

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Dante Otavio Silvano Cruz

MÉTODO PARA VERIFICAÇÃO DA CONDIÇÃO DOS ELETRODOS
APÓS FRESAGEM A PARTIR DA MEDIÇÃO INDIRETA DA CAMADA
DE DIFUSÃO

Belo Horizonte

2023

Dante Otavio Silvano Cruz

**MÉTODO PARA VERIFICAÇÃO DA CONDIÇÃO DOS ELETRODOS
APÓS FRESAGEM A PARTIR DA MEDIÇÃO INDIRETA DA CAMADA
DE DIFUSÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de especialização em engenharia de soldagem da Universidade Federal de Minas Gerais, departamento de engenharia mecânica, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Especialista em Soldagem.

Orientador: Ariel Rodriguez Arias

Belo Horizonte

2023

C957m

Cruz, Dante Otavio Silvano.

Método para verificação da condição dos eletrodos após fresagem a partir da medição indireta da camada de difusão [recurso eletrônico] / Dante Otavio Silvano Cruz. – 2023.

1 recurso online (61 f.: il., color.) : pdf.

Orientador: Ariel Rodriguez Arias.

“Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia da Soldagem da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais”

Bibliografia: f. 61.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Engenharia mecânica. 2. Soldagem. 3. Fresagem (Trabalhos em metal). 4. Eletrodos. I. Arias, Ariel Rodríguez. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 621.791



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica
Programa de Pós-Graduação
Curso de Especialização em Soldagem



ATA 06ª/2023 DA DEFESA DE MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

No dia 19 de outubro de 2023, às 09:00 h, a Comissão Examinadora se reuniu remotamente para avaliar o trabalho:

Título: "METODO PARA VERIFICAÇÃO DA CONDIÇÃO DOS ELETRODOS APÓS FRESAGEM A PARTIR DA MEDIÇÃO INDIRETA DA CAMADA DE DIFUSÃO"

Aluno: DANTE OTAVIO SILVANO CRUZ – Matrícula: 2021662360

Local: Remotamente via plataforma "TEAMS".

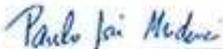
Parecer:

A Comissão Examinadora, após a apresentação pelo (a) candidato (a) durante 30 minutos e após ter argüido o(a) candidato(a) por 40 minutos, é de parecer Favoravel à aprovação do trabalho de monografia com a nota final de 90 e Sem (com ou sem) sugestões de modificação.

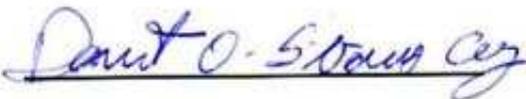
Sugere-se o prazo de 20 dias para efetuar-se as modificações sugeridas com revisão final acompanhada e homologada pelo orientador Prof. Dr. Ariel Rodriguez Arias.

Assinaturas:


Prof. Dr. Ariel Rodriguez Arias
DEMEC/UFMG – Orientador


Prof. Dr. Paulo Jose Modenesi
DEMEC/UFMG - Avaliador


Prof. Dr. Fagner Guilherme Ferreira Coelho
DEMEC/UFMG – Avaliador


Aluno: Dante Otavio Silvano Cruz

Dedico esse trabalho à minha mulher Nina, que caminha junto a mim enfrentando todas as batalhas e com seu amor me encorajando a todo instante.

A meus filhos Isabella e Bernardo que me motivam e me inspiram com a felicidade de suas vidas.

A minha irmã Denise e ao meu cunhado José Rubem pela importância deles em minha vida.

E principalmente a Deus por ter me proporcionado a chance de existir junto a estas pessoas.

Dante

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, por tudo que sempre tive, mesmo que eu ainda duvide do meu merecimento;

A minha mulher **Nina**, a meus filhos **Isabella** e **Bernardo** por sempre entenderem os motivos das privações e ausências;

A minha irmã **Denise** e meu cunhado **José Rubem**, por terem me dado o alicerce necessário para chegar até aqui;

Ao professor **Ariel**, por me mostrar o sentido real da palavra profissionalismo, sem que o compromisso com o ser humano seja perdido;

Ao professor **Paulo Modenesi**, pelo incrível prazer em ensinar e pela constante busca do saber, que é representação fiel da palavra mestre;

Ao professor **Fagner Coelho**, pelo caráter inspirador mostrado tantas vezes com o compartilhamento de seu conhecimento, sua humildade e principalmente dedicação;

Ao Sr. **Alexandre**, por garantir de forma diferenciada, a boa condução do curso, pela atenção, dedicação e empatia com cada aluno e pelo entusiasmo inspirador no desempenho de suas atribuições.

Aos **professores**, por mostrarem dedicação, por todos os ensinamentos e experiências divididas e principalmente por enfrentar o desafio de trabalhar em um modelo de aulas até então novo;

Aos **amigos** de curso, que mesmo com a distância inicial foi possível consolidar um vínculo de cumplicidade, compromisso e admiração que pretendo levar para toda vida;

Ao amigo **Jimmy Christian**, Eng. de automação, por acreditar no projeto e proporcionar a sua implementação;

Ao amigo **Ricardo Oliveira**, Eng. Eletricista, por fornecer subsídios técnicos no decorrer da implementação do projeto.

Ao amigo **Hideraldo Branco**, Mestre em Eng. Mecânica, por participar no desenvolvimento e apoio da pesquisa.

“O que não é medido não pode ser gerenciado”

(William Edward Deming)

RESUMO

Hoje os processos de soldagem têm sofrido uma intervenção nas suas características e conceitos em função do pacote tecnológico ofertado pelos construtores e desenvolvedores de equipamentos de soldagem, e que leva a necessidade de aumentar o leque de informação e análise, pois já não é possível utilizar somente os atributos metalúrgicos, conhecidos, referente ao processo de soldagem. A exemplo disso, a tecnologia CMT (Cold Metal Transfer) da Fronius, Super pulso da ESAB e os sistemas Auto adaptativo para soldagem ponto por resistência, que é o alvo desta pesquisa. O recurso Auto adaptativo para soldagem ponto por resistência, se dá graças à inserção de um verificador de tensão e outro de corrente, que desta forma se faz possível a obtenção dos valores da resistência dinâmica do processo. Com esse recurso disponível se acendeu a ideia de utilizar a verificação da resistência para outras fins, por exemplo a condição da lâmina de fresagem (perfilador de eletrodos). A lâmina de fresa é um componente que, quando em condições ideais de trabalho, desbasta a superfície do eletrodo conformando a sua frange para que haja a manutenção da densidade de corrente, que é fundamental no processo de solda ponto por resistência. Durante esse processo de retificação, por consequência, há a retirada das impurezas acumuladas sobre o eletrodo. Quando o processo de fresagem já não é eficaz por perda do corte da lâmina de fresa, as impurezas não são retiradas aumentando assim a impedância em comparação ao eletrodo novo ou sem a sujeira, o possibilita com o recurso do auto adaptativo medir a resistência e definir através dessa leitura a condição de uso da lâmina e do processo de fresagem.

Palavras-chave: soldagem; fresagem; engenharia mecânica; eletrodos

ABSTRACT

Today, welding processes have undergone an intervention in their characteristics and concepts due to the technological package offered by builders and developers of welding equipment, which leads to the need to increase the range of information and analysis, as it is no longer possible to use only the known metallurgical attributes relating to the welding process. For example, Fronius' CMT (Cold Metal Transfer) technology, ESAB's Super pulse and the Self-adaptive system for resistance spot welding, which is the target of this research. The Self-adaptive feature for resistance spot welding is thanks to the insertion of a voltage tester and a current tester, which makes it possible to obtain the dynamic resistance values of the process. With this resource available, the idea of using resistance verification for other purposes was sparked, for example the condition of the milling blade (electrode profiler). The milling cutter blade is a component that, when in ideal working conditions, grinds the surface of the electrode, shaping its edge so that current density is maintained, which is fundamental in the resistance spot welding process. During this grinding process, impurities accumulated on the electrode are removed. When the milling process is no longer effective due to loss of cutting edge of the milling blade, the impurities are not removed, thus increasing the impedance in comparison to the new electrode or without the dirt, using the self-adaptive feature to measure the resistance and define through this reading the condition of use of the blade and the milling process.

