

WELINGTON APARECIDO DOS SANTOS

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE REGULAGEM NA
SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

São Caetano do Sul

2013

WELINGTON APARECIDO DOS SANTOS

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE REGULAGEM NA
SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação
em Engenharia de Soldagem, da Escola de
Engenharia Mauá do Centro Universitário do
Instituto Mauá de Tecnologia para obtenção do título
de Especialista.

Orientador: **Profº Dr. Louriel Oliveira Villarinho**

São Caetano do Sul

2013

Santos , Welington Aparecido

Estudo da influência dos parâmetros de regulação em Soldagem por resistência na indústria automobilística / Welington aparecido dos Santos. São Caetano do Sul, SP: IMT, 2013.

40p.

Trabalho de conclusão de curso — Pós Graduação em Especialização em Engenharia de Soldagem. Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2013.

Orientador: Prof. : Dr. Louriel Oliveira Villarinho

1.Resistência 2.Eletrodo 3.Compressão 4. Retenção

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter abençoado e permitido que chegasse até aqui.

Agradeço a minha família por ter entendido e apoiado quando por muitas vezes situações difíceis se apresentaram.

Aos mestres que tive oportunidade de conhecer e compartilhar momentos de aprendizados riquíssimos que levarei por toda a vida.

Ao professor Louriel Vilarinho por ter apoiado o tema em questão neste trabalho.

Em especial a minha esposa, Alexandra Martins e a minha filha, Brendha Martins, que muito fizeram para a concretização de mais esta etapa.

RESUMO

Este trabalho tem como finalidade demonstrar como os parâmetros de regulação da Soldagem por Resistência podem influenciar de forma significativa para a execução deste processo. O processo de Soldagem a Ponto por Resistência é extremamente importante no processo de fabricação da indústria automobilística devido a sua alta produtividade e boa qualidade. Entretanto, ele é um processo que requer grande dedicação e controle para que não haja problemas de qualidade no processo. Os parâmetros a serem controlados são: Tempo (Tempo de Solda, Tempo de compressão, Tempo de Retenção, Tempo de subida, Tempo de Descida), Força (Força entre os eletrodos), Corrente (Efeito Joule) e Refrigeração.

Palavras chave: 1.Resistência 2.Eletrodo 3.Compressão 4. Retenção

ABSTRACT

This work aims to demonstrate how the parameters in Resistance Welding can influence significantly the execution of this process. The Resistance Spot Welding process is extremely important in the manufacturing of automotive industry due to its high productivity and good quality. However, it is a process that requires great dedication and control to not lead to quality issues. The parameters to be controlled are: Time (welding time, compression time, retention time, upslope time, downslope time), Force (Force between electrodes), Current (Joule effect) and Refrigeration.

Keywords: 1.Resistência 2.Eletrodo 3.Compressão 4. Retention

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Fig. 1	Formação de ponto de solda (Laprosolda)	14
Fig. 2	Ciclo de Solda (Branco 2004, modificado)	15
Fig. 3	Sistema de refrigeração do eletrodo.(Intermachinery 2002, modificado ...	19
Fig. 4	Eletrodo com coloração degradê indicando refrigeração insuficiente	19
Fig. 5	Sensor de fluxo de água para refrigeração	20
Fig. 6	Eletrodos cortados	20
Fig. 7	Expulsão de material a ser fundido	21
Fig. 8	Ilustração de ponto com porosidade	21
Fig. 9	Medição da profundidade da indentação	22
Fig. 10	Ponto sem caldeamento	23
Fig. 11	Ponto de solda fria	24
Fig. 12	Máquina de dressagem Sementorq	25
Fig. 13	Lâmina para eletrodos	25
Fig. 14	Eletrodo fresado	25
Fig. 15	Eletrodo contaminado	26
Fig. 16	Utilização do Dressador	26
Fig. 17	Eletrodos dressados	26
Fig. 18	Arrancamentos Satisfatórios	26
Fig. 19	Dressador manual	27
Fig. 20	Peça de teste	28
Fig. 21	Determining Thickness	29
Fig. 22	Determinação dos tempos em milisegundos	31
Fig. 23	Máquinas suspensa tipo X MDC	32
Fig. 24	Modelo de eletrodo tipo capa	32
Fig. 25	Eletrodo superior e inferior	33
Fig. 26	Analizador de corrente	33
Fig. 27	Analizador de força	33
Fig. 28	Ultrassom Tessonic RSWA	34
Fig. 29	Corpo de prova 1	35
Fig. 30	Corpo de prova 1	35
Fig. 31	Corpo de prova 1	35

Fig. 32	Corpo de prova 2	36
Fig. 33	Corpo de prova 2	36
Fig. 34	Corpo de prova 2	36
Fig. 35	Corpo de prova 2	37
Fig. 36	Corpo de prova 2	37
Fig. 37	Corpo de prova 2	37
Fig. 38	Resultado do ensaio de ultrassom	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Norma GMV 2 – GMV 3032	30
Tabela 2	Diâmetro mínimo especificado	31
Tabela 3	Dados da pesquisa do ponto 1	35
Tabela 4	Dados da pesquisa do ponto 2	36
Tabela 5	Dados da pesquisa do ponto 3	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AWS	American Welding Society
ABS	Associação Brasileira de Soldagem
Zn	Zinco

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	12
1	SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA	13
1.1	Vantagens do processo	13
1.2	Limitações	13
2	PARÂMETROS DE REGULAGEM	15
2.1	Corrente de soldagem	15
2.2	Força do eletrodo	16
2.3	Tempo de soldagem	17
2.4	Tempo de subida de corrente (upslope)	17
2.5	Tempo de descida de corrente (downslope)	18
2.6	Tempo de retenção	18
2.7	Resfriamento do ponto de solda	18
2.8	Refrigeração dos eletrodos	18
2.9	Defeitos de solda	20
2.9.1	Expulsão na interface da solda	20
2.9.2	Porosidade	21
2.9.3	Expulsão na superfície, aderência ao eletrodo	21
2.9.4	Deformação do eletrodo	21
2.9.5	Indentação excessiva	22
2.9.6	Lente de solda pequena ou inexistente	22
2.9.7	Trincas nas lentes de solda	23
2.9.8	Lente de solda deslocada	23
2.9.9	Soldas não solidificadas	23
2.9.10	Inconsistências da corrente	24
2.9.11	Flutuação da linha de tensão	24
2.9.12	Dressagem dos eletrodos	25
2.9.13	Modelo do dressador manual	27
3	METODOLOGIA DE TRABALHO	28
3.1	Soldagem dos corpos de prova	28
3.2	Tipo de acabamento	28
3.3	Determinando os parâmetros de soldagem.....	28
3.3.1	Os parâmetros de soldagem	29
3.3.2	Determinando o diâmetro mínimo do ponto	31
3.4	Tipo de máquina utilizada	32
3.5	Tipo de eletrodo	32
3.6	Meios de medição e controle	33
3.7	Testes com os corpos de prova	34
	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS	40

INTRODUÇÃO

A Soldagem a Ponto por Resistência (RSW) é um dos processos de fabricação mais utilizados na indústria automobilística. Neste processo, chapas metálicas são unidas por pontos de solda a partir da fusão localizada devido ao calor gerado pela resistência do material à passagem da corrente elétrica (Efeito Joule) sob pressão dos eletrodos. A solda ponto é um processo para soldar chapas finas, com grande confiabilidade, rápido execução, não necessita adição de material e não requer grande experiência dos operadores. Os materiais a serem soldados são aço comum ao carbono e aço galvanizado este por uma necessidade de materiais mais resistentes a oxidação são utilizadas com frequência, porém este tipo de material traz uma grande dificuldade para atingir a qualidade do processo devido a camada de revestimento de zinco.

