOS NA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do título de especialista em engenharia internacional de soldagem no curso de especialização em Engenharia de soldagem, setor de tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof.MSc. Cezar Lucio Molitz
Allenstein

CURITIBA

2013

TERMO DE APROVAÇÃO

GUBER EDUARDO GUERRERO PÉREZ

FUNDAMENTOS DA SOLDAGEM DE PINOS POR ELETROFUSÃO USADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

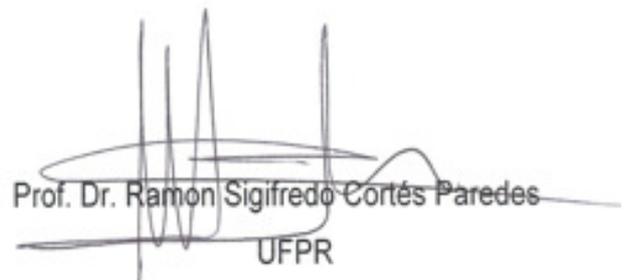
Monografia aprovada como requisito parcial à obtenção de grau de Especialista em Engenharia da Soldagem, área de concentração Fabricação, no Curso de Especialização em Engenharia da Soldagem, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Banca Examinadora :



Prof. Dr. Hélio Padilha

UFPR



Prof. Dr. Ramon Sigifredo Cortés Paredes

UFPR



Prof. Dr. Paulo Cesar Okimoto

UFPR

Dedicatória

Ao Deus infinito de extrema bondade que dia a dia se encarrega de me mostrar que a vida é linda, e é mais simples do que eu posso imaginar.

Aos meus pais, Alfonso e Marina, aos meus irmãos: Yader, Adalberto e Milenita que mesmo na distância aprendemos a estarmos juntos.

Agradecimentos

À empresa Brafer Construções Metálicas S.A. pelo apoio na realização dos ensaios e o incentivo por realizar a especialização em engenharia de soldagem.

Ao meu orientador, Prof.Cesar Lúcio Molitz Allenstein, pela sua colaboração e orientação na realização da monografia.

Ao Adriano Fontana pela colaboração na realização dos ensaios.

RESUMO

A rápida instalação de pinos, a simplicidade na utilização do processo de soldagem, assim como, a eficiência nos equipamentos e o baixo custo de mão de obra qualificada têm levado à soldagem por eletrofusão, a ser amplamente aceita em diversos campos de atuação na indústria, principalmente na construção de estruturas metálicas, onde muitas vezes estes pinos são instalados em campo, longe das condições e recursos favoráveis do ambiente fabril. Neste âmbito, o conhecimento do processo, assim como, a influência dos parâmetros de soldagem corrente, lift, plunge e tempo de soldagem são de grande valia para se obter uma solda satisfatória. O presente trabalho tem como objetivo principal ajudar ao entendimento da influência de cada uma das variáveis e sua interação com a obtenção de soldas satisfatórias. Adicionalmente, ajudará à elaboração de critérios de inspeção de visual de soldas.

Palavras-chaves: soldagem de pinos, eletrofusão, *stud arc welding*, *stud bolts*.

ABSTRACT

The rapid installation of studs, the simplicity at the welding process, as well as, the welding equipment efficiency and low cost of workforce has led to electrofusion welding, to be widely accepted in several activities in industrial area, mainly in the construction of steel structures. Often the studs are installed in the structures assembling away from the favorable conditions and resources available in a fabrication shop. In this context, the knowledge of process, as well as, the influence of welding parameters like current, lift, plunge and welding time is of great value to obtain a satisfactory weld. This work has as main intention to help the understanding of the influence of each variable and its interaction with obtaining satisfactory welds. Additionally, it will help the development of welds visual inspection criteria.

Keywords: Arc stud welding, stud bolts, welding parameters.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	2
3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	3
3.1 Introdução.....	3
3.2 Soldagem por eletrofusão	5
3.3 Máquina de soldagem.....	6
3.3.1 Pistola de soldagem.....	7
3.3.2 Pinos e cerâmicas.....	9
3.4 Parâmetros de soldagem.....	10
3.4.1 O plunge.....	11
3.4.2 O lift.....	11
3.4.3 O tempo de soldagem.....	12
3.4.4 A corrente de soldagem.....	12
3.5 Aplicações na indústria.....	13
3.6 Recomendações práticas durante a soldagem.....	13
3.6.1 Limpeza.....	13
3.6.2 Tratamento de superfície.....	14
3.6.3 Cerâmica (arc shield).....	14
3.6.4 Condições ambientais e do meio ambiente.....	14
3.6.5 Tolerâncias e espaçamento.....	15
3.7 Condições para a operação do equipamento.....	15
3.8 Requisitos de qualificação do procedimento de soldagem e do operador de soldagem segundo a norma AWS D1.1 – 2010.....	16
3.8.1 Qualificação do procedimento.....	16
3.8.1.1 Teste de flexão/Dobramento.....	17
3.8.1.2 Teste de torque.....	18
3.8.1.3 Teste de tração.....	19
3.8.2 Qualificação do operador de soldagem.....	19
3.8.3 Controle de produção.....	20
3.9 Inspeção visual de soldas.....	21
3.10 Soldagem de pinos por processos convencionais de arco elétrico.....	23
4 MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1 Máquina de soldagem.....	24
4.2 Material de base.....	25
4.3 Consumíveis de soldagem.....	26
4.3.1 Pinos.....	27
4.3.2 cerâmicas.....	27
4.4 Metodologia experimental.....	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
5.1 Visual de soldas.....	33
5.2 Ensaio de dobramento.....	36
5.3 Redução do comprimento do pino.....	38
5.4 Penetração do metal de solda.....	41
5.5 Caracterização microestrutural da solda.....	43
5.6 Avaliação da umidade das cerâmicas.....	47
6 CONCLUSÕES	51
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	52
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	53
9 APÊNDICE	54

1 INTRODUÇÃO

O processo de soldagem a arco por eletrofusão, *Stud Arc Welding – SW*, envolve princípios similares aos da soldagem convencional por arco elétrico, devido a que um arco é estabelecido entre a ponta do pino e o material de base. (Nelson Weld, 2006) A qualidade da junta soldada no arco projetado e encoberto por uma cerâmica depende de vários fatores, como tipo do metal de base, material do pino, a posição de soldagem, etc, porem, uma correta seleção dos parâmetros de soldagem tem um papel de extrema importância.

Os parâmetros de soldagem considerados de processo são: o plunge dado em milímetros e que em termos práticos é o comprimento do pino que se projeta para fora da cerâmica sem levar em consideração a esfera de material fluxante; o lift dado em milímetros e que é a distância alcançada quando a pistola puxa o pino a partir do material de base; tempo dado em segundos, que é a duração da passagem da corrente durante o processo de soldagem e a corrente de soldagem dada em Amperes.

Devido à importância mencionada da seleção de parâmetros adequados, e a carência de critérios de inspeção visual de soldas, este trabalho visa ajudar ao entendimento da influência de cada uma das variáveis e sua interação com a obtenção de soldas satisfatórias, abordando os diferentes aspectos da soldagem por eletrofusão de pinos usados principalmente na indústria metalmeccânica. Foram abordados assuntos como a redução do comprimento do pino após soldagem, formação da coroa em volta do pino, causas e soluções de alguns problemas de soldagem e alguns aspectos metalúrgicos das soldas executadas com um maior e menor aporte de energia.

2 OBJETIVOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

Ajudar ao entendimento da influência de cada uma das variáveis de soldagem: lift, plunge, corrente e tempo de soldagem e sua interação com a obtenção de soldas satisfatórias.

Contribuir à elaboração de critérios de inspeção de visual de soldas dentro da empresa Brafer Construções Metálicas S/A.

3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1 Introdução

A soldagem de pinos por eletrofusão é um processo ao arco elétrico, no qual um pino ou peças semelhantes é soldado ao material de base, podendo este se apresentar em diversas geometrias e configurações, a figura 1 apresenta algumas aplicações



Figura 1. Algumas aplicações da soldagem de pinos (pesquisa google imagens stud weld, 8 de julho de 2013)

A solda é produzida pelo binômio energia do arco elétrico e pressão. O arco elétrico é obtido pelo toque e retração automática do pino e é estabelecido entre a ponta do pino e o material de base, após isto, o pino é mergulhado no metal líquido, tudo isto acontece sob a proteção de uma cerâmica que tem a função de confinar o material fundido formando uma coroa envolta do pino. Dentre outras funções da cerâmica, destaca-se a de proteger do meio ambiente o metal fundido e expelido no momento do mergulho do pino, assim como evitar o excesso de respingos. Levando

em consideração que os movimentos de retração do pino são automáticos, ou seja, sem a interferência direta do operador de soldagem, sendo assim, podemos dizer que o operador tem as seguintes atribuições: a correta instalação do pino e da cerâmica na pistola; o posicionamento adequado da pistola, sempre perpendicular à superfície onde irá acontecer a solda, e o acionamento da pistola.

Como pode ser visto, o processo de soldagem é extremamente simples e exige pouca habilidade do operador, porém a correta seleção dos parâmetros de soldagem assim como a regulação das variáveis de soldagem na pistola e máquina de solda devem ser realizadas sobre a inspeção de pessoas competentes para se obter uma solda em condições satisfatórias, total fusão do pino assim como a formação de uma coroa em volta do mesmo com pouca perda de material na forma de respingos e sem porosidades aparentes.

Adicionalmente, é importante ressaltar que uma posterior inspeção visual das soldas é necessária que seja feita por pessoal qualificado, já que sendo um processo de soldagem de fácil execução, exige uma avaliação para aceitar ou rejeitar a instalação dos pinos, mesmo sendo esta por amostragem. É importante ressaltar que em caso de dúvida sobre a correta soldagem de um determinado pino ou de um conjunto de pinos, um ensaio de dobramento do pino em questão pode ser realizado, comprovando assim sua correta instalação, tal e como será discutido nos capítulos posteriores.

Em relação à versatilidade do processo, o tempo de instalação de pinos é em torno de alguns segundos, o qual torna o processo de soldagem atraente para a aplicação dos mesmos no canteiro de obra devido a sua rápida instalação e ao emprego de mão de obra com pouca qualificação reduzindo assim os custos. Porém, outros processos de soldagem a arco elétrico tal como eletrodo revestido, MIG-MAG e arame tubular podem ser empregados para a instalação dos pinos, como o prevê, por exemplo, a norma AWS D1.1 no capítulo 7, sendo assim, a escolha do processo de soldagem se restringe unicamente à disponibilidade do maquinário e à mão de obra qualificada.

A continuação serão comentados alguns aspectos inerentes ao processo de soldagem assim como as recomendações dadas pela Norma AWS D1.1 e a forma de qualificação do procedimento.

3.2 Soldagem por eletrofusão

É um processo de soldagem arco elétrico por fusão onde é combinada a abertura do arco elétrico na extremidade do pino e posteriormente é aplicada uma baixa pressão. O metal líquido é confinado dentro de uma cerâmica, que cumpre as funções de protegê-lo do meio ambiente e evitar o escape do mesmo na forma de respingos. A figura 2, que segue, ilustra de forma representativa a sequencia de soldagem de pinos por eletrofusão.

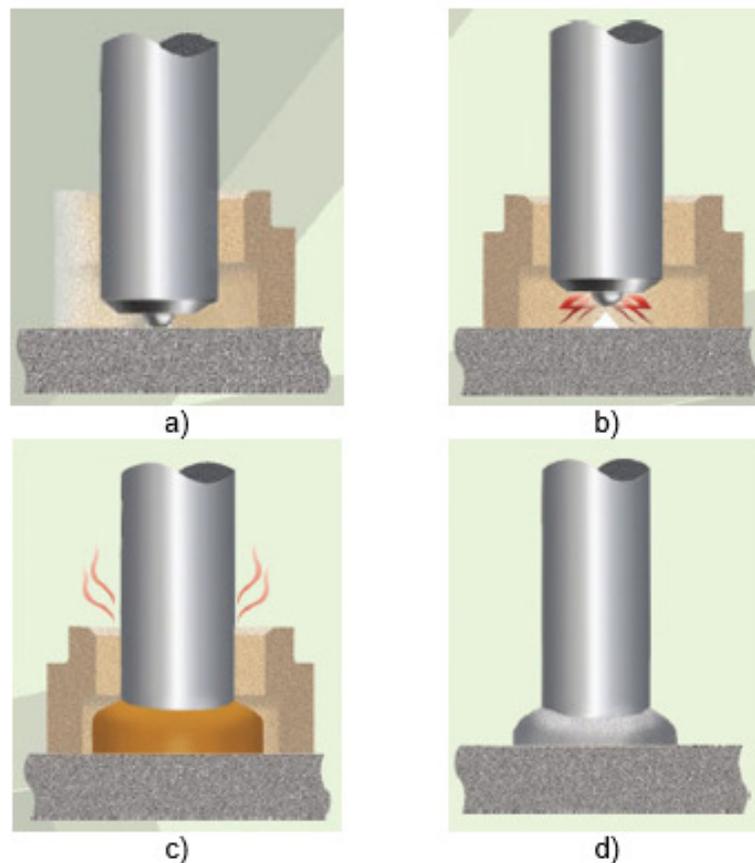


Figura 2. Sequencia de soldagem por eletrofusão de pinos: a) Acoplamento do pino e cerâmica sobre o material de base; b) Acionar o gatilho e a pistola recuará automaticamente e permitirá a passagem de corrente pelo tempo determinado; c) O pino será projetado sobre o metal líquido que fica confinado na cerâmica; d) Processo de solidificação concluído e a cerâmica podendo ser removida para a solda ser inspecionada. (página ciser, 8 de julho 2013)

Cabe ressaltar que a pressão com que o pino é mergulhado na poça de metal líquido não é uma variável do processo. A máquina de soldagem que é projetada especificamente para este processo regula o comprimento do arco, ou seja, a contração do pino durante a soldagem e o tempo de permanência do arco

elétrico. Após o arco ser formado, o pino é soldado à superfície do material de base mediante a fusão da extremidade do pino e a superfície do MB e depois de um período de tempo controlado, o pino é projetado sobre o metal líquido criando assim uma ligação metalúrgica.

Existem dois tipos básicos de soldagem a arco de pinos, (Chambers, 1993), que são diferenciados pela capacidade da fonte de energia. O primeiro tipo é conhecido por soldagem de prisioneiros por eletrofusão, *Stud Arc Welding* (SW), onde é usada uma corrente contínua (CC), a qual é fornecida por um transformador/retificador semelhante ao que é utilizado no processo de soldagem a arco por eletrodo revestido (SMAW), sendo que a pistola sempre é ligada à polaridade negativa. Este processo, SW, é usado em aplicações que requerem pinos em diâmetros variados e de material similar ao do metal de base. Observa-se que o material de base sempre terá uma espessura maior do que o diâmetro do pino a ser soldado (AWS D1.1, 2010).

O segundo tipo é conhecido como soldagem de pino por descarga capacitiva, *Capacitor Discharge Stud Welding* (CDSW) e como seu nome o indica, usa a energia de descarga a partir de um banco de armazenamento de capacitores. Em contraste, este processo é usado extensivamente ao soldar pinos em chapas finas de metal, e é usado com frequência na soldagem de materiais dissimilares, pino/metal de base, ou também é utilizado em lugares onde não podem existir evidências da soldagem do pino do lado oposto da chapa, tal como acontece em peças automotivas.

No presente trabalho somente será abordado o primeiro processo, soldagem de pinos por eletrofusão (*Stud Arc Welding* – SW).

3.3 Máquina de soldagem

Como mostrado na Figura 3, o equipamento básico utilizado para a soldagem a arco SW consiste em um sistema de controle, o qual pode estar acoplado na fonte de energia, sendo que este regula o tempo do arco elétrico e os movimentos de contração da pistola, regulando o comprimento do arco elétrico e a pressão com que o pino mergulha na poça de metal líquido. Outros itens são os

cabos de ligação (cabo terra e os cabos que ligam a pistola à fonte de energia) e a própria pistola de soldagem.