Keywords: welding; milling cutter; mechanical engineering; electrodes

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pinça “X”	19
Figura 2 – Pinça “C”	20
Figura 3 – Cilindro	21
Figura 4– Servomotor	21
Figura 5-Nível de temperatura do eletrodo	23
Figura 6 – Refrigeração.....	24
Figura 7- Distribuição dos tempos e corrente durante a execução de um ponto de solda.....	29
Figura 8 - Prensa	31
Figura 9 – Peça soldada no processo com arco voltaico	32
Figura 10 – Pistola para solda parafuso	32
Figura 11 – Cabeça para solda parafuso.....	32
Figura 12 – Diagrama de fluxo de processo.....	34
Figura 13 – Distribuição de temperatura (°F) am t= 0,2 seg. – eletrodo com cratera	35
Figura 14 - Distribuição de temperatura (°F) am t= 0,2 seg. – eletrodo sem cratera	35
Figura 15 – Curva de compensação de corrente.....	36
Figura 16 – (a)Eletrodo novo, (b)desgastado e (c)fresado	37
Figura 17 - Curva de compensação de corrente	38
Figura 18 – Lima murça e bastarda.....	38
Figura 19 – Fresa manual de catraca.....	39
Figura 20 - Fresa manual pneumática	39
Figura 21 – Lâmina de fresa e coletores de cavaco.....	40
Figura 22 – Fresadoras automáticas	42
Figura 23 – Composição química nas quatro regiões da capa do eletrodo	44
Figura 24 – Configuração de hardware sensores pinça e controlador de solda.....	46
Figura 25 – O comportamento da resistência dinâmica	47
Figura 26 - Princípio de funcionamento da soldadura a média frequência	48
Figura 27 Formas de ondas, frequência, tensão e corrente de solda MFDC	49
Figura 28 - Coleta da resistência dinâmica	50
Figura 29 - Curva referência média.....	51
Figura 30 - Definição dos parâmetros monitorados	51
Figura 31 - Indicação do auto adaptativo ligado	52
Figura 32 - Indicação de números de respingos.....	52
Figura 33 - Dispositivos PSQ para auto adaptativo	53
Figura 34 - Parâmetros de ciclo de solda	54
Figura 35 - Valor de da resistência referência a ser monitorada	58
Figura 36 - Programa de solda	59
Figura 37 - Monitoração ligada.....	60
Figura 38 - Rotina de fresagem do robô.....	61
Figura 39 - Rotina para executar a medição.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação de cilindro / motor.....	22
Tabela 2 - valores de partida para parâmetros de fresagem	43
Tabela 3 - Medição da resistência da camada de difusão.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ampere
BOS	<i>Bedienoberflache Schweissen</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
CMT	<i>Cold Metal Transfer</i>
ESAB	<i>Elektriska Svetsnings Aktie Bolaget</i>
FK	Fim de ciclo
GMAW	<i>Gas Metal Arc Welding</i>
GTAW	<i>Gas Tungsten Arc Welding</i>
Hz	Hertz
IGBT	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i>
IHM	<i>Interface Homem Máquina</i>
kA	Quilo Ampere
kHz	Quilo Hertz
kN	Quilo Newton
MAG	<i>Metal Active Gas</i>
MFDC	<i>Medium frequency direct current</i>
MIG	<i>Metal Inert Gas</i>
mm	Milímetros
ms	Milissegundo
N	Newton
PHA	<i>Phase Angle</i>
PSI	<i>Programmable Weld Timer With Inverter</i>
PSQ	<i>Transformer-rectifier unit for PSI types</i>
RSW	<i>Resistance Spot Welding</i>
seg	Segundo
SCR	<i>Silicon controlled rectifier</i>
UIP	<i>UI control</i>
V	Volts

LISTA DE SÍMBOLOS

°F	Fahrenheit
US\$	Dolar
%	Percentual
mΩ	Miliohm
μΩ	Microohm

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	18
2.1	Definição do processo de soldagem	18
2.2	Princípios de funcionamento	18
2.3	Equipamentos utilizados	18
2.3.1	Pinça de solda.....	18
2.3.2	Painel de comando	24
2.3.3	Circuito de refrigeração.....	26
2.4	Parâmetros de soldagem.....	26
2.4.1	Fechamento	27
2.4.2	Tempo de pré-pressão ou aperto.	27
2.4.3	Tempo de solda	27
2.4.4	Tempo de pós-pressão.....	27
2.4.5	Corrente de soldagem.....	27
2.4.6	Recursos auxiliares.....	28
2.4.6.1	Pré-aquecimento.....	28
2.4.6.2	Subida e descida de corrente.	28
2.4.6.3	Impulsos	28
2.5	Força entre os eletrodos.....	29
2.6	Tipos de processo	29
3	METODOLOGIA	30
4	ESTUDO DE CASO	30
4.1	Empresa.....	30
4.2	Processo.....	31
4.2.1	Conformação	31
4.2.2	Montagem de carrocerias	31
4.2.2.1	Soldagem por arco voltaico.....	31
4.2.2.2	Soldagem oxiacetilênica.....	32
4.2.2.3	Aplicação de adesivo.....	32
4.2.2.4	Rebordamento	33
4.2.2.5	Colocação de parafusos.....	33
4.2.2.6	Controle de qualidade.....	33

4.2.2.7	Fluxo dos processos	34
4.3	Desgaste de eletrodos	34
4.3.1	Substituição dos eletrodos	36
4.3.2	Curva de compensação de corrente	36
4.4	Fresagem	37
4.4.1	Necessidade de fresar os eletrodos	37
4.4.2	Curva de compensação de corrente na fresagem.....	37
4.4.3	Equipamentos	38
4.4.4	Como fresar	40
4.5	Tipos de fresagem	40
4.5.1	Fresagem manual.....	40
4.5.1.1	Lima	41
4.5.1.2	Catraca.....	41
4.5.2	Fresagem semiautomática	41
4.5.2.1	Pneumática	41
4.5.3	Fresagem fora do processo	42
4.5.4	Fresagem automática.....	42
4.6	Acúmulo de impurezas na superfície do eletrodo	43
4.7	Recurso auto adaptativo	45
4.7.1	Resistência dinâmica	47
4.7.2	Equipamentos	48
4.7.3	Controlador de soldagem Bosch PSI.....	48
4.7.3.1	PSQ	49
4.7.3.2	Aplicativo BOS 6000	53
4.8	Verificação da condição da fresagem.....	54
4.8.1	Situação atual	54
4.8.2	Resultado esperado.....	55
4.8.3	Implementação	55
4.8.4	Resultado alcançado	62
5	Conclusão	62
	REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

O processo de soldagem ponto por resistência *Resistance Spot Welding* (RSW) é usado em larga escala no setor automobilístico principalmente nos processos de montagem e soldagem de carrocerias quando a desmontagem para manutenção não é necessária, uma vez que a fabricação é mais rápida”. (MARQUES, *et. al.*2007, p. 294).

Além do setor automobilístico (setor foco do estudo), os setores de eletroeletrônico, eletrodomésticos, tubulações etc. também utilizam o processo RSW, por ser um processo versátil e que oferece um custo baixo, quando se leva em conta, principalmente, que a necessidade de especialização da mão de obra é baixa. Ao contrário de outros processos de soldagem no RSW não há adição de material nem arco voltaico como *Metal Inert Gás* (MIG), *Metal Active Gás* (MAG), eletrodo revestido ou combustão como no processo de combinação de oxigênio e acetileno.

Os equipamentos utilizados vêm melhorando e oferecendo mais condições de controle e de monitoramento. Com esses avanços oferecidos pode-se, hoje, otimizar o processo de RSW. Hoje, há equipamentos que dispõem de dispositivos que compensam o desgaste dos eletrodos aumentando a vida útil de forma contínua, que monitoram e controlam as variáveis de força, corrente e tensão o que possibilita o monitoramento da resistência dinâmica do processo.

Os métodos de análise e de verificação da qualidade de soldagem também contam, hoje, com a evolução nos equipamentos a disposição. A análise que anteriormente era realizada com martelo e talhadeira hoje com já pode feita com equipamentos de ultrassom com 01 ou vários transdutores multipontos – tecnologia semelhante ao *Phased array* - e com Análise metalográfica. Essa possibilidade de Análise mais detalhada e precisa permitir que o processo RSW seja otimizado utilizando mais recursos com garantia de que produto não sofra demérito ou queda na qualidade.

Com os recursos oferecidos pelos equipamentos de RSW, os métodos de análise de qualidade e as novas necessidades e objetivos das corporações, um novo conceito na utilização do processo RSW surgiu, com necessidade de reestruturar as variantes do processo.

Com os avanços tecnológico dos equipamentos de RSW alguns recursos foram disponibilizados ou desenvolvidos. Com desenvolvimento dos sistemas auto adaptativos foi possível coletar/monitorar a resistência dinâmica durante a soldagem, e calcular mediante os parâmetros de processo, corrente e tensão o balanço de energia do ponto de solda

O processo em que será desenvolvido o estudo é o de produção de carrocerias que utilizam basicamente o processo RSW e que há necessidade de se retificar o eletrodo para manutenção da densidade de corrente.

Nos processos de solda a arco há, por exemplo, o diâmetro do arame no processo GMAW, a área do consumível ou do condutor de corrente tem real importância. No processo RSW é utilizado o processo de retifica, através de um dispositivo denominado fresador ou revivador de eletrodos. Se fresa os eletrodos porque a área de contato com a peça não sofrer grandes alterações. No processo de soldagem no contato do eletrodo com o metal a ser soldado há a aplicação de grande de força e corrente, que causa deformação. O contato do eletrodo com o produto na transferência de corrente para produção de calor há o acúmulo de impurezas e materiais de proteção das chapas (zinco por exemplo). O processo RSW tem por característica “soldas de baixo nível de contaminação, seja pela proteção física da região ou pela expulsão de região contaminada para fora da junta” (MARQUES, et. al. 2007, p. 295).