Os eletrodos, comandos, fluxômetros, máquinas de solda, equipamentos para checagem e controle do processo como amperímetro e medidores de força entre os eletrodos, são variáveis importantes para o sucesso da soldagem por resistência. Uma outra abordagem importante é o controle dos parâmetros de soldagem, procurando entender os efeitos destes sobre a geometria e resistência mecânica do ponto formado. O objetivo é demonstrar que todos os parâmetros são fundamentais e que podem interferir na qualidade do ponto de solda.

1. SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA

A soldagem por Resistência é um processo de pressão, produzido a partir da superfície de contato entre duas peças distintas, por meio do calor gerado pelo efeito Joule durante a circulação da corrente elétrica na resistência a junção (KEARNS 1984). A principal característica desse processo é a alta velocidade de execução, onde em média é necessário menos de um minuto para a execução de um ponto.

1.1 VANTAGENS DO PROCESSO

Não necessita de material de adição;

Facilmente mecanizado e automatizado;

Boa repetibilidade e confiabilidade;

Rápido ciclo e a máquina está sempre pronta para a execução da próxima solda;

São atingíveis altos índices de produção;

Limpeza do trabalho;

Exclusão da influência do ar sobre as peças aquecidas (aquecimento de dentro para fora), não requerendo proteção;

Requer pequena qualificação do operador (menor que na soldagem a arco).

1.2 LIMITAÇÕES

Alto investimento e baixa portabilidade de equipamentos;

Limitado a juntas sobrepostas na maioria dos processos;

Limitação de espessura máxima de chapa ou dimensão do perfil a soldar;

As chapas a serem soldadas são pressionadas entre dois eletrodos não consumíveis, cuja área de contato possui geometria adequada para garantir a pressão necessária, o perfeito alinhamento e a condução sem perdas excessivas da corrente elétrica;

A passagem da corrente elétrica elevada provoca o intenso aquecimento na área de contato das peças, devido a alta resistência nessa região, conforme mostra a Figura 1, pois pela lei de Joule tem-se que a relação de energia produzida quando uma corrente de 1A passa por uma resistência de 1ohm em 1 segundo; $Q = I^2RT$, podendo ser escrito também da seguinte forma: $Q = EIT$.

Existe uma relação direta entre Lei do Ohm e de Joules.

A relação I^2RT define os principais parâmetros do processo, isto é corrente, pressão e tempo.

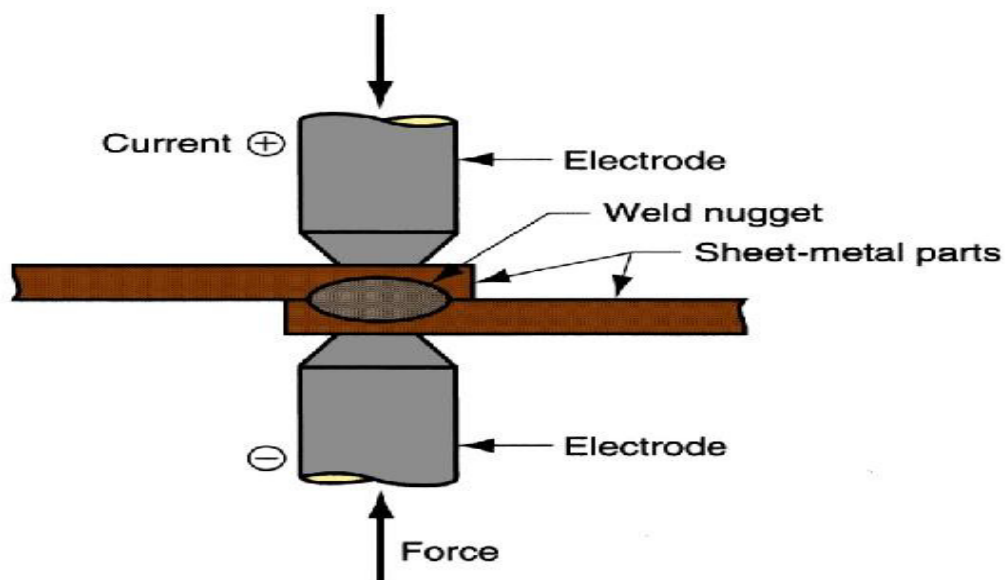


Figura 1- Formação do ponto de solda. (Laprosolda.ABS)

2. PARÂMETROS DE REGULAGEM

Parâmetros de regulagem, conforme Figura 2, são aquelas condições que com um determinado valor e uma combinação entre eles é realizado um ponto de solda, efetivando a junção de uma junta. Os valores certos desses parâmetros são os responsáveis de uma boa ou má qualidade da solda. Em soldagem a ponto por resistência existem três parâmetros principais, isto é, corrente de soldagem, força de eletrodo e tempo de soldagem os quais são aplicados em um ciclo de soldagem.

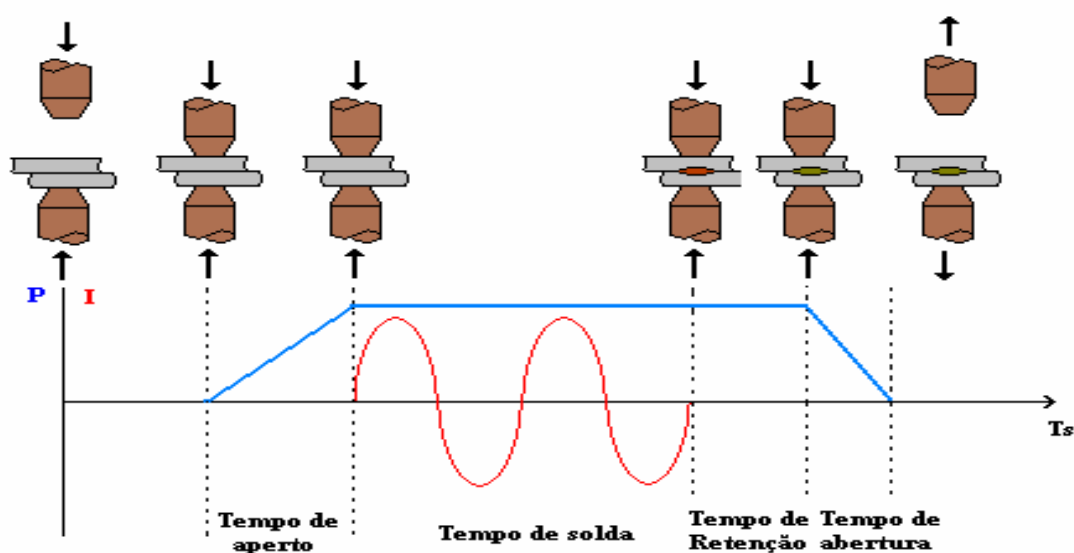


Figura 2 - Ciclo de solda (branco 2004, modificado)

2.1 CORRENTE DE SOLDAGEM

É fornecida pela rede de alimentação, passando pelo circuito primário do transformador logo pelo circuito secundário chegando até a peça de trabalho. Ambas, AC e DC são utilizadas para produzir a solda (AWS, 1998).