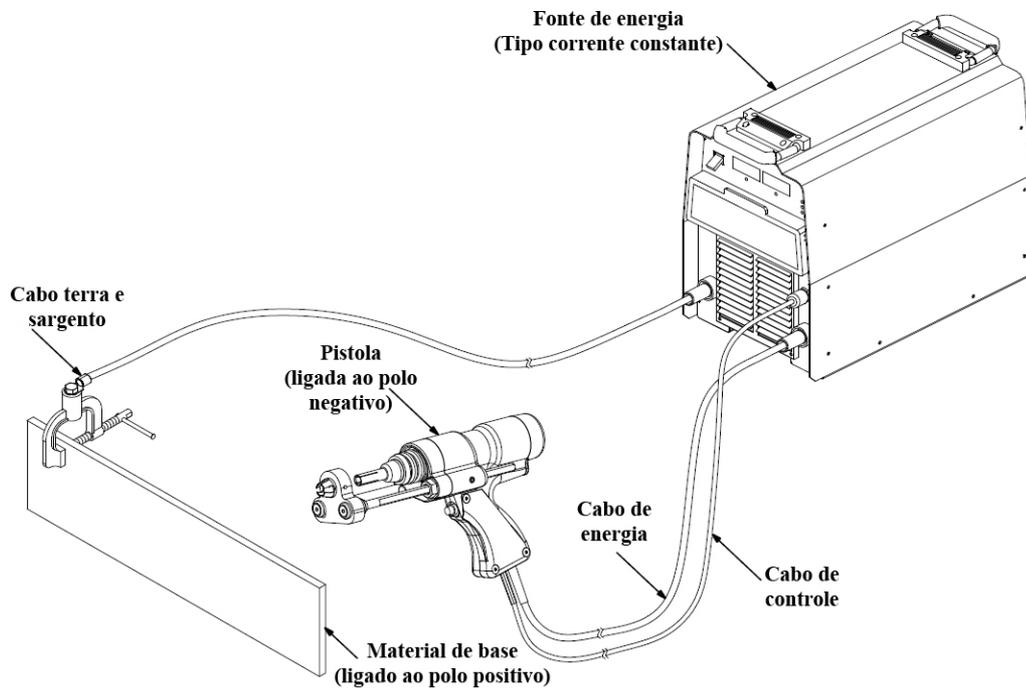


Figura 3. Equipamento de soldagem por eletrofusão (Manual Miller, 2012).

A fonte de energia utilizada para a soldagem é comparável, em termos de tamanho, a portabilidade e facilidade de operação, com as fontes usadas para a soldagem com eletrodo revestido, embora sua capacidade dependam do diâmetro do pino o qual exige faixas de corrente superiores.

A soldagem SW foi desenvolvida há pelo menos 60 anos e continua em processo de aprimoramento. Durante esse tempo, houveram muitas melhorias nos materiais, equipamentos, mas pode ser dito que os princípios de soldagem são os mesmos. (Manual Nelson Welding, 2006).

A evolução da indústria de soldagem de pinos tem acompanhado o avanço tecnológico na parte eletrônica, onde antes o controle e a verificação dos parâmetros de soldagem era feito por sistemas mecânicos, hoje esse controle é feito por circuito eletrônico fechado. Dentre dos avanços destaca-se:

- Verificação em tempo real do tempo e da corrente de soldagem.
- Interrupção da corrente de soldagem quando há um curto circuito.
- Compensação por flutuações de energia de entrada.

- Não abertura do arco em caso de variação dos parâmetros de soldagem pré-estabelecidos.

Dentre estas e outras características têm contribuído grandemente para o aumento da qualidade da solda.

3.3.1 Pistola de soldagem

Há dois modelos básicos de pistolas de soldagem a arco por eletrofusão disponíveis:

- Portátil. Esta configuração de pistola é usada para as operações manuais.
- Fixa. Usada como pistola em produção em série e em peças simples. Normalmente é montada sobre um dispositivo de posicionamento, e é geralmente incorporada com um sistema de carregamento automático.

A seguir é ilustrada uma pistola portátil e seus principais componentes.

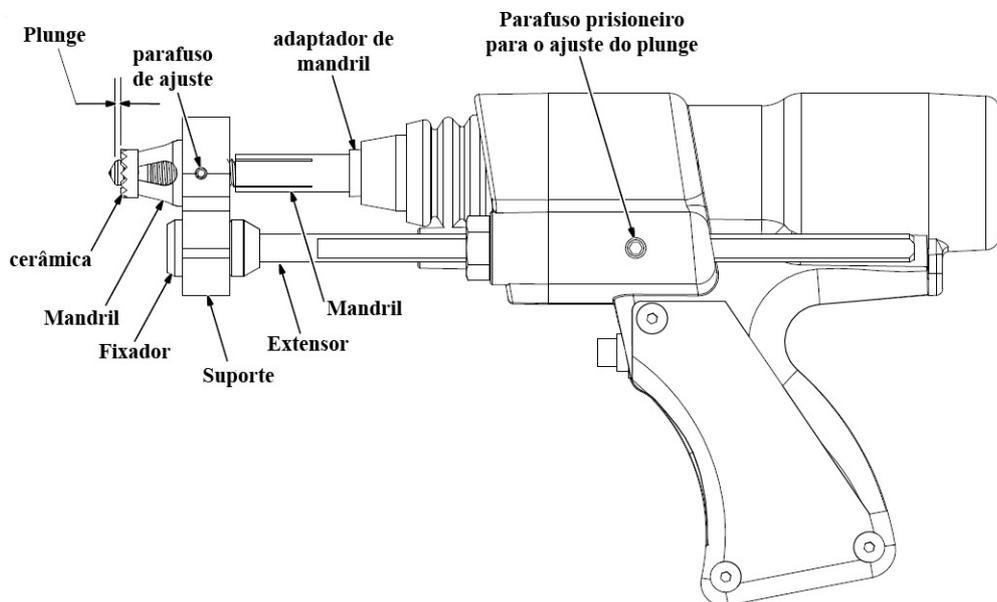


Figura 4. Componentes de uma pistola portátil (Manual Nelson, 2002).

O design da pistola é projetado conforme a capacidade de soldagem (faixa de regulação de corrente) e aos tipos de pino a serem soldados. O peso médio das pistolas portáteis oscila entre 2 kg a 4 kg, sendo revestidas com um polímero de alta densidade e resistente ao impacto. O mecanismo de funcionamento das pistolas

consiste em um dispositivo de recuo incorporado ao sistema de sujeção do pino e a ativação do mecanismo é feita por um gatilho. Adicionalmente, a pistola conta com um suporte ajustável para a adaptação de diferentes comprimentos de pinos e para facilitar a regulação do plunge.

3.3.2 Pinos e cerâmica

Os pinos são encontrados em diversas geometrias, porem as dimensões do pino e configurações de soldagem devem ser especificadas pelo projetista. No presente trabalho serão usados os pinos com cabeça (stud) e usados com cerâmica, os quais são feitos por trefilação a frio de aços acalmados ou semi-acalmados ao alumínio ou ao silício, em conformidade com a norma ASTM A29, *Standard Specification for steel Bars, carbono and alloy, Hot-Wrought, General requeriments for Grades 1010 through 1020*, e como acabamento superficial, um polimento.

Os pinos devem estar livres de qualquer defeito produto da fabricação tal como dobras, trincas, rebarbas, etc. que possam vir a danificar a qualidade da solda.

Na figura 5 podem ser vistos os aspectos principais do pino conector com suas características básicas.



Figura 5. Detalhe construtivo dos pinos

Este tipo específico de pinos são destinados à construção civil para montagem de estruturas mistas (aço/concreto), particularmente em vigas e lajes ou

em pontes rodoviárias. Sendo que os esforços atuantes nestes pinos principalmente são do tipo cisalhante e sua principal função é a de transmitir as cargas horizontais provenientes do concreto para as vigas no qual estão soldados.

Observa-se que na extremidade do pino, é inserido uma esfera de alumínio que serve como desoxidante e como estabilizador do arco elétrico, por norma AWS D1.1 2010, item 7.2.3, pinos com diâmetros maiores ou iguais a 8 mm devem ser fornecidos com esta esfera, para pinos menores é um item opcional.

As cerâmicas deverão ser mantidas secas, limpas, e em embalagens à prova de umidade. Quaisquer cerâmicas que mostrarem sinais de umidade na superfície deverão ser secas em estufa a 120 °C por duas horas antes de serem usadas. Após a soldagem todas as cerâmicas deverão ser quebradas e o local devidamente limpo.

Após a soldagem, toda cerâmica (*arc shield*) deverá ser removida, quebrando-a para inspeção visual das soldas e antes de verter o concreto. A Figura 6 ilustra os dois tipos de cerâmica mais utilizados em construção civil: SD – Steel deck; MB – material de base.



Figura 6. Cerâmicas: SD – Steel Deck, MB – Material de Base.

3.4 Parâmetros de soldagem

Soldas de alta resistência poderão ser obtidas com o bom entendimento dos parâmetros de soldagem, sua configuração e ajustes e como interagem entre si para se obter soldas com qualidade. Desta forma, a seguir, são apresentados os parâmetros de soldagem de forma sucinta.

3.4.1 O Plunge

É a quantidade livre do pino que se projeta além da cerâmica. Esta porção do comprimento do pino está disponível para ser fundido, para desenvolver a coroa da solda junto com a fusão do metal de base.

Um plunge muito longo pode ocasionar muitos respingos ou a formação de uma coroa muito grande ou irregular.

O plunge deve ser sempre medido instalando o pino na pistola e colocando a cerâmica, sendo assim, procede-se com a medição do excedente do stud sem levar em consideração a esfera de alumínio localizada na extremidade do pino. A figura 7 a seguir apresenta como medir o plunge.



Figura 7. Medição do plunge

3.4.2 O lift

É a distância com que a pistola recua, puxando o pino, a partir do material de base. Em termos físicos o lift, aumentaria a diferença de potencial entre a ponta do eletrodo e o material de base, distância que precisa ser vencida pela corrente de soldagem.

O fluxo de corrente através desta diferença de potencial cria o calor necessário para fundir o material do pino e o de metal de base. Se a diferença de potencial tender a zero, a potencia do arco será insuficiente para fundir tanto o pino

como o material de base. Um lift curto pode até abrir o arco, porém, o arco não terá potencia suficiente para formar a poça de metal líquido, criando assim uma falta de fusão. Um lift excessivo aumenta a possibilidade de ter um sopro magnetico criando um excesso de material em uma das extremidades da solda, uma coroa incompleta.

Na figura 8 é ilustrada a forma correta de medição do lift.



Figura 8. Medição do lift

3.4.3 O tempo de soldagem

Mede a duração da passagem da corrente. Na soldagem de chapas finas, pode se obter uma potencia de arco adequada ao diminuir o tempo de soldagem e aumentar a corrente e assim evitar a perfuração do metal de base.

3.4.4 A Corrente de soldagem

É medida em Amperes. Aumentando a corrente aumenta a o aporte de calor da solda. Assim como na regulagem do tempo, um ajuste de corrente mais elevada é necessária para diâmetros maiores de pinos.

A corrente pode ser regulada diretamente no painel de controle da fonte de soldagem no parâmetro desejado.

3.5 Aplicações na indústria

A soldagem de pinos por eletrofusão tem sido amplamente aceita pela indústria metalmeccânica. Este tipo de soldagem tem encontrado grande aplicação na indústria automotiva, em caldeiraria, na indústria de construção civil, em pontes rodoviárias, em construção naval e em indústria agrícola dentre outras.

Algumas aplicações típicas na construção civil são relacionadas á fixação de lajes por meio de *steel decks*, fixação de chapas, vagões ou elementos de fixação ou como conetores resistentes a cargas cisalhantes.

Os pinos são usados principalmente em pontes rodoviárias ou em estruturas mistas aço-concreto, onde transferem os esforços às vigas nos quais estão soldados.

Na figura 9 a seguir apresenta a soldagem de pinos comumente encontrada na construção civil.

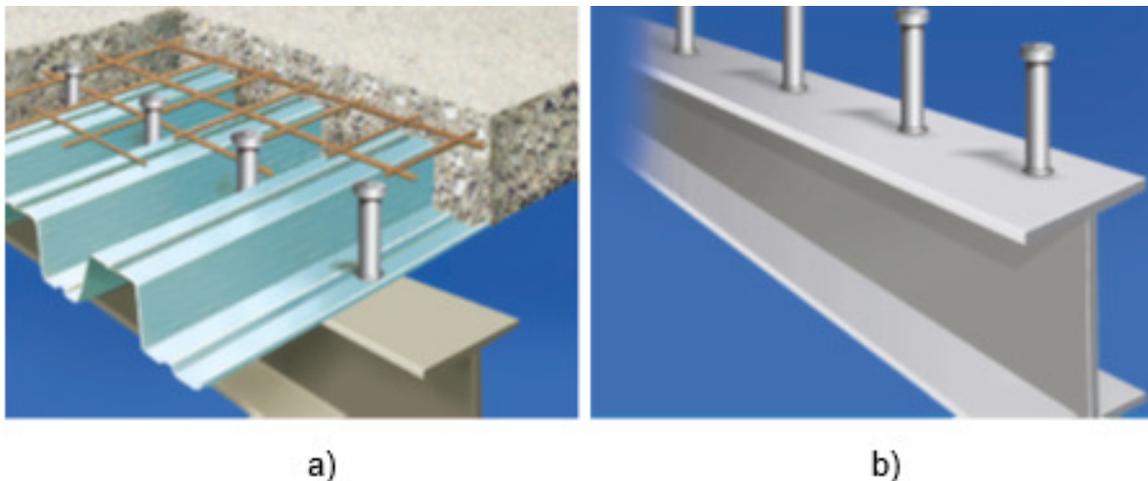


Figura 9. Soldagem de pinos em: a) steel deck, b) diretamente no perfil (pagina ciser, 2013).

3.6 Recomendações praticas durante a soldagem

A seguir serão comentadas algumas recomendações básicas para a correta soldagem por eletrofusão segundo a norma AWS D1.1:

3.6.1 Limpeza

No ato da soldagem, os pinos deverão estar isentos de óxidos, carepa de laminação, óleo, graxas, umidade ou de outra substância que possa afetar adversamente a operação de soldagem.

Os locais onde os Conectores serão soldados deverão estar livres de óxidos, carepa de laminação, umidade, pintura, etc. Poderão ser limpos com escova de aço, lixadeira, etc.

3.6.2 Tratamento de superfície

Os pinos não deverão ser pintados, zincados ou cadmiados antes de serem soldados.

3.6.3 Cerâmica

As cerâmicas deverão ser mantidas secas, limpas, em embalagens à prova de umidade. Após a soldagem, toda cerâmica deverá ser removida, quebrando-a para inspeção visual das soldas.

3.6.4 Condições Ambientais e do metal de base

A solda não poderá ser realizada quando a temperatura do metal de base seja inferior a -18°C ou quando a superfície esteja úmida ou em condições de chuva.

Cuidados extremos deverão ser tomados ao se fazer a soldagem dos Conectores através do *Steel Deck*: (Ciser, 2011)

- O *Steel Deck* deverá estar firmemente em contato com a viga de aço;
- A presença de pintura no flange superior das vigas e/ou na face inferior do *Steel Deck*, sujeiras, óleos, graxas, óxidos, umidade e principalmente lâminas d'água, são extremamente danosos à soldagem, comprometendo a fusão dos materiais e causando porosidade nas soldas;
- Toda a tinta na região de instalação dos Conectores deverá ser retirada. Para o caso de *Steel Deck* previamente pintado deverão ser realizadas aberturas com serra copo antes da instalação dos Conectores. Os pinos deverão ser

soldados diretamente nas vigas de aço, dentro das aberturas previamente executadas;

- Toda umidade existente sobre o *Steel Deck* ou lâmina d'água existente entre o *Steel Deck* e as vigas de aço, deverá ser completamente eliminada antes da solda dos Conectores.
- A colocação do *Steel Deck* sobre as vigas deverá ser realizada somente em tempo seco e deverá ser imediatamente seguida pela colocação dos pinos. Ao final de um dia de trabalho todos os Conectores *Stud Bolt* relativos aos painéis de *Steel Deck* já montados deverão estar soldados. Nenhum painel de *Steel Deck* deverá ser deixado sobre a estrutura sem soldar os pinos.
- A soldagem não deverá ser executada através de duas espessuras de painéis de *Steel Deck*. Nas emendas transversais, não deverão existir trespases entre os painéis de *Steel Deck*.