Com a necessidade de se retificar os eletrodos para a manutenção da intensidade da corrente de solda utiliza-se um dispositivo de fresagem ou perfilador de eletrodos, mas que após um número de fresagem acaba por perder a afiação e por consequência o poder de corte.

Uma dificuldade detectada no processo de fresagem é a definição da vida útil da lâmina, já que a superfície dos eletrodos pode ter diferentes nível de dureza em função de sua característica ou do acúmulo de elementos da chapa o que acaba por danificar o fio da lâmina de fresa, outro problema é a troca de fornecedor ou modelo da lâmina, muitas vezes por questões comerciais.

Esta monografia tem como objetivo desenvolver e avaliar uma metodologia para inspeção autônoma e confiável das condições da lâmina de fresagem.

Têm-se como objetivos secundários:

- Descrever e reunir informações técnicas relacionada à proposta de redução de emissão de respingos;
- Analisar o processo atual, definir os pontos fracos causadores dos problemas e implantar as soluções mais eficazes;
- Utilizar recursos disponíveis nos equipamentos envolvidos;
- Aplicar os conhecimentos teóricos adquiridos no longo do curso de graduação, na resolução do problema.

A presente monografia propõe um estudo detalhado sobre um problema relacionado à RSW, onde as variáveis atuantes neste processo devem ser avaliadas, controladas e redimensionadas sob parâmetros técnicos bem definidos. O conteúdo deste estudo deve servir para análises futuras de profissionais que atuam no setor de engenharia de produção, onde possam colher dados e informações reunidas a partir da iniciativa de se eliminar um problema relacionado ao processo RSW.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Definição do processo de soldagem

“Processo de união de materiais baseado no estabelecimento de forças de ligação química de natureza similar às atuantes no interior dos próprios materiais, na região de ligação entre os materiais que estão sendo unidos.” (MARQUES, *et. al.* 2007, p. 18).

Na RSW a união dos materiais se dá quando é aplicada uma força (F) sobre um ponto e com o calor gerado pela corrente elétrica (I) que circula entre as peças.

2.2 Princípios de funcionamento

O equipamento usado no processo RSW é constituído da pinça ou alicate de solda, transformador de solda, fonte de energia, que pode ser, em geral, tiristorizada (SCR) ou inversora, modulo controlador, circuito de refrigeração, cabos elétricos e circuito de proteção. Após posicionar a pinça de solda na peça é acionado o comando, manualmente ou de forma autônoma, para o fechamento da pinça entre a junção das peças, com o fechamento confirmado e a força estabilizada é iniciada a passagem da corrente elétrica por um tempo e intensidade suficiente para que seja realizada a fusão das juntas.

2.3 Equipamentos utilizados

2.3.1 Pinça de solda

A pinça de solda soldagem a tem função de aplicar a força e a corrente na junta por um tempo, ou seja, tem a função de executar o ponto de solda. Uma pinça de solda apresentar configurações diversas, seja por critérios ergonômicos ou de acessibilidade, por princípios de funcionamento ou por necessidades do processo. As principais são:

- Formato:
- Fechamento:
- Acionamento (automático ou manual):

A pinça de solda é composta de componentes mecânicos e elétricos. Os principais componentes de uma pinça são:

- Cilindros pneumáticos ou hidráulicos, ou servomotores.
- Eletrodos
- Braços
- Barramentos flexíveis, cordoalhas ou cabos.

Os formatos das pinças de solda são definidos principalmente pelo acesso ao produto e pela ergonomia. O desenho de seu corpo e de seus braços depende da possibilidade de acesso ao produto, ou seja, é preciso que a silhueta da pinça de solda permita alcançar a área onde será aplicado o ponto de solda. Quando o processo de aplicação é manual deve se preocupar também com a ergonomia do operário (soldador).

As características que diferem uma pinça de outra se dá também pelo seu tipo de fechamento que pode ser definido por “X” ou “C”.

A figura 1 mostra o diagrama esquemático de uma pinça tipo “X”, este tipo funcionamento tem sua força resultante diretamente influenciada pelo comprimento do braço, pois quanto maior o braço menor a força entre os eletrodos.

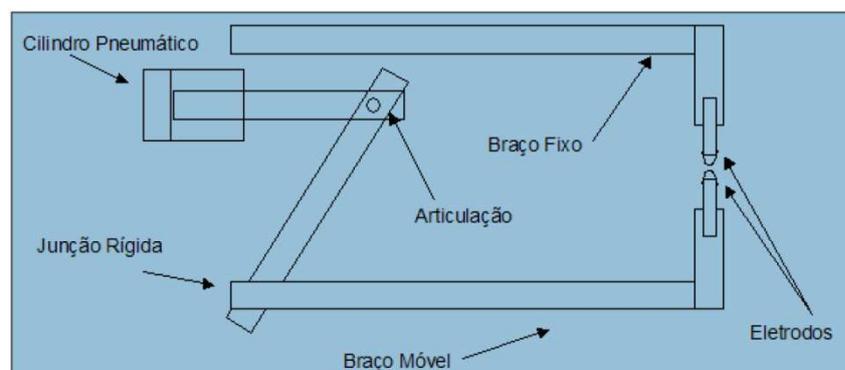


Figura 1 – Pinça “X”
Fonte – SANTOS, 2006

Já na figura 2 pode se ver o diagrama esquemático de uma pinça “C” onde a haste do cilindro está conectada mecanicamente ao braço do móvel da pinça de solda, transferindo a força do cilindro até a juntas das chapas a serem soldadas pelos eletrodos, sem perdas significativas.

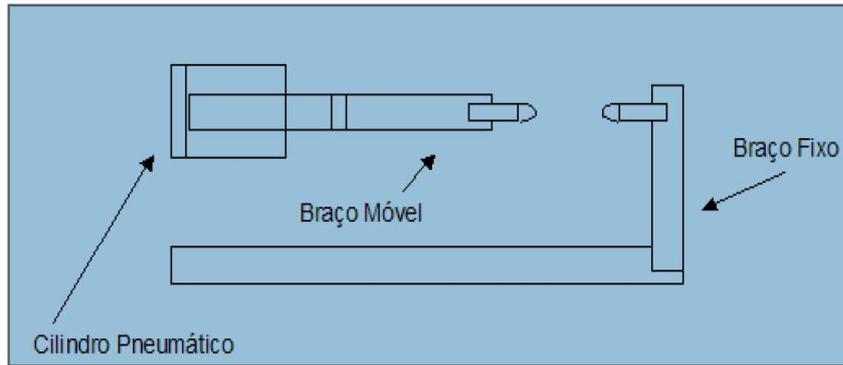


Figura 2 – Pinça “C”
Fonte: - SANTOS, 2006

Os braços das pinças devem garantir a força entre as chapas a serem soldadas e por isso precisam de resistência estrutural suficiente para suportar as forças aplicadas, que se aproximam de 5 kN, dependendo das espessuras envolvidas nos processos.

Há duas formas de acionamentos possíveis, manual ou automático. O acionamento manual é feito sob comando humano, ou seja, quando há um operário conduzindo o processo de solda. No modo de acionamento automático o processo de solda é conduzido por uma estação autônoma, seja um circuito constituído por relés, contadores, contadores e temporizadores, por controladores lógicos programáveis (CLP) ou por robôs.

Nas figuras 1 e 2 o elemento de acionamento usado é um cilindro pneumático. Em alguns casos esse elemento de acionamento pode ser um cilindro hidráulico ou servomotores. Quando se opta por um cilindro hidráulico é pela necessidade de se obter uma força maior. Há também a possibilidade de se usar um cilindro com dimensões menores com obtenção de força equivalente à das pinças que utilizam cilindros pneumáticos de maior diâmetro.

A força aplicada (F) pode ser estimada pela equação:

$$F = P \cdot A$$

Fonte: BOSQUILHA,2003

Onde:

F = Força

P = Pressão de trabalho

A = Área do cilindro instalado no equipamento

A utilização de servomotores é uma opção nova usada em equipamentos automáticos. Sua utilização se dá como possibilidade de obter maior funcionalidade da pinça de solda, já que os servomotores dispõem de resolver e por isso dispensam o uso de sensores de posicionamento, que são necessários em pinças de solda automáticas. A utilização de servomotores também dispensa os circuitos de pressão (pneumáticos ou hidráulicos), pois seu acionamento é elétrico e seu controle de força se dá por monitoramento de corrente resultante da reação à ação de fechamento do braço da pinça de solda

Nas figuras 3 e 4 os dois componentes são mostrados e pode se notar a semelhança no seu formato, pois exercem a mesma função no funcionamento da pinça.