A corrente de soldagem possui um limite inferior, abaixo do qual o aquecimento e eventual fusão adequados não são obtidos na interface de união. Este valor depende da área de contato entre os eletrodos e as peças entre si, do material a ser soldado e da espessura deste. Aumentando-se a intensidade de corrente, pode-se diminuir o tempo de fluxo desta. Entretanto, existe também um limite superior que, se excedido, provocará o aquecimento de

toda a espessura do material entre os eletrodos, de tal forma que haverá deformação plástica de toda a seção sob a ação dos eletrodos, com passíveis penetrações excessivas destes na superfície do material (indentação do eletrodo).

A resistência mecânica máxima na junta é obtida, de modo geral, para valores de corrente ligeiramente abaixo deste limite superior. Condições ótimas de operação e resultados são, em geral, obtidas nesta situação.

A quantidade de calor gerada na junta é proporcional ao tempo de passagem da corrente elétrica e este tempo deve ser otimizado em função dos outros parâmetros de soldagem.

Pela equação da energia citada, quantidades iguais de calor podem ser geradas na junta, com diferentes parâmetros de operação, desde que o produto $I^2.t$ seja mantida constante. Isto significa que, em princípio, soldas equivalentes podem ser obtidas para diferentes níveis de corrente, se o tempo de passagem desta for variado de forma conveniente. Entretanto, isto não é totalmente verdadeiro, pois um aumento no tempo de soldagem diminui a eficiência do processo, já que uma perda maior de calor ocorrerá através de condução pelas peças e pelos eletrodos, antes da fusão da interface.

Assim, para reduzir a extensão da zona termicamente afetada, é preferível se trabalhar com correntes elevadas e tempos curtos. Isto é particularmente interessante na soldagem de materiais de alta condutividade térmica.

2.2 FORÇA DO ELETRODO

É a força que se encarrega de juntar, segurar e unir as peças de trabalho, exercendo pressão antes, durante e depois do fornecimento da corrente. Esta força também serve para forjar os metais quando eles se encontram no estado plástico. Este parâmetro está subdividido em pré-pressão (compressão ou aperto), pressão de soldagem e pós-pressão (retenção).

De acordo com (Wainer, 1995) a força entre os eletrodos assegura o perfeito contato entre as peças (pré-pressão) e evita a formação de trincas devido aos esforços provocados pela contração de solidificação da lentilha de solda durante o resfriamento (pós-pressão). O valor da força deve ser bem determinado, pois estando muito abaixo do especificado produzirá projeções de material do ponto de solda que, ao contrário do que pensam muitos soldadores é prejudicial a solda, tornando-a de baixa qualidade, além de aumentar o valor das resistências de contato, podendo provocar a formação de circuitos derivados.

Compensar a folga entre as chapas a soldar através da força entre eletrodos também não é uma prática recomendada, pois atuará na solda uma força menor que aquela especificada, porque parte dela estará sendo consumida na aproximação das chapas. A força sendo muito alta tem como inconveniente a formação de rebarbas.

2.3 TEMPO DE SOLDAGEM

É a duração de fornecimento da corrente de soldagem para a realização do ponto de solda.

Deve-se ter em conta que se tempos de solda muito curtos são aplicados à corrente de soldagem, tem de ser muito alta para poder atingir o calor necessário para fundir o material a soldar.

O tempo de solda (Furlanetto, 2004) é definido como o tempo de passagem da corrente elétrica na junta a ser soldada. Usualmente, este tempo é expresso em ciclos. Assim, quando o tempo é expresso em ciclos e o tempo de solda for 15 ciclos, a sua duração é $\frac{1}{4}$ de segundo, pois a frequência da rede elétrica no Brasil é de 60 Hertz. Quanto maior o tempo de solda maior serão as perdas de calor por dissipação, diminuindo o rendimento térmico da soldagem além de aumentar as distorções do componente que se está soldando. Sendo assim, o objetivo será sempre utilizar o menor tempo de soldagem possível.

2.4 TEMPO DE SUBIDA DE CORRENTE (UPSLOPE)

Upslope é o tempo de aumento gradual da corrente desde o início do processo até um valor máximo onde a aplicação da corrente máxima se inicia. É geralmente utilizado para evitar sobreaquecimento e expulsão do metal no início do tempo de soldagem, quando a resistência da interface do metal base ainda é alta (AWS, 1998).

Entretanto, não há vantagem para a vida do eletrodo no uso desse aumento gradual da corrente quando se solda aços revestidos com Zn por imersão a quente. Isto é devido às resistências eletrodo-chapa e chapa-chapa serem muito pequenas durante a parte inicial do período de aquecimento da soldagem.

Isto indica que uma alta corrente seria necessária para o Zn ser removido do plano sobreposto da solda (interface chapa-chapa) por volatilização (AWS, 1998). Este procedimento não é, geralmente, empregado nas indústrias automobilísticas por não estarem

disponíveis nas máquinas de solda ou porque tempos mais longos de solda diminuirão a produtividade.

2.5 TEMPO DE DESCIDA DE CORRENTE (DOWNSLOPE)

O Downslope é a diminuição gradual da corrente no final do tempo de soldagem. Ele é utilizado para controlar a solidificação da lente de solda e para evitar a rachaduras em metais que são endurecidos por têmpera ou sujeitos a fissuração a quente (AWS, 1998).

2.6 TEMPO DE RETENÇÃO

É o tempo durante o qual os eletrodos continuam na sua posição mantendo a força na peça de trabalho após o último impulso de corrente ter finalizado; durante este tempo a lentilha de solda se solidifica e é esfriada até a sua adequada resistência mecânica (AWS, 1998).

Se os eletrodos forem removidos da solda rapidamente após a corrente de soldagem ter cessado pode acontecer empenamento da região de solda nas chapas finas. Com chapas espessas, o tempo deve ser o suficiente para esfriar e solidificar a ampla lente de solda sob pressão. É melhor, então, ter os eletrodos em contato com o material até que a solda esfrie completamente de modo que esta tenha a resistência suficiente para resistir ao carregamento imposto quando a pressão dos eletrodos for retirada (AWS, 1998).

2.7 RESFRIAMENTO DO PONTO DE SOLDA (RETENÇÃO)

O ponto de solda deve resfriar mantendo-se a força entre os eletrodos após a interrupção da corrente elétrica, denominado Pós-pressão ou Retenção. A dissipação do calor é feita em grande parte pelo eletrodo que é refrigerado através de um sistema de passagem de água sob pressão.

2.8 REFRIGERAÇÃO DOS ELETRODOS

Como mostrado na figura 3, a distância do final do furo de refrigeração à face do eletrodo é denominada “espessura da face”. Para um dado nível de extração de calor. Para uma ótima refrigeração dos eletrodos recomenda-se que o fluxo de água seja no mínimo de 4

lt/min para efetuar soldagem de chapas de aço sem revestimento e com espessura de até 3 mm. O fluxo de água deverá ser maior, cerca de 6 a 7 lt/min, caso as chapas sejam de aço revestido e/ou grande espessura. O tubo interno de alimentação do sistema de refrigeração deve ser disposto de tal forma a assegurar que a água entre pela parte oposta à face de trabalho dos eletrodos (Powell, *et al.*, 1996).