Na figura 10, a seguir apresenta a correta instalação de pinos sobre o steel deck.

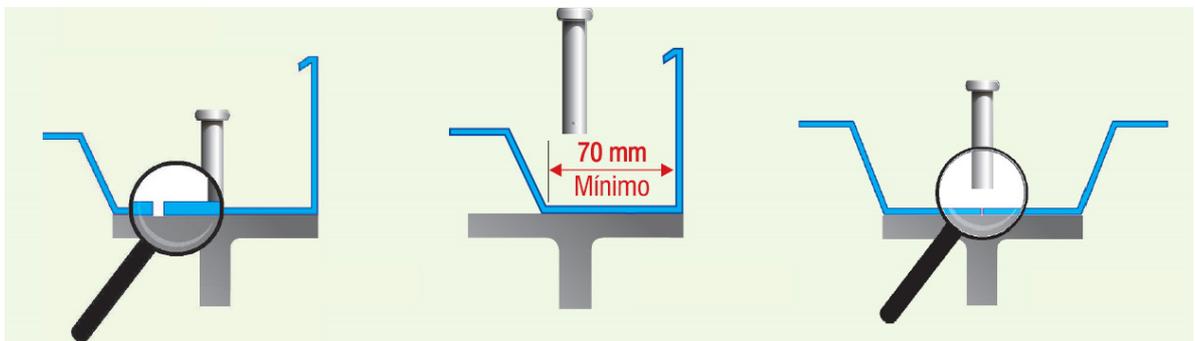


Figura 10. Instalação de pinos em vigas com steel deck (Ciser, 2001).

- A corrente e o tempo de aquecimento, para soldagem do pino deverão seguir as recomendações do procedimento de soldagem previamente qualificado.

3.6.5 Tolerâncias de espaçamento

Espaçamento lateral e longitudinal dos studs (tipo B) podem variar no máximo 25 mm da localização mostrada nos desenhos. A mínima distância desde a margem

do stud até a borda do flange será igual ao diâmetro do stud mais 3 mm, porém não menos do que 40 mm.

3.7 Condições para operação do equipamento de solda

Os Conectores do tipo *Stud Bolt* deverão ser soldados com equipamento próprio (fonte de corrente contínua e a pistola ligada ao polo negativo - DCEN). A corrente de trabalho (Amperes), o tempo de operação (segundos) e a regulagem da pistola (lift- elevação, plunge –comprimento livre do eletrodo), deverão seguir as orientações do procedimento de soldagem.

Se mais de uma pistola for operada através de um mesmo equipamento de solda, deverão existir dispositivos de bloqueio, de forma que somente uma pistola esteja funcionando de cada vez.

A segunda pistola somente deverá entrar em operação após o término da soldagem da primeira pistola e assim sucessivamente.

A regulagem da pistola, a corrente de trabalho e o tempo de operação para a soldagem através do *Steel Deck* são completamente diferentes daquelas de soldagem diretamente sobre as vigas de aço.

Para soldagem através do *Steel Deck* ou diretamente sobre as vigas de aço, as orientações do fabricante do equipamento deverão ser seguidas.

3.8 Requisitos de qualificação do procedimento de soldagem e do operador de soldagem segundo a norma AWS D1.1 – 2010.

Seguem comentários de alguns itens da norma AWS D1.1 - 2010. Inicialmente, a posição pré-qualificada para soldagem será aquela onde os pinos sejam instalados numa superfície plana e com uma inclinação de chapa oscilando entre 0° até 15°, sendo que a pistola será posicionada perpendicular à superfície e sempre apontada para baixo.

Soldagem de pinos fora da posição indicada ou soldados sobre steel deck precisam ser qualificados conforme a norma, visto serem as posições, variáveis essenciais do processo.

3.8.1 Qualificação do procedimento de soldagem segundo requisitos da AWS D1.1

Para a qualificação do procedimento de soldagem, dez amostras deverão ser soldadas de forma consecutiva simulando as condições reais de fabricação (posicionamento e espessura do material de base, uso ou não de steel deck, etc.). Os pinos deverão ser da mesma geometria dos que serão usados na soldagem sobre as peças.

As dez amostras deverão ser testadas usando-se um ou mais dos seguintes métodos:

3.8.1.1 Teste de flexão/dobramento

Dez pinos deverão ser testados por flexão alternada de 30° em sentidos opostos em um dispositivo conforme indicado pela norma AWS D1.1 ITEM 7.6.6.1, até a ruptura acontecer.

Alternativamente, os pinos poderão ser dobrados a 90° a partir de seu eixo original. Como critério de aceitação do ensaio, a fratura poderá vir acontecer no próprio pino ou por arrancamento do material de base porem nunca deve acontecer na solda.

Na figura 11, apresenta-se o dispositivo e os critérios de aceitação do ensaio, conforme a norma AWS D1.1.

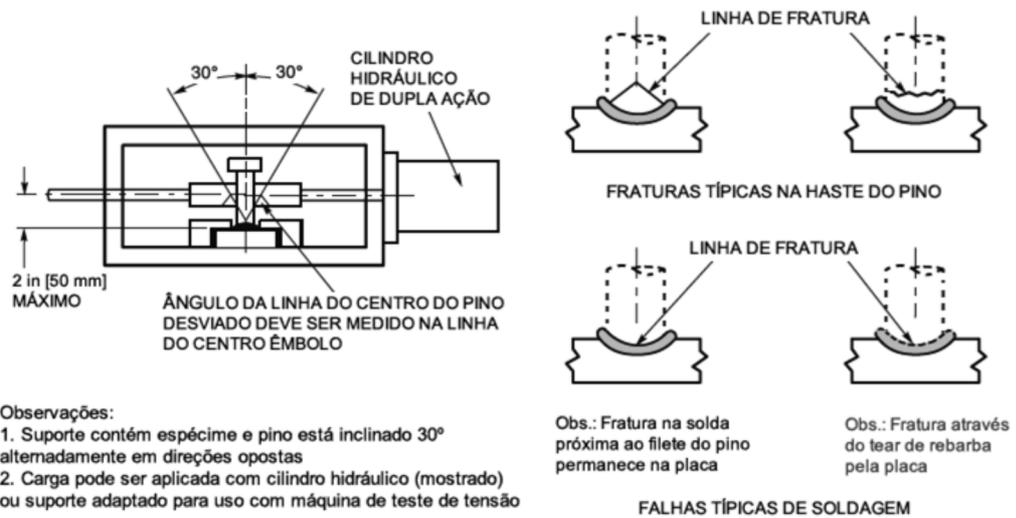


Figura 11. Dispositivo de ensaio por flexão e tipos de fraturas. (AWS D1.1, 2010)

O dobramento a 90° poderá ser realizado por um dos seguintes métodos, tal e como ilustrados na figura a seguir:

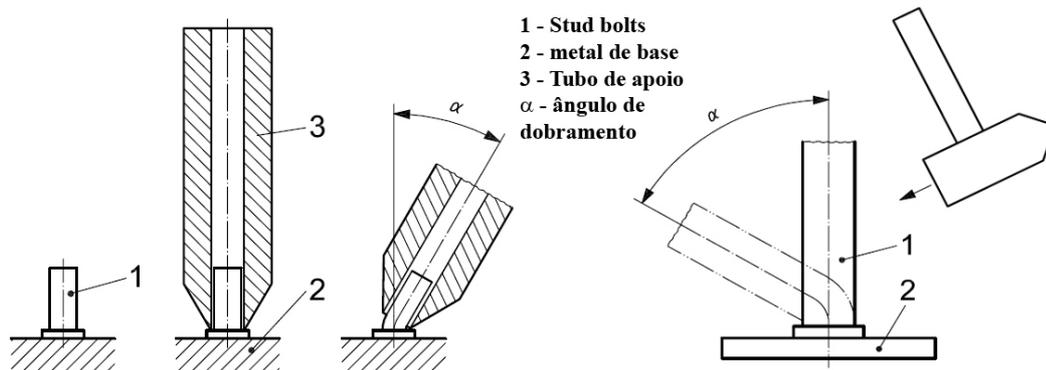


Figura 12. Dobramento de pinos (AWS D1.1, 2010)

A seguir são ilustrados os critérios de aprovação ou não no teste de dobramento de qualificação de procedimento de soldagem.

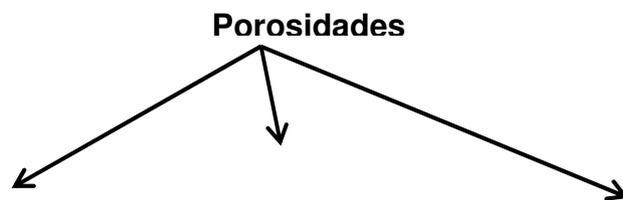




Figura 13. Avaliação da quebra do pino no teste de dobramento

3.8.1.2 Teste de torque

O teste de torque será realizado conforme os critérios estabelecidos no item 7.6.6.2 da norma. Dez pinos deverão ser soldados e para serem considerados aprovados a fratura não poderá vir a acontecer na solda.

A continuação é ilustrado o dispositivo de torque. As recomendações de dimensionamento assim como de carga deverão ser consultadas na norma pois variam conforme a dimensão do pino a ser testado.

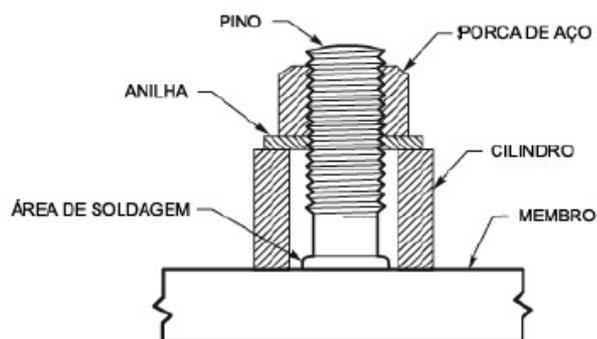


Figura 14. Dispositivo de torqueamento (AWS D1.1, 2010)

3.8.1.3 Teste de tração

A tração do pino deverá ser testada até a ocorrência da fratura em uma máquina de tração universal. A solda será aprovada desde que o rompimento do corpo de prova aconteça fora da solda, no metal de base ou no próprio pino.

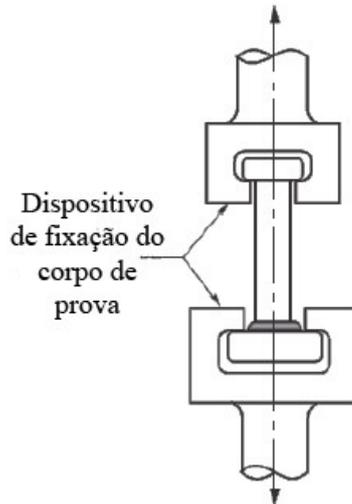


Figura 15. Ensaio de tração (AWS D1.1, 2010)

3.8.2 Qualificação do operador de soldagem

A qualificação do operador de soldagem pode acontecer durante a qualificação do procedimento de soldagem ou na realização dos testes iniciais antes da liberação das soldas de produção. No segundo caso, o teste de pré-produção será executado por um operador qualificado sendo que estes dois primeiros pinos consecutivos deverão ser inspecionados visualmente e dobrados a 30°, comprovando assim a eficácia da regulagem do processo de soldagem.

O candidato a operador de soldagem deverá realizar a soldagem de dois pinos consecutivos em chapas de teste de produção e as soldas serão inspecionadas visualmente e por dobramento a 30°. As soldas não deverão apresentar trincas nem nenhum indicio de imperfeição após dobramento que possa vir a comprometer a integridade da solda, sendo assim, o candidato estará apto para operar a máquina e executar as soldas de produção.

3.8.3 Controle de produção

Antes de iniciar as soldas de produção com um determinado setup da máquina (corrente, tempo, lift e plunge), para uma determinada dimensão e tipo de

stud e no início de cada jornada de trabalho, deverão ser testados os dois primeiros pinos que serão soldados. Os testes podem ser realizados em chapas de sucata com material similar (espessura e propriedades) que o material de base onde irão ser soldados os pinos de produção. A espessura da chapa de teste poderá variar em torno de +/-25% da espessura original da chapa de produção. Estes dois primeiros pinos soldados deverão ter as mesmas condições de soldagem que os pinos de produção (posição, parametrização da máquina, pistola, etc.).

Os cordões de solda deverão ser examinados visualmente e estes dois primeiros pinos iniciais sofrerão o teste de dobramento. Deverá haver filete de solda em todo o contorno da região de fusão;

Os pinos deverão ser dobrados em um ângulo de 30° com a vertical e não deverão apresentar sinais de fratura ou rompimento na solda.

O dobramento dos pinos deverá ser realizado utilizando-se um tubo ou um martelo; conforme descrito anteriormente.

A soldagem de produção somente deverá ser iniciada após a aprovação do ensaio de dobramento de dois pinos consecutivos.

Uma vez que a soldagem de produção tem sido iniciada, qualquer mudança nos parâmetros a seguir listados, implicará na soldagem de dois novos pinos de teste, os quais deverão ser examinados visualmente e realizado seu dobramento. É considerada alteração da regulação de procedimento, qualquer uma entre as seguintes situações:

- Troca de pistola e/ou mudanças no ajuste *lift* e *plunge*;
- Troca de fonte de energia;
- Mudança no comprimento total ou na bitola dos cabos de soldagem;
- Variações maiores que 5 % no ajuste da corrente e tempo de soldagem;

Durante a soldagem de produção, se alguma solda não apresentar filete em todo o seu contorno, o respectivo pino deverá ser testado. Este deverá ser dobrado a um ângulo de 15° com a vertical, no sentido contrário à região com falta de filete.

Se não houver sinais de fratura ou rompimento na solda, a soldagem poderá ser considerada satisfatória. A critério da fiscalização da obra, o pino poderá ou não ser retornado à posição original. O procedimento descrito neste item deverá ser adotado sempre que for colocada em dúvida a qualidade da solda.

Após a realização do teste, caso a soldagem não seja considerada satisfatória, o Conector deverá ser retirado e o local da soldagem deverá ser lixado. Caso o material base da viga tenha sido arrancado juntamente com o conector, a região de soldagem deverá ser preenchida com solda manual de filete antes da aplicação do novo Conector.

3.9 Inspeção visual de soldas

Uma relação adequada entre os parâmetros de soldagem (lift, plunge, tempo e corrente) será necessária para se obter soldas de excelente qualidade. Sendo que como critérios de avaliação poderão ser usados a redução do comprimento do pino após soldagem e o visual da coroa formada em sua totalidade envolta do pino.

Sendo assim, a inspeção visual consiste em interpretar a aparência embasado em conhecimentos do processo assim como a experiência do próprio inspetor.

A seguir são descritas algumas características ao respeito do que uma solda em boas condições se esperaria de ter:

- Formação da coroa em toda a volta do pino
- Aspecto homogêneo da coroa, sem a presença de porosidades
- Boa altura da coroa
- Redução do comprimento do pino

Em contrapartida, uma solda mal executada evidencia:

- Pouca perda no comprimento do pino após soldado
- Pouca altura da coroa
- Evidências de falta de fusão entre o pino e o metal de base
- Formação de coroa incompleta e evidenciando uma falta de fusão
- Excesso de respingos
- Mordeduras no pino
- Perfuração do metal de base

A figura 16 ilustra algumas soldas e problemas de soldagem mais comuns neste tipo de processo.