Figura 3 – Cilindro
Fonte: Intermachinery, 2002



Figura 4– Servomotor
Fonte: Intermachinery, 2002

A tabela 1 mostra uma comparação entre duas pinças de utilização e capacidade similar (4kN) e com fechamento tipo “C”, uma com servo motor e outra com cilindro pneumático:

*	Servo motor	Cilindro pneumático
Força (KN)	Corrente (A)	Pressão (bar)
1,00	2,01	1,5
1,50	2,32	1,7
2,00	2,68	2,06
2,50	3,01	2,31
3,00	3,38	2,52
3,50	3,65	2,73
4,00	3,93	3,01

Tabela 1 - Comparação de cilindro / motor
Fonte: Elaborado pelo autor

O eletrodo é um componente da pinça de solda com grande relevância no processo RSW, pois ele tem a função de tocar as chapas que serão fundidas, recebendo toda a força e corrente aplicada nas chapas, por isso sua composição deve ser de um material de elevada dureza, para resistir aos impactos sofridos na realização da solda em cada ponto. Também deve possuir alta condutividade elétrica e térmica, para facilitar a troca de calor.

A definição do eletrodo deve ser em função de seu diâmetro e formato “considera-se que as faces de contato dos eletrodos com a peça devam ser aproximadamente 1,6mm maior do que o diâmetro do ponto de solda”. (BRANDI, 2008, p.221).

O diâmetro do ponto pode ser calculado pela seguinte relação (BRANDI,2008):

$$d = 5\sqrt{s}$$

Onde:

d = diâmetro do ponto (mm)

s = espessura da chapa (mm)

Com as solicitações sucessivas haverá um desgaste nas pontas dos eletrodos, caracterizado pelo aumento da área de contato, que acarretará a diminuição da densidade de corrente, diminuindo a eficiência do processo. A recuperação das pontas dos eletrodos deve ser feita de forma que retorne à forma inicial, pois se a área de contato superficial for menor a densidade de corrente será maior e haverá produção de calor superior que a desejada no processo.

Na figura 5 é mostrada as temperaturas que um eletrodo atinge em graus Celsius no processo RSW.

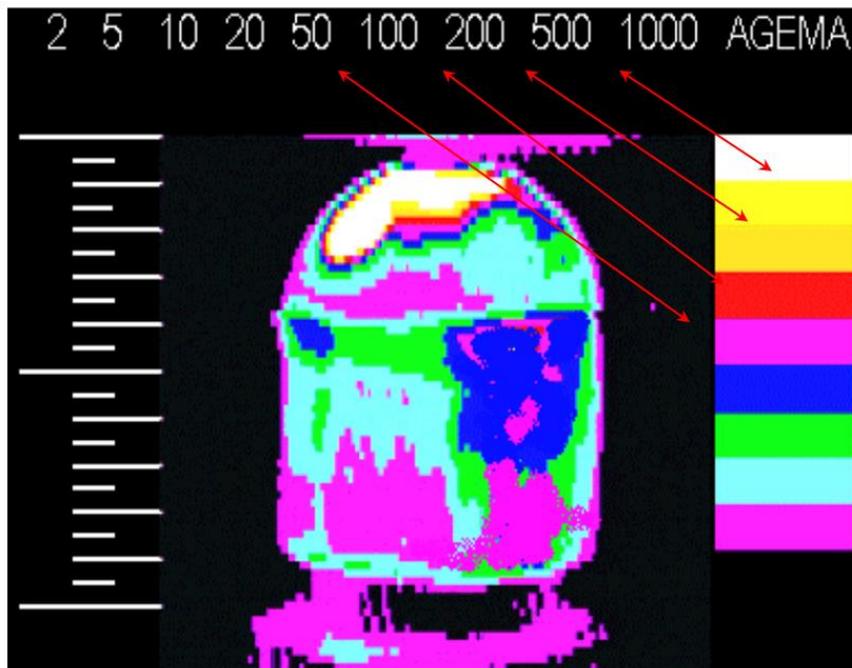


Figura 5-Nível de temperatura do eletrodo
Fonte: Intermachynery, 2002

Devido às elevadas temperaturas produzidas no processo, um sistema de refrigeração eficaz deve ser usado, mostrado na figura 6. Todos os componentes por onde circula a corrente de solda devem dispor de um sistema de refrigeração eficaz. O processo de soldagem depende diretamente da eficiência do sistema de refrigeração.

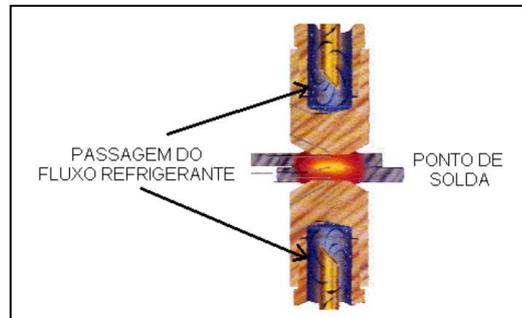


Figura 6 – Refrigeração
Fonte: SANTOS, 2006

2.3.2 Painel de comando

As variáveis correntes elétrica e tempo, que são aplicadas pela pinça de solda ao produto, no processo RSW, são fornecidas por um circuito de potência e outro de comando e controle. O circuito de potência que é composto por cabos de alimentação, unidade de proteção e cabos de potência, para pinças sem transformador acoplado, transformador, tiristor ou IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) este utilizado em equipamentos de média frequência. Os três últimos são responsáveis pelo controle das correntes de solda.

O transformador é responsável pela conversão dos níveis de tensão mais altos na entrada, geralmente fornecidos valores padrão de 220 V, 380 V, ou 440 V para valores mais baixos entre 7,5 V, 12 V, ou 24 V na saída onde são ligados os cabos de potência ou os braços da pinça, em casos de equipamentos que usam o transformador acoplada à pinça de solda, estes níveis de tensão baixos têm como principal vantagem oferecer baixo risco aos operadores dessas máquinas. Quando se trabalha com equipamentos de média frequência chaveados por IGBT's, nos transformadores são inseridos diodos que retificam a corrente, passando de alternada para contínua pulsada que torna o processo mais rápido.

Já que a tensão no secundário foi abaixada, é necessário que a corrente seja capaz de se manter elevada a níveis de milhares de amperes para manter a potência necessária para soldagem no

secundário do transformador. Sabendo-se que a potência aparente e a resultante do produto da corrente pela tensão, ao se reduzir um dos valores o outro deve se elevar proporcionalmente.

Os transformadores são monitorados quanto à sua temperatura de funcionamento e à corrente fornecida e tensão (em alguns equipamentos média frequência), quando há a monitoração da tensão também é possível se verificar a resistência dinâmica. O sensor de temperatura pode ser instalado no secundário ou no primário e sua função principal é protegê-lo quanto à superaquecimento, já o sensor de corrente fica ligado no secundário e sua utilização permite o controle da corrente através de seu monitoramento.

Os tiristores são componentes eletrônicos da família dos semicondutores. Regulam os valores de corrente (aumentando ou diminuindo) determinados pelo comando de soldagem. Funciona como interruptor, que é acionado por um determinado período. Coloca a potência necessária para a tarefa específica para um transformador.

Os IGBT's são componentes eletrônicos semicondutores, assim com os diodos, transistores e tiristores. Tem como principal característica o controle de corrente em índices elevados. Em equipamentos média frequência, onde são empregados, regulam a tensão fornecida ao primário do transformador de soldagem.

Os cabos de alimentação e os elementos de proteção (disjuntores e fusíveis) são dimensionados conforme a carga e consumo do conjunto da máquina de solda.

O comando ou controlador de solda, assim chamado, é um equipamento eletrônico que tem como principal função controlar todo o funcionamento da máquina de solda. Ele controla corte do tiristor ou o chaveamento do IGBT, que em conjunto com o transformador fornece a potência necessária para execução da solda, até acionamento dos circuitos de trabalho das pinças de solda. É capaz de regular a corrente de solda a partir dos dados fornecidos pelo sensor instalado no transformador, cortar o funcionamento do equipamento se detectado um superaquecimento no transformador e monitor o trabalho da máquina gerando avisos de falhas e alarmes quando detectada alguma anomalia. É também através dele que se faz a programação dos valores das variáveis envolvidas no processo de solda, como força, corrente e tempos. Essa programação é feita com auxílio de uma interface homem/máquina (IHM) ou por um computador.

2.3.3 Circuito de refrigeração

Em função dos elevados valores de corrente necessários para a realização da soldagem, todos os equipamentos de potência envolvidos no processo RSW necessitam serem resfriados. Por isso um circuito de refrigeração é integrado aos equipamentos de RSW. Braços, cabos, transformadores e unidades de chaveamento tiristorizadas ou transistorizadas são refrigerados, para que não ocorra um superaquecimento e conseqüentemente o dano ao equipamento.

O circuito de refrigeração é composto por dutos, filtros e mangueiras que diferem a entrada e o retorno do fluido refrigerante; na maioria das vezes o fluido usado é água (Com aditivos anticorrosivos). A distribuição do fluido é feita de forma discreta, ou seja, cada componente tem seu próprio circuito no conjunto do equipamento.