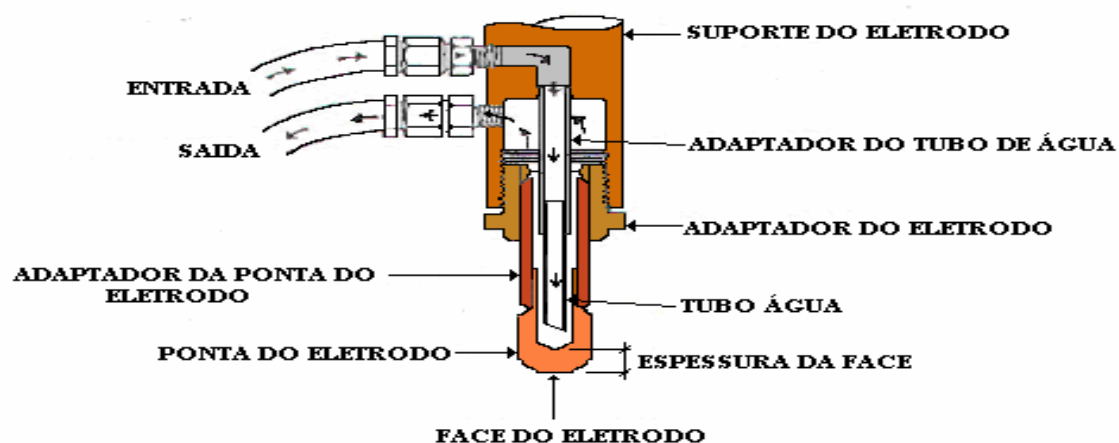


Figura 3 - Sistema de refrigeração do eletrodo (Intermachinery 2002, modificado)



Figura 4 - Eletrodo com coloração degrade indicando refrigeração insuficiente (Tomoana GM)



Figura 5 - Sensor de Fluxo de água para refrigeração (Tomoana GM)

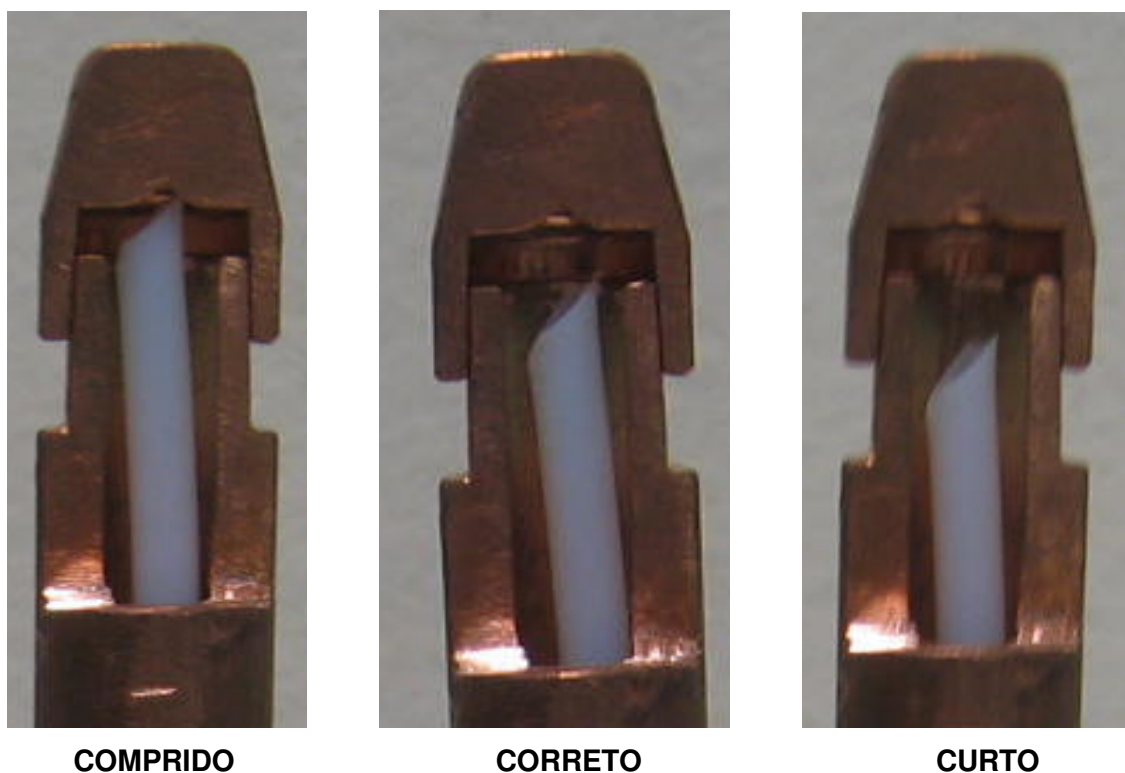


Figura 6 – Eletrodos cortados para mostrar a forma adequada do sistema para refrigeração (Tomoana GM)

2.9 DEFEITOS DE SOLDA

2.9.1 Expulsão na interface da solda

Materiais com superfície contaminada

Ajuste inadequado das partes metálicas

Tempo de compressão muito curto

Força de soldagem muito baixa

Corrente de soldagem muito alta ou tempo de soldagem muito longo

Continuação inadequada do processo

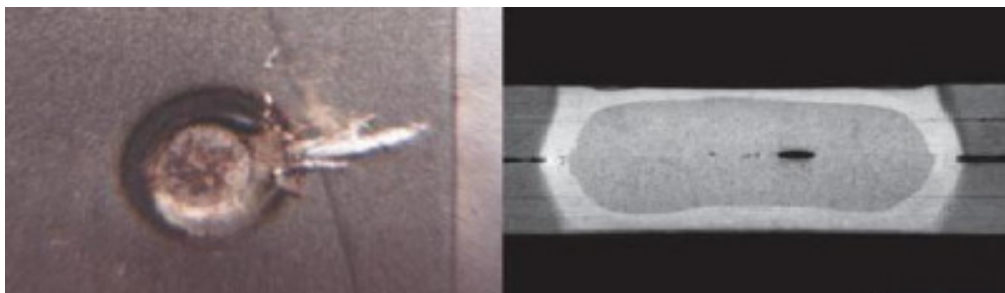


Figura 7 - Expulsão de material a ser fundido, causando porosidade e ponto furado.(Tomoana GM)

2.9.2 Porosidade

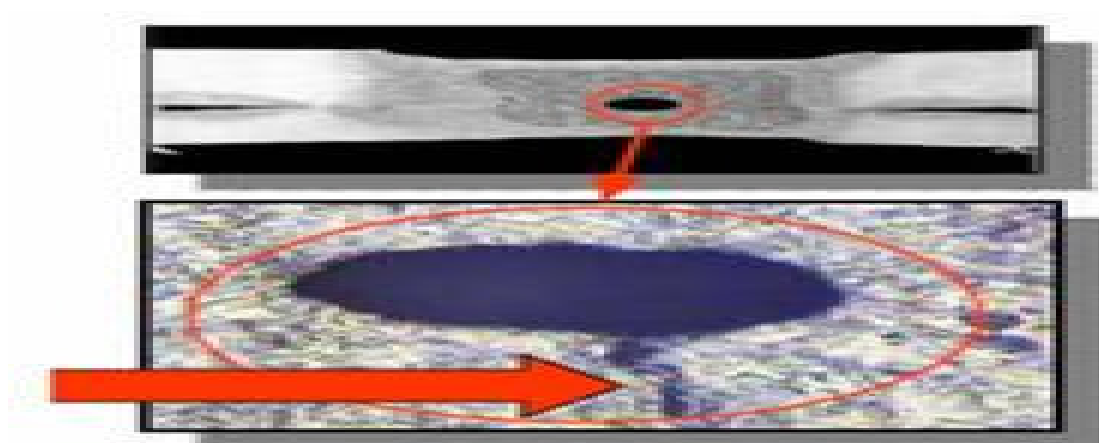


Figura 8 – Ilustração de ponto com porosidade (Tomoana GM)