Perfil adequado



Corrente de soldagem elevada



Pouca retração do pino (pouco lift)



Baixa corrente de soldagem

Figura 16. Ensaio visual de solda

O exame visual é uma avaliação subjetiva, já que a norma não indica nenhum tipo de critério para determinar seu grau de aprovação ou rejeição de qualquer descontinuidade, ao menos do ponto de vista visual ou dimensional. Sendo assim, cabe ao inspetor de soldagem usar o bom senso e a experiência adquirida neste tipo de soldagem, sendo importante mencionar que em caso de dúvida um ensaio de dobramento a 15° deve ser realizado.

3.10 Soldagem de pinos por processos convencionais de arco elétrico.

A soldagem dos pinos pode ser realizada por processos convencionais (SMAW, FCAW, GMAW) desde que sejam seguidas as recomendações básicas para tais processos, no relacionado à limpeza e preparação da junta. A avaliação

das soldas será realizada mediante um visual conforme os critérios estabelecidos pela norma AWS D1.1 – tabela 6.1.

A dimensão das soldas de filete deverão ser maiores do que as indicadas na tabela a seguir:

Tabela 1. Dimensões mínimas de filetes em função do diâmetro do pino (AWS D1.1, 2010)			
Diâmetro do pino		Dimensão mínima de filete	
Polegadas	mm	Polegadas	mm
1/4 a 7/16	6 a 11	3/16	5
1/2	12	1/4	6
5/8, 3/4 , 7/8	16, 20, 22	5/16	8
1	25	3/8	10

4 MATERIAIS E METODOS

Neste capítulo serão apresentados os ensaios realizados sobre chapa de espessura de 16 mm, soldando pinos por eletrofusão. As soldas foram realizadas diretamente no material de base tendo como parâmetro de referência o obtido por uma EPS aplicável previamente desenvolvida segundo os critérios da norma AWS D1.1 – 2010.

Os parâmetros de soldagem foram aumentados em 25% para cima e para abaixo do valor de referência da EPS, tendo assim um valor máximo e um mínimo para oscilação dos valores de cada parâmetro: corrente (A), tempo (s), lift (mm) e plunge (mm).

A seguir são detalhados os equipamentos e materiais usados e os ensaios realizados.

4.1 Máquina de soldagem

A máquina de soldagem é composta por um sistema de controle de soldagem, o qual é integrado a uma fonte de energia do tipo transformador/retificador modelo Nelweld 6000 e é mostrada na Figura 17.



Figura 17. Fonte de soldagem de pinos por eletrofusão Nelweld 6000

Sendo este tipo de equipamento o mais amplamente utilizado, e é chamado de sistema de energia/controle, podendo soldar pinos com diâmetros de até 28,5 milímetros, usando uma ou duas pistolas. O sistema de comando da energia ou simplesmente sistema de comando pesa aproximadamente 450 kg e pode ser colocado em um carrinho de rodas para facilitar sua mobilidade, porém sempre é deixado fixo e aumenta-se o comprimento dos cabos para facilitar o deslocamento para os postos de soldagem.

4.2 Material de base

Como material de base foi escolhido o aço USI-SAC-350 como objeto de estudo devido a ser um dos aços de maior carbono equivalente usado na construção civil e sua alta susceptibilidade a apresentar microtrincas.

Em condições de corrosão ambiental, este tipo de aço forma um óxido estável, chamado patina, resistente que protege ao aço da ação nociva de muitos ambientes urbanos. A patina é formada pela oxidação de elementos de liga como cobre, fósforo, níquel e cromo. Além de conferir considerável resistência à corrosão atmosférica, esses elementos de liga também contribuem para a melhoria das propriedades mecânicas através do refino de grão.

A tabela 2 apresenta a composição química do aço USI-SAC-350, veja apêndice 1 onde se apresenta o certificado de composição química da usina.

Tabela 2. Composição química do aço USI-SAC- 350 – espessura = 16 mm									
C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Nb	V	Ti
0,12	1,07	1,07	0,032	0,012	0,032	0,09	0,002	0,004	0,004
Cr	Ni	Mo	Sn	N	As	B	Ca	Sb	Pb
0,19	0,01	0,01	0,001	0,0031	0,003	0,0002	0,0011	0,00	0,002

O cálculo do carbono equivalente foi obtido conforme a fórmula do IIW:

$$C_{eq} = C + \frac{(Mn + Si)}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$$

$$C_{eq} = 0,52$$

Seguindo o método de cálculo para estimar o pré-aquecimento da AWS D1.1 anexo I e usando o método de controle de hidrogênio e tendo as seguintes considerações:

- Nível de hidrogênio não controlado (H3) – cerâmicas sem secagem
- Estimativa do valor P_{cm}

$$P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

$$P_{cm} = 0,22$$

- Baixa restrição

Obtém-se um índice de susceptibilidade – D

Segundo a tabela I.2, o pré-aquecimento recomendado é de 60 °C.

A espessura do material de base foi escolhida acima do critério estabelecido como limite para o material de base conforme a norma AWS D1.1 – 2010 item 7.2.7, a qual indica que ao soldar pinos diretamente sobre o material de base, o mesmo não deve ser inferior a 1/3 do diâmetro do pino. Adicionalmente, foi escolhida uma espessura de 16 mm, para evidenciar a real necessidade do pré-aquecimento neste tipo de material e a possível formação de microestruturas susceptíveis ao trincamento pela formação de martensita, já que os ensaios foram feitos sem nenhum tipo de pré-aquecimento.

4.3 Consumíveis de soldagem

Seguindo a definição de consumíveis de soldagem (AWS A3.0, 2010), onde consumível de soldagem é tudo aquilo usado para a proteção do metal de solda ou como metal de adição, podemos afirmar que os consumíveis para a soldagem de pinos por eletro fusão seriam o próprio pino e a cerâmica.

4.3.1 Pino

Os ensaios que foram conduzidos no presente estudo envolveram soldas que foram depositadas usando pinos com as seguintes dimensões:

Comprimento: 121 mm (4 3/4")

Diâmetro: 19 mm (3/4")

Material de base: SAE 1015

Tabela 3. Propriedades mecânicas do pino SAE 1015 (certificado de qualidade da chapa)		
PROPRIEDADES	Valor especificado (min)	Valor encontrado (min)
Lim. Resist. A tração (Mpa)	450	495
Alongamento (%)	20	23
Limite escoamento (Mpa)	350	400
Redução de área (%)	50	56,5

Tabela 4. Composição química do pino SAE 1015 (certificado de qualidade do pino)				
C	Mn	P	S	Si
0,16	0,52	0,016	0,006	0,08

Acabamento superficial: polimento.

Esfera de alumínio como elemento fluxante.

Veja o apêndice 2, onde se apresenta o certificado de qualidade fornecido pelo fabricante.

4.3.2 Cerâmica

Para a soldagem direta sobre chapas é recomendada a cerâmica do tipo metal de base (MB), a qual apresenta canais espaçados e com dimensões inferiores do que as cerâmicas SD (steel deck).

4.4 Metodologia experimental

Neste trabalho todas as soldas foram realizadas diretamente no material de base, sendo que a posição da chapa sempre esteve na horizontal.

Tomando como parâmetros iniciais a EPS 32/12 qualificada anteriormente por 10 ensaios de dobramento e amplamente testada durante a execução de mais de 10000 pinos de forma satisfatória em diversas obras, foi tomada como referência para variar os parâmetros em 25%, valor acima do limite permitido pela norma, e assim obter um valor máximo e mínimo para cada variável.

A continuação são apresentados os valores aplicáveis pela EPS. (veja apêndice 3)

Tabela 5. Parâmetros de soldagem				
Corrente (A)	Tempo (s)	Lift (mm)	Plunge (mm)	Aplicação
1250	0,950	3,2	12	Soldagem dos pinos diretamente no perfil ou em chapas

Posteriormente, foram realizadas as combinações com os valores máximos e mínimos de cada variável baseados no planejamento fatorial.

Segundo Klaric e Kladaric, os seus estudos mostram que a corrente de soldagem tem a maior influência na penetração da solda do que os demais parâmetros de soldagem. Sendo o tempo de soldagem, o seguinte fator de importância e tanto o lift como o plunge como os menos significantes. Assim sendo, os estudos foram conduzidos em função dos dois níveis de corrente de soldagem e a variando os demais parâmetros nos seus valores máximo e mínimo.

Cada pino foi avaliado visualmente verificando encontrar qualquer defeito na coroa e sua formação completa, quantidade de respingos encontrados, falta de fusão e porosidades aparentes. Adicionalmente foi medido o comprimento após soldagem do pino e comparado com o seu comprimento original.

Após as soldas serem inspecionadas, procedeu-se a executar os cortes transversais por meio de serra fita lubrificada. As amostras foram preparadas metalograficamente por lixamento até granulometria 1200 seguido de polimento em suspensão de alumina de 1µm. Posteriormente, as amostras foram atacadas quimicamente com reagente Nital ao 2% por um tempo de 10 a 20 segundos. Depois de efetuada esta preparação metalografica, as amostras foram fotografadas com microscópio óptico. As imagens foram inseridas em software, o qual permitiu determinar a dimensão da penetração do metal de solda e a zona afetada pelo calor, como ilustrado na figura 18.

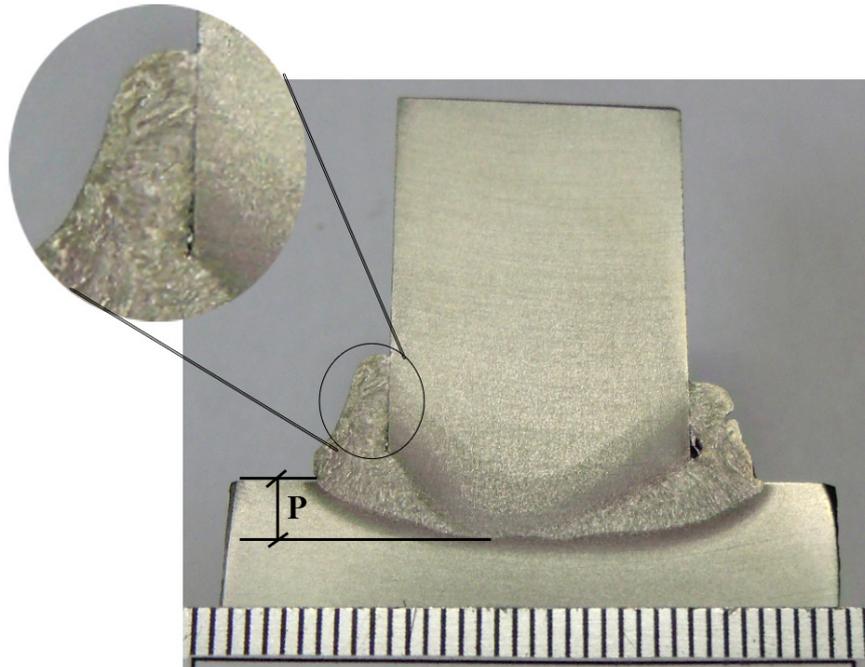


Figura 18. Macrografia indicando a penetração do MS

Na macrografia, observa-se que não há fusão entre o pino e a coroa, este assunto será discutido no próximo capítulo.

Adicionalmente, foi feito um estudo de caracterização microestrutural em duas amostras, uma com a maior energia de soldagem (maior corrente, maior tempo de soldagem, maior lift e menor plunge) a outra com os valores opostos (menor corrente, menor tempo de soldagem, menor lift e menor plunge); visando encontrar o maior e menor ciclo térmico de soldagem e sua influência na transformação da zona afetada termicamente, principalmente, procurando a formação de uma estrutura susceptível ao trincamento devido aos ciclos térmicos impostos durante a soldagem e às elevadas taxas de resfriamento.

Em contra partida foi feito um perfil de dureza para corroborar qualquer aumento de dureza ao longo do cordão de solda e assim evidenciar também qualquer mudança na microestrutura.

Cabe ressaltar que o material de base não sofreu nenhum tipo de pré-aquecimento, o qual aumentaria as chances de formação de estruturas martensíticas.

Nas mesmas condições executadas para os ensaios macrográficos foram soldados pinos sobre a chapa do mesmo material e executado o dobramento a 30°, como discriminado anteriormente, visando assim, determinar a integridade das soldas de cada pino e avaliar a variação dos parâmetros de soldagem em função ao desprendimento do pino ou não.

Durante a realização dos testes foi identificado que a umidade da cerâmica influenciava no grau de porosidade aparente das soldas, devido a que foram usadas algumas cerâmicas úmidas, sendo necessária a repetição de alguns ensaios.

Para determinar a influência da umidade da cerâmica na integridade das soldas, foram avaliadas cinco situações, conforme discriminadas a seguir:

1. Cerâmica conforme recebidas e estocadas;
2. Cerâmica deixada no ambiente porem sem influencia direta da chuva e sim do orvalho durante 3 noites (umidade 97%, temperatura 10,4°C, chuva de 0,2mm. (página Simepar 01/07/13).
3. Cerâmica seca em forno a 120° por um período de uma hora e depois deixada no ambiente fabril por duas horas;
4. Cerâmica seca em forno a 120° por um período de uma hora e depois deixada no ambiente fabril por quatro horas;
5. Cerâmica pesada antes de ser mergulhada em água por um período de 10 minutos e depois de retirada, deixada no ambiente por 25 minutos, e finalmente pesada novamente.

O tempo de exposição, de duas a quatro horas, ao meio ambiente fabril foi escolhido devido a que quatro horas é o máximo tempo aceito pela norma AWS D1.1 para uso de eletrodos altamente higroscópicos após secos e deixados em ambiente industrial, sendo assim foi tomado como um valor de referência.

O método de avaliação de umidade foi mediante a perda de massa da cerâmica após secagem em forno e nas condições 2 e 5 a avaliação foi feita pelo ganho de massa sem a secagem em forno. A pesagem das cerâmicas foi feitas em balança calibrada de precisão. Com isto, a perda ou ganho de massa referem-se à umidade presente na cerâmica.

O intuito deste ensaio foi o de determinar o grau de umidade absorvido pela cerâmica e assim estabelecer condições necessárias de armazenamento e manuseio das cerâmicas na soldagem de pinos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão discutidos os resultados obtidos em cada etapa dos ensaios realizados para avaliar a influência dos parâmetros de soldagem relacionados com a qualidade das soldas e a penetração do metal de solda.

Na tabela a seguir são apresentadas as variações dos parâmetros de soldagem tomando como ponto de referência a EPS previamente qualificada e separados em função da corrente de soldagem para um maior entendimento dos resultados.

Adicionalmente, foi incluso os parâmetros recomendados pelo fabricante, identificados como NW.

Tabela 6. Relação dos ensaios realizados e resultados observados								
CP	Corrente (A)	Tempo (s)	Lift (mm)	Plunge (mm)	Observações (visual de solda)	Redução do pino (mm)	Penetração (mm)	Ensaio de Dobramento a 15°
1	1563	1,1875	4	15	Poucos respingos coroa completa	7,5	3,1	Aprovado
2	1563	1,1875	4	9	Respingos coroa incompleta	7,5	4,1	Aprovado
3	1563	1,1875	2,4	15	Poucos Respingos coroa completa	11	3,2	Aprovado
4	1563	1,1875	2,4	9	Sem respingos coroa completa	6	3,8	Aprovado
5	1563	0,7125	4	15	Sem respingos coroa completa	5,5	2,7	Aprovado
6	1563	0,7125	4	9	Sem respingos coroa completa	6	2,7	Aprovado
7	1563	0,7125	2,4	15	Sem respingos coroa completa	9	3,2	Reprovado
8	1563	0,7125	2,4	9	Sem respingo coroa completa	5,5	3,0	Aprovado

CP	Corrente (A)	Tempo (s)	Lift (mm)	Plunge (mm)	Observações (visual de solda)	Redução do pino (mm)	Penetração (mm)	Ensaio de Dobramento a 15°
----	--------------	-----------	-----------	-------------	-------------------------------	----------------------	-----------------	----------------------------

9	938	1,1875	4	15	Respingos coroa incompleta	4,5	2,4	Reprovado
10	938	1,1875	4	9	Respingos coroa incompleta	4,5	2,2	Reprovado
11	938	1,1875	2,4	15	Respingos coroa incompleta	9	2,2	Aprovado
12	938	1,1875	2,4	9	Respingos coroa incompleta	3,5	2,3	Reprovado
13	938	0,7125	4	15	Respingos sem coroa	3,5	1,3	Reprovado
14	938	0,7125	4	9	Respingos coroa incompleta	3	1,8	Reprovado
15	938	0,7125	2,4	15	Respingos coroa incompleta	3,5	1,7	Reprovado
16	938	0,7125	2,4	9	Respingos coroa incompleta	3	2,0	Reprovado
EPS	1250	0,95	3,2	12	Sem respingos coroa completa	5,5	2,1	Aprovado
NW	1500	0,9	3,2	4,8	Sem respingos coroa completa	6,5	3,5	Aprovado

5.1 Visual de solda

A continuação serão apresentadas as fotografias dos pinos soldados, ilustrando o formato da coroa e os respingos encontrados, cabe ressaltar que a norma AWS D1.1, não tem um critério definido em relação ao aspecto visual das soldas como nos processos convencionais de soldagem a arco elétrico. Desta forma não há um critério de avaliação visual em relação à coroa formada nem à porcentagem da falta da mesma, indicando que em caso de dúvida da qualidade de uma solda um teste de dobramento seja feito a 15°, conforme foi discutido anteriormente.