A qualidade da solda, o funcionamento do equipamento e a segurança dos que operam o equipamento dependem diretamente de um sistema de refrigeração eficaz. Como mencionado anteriormente os eletrodos perdem suas propriedades se expostos às temperaturas excessivas.

2.4 Parâmetros de soldagem

O processo RSW necessita de três variáveis principais para realizar a fusão entre as chapas a serem soldadas que são: intensidade de corrente, tempo de passagem de corrente e força entre os eletrodos.

“A energia térmica total gerada durante o processo de soldagem pode ser calculada pela lei de Joule:” (BRANDI, 2008, p.217).

Os parâmetros de soldagem são impostados nos controladores de solda que em conjunto com os componentes elétricos de potência e dispositivos mecânicos (pinças de solda) fornecem os valores das principais variáveis para execução do ponto de solda em função das combinações de chapas e materiais usados.

Os parâmetros secundários que atendem à necessidade funcional do equipamento e outros que influenciam na qualidade final do ponto de solda. Esses parâmetros estão relacionados, respectivamente ao tempo de fechamento da pinça e ao tempo que a pinça permanece fechada após a execução do ponto de solda.

2.4.1 Fechamento

O tempo fechamento dos braços é determinado pela abertura entre eles e pela velocidade com que os eletrodos se encontram. Esse parâmetro é necessário ser informado para que o controlador de solda entenda que os braços da pinça estão fechados.

2.4.2 Tempo de pré-pressão ou aperto.

Este valor refere-se à espera para que a pinça atinja o valor máximo programado de força. Um tempo demasiadamente curto pode ocasionar abertura de arco voltaico pela passagem de corrente sem união plena das chapas a serem soldadas. Por sua vez um tempo elevado pode ocasionar aumento do tempo de produção.

2.4.3 Tempo de solda

É o período do fluxo da corrente de solda. É medido em ciclos, numa rede de 60Hz cada ciclo corresponde a 0,016 segundos. O tempo de solda é definido pela espessura das chapas a serem soldadas.

2.4.4 Tempo de pós-pressão

A pós-pressão é o tempo que a pinça se mantém fechada depois da passagem da corrente elétrica, pressionado a junta a ser soldada entre os eletrodos, com a finalidade de se obter um arrefecimento no local da soldagem.

Esse tempo é introduzido entre o término da passagem da corrente e a abertura da pinça.

2.4.5 Corrente de soldagem

A passagem da corrente elétrica pela junta a ser soldada combinada à resistência elétrica oferecida pelo material a ser soldado produz o calor necessário para fusão das duas chapas. O valor de corrente necessária para realização da soldagem é definido pelas espessuras das chapas a serem soldadas, maior a espessura maior deve ser a corrente.

Uma corrente de soldagem elevada pode causar danos ao processo RSW, pois quanto maior a corrente maior a produção de calor. Algumas condições indesejadas no processo RSW causadas por excesso de corrente:

- Deposição de partes do eletrodo na superfície do material soldado;
- Trincas, poros, e micro poros;
- Penetração profunda do eletrodo;
- Emissão de respingos (expulsão);

2.4.6 Recursos auxiliares

São disponibilizados pelos controladores alguns recursos na aplicação de tempos e de correntes que podem contribuir para uma melhor qualidade da solda. Esses recursos são considerados opções de ajustes mais refinados.

2.4.6.1 Pré-aquecimento

Pode ser usado com a finalidade de queimar o revestimento da chapa e “limpar” a superfície a ser soldada, ou seja, uma corrente piloto é circulada entre as juntas, não com a finalidade de fundir as chapas, mas somente com o objetivo de eliminar possíveis impurezas depositadas na superfície das chapas a serem soldadas e o revestimento da chapa.

2.4.6.2 Subida e descida de corrente.

Depois de se determinar a corrente e o tempo efetivo de soldagem, pode-se inserir um período em que a corrente atinja o seu valor máximo e/ou um período em que a corrente declina do seu ponto maior o valor mínimo. Esse recurso é usado objetivando a eliminação de possíveis respingos no processo de solda.

2.4.6.3 Impulsos

Quando as espessuras a serem soldadas têm valores elevados, os tempos de corrente também devem ser elevados o que por consequência poderá acarretar um superaquecimento dos eletrodos e das chapas.

Tendo em vista esse problema é possível dividir o tempo total em duas ou mais partes iguais com o mesmo valor de corrente visto mostrado na figura 7.

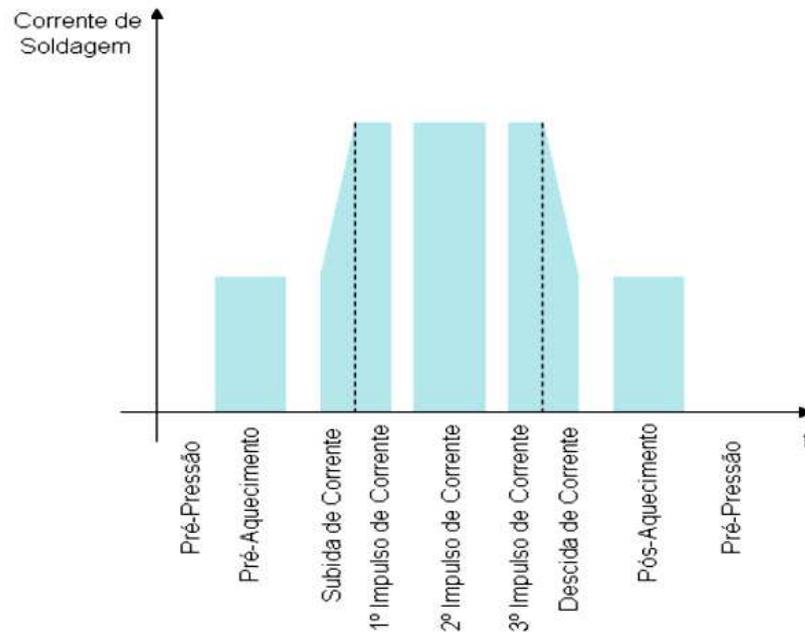


Figura 7- Distribuição dos tempos e corrente durante a execução de um ponto de solda.
Fonte: SANTOS, 2006

2.5 Força entre os eletrodos

A força aplicada no processo RSW é uma variável que assim como o tempo de e a corrente de solda dependem da espessura das chapas a serem soldadas. A função principal é proporcionar uma plena junção entre as chapas a serem soldadas.

Com a necessidade de se utilizar uma força elevada, a definição da pinça a ser usada deve ser adequada, com cilindros ou motores que forneçam força suficiente e braços que suportem esse esforço.

2.6 Tipos de processo

Os processos produtivos no setor automotivo, independentemente da empresa, são constituídos basicamente de linhas conformação de chapas de aço (prensas), montagem da carroceria, pintura e montagem final.

3 METODOLOGIA

A de se fazer a observação profunda e exaustiva de objetivos, métodos e processos de forma que permita um detalhamento amplo e profundo do cenário estudado. “Por essa razão, são frequentes os vieses nos estudos de caso, os quais acabam comprometendo a qualidade de seus resultados” (GIL, 2010, p 38).

O objetivo de se investigar e considerar todas as possibilidades são alcançar o conhecimento e se comprovar a eficácia com o máximo de base teórica.

O auxílio bibliográfico, pesquisa técnica acerca dos recursos disponíveis nos equipamentos e processos e amostra possibilitam concluir sobre o tema com o embasamento necessário.

No período decorrente do estudo foram realizadas alterações no *setup* dos equipamentos, observação constante do comportamento de cada equipamento e mudanças no plano de trabalho dos equipamentos.

Todas as alterações nos equipamentos e processos foram realizadas durante o período em que não havia processo produtivo, ou seja, com o equipamento parado e as avaliações de desempenho e resultado com os equipamentos em processo de produção.

A intervenção e alteração se deu em um setor com 43 robôs e os testes em uma área com 01 equipamento equivalente ao que seria utilizado no para implantação. A área em que foi iniciado a implementação realiza as soldagens na região do assoalho. As condições para coleta dos valores, análise de comparação dos eletrodos com a fresagem considerada ideal e ineficaz, no que se refere à impedância, foi realizado com um microhmímetro.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Empresa

A empresa onde o estudo foi realizado está no segmento automobilístico, seu principal cliente é o consumidor final, ou seja, não destina sua produção ao fornecimento de matéria prima ou partes para montagem do produto.

4.2 Processo

4.2.1 Conformação

A área de conformação é onde se dá forma às partes de aço a serem montadas, que constitui grande parte do produto. O processo se inicia com o recebimento da matéria prima, que chega em forma de bobinas de aço que é então levada até as guilhotinas onde vão ser cortadas e encaminhadas às prensas. O corte é feito de maneira a ser aproveitado o máximo possível de sua extensão. As chapas de aço cortadas chegam às prensas, (figura 8) que são máquinas de compressão que tem em suas extremidades duas ferramentas com as formas negativa e positiva das peças a serem moldadas.

Essas ferramentas são conhecidas como estampos. A força de compressão aplicada deve ser suficiente para a conformação da chapa. Então com a combinação da força de compressão com os estampos se dá à conformação da peça.