2.9.3 Expulsão na superfície, aderência ao eletrodo

Tempo de compressão muito curto

Força de soldagem muito baixa

Materiais com superfície contaminada

Impregnação de sujeira na ponta dos eletrodos (necessidade de usinagem)

Corrente de soldagem muito alta ou tempo de soldagem muito longo

2.9.4 Deformação do eletrodo

Tempo de soldagem muito longo

Força de soldagem muito alta

Corrente de soldagem muito alta

Resfriamento insuficiente

Área do eletrodo muito pequena

Liga do eletrodo muito macia

2.9.5 Indentação excessiva

Tempo de soldagem muito longo

Força de soldagem muito alta

Ajuste inadequado das partes a serem soldadas

Corrente de soldagem muito alta

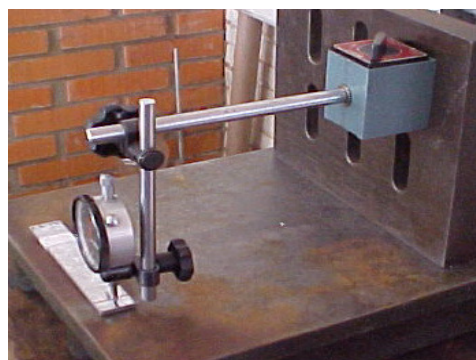
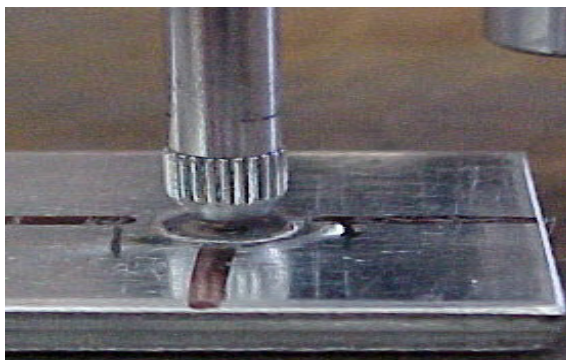


Figura 9 – Medição da profundidade da indentação

2.9.6 Lente de solda pequena ou inexistente

Tempo de soldagem muito curto

Força de soldagem muito alta

Corrente de soldagem muito baixa

Superfície de eletrodo muito larga

Pobre balanço de calor

Soldas muito próximas umas das outras

Máquinas não seleccionadas para solda

Materiais sujos ou revestidos;

Mau funcionamento da máquina



Figura 10 – Ponto sem caldeamento, feito teste destrutivo

2.9.7 Trincas nas lentes de solda

Tempo de resfriamento muito curto
 Força de soldagem muito baixa
 Materiais com superfície contaminada
 Continuação inadequada do processo

2.9.8 Lente de solda deslocada

Eletrodo desalinhado
 Balanço de calor inadequado
 Ajuste inadequado das partes a serem soldadas

2.9.9 Soldas não solidificadas

Força de soldagem muito alta
 Força de soldagem muito baixa
 Ajuste inadequado das partes a serem soldadas
 Continuação inadequada do processo
 Projeções incorretas da solda
 Corrente de soldagem muito baixa
 Ajustes inadequados
 Tempo de soldagem muito curto

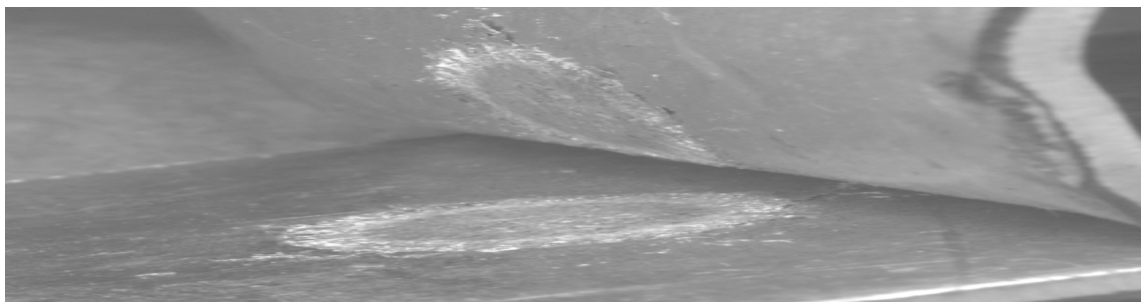


Figura 11 – Ponto de solda fria.(Tomoana GM)

2.9.10 Inconsistências da corrente

Variações na linha de tensão

Pressões inconsistentes

Ajuste inadequado das partes a serem soldadas

Desalinhamento dos eletrodos

Espessura de chapa variável

2.9.11 Flutuação da linha de tensão

A maioria das máquinas de soldagem são projetadas com corrente alternada

Altas tensões de linha são passadas por um transformador e este transforma alta tensão em baixa tensão e baixa corrente em alta corrente

Tensão de linha pode variar de 3-10% ou mais

Variações na tensão de linha são amplificadas pelos transformadores

Desta forma, corrente de soldagem pode variar cerca de 20 – 30 %.