Assim sendo, a continuação serão apresentados alguns aspetos observados visualmente e comentar alguns fatos relevantes em relação á variação dos parâmetros de soldagem.

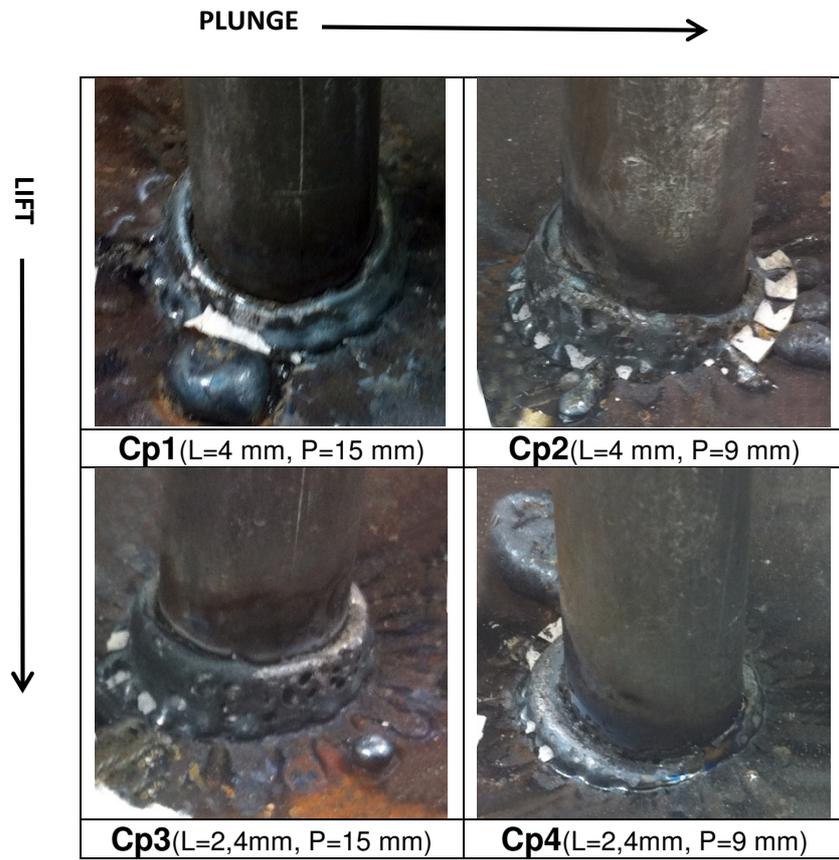


Figura 19. Diferença de Plunge e de lift para uma corrente de 1563 A e 1,1875s

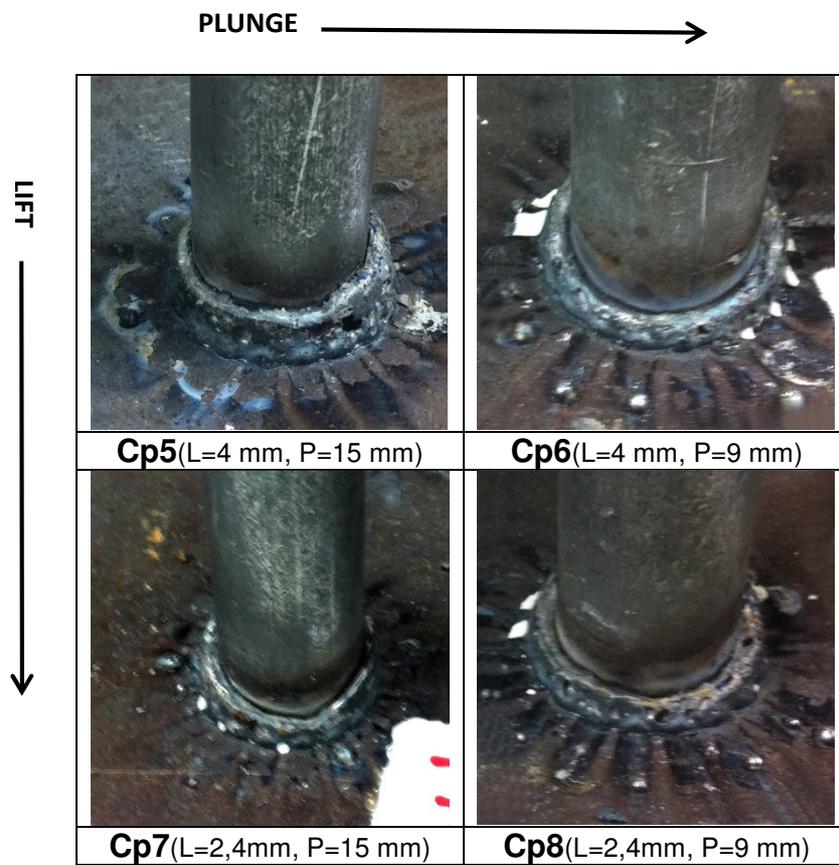


Figura 20. Diferença de Plunge e de lift para uma corrente de 1563 A e 0,7125s

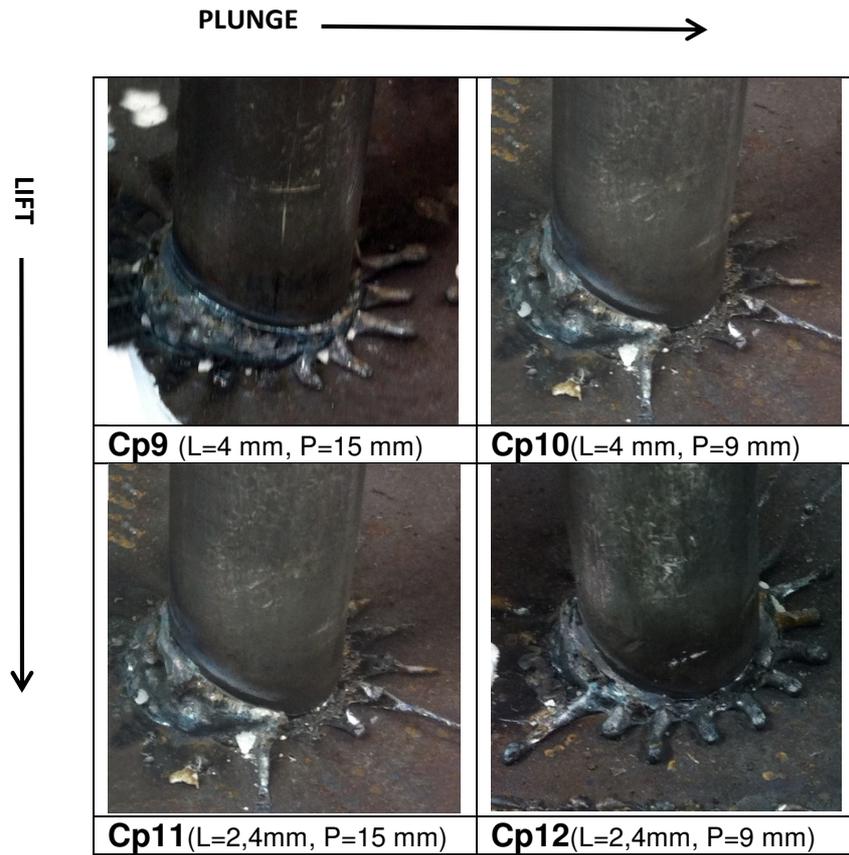


Figura 21. Diferença de Plunge e de lift para uma corrente de 938 A e 1,1875s

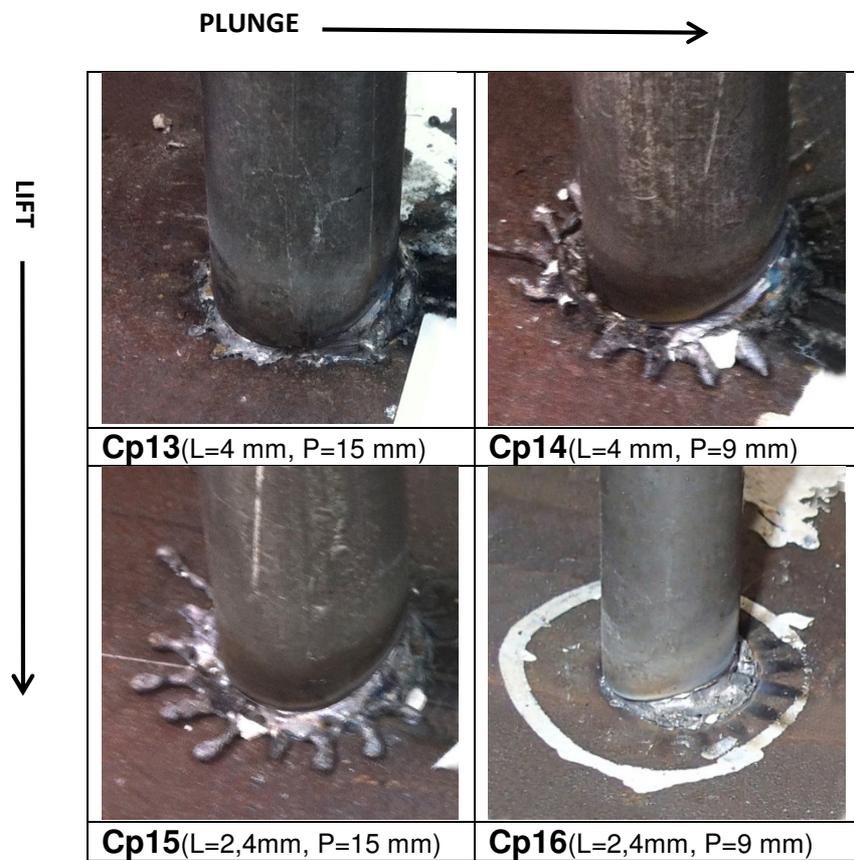


Figura 22. Diferença de Plunge e de lift para uma corrente de 938 A e 0,7125s

Ao realizar uma inspeção visual nas soldas pode ser deduzir que ao diminuir o plunge a quantidade de respingos é menor, isto é devido a que se teria uma menor quantidade livre de pino a ser projetada sobre a poça de fusão, e caso a energia de soldagem não seja suficiente, a projeção do pino parcialmente fundido ou mesmo aquecido iria a expulsar o metal líquido confinado na cerâmica, criando muitos respingos. Este fato foi observado no cp8, tendo uma redução significativa no plunge, o mesmo apresentou uma coroa muito menor do que o cp7 e uma menor quantidade de respingos. Em relação ao lift, não foi observada claramente uma correlação com a dimensão da coroa formada. Estas diferenças foram observadas principalmente nos ensaios com a corrente de maior intensidade, 1563A, já na corrente de 938A, as diferenças não foram tão significativas.

Em relação à corrente e tempo de soldagem, observou-se que nos cps com a corrente de 1563A, a coroa era formada independente se o tempo de soldagem estava no nível superior ou inferior estabelecido no estudo. Já nos cps com a corrente de 938A, mesmo no tempo de 1,1875s, a coroa não foi formada completamente, apresentando pontos de falta de fusão em torno ao pino, criando uma aparência de uma “solda fria”, desta forma pode se deduzir que a corrente de soldagem tem uma grande influência na formação da coroa. Adicionalmente, foi observada a projeção de respingos com uma tonalidade cinza, quando a corrente estava no valor de 938A. Aparentemente, a poça de metal líquido é esmagada pelo pino não fundido, projetando assim uma grande quantidade de respingos na forma de “pernas de aranha” e sem fusão aparente do pino ao metal de base, indicando assim, uma baixa energia de soldagem.

5.2 Ensaio de dobramento

O ensaio de dobramento foi realizado em cada pino conforme indicado na Norma, sendo o ângulo de dobra de 15°. Todos os pinos soldados foram dobrados e foi evidenciado que a fratura do pino acontecia principalmente em aqueles que a coroa não foi completada, reforçando desta forma, o fato de testar todo pino que não apresente a coroa em torno ao pino.

É importante ressaltar que os parâmetros de soldagem foram escolhidos visando encontrar a influência dos mesmos na correta soldagem e o teste de dobramento visa corroborar a qualidade da solda. Sendo assim, é muito importante realizar o dobramento a 15° sempre que a coroa do pino não seja formada.

A seguir são apresentadas algumas fotografias dos pinos e suas fraturas. Os principais defeitos encontrados foram falta de fusão, falta de penetração e porosidades.

Tabela 7. Ensaio de dobramento		
Pino soldado	Após dobramento	observação
		I=938A; t=0,7125s; L=4 mm e P=15 mm. Solda com baixa energia de soldagem, pouca penetração e sem a formação completa da coroa.
		I=938A; t=1,1875s; L=4 mm e P=15 mm. Solda com baixa energia de soldagem, pouca penetração e sem a formação completa da coroa. Observa-se a formação de respingos na forma de pernas de aranha.
		I=1563A; t=0,7125s; L=2,4mm e P=9 mm. Solda com uma boa energia de soldagem, boa penetração, formação completa da coroa, porem a fratura aconteceu devido à presença de porosidades.

Ao realizar o ensaio de dobramento pode-se deduzir que a falta de formação da coroa em volta do pino é um forte indicativo de uma possível falta de fusão, devido a uma baixa energia de soldagem, principalmente uma baixa corrente de soldagem.

É importante ressaltar que a quebra do cp7 deveu-se à presença de porosidades. A origem destas porosidades podem ser provenientes da falta de limpeza do material de base, oxidação do pino, umidade na cerâmica, etc. Segundo norma AWS D1.1, a cerâmica deverá estar acondicionada em lugar seco e em caso de apresentarem umidade, as mesmas deverão ser seca. Estes fatos serão discutidos na sequência.

5.3 Redução do comprimento do pino

A redução do comprimento do pino pode ser utilizada como evidência visual para inspeção, indicando que houve energia suficiente para a fusão do pino e do material de base. Segundo o fabricante da máquina de soldagem, recomenda-se que exista uma redução no comprimento do pino após soldagem em torno de 4 a 6 mm para pinos de diâmetros de até 19 mm.

Esta redução no comprimento deve-se a que parte do material fundido é empregado para a formação da coroa que ficará em volta do pino ou será perdido na forma de respingos. A seguir são ilustradas as influências dos parâmetros de soldagem na variação do comprimento final do pino após soldagem. Na figura 23 apresenta a influência dos parâmetros de soldagem na redução do comprimento do pino.