Figura 8 - Prensa
Fonte: www.machinerychina.com.pt

4.2.2 Montagem de carrocerias

O estudo foi realizado no setor de montagem de carroceria onde o principal processo é o RSW. No setor há também outros processos envolvidos como de solda arco e oxiacetileno, aplicação de adesivo, rebordamento ou dobra e colocação de parafusos.

4.2.2.1 Soldagem por arco voltaico

O processo de solda por arco voltaico aparece em duas aplicações: no processo MIG/MAG e na solda de parafusos ou prisioneiros que acontece com a fusão do metal base e do parafuso pela abertura do arco entre eles em conjunto com a aplicação de uma leve pressão. A solda

MIG/MAG é aplicada principalmente onde não se oferece condições de aplicação do RSW. Exemplo: Solda de topo, (Figura10), ou seja, quando as chapas não estão sobrepostas e sim acopladas nas faces de seus cortes. A solda pode ser realizada de forma manual ou autônoma.

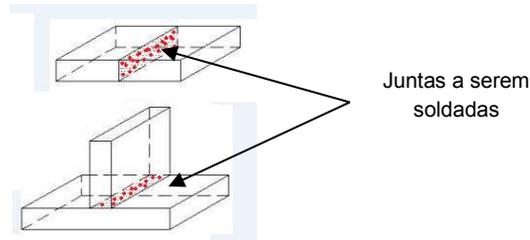


Figura 9 – Peça soldada no processo com arco voltaico
Fonte: Elaborado pelo autor

A soldagem de parafusos ou hastes constitui na fixação para encaixes na carroceria. A aplicação de parafusos ou hastes tem como finalidade proporcionar a fixação de peças como mangueira, cabos elétricos etc. nos processos finais de montagem do produto. Sua aplicação pode ser de forma manual ou autônoma (figuras 10 e 11).



Figura 10 – Pistola para solda parafuso
Fonte: www.emhart.com.br



Figura 11 – Cabeça para solda parafuso
Fonte: www.emhart.com.br

4.2.2.2 Soldagem oxiacetilênica

O processo de soldagem oxiacetilênica é aplicado quando existe as mesmas circunstâncias do processo MIG/MAG, porém em partes do produto onde as espessuras das chapas são menores por proporcionar uma menor geração de calor. Este processo tem sua aplicação de forma manual e requer uma maior habilidade do operador.

4.2.2.3 Aplicação de adesivo

Há duas principais características nesse processo: A eliminação de ruídos e reforço na união das chapas. Para isso são disponibilizados adesivos com características diferentes:

- Adesivo expansivo: Para redução de ruídos;
- Adesivo estrutural: Para reforçar a união das chapas;

Sua aplicação pode ser de forma manual ou autônoma.

4.2.2.4 Rebordamento

A necessidade desse processo se faz, principalmente, para eliminar as partes cortantes e para garantir uma boa estética do produto. Esse processo pode aplicado ser de forma manual ou autônoma.

4.2.2.5 Colocação de parafusos

Assim como a solda prisioneiro a aplicação de parafusos a tem como finalidade proporcionar a fixação de peças nos processos finais de montagem do produto e ainda no processo de montagem de carrocerias a fixação de partes moveis, como portas, capô e tampa. Esse processo é em grande maioria executado de forma manual, por ser feito em conjunto com os ajustes geométricos.

4.2.2.6 Controle de qualidade

Para garantir a qualidade do produto o controle é realizado pelos próprios operadores (autocontrole) e em áreas destinadas somente para esse controle. Os processos dispõem das seguintes verificações:

- Ultrassom e arrancamento: Para soldas;
- Verificação de torque: Para parafusos e prisioneiros;
- Mesas de medição: Para controle geométrico;

4.2.2.7 Fluxo dos processos

A figura 12, a disposição dos processos de montagem de carroceria.



Figura 12 – Diagrama de fluxo de processo
Fonte: Elaborado pelo autor

4.3 Desgaste de eletrodos

O eletrodo, que é o componente em contato com o produto, o processo impõe alta temperatura e força aplicada e faz com que esse componente sofra alterações nas suas características iniciais, criando crateras, aumento no diâmetro da sua área de contato, incrustação de matérias que estão sobre a chapa (Óleo, zinco, poeira etc.). Essa incrustação pode ser chamada de camada de difusão e a partir de 50 pontos aplicados inicia-se um processo de perda de dureza. A solda a ponto por resistência consiste na passagem de corrente, produzindo calor suficiente que liquefaz a região da entre as chapas. A aplicação de força de compressão proporciona a junção entre as chapas. Os valores de corrente e força são aproximadamente de 6,00 a 12,00 kA, para corrente e 1,7 a 4,0 kN para força, conforme a espessura das chapas que serão soldadas. A chamada camada de difusão tem resistência maior ao fluxo de corrente que o cobre dos eletrodos “fazendo com que um calor excessivo seja gerado nessa região, superaquecendo e recozendo o cobre do eletrodo, podendo resultar também na aderência do eletrodo na chapa” (BRANCO, 2019, p 63).

Sendo assim, o recozimento reduz a dureza, facilitando a deformação do eletrodo mais rápido, aumentando a área da superfície do eletrodo e diminuindo a densidade de corrente, isso faz com

que haja necessidade de se elevar a corrente no ponto para produzir a mesma quantidade de calor. Isso vai provocar maior deformação do eletrodo e este ciclo é contínuo até que o eletrodo esteja completamente desgastado. O surgimento das crateras, outro problema relacionado causa uma elevada variação na densidade de corrente em suas bordas. As crateras são depressões que surgem na face de contato dos eletrodos com a chapa. Isso pode ser observado em análises de simulação, onde a temperatura na região das crateras está entre 982 e 1093 e enquanto em um eletrodo livre de crateras a temperatura está em torno de 871(BRANCO, 2019, p 65).

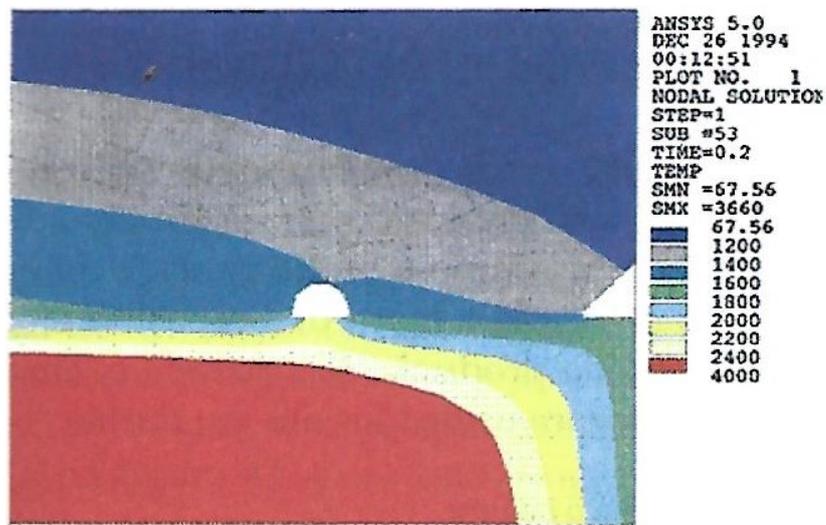


Figura 13 – Distribuição de temperatura (°F) am $t=0,2$ seg. – eletrodo com cratera
 Fonte: BRANCO, 2019

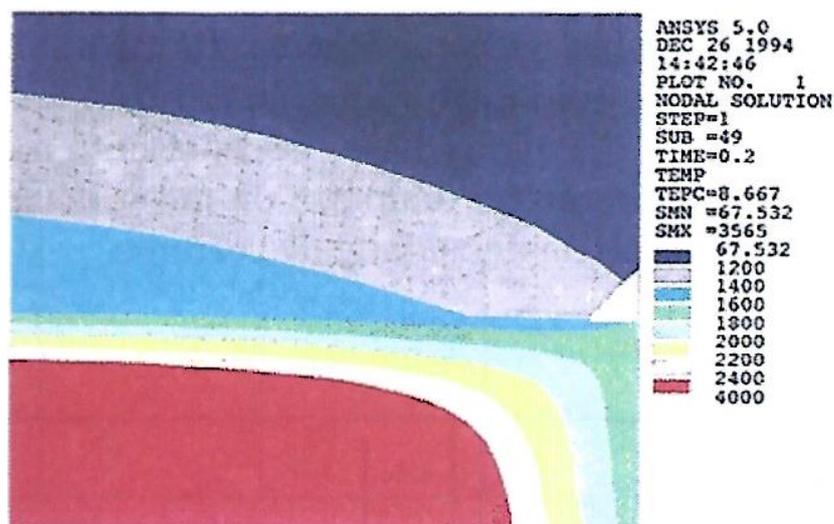


Figura 14 - Distribuição de temperatura (°F) am $t=0,2$ seg. – eletrodo sem cratera
 Fonte: BRANCO, 2019

4.3.1 Substituição dos eletrodos

A substituição dos eletrodos pura e simplesmente não é a única solução, pois esse componente tem influência direta nos custos de produção e na eficiência produtiva do processo uma vez que para sua substituição é necessária a parada total do equipamento e disponibilizado uma mão de obra para essa atividade, quando não há troca automática. O custo de um eletrodo é de US\$1,80 e a vida útil pode variar entre 800 e 12000 pontos aproximadamente.