2.9.12 Dressagem dos eletrodos



Figura 12 – Máquina de Dressagem Semtorq ad 5 gm 01 345 rpm/60hz



Figura 13 - Lâmina para eletrodos Semtorq sq 16-6



Figura 14 – Eletrodo fresado

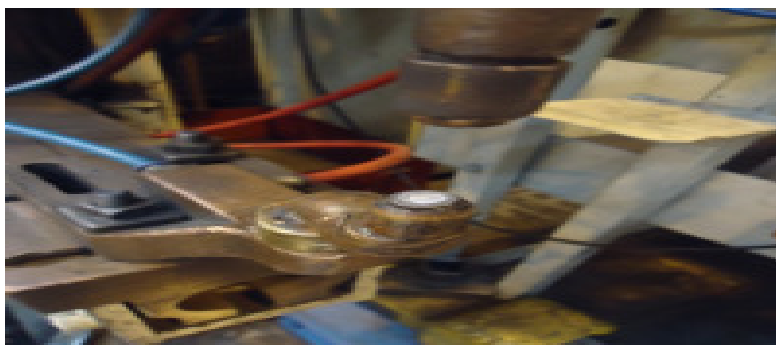


Figura 15 – Eletrodo Contaminado



Figura 16 – Utilização do Dressador



Figura 17 Eletrodo dressado

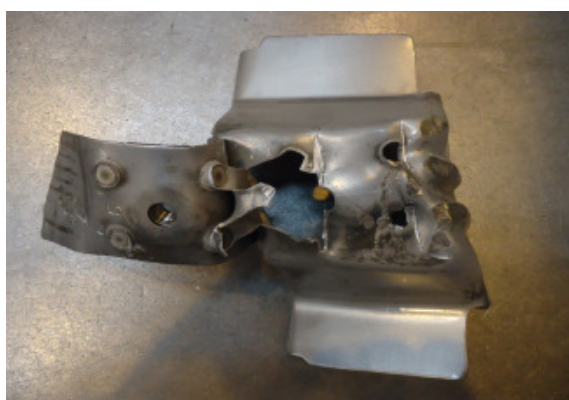


Figura. 18 Arrancamentos satisfatórios

2.9.13 Modelo de dressador manual

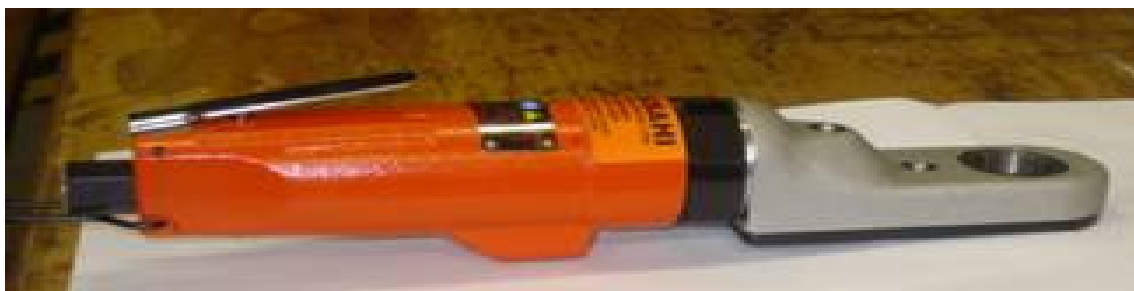


Figura 19 Dressador Manual FUJI FTD-18-1 1300 RPM

3 METODOLOGIA DE TRABALHO

3.1 SOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Os pontos de solda foram realizados na própria peça de teste, sendo esta composta por dois componentes galvanizados conforme mostra na figura 17. O primeiro componente tem a especificação GMW2M – ST –S –CR2-HD60G60G-U TO GMW8- THICKNESS 1,00MM e o segundo componente GMW3032M – ST – S- CR210B2 HD60G60G-U TO GMW8- THICKNESS 0,75MM. (Norma GM- GWS-1A GWS-4A GWS-5A)



Figura 20 - Peça de Teste

3.2 TIPO DE ACABAMENTO

Steel GMW2 – GALVANIZED – GALVANIZED, mais severo, tabela 2.3, 2.6, 2.9, 2.12 e 2.15 (Norma GMW2).

3.3 DETERMINANDO OS PARÂMETROS DE SOLDAGEM

Para definir os parâmetros de soldagem, é preciso primeiramente verificar as espessuras dos materiais e determinar qual a espessura predominante.

As espessuras utilizadas são #10 (A) 0,75 mm e (B) 1,00 mm, a determinação da chapa predominante para definição dos parâmetros foi baseada na Norma GWS-1A Determining Thickness (DT) como mostra a figura 21.

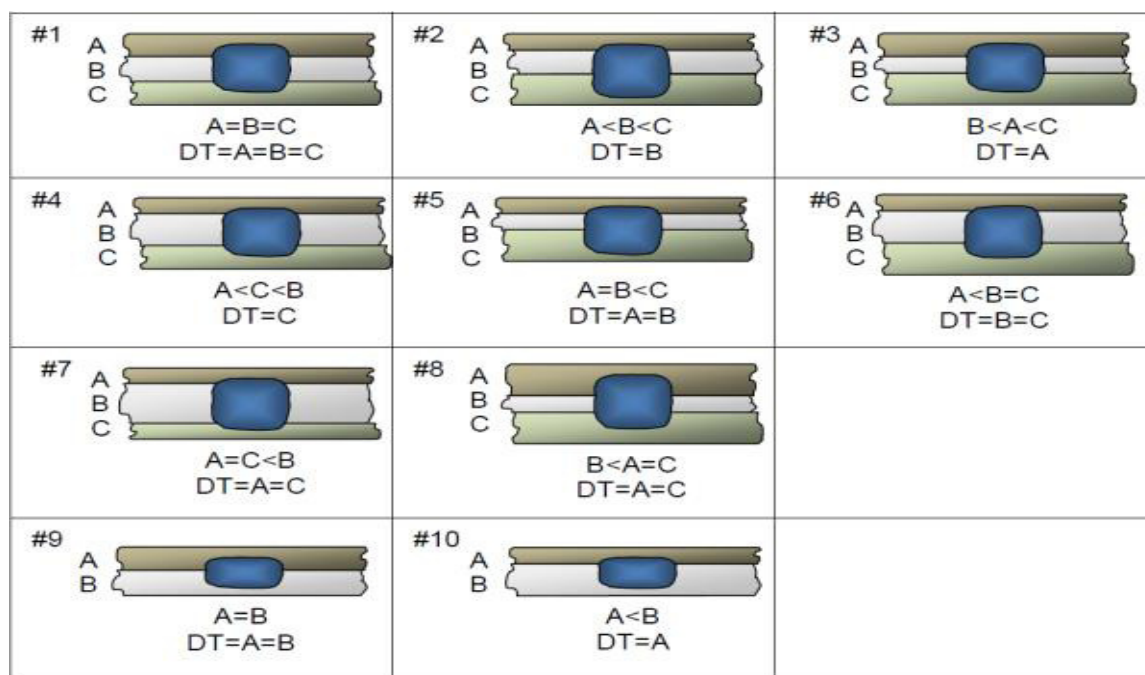


Figura 21 – Determining Thickness

3.3.1 Os Parâmetros de Soldagem

Foi utilizada a Norma GMW2 como referência para a definição dos parâmetros de soldagem.

60 Hz AC use tabelas 2.2, 2.5, 2.8, 2.11 e 2.14 (Norma GMW2)

Conventional Steels (GMW2 & GMW3032)

Galvanized to Galvanized FSC – AC 60 Hz Welder Controls

Esta Norma define de acordo com a espessura predominante os principais parâmetros para a realização de um ponto de solda satisfatório, são eles Weld force Kn (Força entre os eletrodos), Weld Current (Corrente de Soldagem KA), Number of Pulses (Número de Impulsos), Pulse Weld Time (Tempo de Soldagem cy – ciclos), Hold Time (Tempo de espera, retenção ou pós pressão cy), Total weld on Time (Total dos tempos para soldagem em ms), o tempo de Compressão não é determinado nesta norma porque este tempo depende da geometria da peça e do acesso ao local a ser soldado, sendo este tempo acrescentado aos tempos de Soldagem e Retenção para formar o tempo total de soldagem de um ponto.