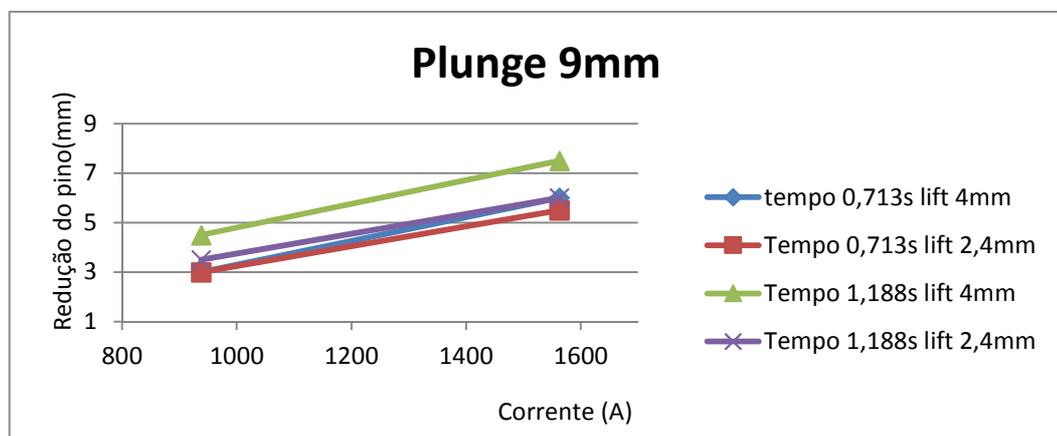


Figura 23. Influência dos parâmetros de soldagem agrupados em um plunge de 9 mm

Observa-se que a diminuição do comprimento do pino é diretamente proporcional ao nível de corrente de soldagem, tempo de soldagem e ao lift. É dizer, ao aumentar uma destas variáveis é esperada uma maior redução no comprimento do pino, o qual é lógico de se pensar pois são estas variáveis as que influenciam na potencia do arco de solda.

Na figura 24 apresenta a influencia dos parâmetros de soldagem na redução do comprimento do pino.

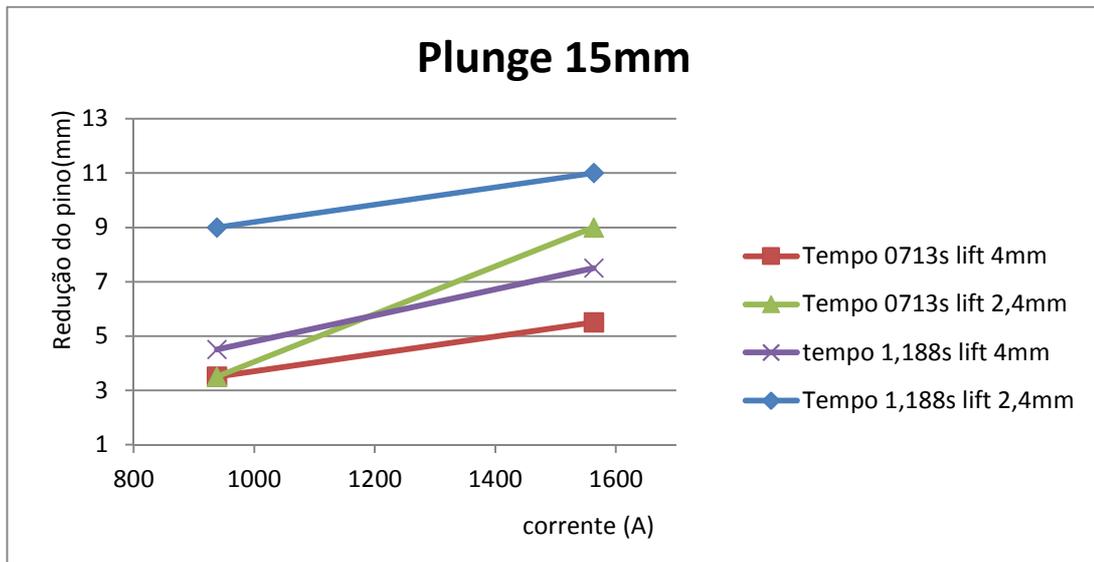


Figura 24. Influencia dos parâmetros de soldagem agrupados em um plunge de 15 mm

É importante ressaltar que no maior plunge utilizado, 15 mm, a tendência a ter uma maior redução no comprimento do pino inverteu-se, sendo esta conseguida em lift de 2,4mm e não nos lift de 4 mm tal e como observado quando usado um plunge de 9 mm.

Ao agrupar os parâmetros de soldagem em função do lift será observada a influencia do plunge na soldagem.

Na figura 25 apresenta a influencia dos parâmetros de soldagem na redução do comprimento do pino para um plunge de 4 mm.

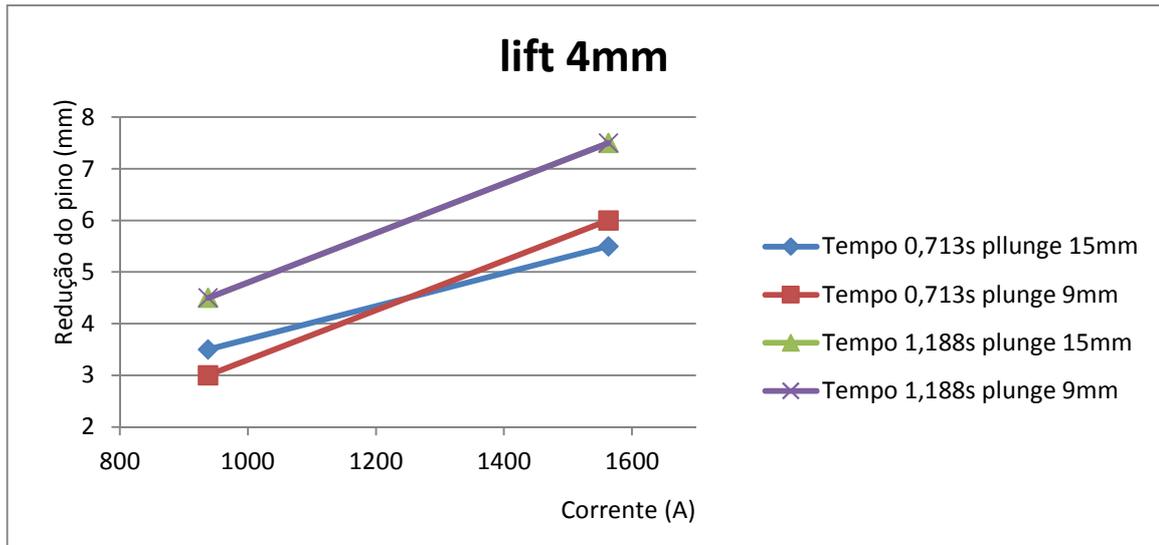


Figura 25. Influencia dos parâmetros de soldagem agrupados em um lift de 4 mm

Observa-se que o plunge não teve uma alteração considerável para o maior lift selecionado, 4 mm. Assim sendo, uma regulagem no plunge não se torna significativa desde o ponto de vista de redução no comprimento final do pino após soldagem.

Porem ao agrupar os parâmetros em função de um lift de 2,4mm, tal e como ilustrado na figura 26, observa-se que se obtém uma maior redução no comprimento do pino quando usado um plunge maior, o que levaria a pensar que para um lift menor, 2,4mm, o ideal é ter um plunge maior, 15 mm.

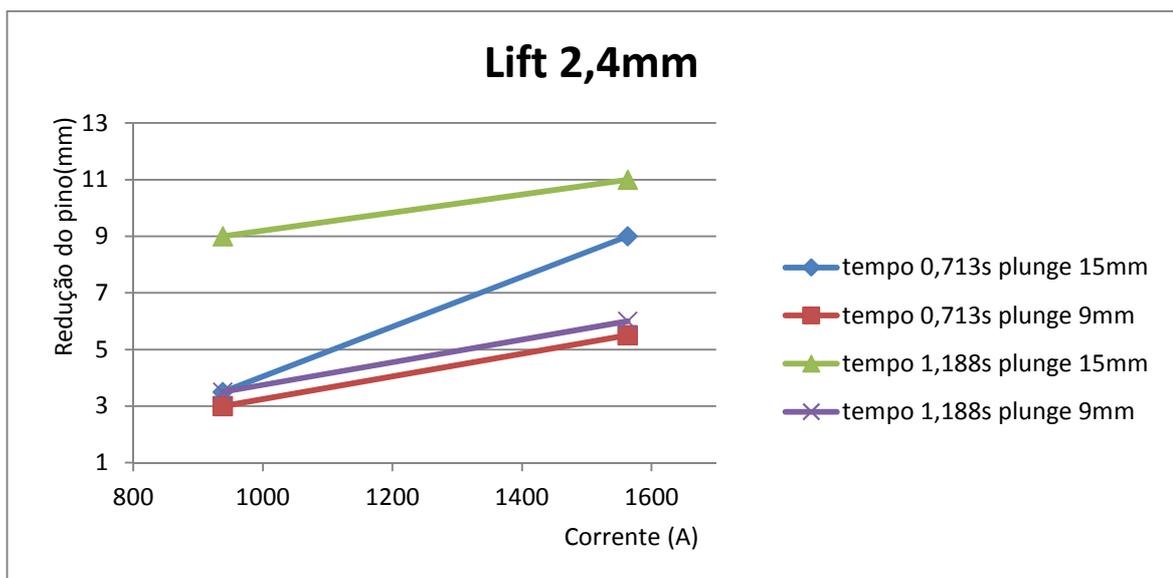


Figura 26. Influencia dos parâmetros de soldagem agrupados em um lift de 2,4mm

5.4 Penetração do metal de solda

A redução do comprimento do pino após soldagem é uma avaliação subjetiva da qualidade das soldas pois parte do pino disponível para fusão é transformado na coroa e sendo assim, não teria relevância nenhuma a não ser como indicativo de uma correta fusão.

Um padrão adequado de estudo seria a influencia dos parâmetros de soldagem na penetração do pino no material de base e assim, garantir uma correta ancoragem do pino. A seguir são ilustradas a influência dos parâmetros de soldagem em função da penetração da solda.

Para um plunge de 9 mm, observa-se, conforme a figura 27 a seguir, que existe pouca influência da variação do lift na penetração da solda, e sim uma influência do tempo de soldagem, como era de se esperar. Um aumento no tempo de soldagem proporciona um aumento na penetração.

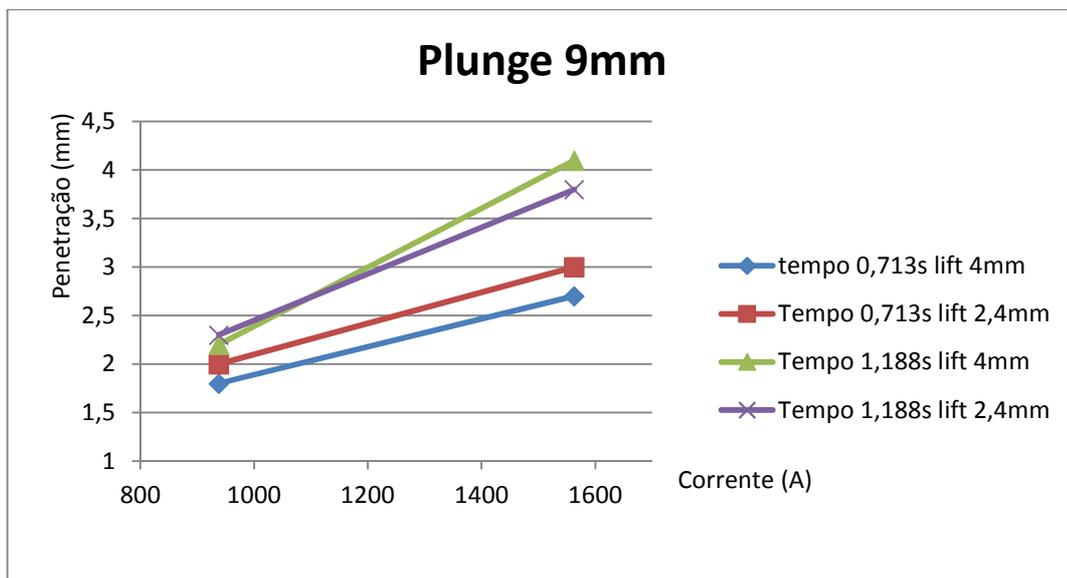


Figura 27. Influencia dos parâmetros de soldagem agrupados em um plunge de 9 mm

Para um plunge de 15 mm, veja figura 28, observa-se que a mudança no lift não é tão marcante quanto quando usado um plunge de 9 mm. Porém, percebe-se que em um tempo de 1,188s a mudança no lift continua não sendo representativa, e no tempo menor, de 0,713s, a variação na penetração foi maior no lift de 2,4mm. Tendência diferente do que a apresentada no plunge de 4 mm.

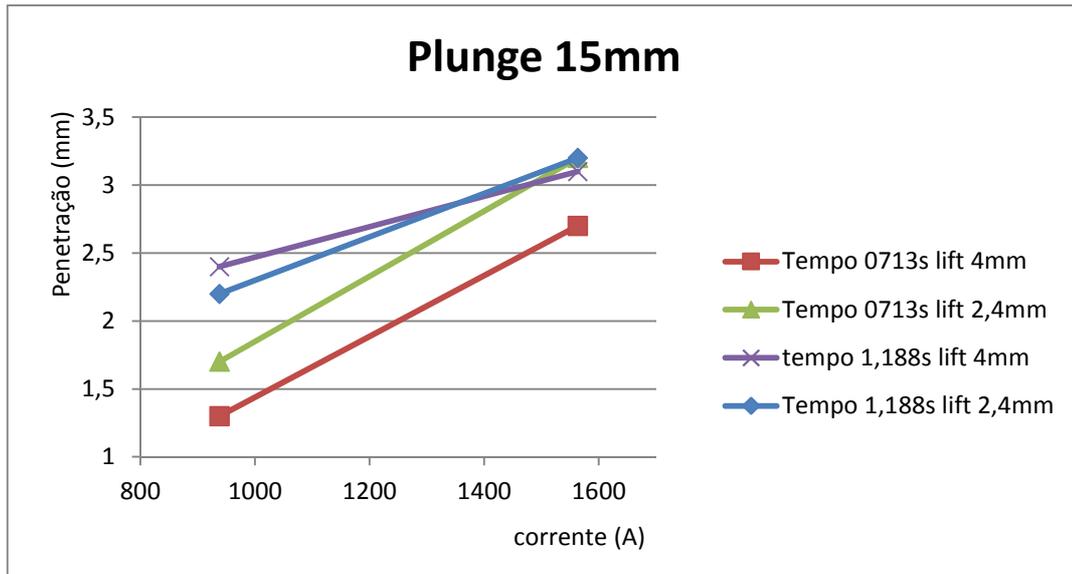


Figura 28. Influencia dos parâmetros de soldagem agrupados em um plunge de 15 mm

Ao organizar os ensaios em função do lift de 4 mm, observa-se que para as variações de plunge a tendência a aumentar a penetração não ficou bem definida apresentando unicamente uma maior penetração com o aumento do tempo de soldagem. Veja figura 29.

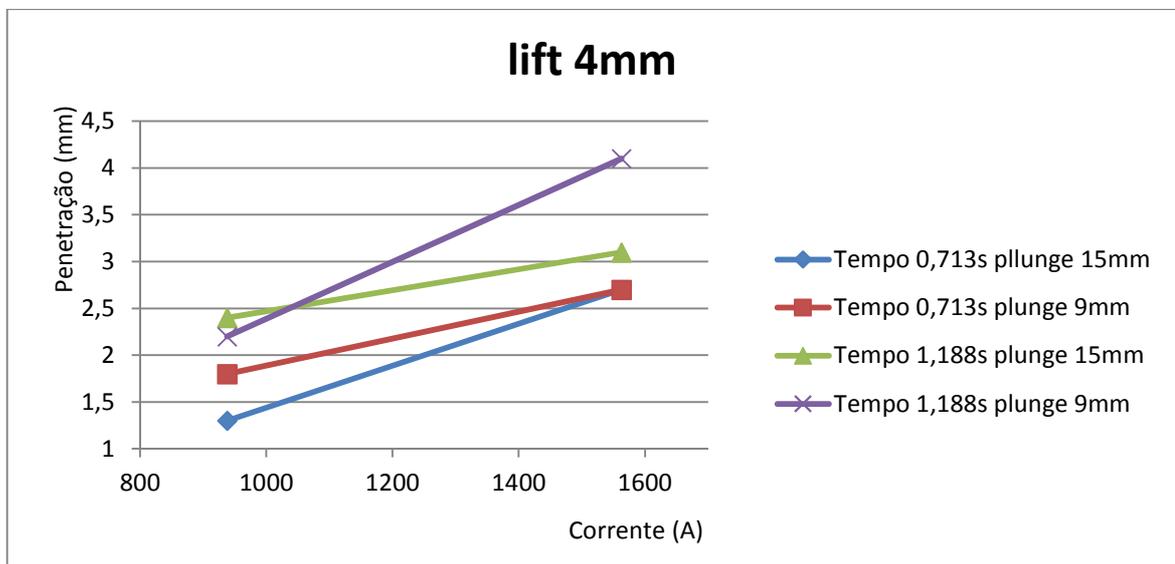


Figura 29. Influencia dos parâmetros de soldagem agrupados em um lift de 4 mm

Já no lift de 2,4mm, uma variação do plunge teve pouquíssima influência, como apresenta a figura 30 a seguir.