4.3.2 Curva de compensação de corrente

As curvas de compensação são utilizadas para compensar a perda da densidade de corrente com o aumento diâmetro da face dos eletrodos. O valor da corrente aumenta conforme o número de pontos também aumenta. As 2 principais modalidades são: curva por passo de fresagem e curva da vida útil. Alguns fabricantes podem oferecer alguns recursos ou conceitos, mas que não divergem destes conceitos.

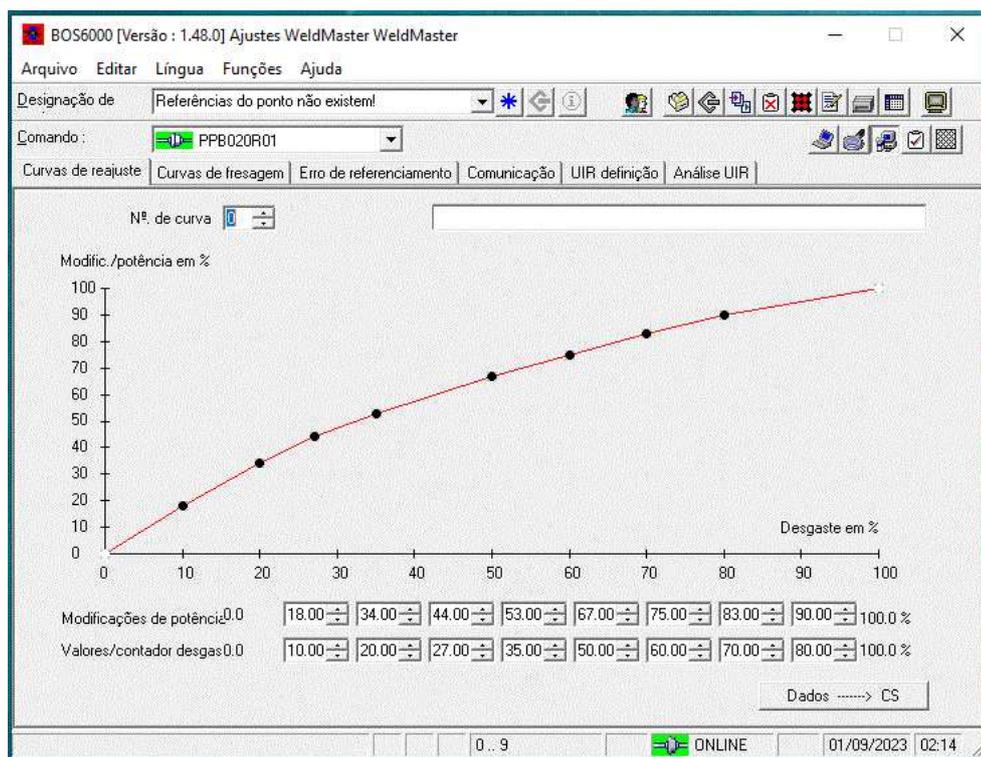


Figura 15 – Curva de compensação de corrente
Fonte: BOS 6000, 2023

O valor da corrente é aumentado até quando ainda se é possível garantir a qualidade do ponto de solda, pois se os níveis de corrente se elevarem demais haverá também um aumento do nível de desgaste que vai se acelerar a sua deformação.

4.4 Fresagem

Na seção 4.3 Desgaste de eletrodo, foram detalhados o comportamento e alterações nas características do eletrodo, em função das grandezas físicas aplicadas no processo RSW. Como a substituição do eletrodo por perda nos das características não é viável, se faz necessária retificar sua superfície periodicamente, com a finalidade de eliminar a camada de difusão e, principalmente retornar o perfil que garanta a densidade de corrente adequada. A fresagem consiste em penetrar o inserto de uma fresa, lâmina ou aresta de lima na capa do eletrodo a uma certa profundidade e enquanto esta ferramenta gira ou corre sobre a superfície do eletrodo retira material e retorna o eletrodo a forma inicial.

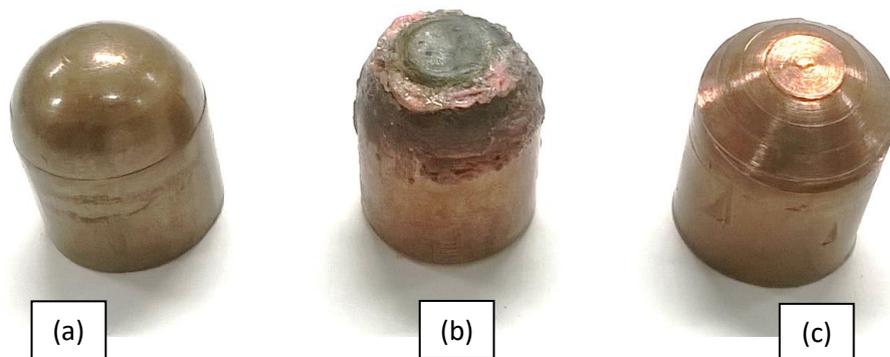


Figura 16 – (a)Eletrodo novo, (b)desgastado e (c)fresado
Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

4.4.1 Necessidade de fresar os eletrodos

A fresagem dos eletrodos se mostra necessária por alguns motivos:

- Aumenta o intervalo de troca de eletrodos;
- Reduz os custos produtivos;
- Aumenta a produtividade;
- Mantém os parâmetros de soldagem (força, tempo e corrente);
- Economiza energia;
- Reduz do consumo de eletrodos;

4.4.2 Curva de compensação de corrente na fresagem

Durante a vida útil dos eletrodos, quando utilizamos o processo de fresagem, são definidos períodos ou janelas de fresagens como são definidas entre uma quantidade de pontos que podem

variar entre, aproximadamente, 100 e 400 pontos, dependendo do processo ou do tipo de capa de eletrodo. Dentro da janela de fresagem há o desgaste do eletrodo equivalente a quantidade de pontos aplicados entre as fresagens, por isso a compensação da corrente se faz necessária para garantir a qualidade dos pontos.

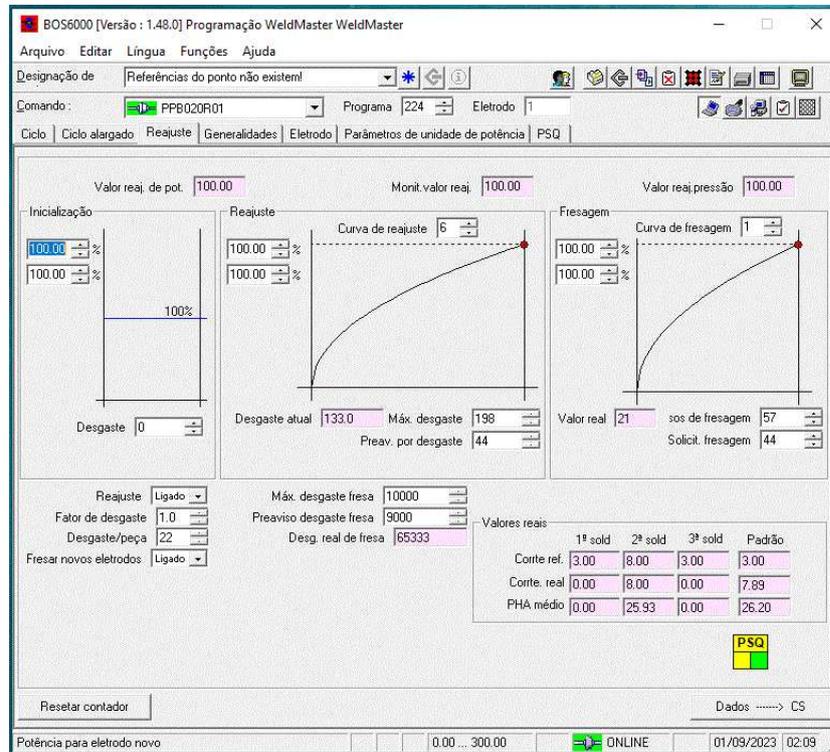


Figura 17 - Curva de compensação de corrente
Fonte: BOS 6000, 2023

4.4.3 Equipamentos

Os equipamentos para fresagem são definidos principalmente pelos tipos de fresagem, que pode ser manual ou automática e fora da linha/equipamento.

As limas desbastam o eletrodo, são de aço temperado e com saliências ásperas que cortam a superfície atacada. Favorecem criação de crateras, vales e picos na superfície da capa do eletrodo.