DT Range (mm)	Weld Force (Kn)	Weld Current	Number Of Pulses	Pulse Weld Time (cy)	Cool Time (cy)	Hold Time (cy)		Design Weld Current (KA)	Total Weld On-Time	Total Process Time (ms)
0.65-0.79	2.0	10.0	1	14	0	2		12.5	233	266
0.80-1.09	2.6	10.0	1	14	0	2		12.5	233	266
1.10-1.29	2.6	10.5	1	16	0	2		13.1	267	300
1.30-1.59	3.6	11.0	3	7	1	6		13.8	350	483
1.60-1.89	3.6	11.5	3	8	2	6		14.4	400	567
1.90-2.09	4.0	12.0	4	7	2	6		15.0	467	667
2.10-2.39	4.0	12.5	4	8	2	6		15.6	533	733
2.40-2.59	4.0	13.0	5	7	2	11		16.6	583	900
2.60-3.00	5.0	13.5	5	7	2	11		16.9	583	900
3.01-3.50	5.0	14.0	5	8	2	11		16.9	667	984

Tabela 1: Norma GMW2 – GMW3032

Baseado nos valores da tabela 1 Norma GMW2 – GMW 3032, estabelecemos para a corrente de soldagem 10 KA, 14 ciclos para o tempo de soldagem , 2 ciclos para retenção , 2 Kn de força entre os eletrodos. A máquina utilizada foi uma Suspensa manual tipo X - A/C, sendo assim são 60 Hertz, que divididos por 1 segundo, equivale a 16,67 milissegundos, multiplicando 14 +2 ciclos, temos $16 \times 16,67 = 266,72$ ms.

SQUEEZE TIME CALCULATED			
SPOT WELD MACHINE TYPE - C			
$TS = (70 + (4.5 \times 45)) + ((70 \times 0) + (4.5 \times 0)) = 273 \text{ ms}$			
DELAY TIME START MOTION IN M/S	TIME TO COMPLETE MOTION IN M/S	ws	BS
70	4,5	45	0
SQUEEZE TIME		273 MS	

Figura 22 – Determinação dos tempos em milisegundos

3.3.2 Determinando o diâmetro mínimo do ponto

Baseado nas espessuras dos materiais temos o diâmetro mínimo do ponto especificado pelo Cliente como mostra a tabela 2.

Determining Thickness (DT)	Minimum Acceptable Weld Size
0.65 to 1.29 mm	4.0 mm
1.30 to 1.89 mm	5.0 mm
1.90 to 2.59 mm	6.0 mm
2.60 to 3.25 mm	7.0 mm

Tabela 2 – Diâmetro mínimo especificado

A determinação do parâmetro ideal para soldagem das peças com espessuras de 1,00 mm e 0,75 mm, foram escolhidos de forma a atender o critério do diâmetro mínimo do ponto de solda, além de evitar defeitos como soldas com diâmetro do ponto menor do que o

especificado pela norma, ponto deslocado, indentação, queima da superfície da chapa e fusão da superfície.

3.4 TIPO DE MÁQUINA UTILIZADO



Figura 23 – Máquina Suspensa Tipo X MDC

3.5 TIPO DE ELETRODO

Para a escolha dos eletrodos ideais foi utilizada a Norma Associated File for GWS-1ª:RSW Schedules Design Weld Currents Cap Dresser Schedules.Cap.4.1, Tabela 4.2.



Figura 24 – Modelo de eletrodo tipo capa GMWZ-16x20 16 6.0 8.0 1.6 1.3 1.1 200** 20 SQ 16-6

O eletrodo é o mesmo para a parte Superior e Inferior com diâmetro de 6 mm na face para atendimento a Norma Associated File for GWS-1ª:RSW Schedules Design Weld Currents Cap Dresser Schedules.Cap.4.1, Tabela 4.2.

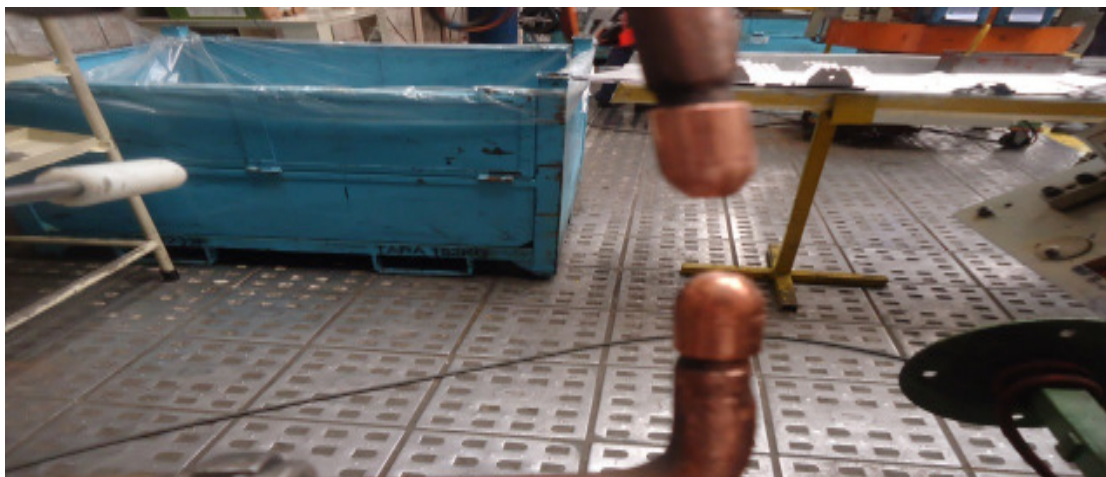


Figura 25 – Eletrodo Superior e Inferior GMWZ-16x20 16 6.0 8.0 1.6 1.3 1.1 200** 20 SQ 16-6

3.6 MEIOS DE MEDIÇÃO E CONTROLE



Figura 26 – Analisador de Corrente MIYACHI MM 315-B



Figura 27 – Analisador de Força, Dinamômetro

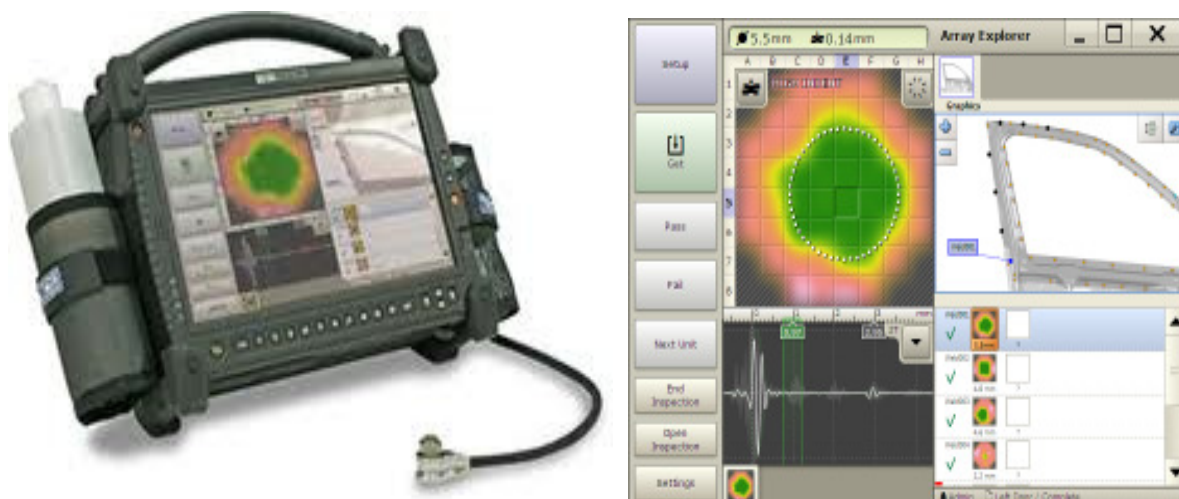


Figura 28 – Ultrassom TESSONICS RSWA

O aparelho medidor de Corrente Miyachi MM 315 – B (Figura 26) é utilizado para checar a corrente efetiva de solda, monitorando o processo para que não ocorram variações de corrente, se a corrente determinada para a soldagem variar possivelmente ocorrerá um problema de mal caldeamento do ponto de solda.