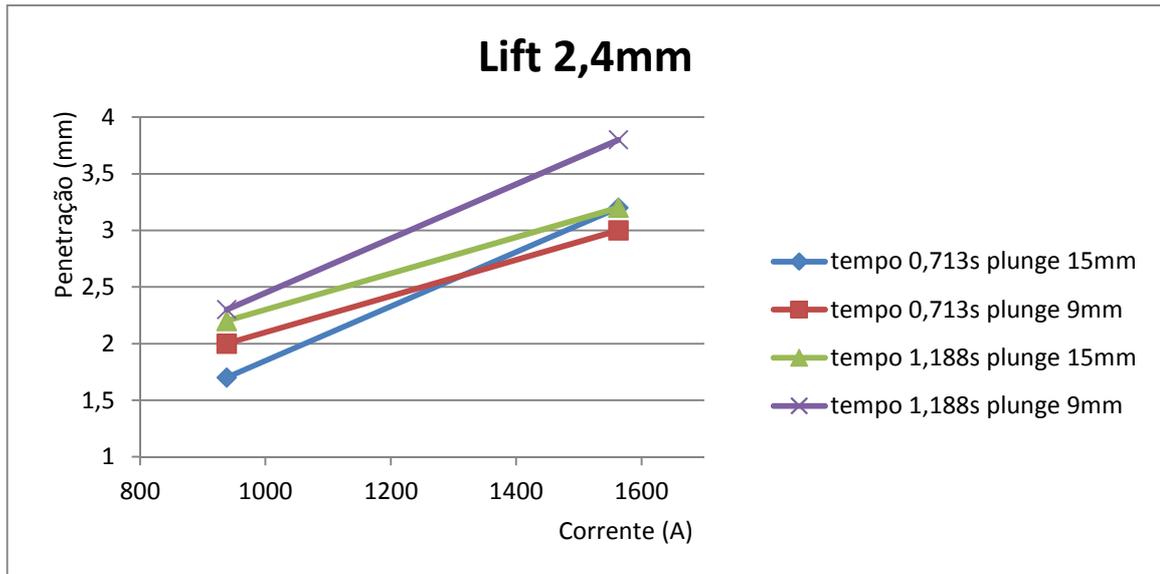


Figura 30. Influencia dos parâmetros de soldagem agrupados em um lift de 2,4mm

Conforme as figuras apresentadas anteriormente, pode se concluir que as variações do lift e o plunge tem pouca influência na penetração da solda e sim na redução do comprimento final do pino após soldagem, é dizer na formação da coroa em volta do pino, porem como será ilustrado, a coroa não tem nenhuma ligação metalúrgica com o pino. Sendo assim, a penetração do pino estaria diretamente relacionada em ordem de importância com a corrente de soldagem e em segundo lugar com o tempo de soldagem, confirmando o exposto por klaric e kladaric.

5.5 Analise microestrutural e microdureza

A seguir são apresentadas as microestruturas dos cordões de solda com maior e menor aporte térmico depositadas ao soldar o pino no aço USI-SAC-350.

A figura 31 a seguir ilustra de forma representativa os locais onde foram observadas as microestruturas: Material de base (MB), zona afetada termicamente (ZTA) e metal de solda (MS).

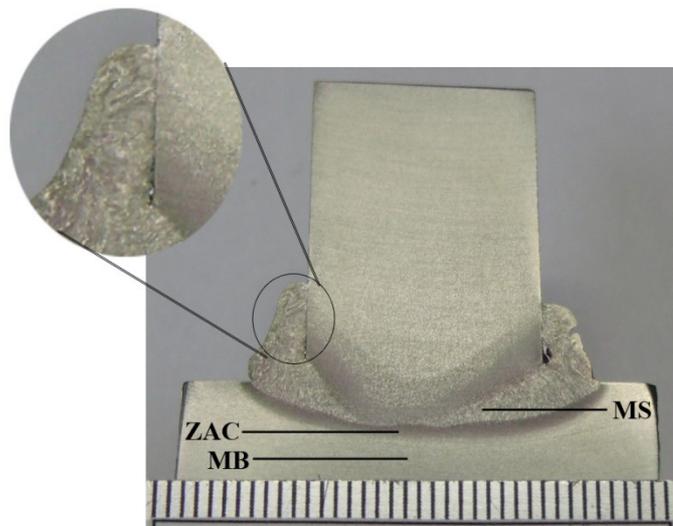


Figura 31. análise microestrutural das juntas soldadas

Observou-se que em todas as amostras soldadas não houve nenhuma ligação entre a coroa e o pino, tal e como destacado na macrografia anterior, isto porque a poça de metal líquido, justamente embaixo do pino e responsável pela formação da coroa, e é “expulsa” pelo avanço do pino em direção ao metal de base. O metal expulso é confinado na cerâmica ou perdido na forma de respingos. Este material “expulso” não teria energia suficiente para fundir o pino. Então para efeitos de cálculo o que realmente importa é a fusão entre o pino e o metal de base, sempre desconsiderando a coroa. Assim sendo, a coroa serviria como indicador da qualidade da solda e auxilia na avaliação visual, já que uma falta de coroa seria um indicativo de uma possível falta de fusão entre o pino e o metal de base.

Inicialmente começaremos por descrever o material de base utilizado. O aço USI-SAC-350 é um aço resistente à corrosão atmosférica devido à presença de elementos de liga, principalmente Cobre e Cromo, os quais formam um óxido estável conhecido como patina. A microestrutura deste aço é principalmente constituída de uma matriz ferrita/perlita com um tamanho de grão ASTM 9, a qual é ilustrada nas micrografias ilustradas na figura 32.

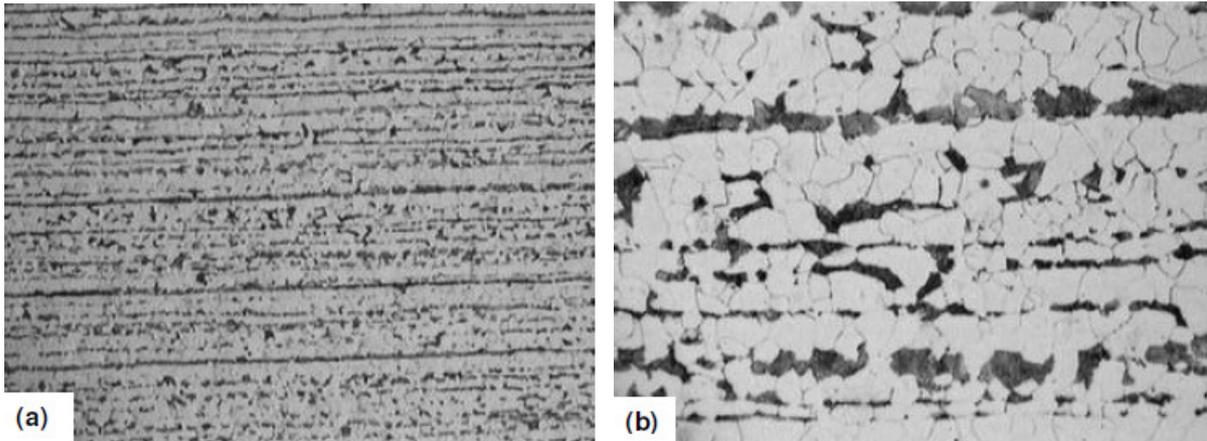


Figura 32. Metal de base (MB): a) Microestrutura matriz ferrita/perlita – ataque Nital 2% - 100X; b) Detalhe da região a) ataque Nital 2% - 400x

A microestrutura encontrada neste tipo de aço é ferrita e perlita, porém o teor de perlita está presente em menor quantidade do que se esperaria como por exemplo em aços comuns devido ao menor teor de carbono presente neste tipo de aço. Adicionalmente, observa-se que a perlita tem uma morfologia alongada, bandeamento longitudinal. Esta morfologia alongada da perlita e o tamanho de grão fino da ferrita são o resultado do tratamento termomecânico deste tipo de aço.

A descrição das microestruturas da ZAC e do MS serão direcionadas exclusivamente para as amostras 2 (1563A, 1,1875s, lift 4 mm e plunge 9 mm) e 16 (938A, 0,7125s, lift 2,4mm e plunge 9 mm) ao igual que os valores obtidos de dureza. Isto devido a que foram as amostras com maior e menor aporte térmico utilizado, respectivamente.

Na figura 33 a seguir apresentam-se as microestruturas das duas amostras mencionadas na zona termicamente afetada pelo calor. Pode ser observado que não há evidência de martensita na microestrutura

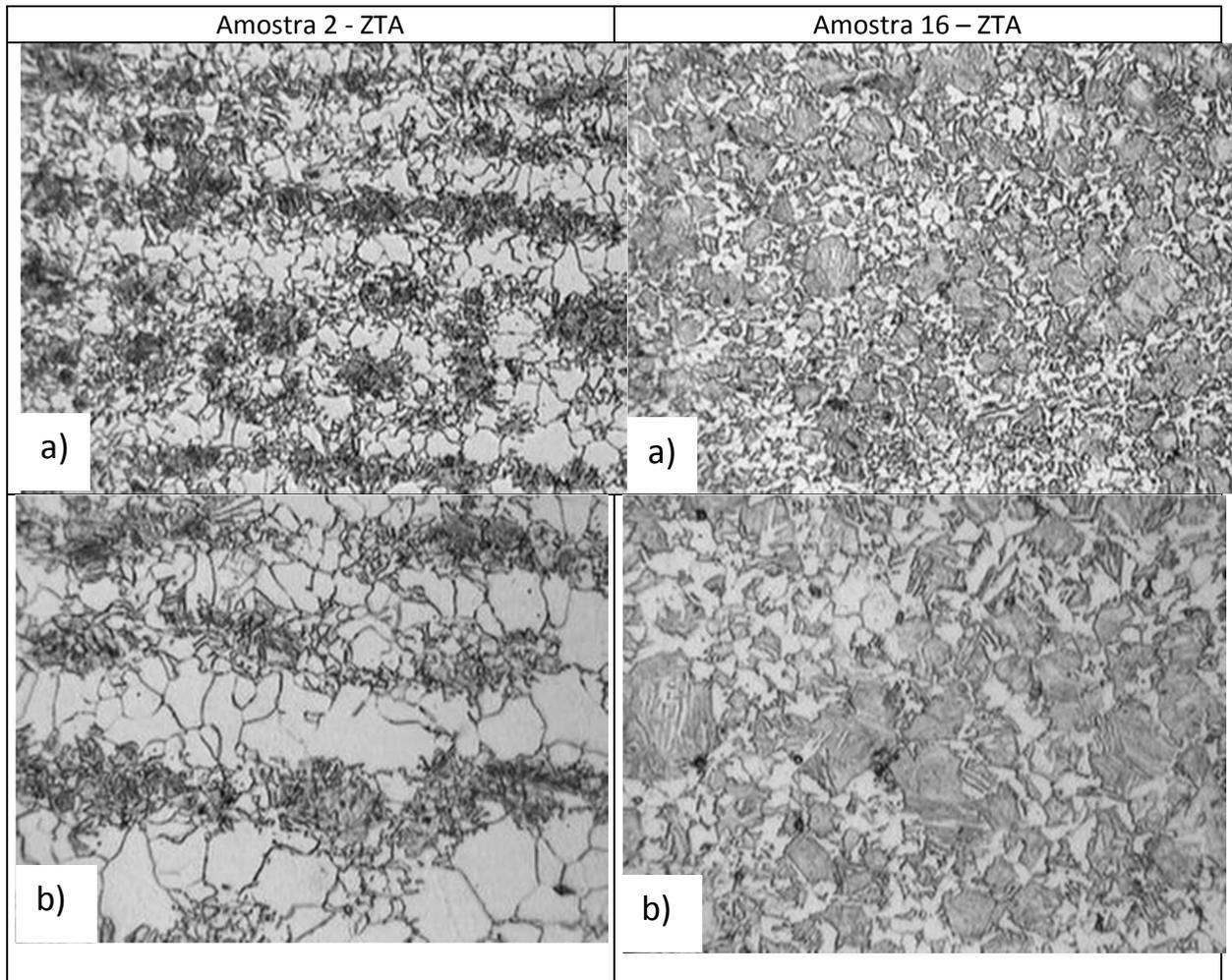


Figura 33. Microestrutura da ZT - matriz ferrítica: a) 400x; b) 800x

Observa-se que em ambas ZAC's há uma matriz ferrítica porém com diferenças na constituição da perlita, sendo que no corpo de prova 2, micrografias da esquerda, apresenta uma perlita esboroada devido ao maior aquecimento gerado pela solda, maior aporte térmico. Já no corpo de prova 16, a perlita apresenta um maior tamanho devido a um menor aporte térmico.

Visando encontrar alguma alteração nas propriedades mecânicas da ZAC ou evidência de alteração na sua microestrutura, foi realizado um perfil de dureza.

Na tabela 8, a seguir são apresentadas as medições obtidas nas diferentes regiões do cordão de solda (ZTA e MS) e comparadas com a dureza encontrada com o metal de base, tanto no pino como na própria chapa.

Local de Medição	Amostra 2 (1563A, 1,1875s, lift 4 mm e plunge 9 mm)		Amostra 16 (938A, 0,7125s, lift 2,4mm e plunge 9 mm)	
	HV₁	HB	HV₁	HB
Metal de solda	234	234	248	237
	234	234	229	229
	234	234	263	253
ZTA	260	269	247	269
	283		271	269
	263		253	257
Metal de base (pino)	185	185	193	193
	189	189	193	193
	185	185	193	193
Metal de base (chapa)	163	163	175	175
	163	163	175	175
	170	170	168	168

A AWS D1.1 no item 3.5.2 – “Temperatura alternativa de pré-aquecimento para arco submerso” estabelece a temperatura de pré-aquecimento e interpases para reduzir a dureza da ZAC para menos de 225Hv para aços com uma resistência mínima à tração de 415 MPa e para menos de 280Hv para aços com uma resistência à tração mínima, superior a 415MPa, mas não superior a 485MPa. Conforme o apêndice 1, o material de base tem um LRT de 550MPa, superior ao limite estabelecido pela norma de 485MPa, porém se observamos que mesmo tendo uma ampla variação do aporte térmico a dureza sofreu pouca variação, 269Hv para o maior aporte e 265Hv para o menor, bem abaixo do maior valor estabelecido por norma para aços com LRT de 485MPa, soldado pelo processo de arco submerso que apresenta um maior aporte térmico.

5.6 Avaliação da umidade das cerâmicas

Na realização dos ensaios para avaliar a umidade mediante pesagem por balança das cerâmicas foram obtidos os seguintes resultados conforme a tabela 9 a seguir.

Condição	Peso antes (g)	Peso depois (g)	Diferença de peso (g)
Cerâmica em estoque	9,6824	9,6816	0,0008
Cerâmica na intempérie (orvalho)	9,6620*	9,7130*	0,0510
Cerâmica seca – 2h	9,6258	9,6232	0,0026
Cerâmica seca – 4h	9,4767	9,4734	0,0033
Cerâmica úmida	9,6160*	10,6001*	0,9841

*peso sem a secagem no forno

Dos dados encontrados na tabela pode ser observado que a perda de massa na cerâmica corretamente estocada é pouco significativa, ao igual que os ensaios feitos em cerâmicas secas em forno a 120°C e deixadas em ambiente industrial de 2h às 4h. Por outra parte a cerâmica mergulhada durante 10 minutos teve um aumento de massa de 10%, sendo um ganho considerável de massa em pouco tempo.

Adicionalmente, a cerâmica exposta á intempérie teve um ganho de 0,5%, o qual indica que o simples fato de fazer uma estocagem adequada das cerâmicas poderia evitar a incidência de poros nas soldas, ficando assim como recomendação que as cerâmicas sejam estocadas adequadamente e não deixadas a intempérie ou na influência do orvalho. Assim sendo, poder-se-ia considerar que ao estocar de forma adequada as cerâmicas, e ao selecionar o nível de hidrogênio difusível como extra baixo – H1, devido aos valores obtidos, e usando-se novamente o método de controle de hidrogênio para estimar novamente o pré-aquecimento, tem-se que o novo nível de susceptibilidade encontrado é o nível B, conforme tabela I.1 – AWS D1.1-2010. Com este índice de susceptibilidade pode se determinar a temperatura de pré-aquecimento em função do grau de restrição da junta, conforme a tabela 10 a seguir.

Nível De restrição	Espessura (mm)	Pré-aquecimento mínimo e temperatura interpases (°C)						
		Índice de susceptibilidade						
		A	B	C	D	E	F	G
Baixo	<10	<20	<20	<20	<20	60	140	150
	10-20 incl.	<20	<20	20	60	100	140	150
	>20-38 incl.	<20	<20	20	80	110	140	150
	>38-75 incl.	20	20	40	95	120	140	150
	>75	20	20	40	95	120	140	150
Médio	<10	<20	<20	<20	<20	70	140	160
	10-20 incl.	<20	<20	20	80	115	145	160
	>20-38 incl.	20	20	75	110	140	150	160
	>38-75 incl.	20	80	110	130	150	150	160
	>75	95	120	140	150	160	160	160
Alto	<10	<20	<20	20	40	110	150	160
	10-20 incl.	<20	20	65	105	140	160	160
	>20-38 incl.	20	85	115	140	150	160	160
	>38-75 incl.	115	130	150	150	160	160	160
	>75	115	130	150	150	160	160	160

Observa-se que a temperatura de pré-aquecimento caiu significativamente e até pode ser tolerado níveis médios de restrição, para espessuras maiores de chapa. Sendo assim, poder-se-ia dizer que o pré-aquecimento é desnecessário para este tipo de aço e para espessuras até de 38 mm de espessura de material de base.

Cabe ressaltar que a temperatura de pré-aquecimento determinada é a indicada para evitar o trincamento por hidrogênio e não a porosidade. Sendo assim, as boas práticas de soldagem como a limpeza do material de base, a estocagem adequada das cerâmicas e conservação adequada dos pinos terão como resultado, soldas menos propensas à porosidades e por conseguinte, menos propensas ao trincamento.

6 CONCLUSÕES

Determinou-se que a corrente de soldagem é o fator predominante para garantir uma solda adequada. Em segundo lugar estaria o tempo de soldagem e em menor importância o Lift e plunge.

Observou-se que o processo de soldagem é muito sensível a pequenos erros de posicionamento da pistola, sopro magnético e manuseio inadequado. Recomenda-se um treinamento intensivo no operador de soldagem e no inspetor de soldagem, já que devido a ser um processo relativamente simples é necessário um amplo conhecimento para evitar soldas inadequadas e excessivos retrabalhos.

Pelo método de cálculo do pré-aquecimento observou-se que mesmo assumindo níveis médios de restrição da junta e elevadas espessuras, ainda continua não sendo necessário um pré-aquecimento para este tipo de aço.

Os resultados evidenciam que a umidade nas cerâmicas é extremamente prejudicial à sanidade das soldas, isto devido a formação de porosidades na região fundida da junta soldada.

Observou-se que mesmo não sendo pré-aquecido o material de base e em taxas de resfriamento elevadas, não houve a formação de uma microestrutura martensítica.

Constatou-se que os níveis de dureza da ZAC são relativamente elevados porém toleráveis segundo os critérios da norma AWS D1.1 - 2010.

Os testes realizados no presente trabalho permitiram melhorar o entendimento do processo, sendo que foram formuladas algumas situações e recomendações necessárias para melhorar as juntas soldadas, ver apêndice 4 e 5.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizar ensaios com pré-aquecimento e verificar as variações microestruturais e de dureza na ZAC.

Realizar ensaios onde indiquem a correlação entre o lift e o plunge.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Arc stud welding fundamentals, Manual Miller, P50-56, JAN/2012

AWS A3.0 standard welding terms and definitions, P20, MAR/2010

AWS D1.1 Steel structural welding code, Cpaitulo 7, MAR/2010

Catalogo ciser, stud bolts ciser rápido, práctico e seguro, P3, ABR/2001

Harry A. Chambers, TRW Nelson Stud Welding Division volume 6 welding, brazing and soldering, P55 – 60, AGO/2002

Instruction and maintenance manual NS20A – Nelweld, P35 – 40, 56 AGO/2002

Klaric and Kladaric, the influence of the stud arc welding process parameters on the weld penetration, P8-10, NOV/2010

Manual de soldagem de pinos Nelson, versão 1.15, P35, ABR/2006

Operations and service manual nelweld. P25-30, ABR/2006

Página www.ciser.com.br, consultada no dia 8 de julho de 2013.

Página www.simepar.br, consultada para a cidade de Curitiba, no dia 01 de julho de 2013.

APÊNDICES

APÊNDICE 1. CERTIFICADO DE CHAPA USI-SAC-350.....	54
APÊNDICE 2. CERTIFICADO DE PINO DE SOLDAGEM.....	55
APÊNDICE 3. ESPECIFICAÇÃO DO PROCESSO DE SOLDAGEM.....	56
APÊNDICE 4. EXAME VISUAL DA SOLDAGEM DE PINOS POR ELETROFUSÃO.....	57
APÊNDICE 5. O EFEITO DO SOPRO MAGNÉTICO, CAUSAS E SOLUÇÕES.....	59

APÊNDICE 2. CERTIFICADO DO PINO DE SOLDAGEM

CERTIFICADO DE QUALIDADE / QUALITY CERTIFICATE



CISER - CIA. INDUSTRIAL H. CARLOS SCHNEIDER

Rua Cachoeira, 70 - Caixa Postal 51 - Centro - Cep 89205-070 - Joinville - SC - Brasil - Tel. (47) 3441-3999

Código/Code: 9454	Cliente/Customer: BRAFER CONSTRUÇOES METALICAS S/A	Ordem Compra/Order: 1157866	Nº Cert: 034856 / 001	Ordem Prod/Product Order: 1992094
-----------------------------	--	---------------------------------------	---------------------------------	---

Produto/ Product: 17700500	Descrição/ Description: PI CONEC C/CERAMICA TSD 3/4x4.3/4 POL	Nota fiscal/ Invoice: 280706
Quant. Peças/ Nr. Pieces: 1.739	Acabamento/ Planting: POLIDO	

Normas/ Standard:

Norma Dimensional/ Dimension Std: ANSI/AWS.D1.1

Características/ Requeriments	Uni	Especificado/ Especificed		Encontrado/ Result	
		Max	Min	Max	Min
Lim. Res. Tração/ Tensile Strength	MPA	--	450	--	495
ALONGAMENTO	%	--	20,0	--	23,0
LIMITE DE ESCOAMENTO	MPA	--	350,0	--	400,0
AREA DE REDUÇÃO	%	--	50,0	--	56,5

Materia Prima/ Item Code: 27 / SAE 1015

Fornecedor/ Raw Mat. Furnisher: 9943 GERDAU AÇOMINAS S/A

Corrida/ Heat Nr.: 4624896

Composição química/ Chemical Analysis: %

C:	0,1600	S:	0,0060	Si:	0,0800
Mn:	0,5200	P:	0,0160		

APENDICE 3. ESPECIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM

 BRAFER CONSTRUÇÕES METÁLICAS S.A.	Especificação de Procedimento de Soldagem - EPS (Welding Procedure Specification - WPS)		FR-GCQ-22 Rev.:00					
			Número (Number): EPS 32/12					
			Revisão: (Revision) 02					
RQPS Número/ (PQR Number) : 32/12		Data (Date) : 23/04/2013	Página (Page): 1 / 1					
Norma de Referência (Reference Code): AWS D1.1 2010								
Processo de Soldagem (Welding Process): Stud welding		Soldador (welder): Luiz Carlos Alves						
Tipo (Type): NA		Registro(Identification): 2147						
METAIS DE BASE (Base Metals)								
Especificação (Specification): US1-SAC 350 x Stud bolt								
Grupo (Group) Nº: NA		Grupo (Group) Nº: NA						
Espessura (Thickness): NA								
Forma do material de base (shape of base material):								
Chapa (flat): <input checked="" type="checkbox"/>	Quina (angle): <input type="checkbox"/>							
Perfil (metal profile): <input type="checkbox"/>	Interno (inside): <input type="checkbox"/>							
Tubo (tube): <input type="checkbox"/>	Externo(outside): <input type="checkbox"/>							
Condição superficial (surface condition): livre de ferrugem, tinta, umidade								
Limpeza/método (cleaning method): Escovamento manual								
Pino de soldagem (stud bolt)								
classificação (type)	ESPEC. (SFA) (Specification)	Acabamento (Plating)	LRT	Along	LR	DIÂMETRO (Diameter)	MARCA COMERCIAL (Trade Name)	OUTROS (Others)
B	SAE 1015	Polido	545MPa	34%	355MPa	3/4"	Ciser TMB 3/4 x 5 3/8	NA
Posição do Teste (Test Weld Position):				Plana (flat)		Posição qualificada (Qualified Weld Position):		
						Plana (flat)		
PRÉ / PÓS AQUECIMENTO (Preheat / Postheat)								
TEMP. PRÉ-AQUEC. (Preheat Temperature): 20 °C								
Método (heating method):								
Obs. (note): nunca soldar em superfícies úmidas ou pintadas (never weld on wet or coating surfaces)								
Equipamento de soldagem (Equipment data)								
Fabricado (Make)	Modelo (Model)	Corrente (current)	Tempo (weld time)	Plunge	Lift	Comprimento do cabo (weld cable size)		
USA	Nelweld 6000	1250 A	0,950 s	12 mm	3,2 mm	10 m		
Cabo terra (number of grounds)	Gás de proteção (shield gas)	Composição (composition)	Vazão (Flow rate)	Pistola (stud gun)	Modelo (Model)	Polaridade (Polarity)		
1	NA	NA	NA	1	NS20N HD - HGL1121	Negativa		
Ensaios de soldagem (weld test results)								
Pino (Stud No.)	Ensaio Visual (visual acceptance)	Ensaio de dobramento 90° (Bend test)	Ensaio de tração (Tension test)	Ensaio de torção (Torque test)	Ensaio de dobramento para qualificação de soldador (Welder qualification Record)			
1	Aprovado(approved)	Aprovado(approved)	NA	NA	NA			
2	Aprovado(approved)	Aprovado(approved)	NA	NA	NA			
3	Aprovado(approved)	Aprovado(approved)	NA	NA	NA			
4	Aprovado(approved)	Aprovado(approved)	NA	NA	NA			
5	Aprovado(approved)	Aprovado(approved)	NA	NA	NA			
6	Aprovado(approved)	Aprovado(approved)	NA	NA	NA			
7	Aprovado(approved)	Aprovado(approved)	NA	NA	NA			
8	Aprovado(approved)	Aprovado(approved)	NA	NA	NA			
9	Aprovado(approved)	Aprovado(approved)	NA	NA	NA			
10	Aprovado(approved)	Aprovado(approved)	NA	NA	NA			
Inspetor Responsável (Welding Inspector)		Brafer Construções Metálicas			Cliente (Client)			
Data (Date): / /		Data (Date): / /			Data (Date): / /			

APÊNDICE 4. EXAME VISUAL DA SOLDAGEM DE PINOS POR ELETROFUSÃO

EXAME VISUAL DA SOLDAGEM DE PINOS POR ELETROFUSÃO			
	Aparência	Avaliação	Recomendações
1	 <p>Coroa regular, homogênea e completa.</p>	<p>Visual aceitável. Os parâmetros de soldagem estão corretos. Coroa formada em todo o contorno do pino e apresenta um visual homogêneo e com poucos respingos.</p>	<p>Nenhuma.</p>
2	 <p>Coroa reduzida e irregular</p>	<p>Energia de soldagem muito baixa. Umidade na cerâmica. Lift muito curto.</p>	<p>Verificar os parâmetros de soldagem conforme EPS aplicável. Caso necessário, incrementar corrente e/ou tempo de soldagem em 5%. Verificar a estocagem das cerâmicas, em caso de estar úmidas secá-las conforme descrito nesta IT. Aumentar o lift.</p>
3	 <p>Coroa incompleta com mordedura</p>	<p>Efeito do sopro magnético. Posicionamento inadequado da pistola ou cerâmica posicionada de forma inadequada no suporte.</p>	<p>Enrolar o cabo na ponta da pistola conforme ilustrado nesta IT. Posicionar o terra conforme ilustrado a seguir. Posicionar a cerâmica e a pistola de forma adequada; centralizadas com o pino.</p>
4	 <p>Altura de coroa muito reduzida, presença de muitos respingos e de grandes dimensões</p>	<p>Energia de soldagem muito alta. Plunge muito longo.</p>	<p>Verificar os parâmetros de soldagem estejam conforme a EPS aplicável. Caso necessário, reduzir a corrente e/ou o tempo de soldagem. Ajustar o plunge conforme EPS.</p>

5	 <p>Fatura do pino acima da coroa após elevada deformação</p>	<p>Aceitável (parâmetros de soldagem estão corretos)</p>	<p>Nenhuma já que a fatura ocorreu no pino e no na solda.</p>
6	 <p>Fatura da solda com elevada porosidade.</p>	<p>Energia de soldagem muito baixa.</p> <p>Limpeza inadequada da superfície.</p> <p>Problemas de soldabilidade do material de base.</p> <p>Abertura de arco em outros locais diferente do que na ponta do pino.</p>	<p>Verificar se os parâmetros de soldagem estão conforme EPS aplicável. Caso necessário, aumentar em 5% a corrente e/ou tempo de soldagem.</p> <p>Limpar a superfície do metal de base de forma adequada.</p> <p>Verificar a soldabilidade do material de base.</p> <p>Verificar cabos, o terra e possíveis fugas de corrente</p>
7	 <p>Fatura na ZAC sem a suficiente deformação do pino.</p>	<p>Carbono equivalente do material de base elevado.</p> <p>Taxa de resfriamento muito rápida.</p>	<p>Selecionar o material do pino adequado.</p> <p>Verificar os parâmetros de soldagem conforme EPS aplicável. Caso necessário, aumentar o tempo de soldagem.</p> <p>Verificar se um pré-aquecimento seja necessário.</p>

APENDICE 5. O EFEITO DO SOPRO MAGNÉTICO, CAUSAS E SOLUÇÕES

O EFEITO DO SOPRO MAGNÉTICO, CAUSAS E SOLUÇÕES.		
O sopro magnético gera uma fusão parcial e pode aumentar o número de poros presentes na solda, mas pode ser reduzido pela aplicação apropriada de diferentes ações conforme é ilustrado a seguir:		
	CAUSA	SOLUÇÃO
1		
2		
3		
4		<p>Em todos os casos, enrolar o cabo na ponta da pistola, conforme ilustrado, antes da soldagem minimiza o efeito do sopro magnético.</p>
<p>Obs. O sopro magnético é proporcional à intensidade da corrente, e pode ser influenciado pela fixação simétrica do terra ou por efeito de massa ou simplesmente pode ser atenuado enrolando o cabo na extremidade da pistola.</p>		