O aparelho utilizado para medir a força foi um Dinamômetro com capacidade de até 2.000 Kg, (Figura 27) este equipamento é necessário para monitorar a força estabelecida para uma solda com qualidade, se este parâmetro variar possivelmente teremos problemas de qualidade no ponto soldado.

O aparelho Ultrassom TESSONICS RSWA, (Figura 28) é utilizado para monitorar o diâmetro do ponto, indentação e possíveis defeitos internos do ponto de solda.

3.7 TESTES COM OS CORPOS DE PROVA

Utilizando o máximo tempo de solda foi aumentada a corrente de solda de 500 em 500 Amperes, até alcançar tamanho de botão mínimo especificado de 4 mm conforme tabela 2. Verificando mediante testes destrutivos de arrancamento, foram determinados os valores de parâmetros após 3 consecutivos testes com resultados favoráveis. Partimos de um tempo de Solda de 14 ciclos e uma corrente de solda de 10 KA conforme mostra a tabela 1- Norma GMW2 – GMW3032.

Ø MÍNIMO		TEMPO DE SOLDA 14 CICLOS – PONTO 01
Corrente especificada no painel	Corrente no Amperímetro	Ø do ponto encontrado
8,0	8,15	Ø 3,5 mm
9,5	9,61	Ø 3,7 mm
10,0	10,10	Ø 4,0 mm
10,5	10,64	Ø 4,4 mm

Tabela 3- Dados da pesquisa do ponto 1

CORPO DE PROVA 1



Figura 29 – Corpo de prova 1



Figura 30 – Corpo de prova 1



Figura 31 – Corpo de prova 1

Ø MÍNIMO		TEMPO DE SOLDA 16 CICLOS – PONTO 2
Corrente especificada no painel	Corrente no Amperímetro	Ø do ponto encontrado
8,0	8,15	Ø 3,80 mm
9,5	9,61	Ø 4,05 mm
10,0	10,10	Ø4,32 mm
10,5	10,64	Ø4,80 mm

Tabela 4- Dados da pesquisa do ponto 2

CORPO DE PROVA 2



Figura 32 – Corpo de prova 2



Figura 33 – Corpo de prova 2



Figura 34 – Corpo de prova 2

Ø MÍNIMO		TEMPO DE SOLDA 18 CICLOS – PONTO 3
Corrente especificada no painel	Corrente no Amperímetro	Ø do ponto encontrado
8,0	8,15	Ø 4,30 mm
9,5	9,61	Ø 4,54 mm
10,0	10,10	Ø 5,0 mm
10,5	10,64	Ø 5,30 mm

Tabela 5- Dados da pesquisa do ponto 3

CORPO DE PROVA 3



Figura 35 – Corpo de prova 3



Figura 36 – Corpo de prova 3



Figura 37 – Corpo de prova 3

Os pontos soldados também foram submetidos a análise por ultrassom TESSONICS – RSWA, com diâmetro de 4,4 mm, atendendo ao especificado como mostra a tabela 2.

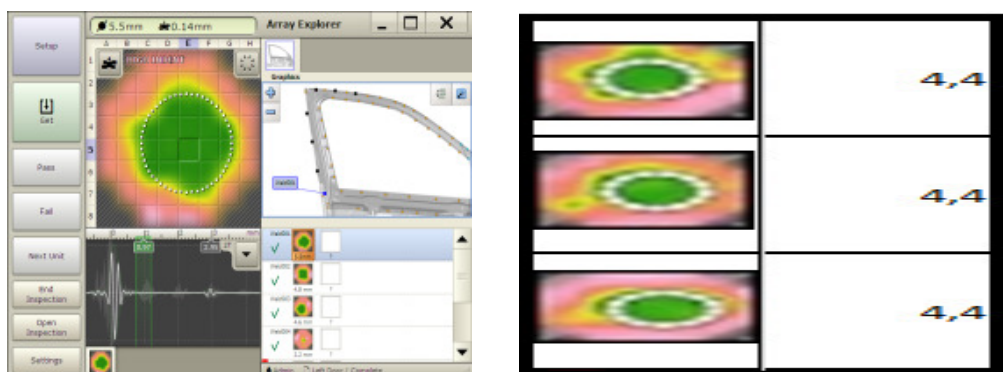


Figura 38- Resultado do ensaio de ultrassom.

CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo foi baseado em dois parâmetros, Corrente e Tempo de solda, percebemos que a medida que foi aumentado o tempo de solda para uma mesma corrente o diâmetro do ponto foi aumentando como mostra as Tabelas 3, 4 e 5 (Dados de pesquisa). Com base nas descrições citadas e resultados obtidos na faixa operacional empregada podemos concluir que os parâmetros de regulagem são muito importantes e que os valores dos resultados estão muito próximos dos apresentados como referência na Tabela 1 Norma GMW2 – GMW3032, e que o melhor parâmetro foi aquele que utilizou um tempo de solda menor otimizando o tempo de ciclo da peça (Ganho de produtividade), e com a Corrente em um nível que não apresentou faíscamento excessivo, porém na má definição de um deles podemos obter resultados insatisfatórios do ponto de vista de resistência mecânica e até o rompimento total das partes soldadas.

Devido a ser um processo de soldagem com muitas variáveis é extremamente importante efetuar um trabalho detalhado para a definição dos parâmetros de regulagem.

A indústria automobilística vem exigindo cada vez mais o controle total dos parâmetros de solda por resistência, devido a grande aplicabilidade e alta quantidade de pontos de solda efetuados diariamente em Empresas do segmento de auto peças.

Como exemplo podemos citar a GM do Brasil, localizada em São Caetano, que efetua cerca de 3.500.000 pontos em 24 horas de trabalho dentro da linha de montagem, sem contar as peças menores que são soldadas por empresas que fornecem conjuntos e subconjuntos para as montadoras.

Isso faz com que a atenção e dedicação em busca do total controle deste processo seja intensa, aumentando assim a busca por equipamentos capazes de controlar e identificar problemas ou variações que ocorram durante a soldagem.

O profissional que atua neste seguimento também tem sido valorizado a medida que os clientes se tornam mais exigentes com seus fornecedores de peças soldadas.

REFERÊNCIAS

FURLANETO, V soldagem por resistência, Instituto de Engenharia de São Paulo, II Soldares, 2004.

GM, Tomoana. Treinamento sobre Solda por Resistência.

INTERMACHINERY, Industria de consumíveis para soldagem por Resistência.

AWS (1998). *Welding Handbook. Vol. 2: Welding Process*, 8º ed. International Standard Book Number: 0-87171-354-3. American Welding Society. 550 N. W. LeJeune Rd., P.O. Box 351040, Miami, FL 33135.

KEARNS, W. H. “Welding Handbook”: Resistance and solid-State Welding and Other Joining Processes. Miami: American welding Society, 1984.

MARQUES, Paulo Villani. MODENESI, Paulo José. BRACARENSE, Alexandre Queiroz. Soldagem Fundamentos e Tecnologia. Cap.18 – Soldagem por Resistência. 3ª Edição.

NASCIMENTO, V.C. Seleção de Parâmetros de Soldagem a Ponto por Resistência, Baseado na Medição da Resistência Elétrica entre chapas. 2008. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.

QUASAR, Metalúrgica. São Paulo.