Figura 18 – Lima murça e bastarda

Fonte: <https://www.cofermeta.com.br/>, 2023

As catracas são equipamentos fresagem manual. O processo é parecido com uma chave catraca que trava o giro para um sentido e está sempre livre para o sentido contrário. A fresagem da superfície é uniforme e não gera crateras, vales e picos, mas há o risco de acidente pois o procedimento deve ser realizado com a pinças de solda fechada o que pode causar uma torção nos membros superiores, pois é a força aplicada pelos eletrodos sobre as lâminas que garante a execução do corte.



Figura 19 – Fresa manual de catraca
Fonte: Intermachynery, 2002

Fresadores que utilizam motores pneumáticos ou elétricos também podem ser utilizados de forma manual. Consiste na inserção de uma lâmina em um eixo transversal de uma máquina giratória (como uma lixadeira ou politriz) e é aplicado manualmente uma força da lâmina contra o eletrodo, e realizando assim a retifica e limpeza da face do componente.



Figura 20 - Fresa manual pneumática
Fonte: <https://bambutech.com/fresadoras/>, 2023

A fresa para processos automáticos são na sua maioria acionadas por motores elétricos e dispõem de alguns recursos que agregam mais confiabilidade ao processo. Nas fresadoras

automáticas, podem ser instalados sensores de giro da lâmina, que monitorará o movimento da lâmina, coletores de cavacos, monitores de corrente e temperatura do motor elétrico, soprador para dispersão das impurezas.

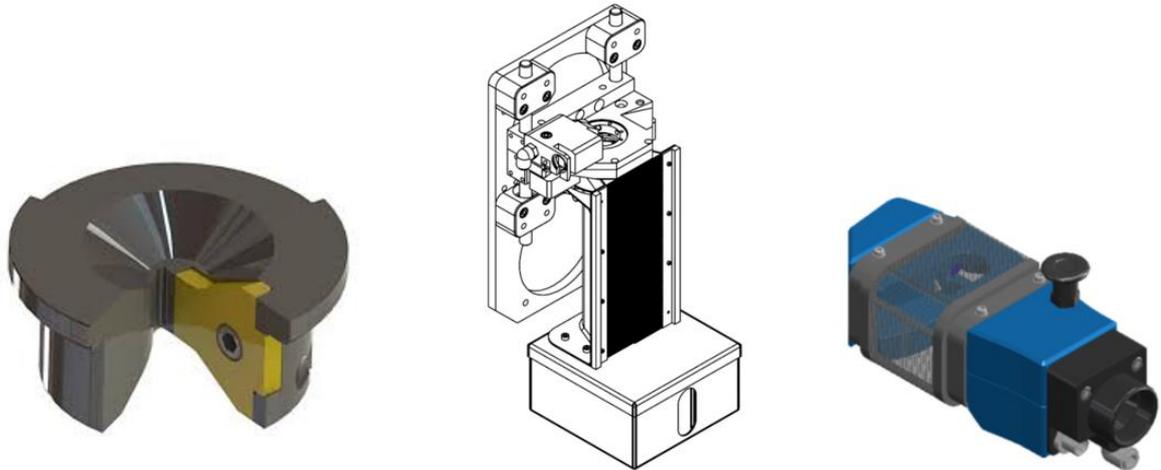


Figura 21 – Lâmina de fresa e coletores de cavaco
 Fonte: <https://kappen-dressers.com/pt/laminas-de-fresa/>, 2023

4.4.4 Como fresar

Para realizar a fresagem é necessário que haja, primeiro um processo para sinalização da necessidade de realizar a fresagem, levar o equipamento de corte até a capa de eletrodo, iniciar o processo de desbaste ou corte de forma automática ou manual e por fim cessar o processo de sinalização e iniciar um novo controle de contador ou inspeção para novo ciclo de fresagem.

4.5 Tipos de fresagem

Os tipos de fresagens são:

- Manual que utiliza lima e catraca;
- Semiautomática, que utiliza motor pneumático;
- Automática, que utiliza fresadores;

4.5.1 Fresagem manual

Processos de fresagem manuais consistem em realizar a retífica da superfície do eletrodo por uma pessoa, utilizando uma lima, catraca ou motor pneumático ou elétrico. Esse processo não

é muito eficaz pois depende, muitas das vezes da habilidade do profissional, podendo ocorrer falhas no padrão de corte, perfil do eletrodo ou ciclo de fresagem. Para manutenção do padrão e do perfil, a utilização dos motores pneumáticos ou elétricos é mais recomendado em relação a catraca ou à lima. Quanto ao ciclo de fresagem, ou seja, a quantidade de pontos para realização da fresagem, pode se contar o número de peças produzidas ou gerar um alarme que indique a hora de fresar.

4.5.1.1 Lima

As limas são utilizadas em processos mais antigos e rústicos e que não exigem um controle maior do processo, pois como mencionado acima a forma que é realizado o desbaste não garante o padrão no corte e há a produção de vales, crateras e imperfeições na superfície da capa do eletrodo.

4.5.1.2 Catraca

A catraca é um equipamento dedicado exclusivamente para processos manuais assim como a lima, porém criada para fresagem de eletrodos do processo RSW. Tem como característica fundamental a necessidade de que haja o fechamento dos eletrodos entre as faces da lâmina e que o operador realize o movimento de giro e carga. Porém deve se ressaltar, novamente, que há o risco de torção do membro enquanto é realizado este movimento de giro e carga.

O resultado da retífica da capa do eletrodo é satisfatória, pois a aplicação da força de forma homogenia e constante garante a um desbaste com perfil adequado e conforme o desenho da lâmina de corte.

4.5.2 Fresagem semiautomática

A fresagem semiautomática é definida pela ação do giro da lâmina ser produzida por um motor e não pela ação humana. A intervenção do operador é somente na aplicação da força da lâmina contra a capa de eletrodo

4.5.2.1 Pneumática

A fresadora pneumática utiliza um motor pneumático e seu funcionamento acontece pelo acionamento por ar pressurizado. Com um bom compressor e uma tubulação compatível com a bitola da rosca de entrada de ar do motor, o ar comprimido entra livre dentro da câmara e movimenta as palhetas do rotor, acionando o motor.

4.5.3 Fresagem fora do processo

A fresagem fora da linha ou offline consiste em retirar o eletrodo do equipamento, e realizar a fresagem em um equipamento dedicado a essa função. Para isso alguns parâmetros devem ser estabelecidos, como altura do eletrodo, espessura da parede de contato e coloração que pode indicar superaquecimento e por consequência o recozimento do cobre e sua perda de dureza.

4.5.4 Fresagem automática

Quando utilizamos processos de fresagem automáticos temos por regra um processo de soldagem também automatizado, seja com utilização de robôs, controladores lógicos programáveis (CLP's) etc. No processo automático de fresagem ao se atingir a quantidade de pontos para retifica, um sinal é enviado para o sistema autônomo (Robô ou CLP's) iniciar a rotina de fresagem, ou a rotina pode ser iniciada também por um contador de produção. Os equipamentos para realização da fresagem não tem grandes variação entre eles. Um problema em comparação ao processo manual, é que não se tem um controle do resultado da retifica da capa, pois não há contato visual com o eletrodo após cada ciclo de fresagem. Por esse motivo, processo de fresagem automático é o foco deste trabalho. A fresagem em processos automáticos utilizam equipamentos destinados para esse fim, seus principais fornecedores são: Kappen, Lutz e AMDP. Apesar dos diferentes fabricantes a estrutura, conceito e princípios são muito parecidos e não diferem tanto entre si. As fresadoras podem ser estáticas ou moveis. A fresadoras estáticas são utilizadas em robôs que têm uma rotina de movimentos que leva a pinça de solda até a fresadora, já as fresadoras moveis, são utilizadas em peças estáticas controladas por CLP's ou robôs que movimentam as peças com garras.



Figura 22 – Fresadoras automáticas
Fonte: <https://www.lutz-precision.com/>, 2023

A figura 22 mostra uma fresadora estática e uma fresadora móvel. Os itens que compõem a fresadora automática estática são haste suporte, os cabos de alimentação, do motor e sinais de sensores e comando, sistema de comando (reles e contadores), sistema de proteção (disjuntores termomagnéticos), válvulas pneumáticas, motor, redutor, sensor de giro, soprador, coletor reservatório de cavacos e o componente principal que a lâmina de corte. Para as fresadoras moveis acrescenta-se o sistema de movimentação, que são a haste móvel e suas articulações, cilindro ou motor que desloca o conjunto fresador, sensores de posicionamento e batentes.

A lâmina de fresa que é o componente responsável pelo corte e remoção do material da capa de eletrodo e alguns detalhes devem ser observados, perfil do eletrodo, número de facas, acesso espessura e fixação. O perfil do eletrodo deve ser respeitado, pois, um perfil diferente pode impossibilitar a fresagem correta ou danificar a capa de eletrodo.

Quando há a necessidade substituição por desgaste, a lâmina pode ser totalmente substituída ou em alguns modelos somente a sua parte cortante.

Nos processos automáticos os valores de força e tempo ou número de voltas da lâmina e janela de fresagem devem ser definidos conforme o tipo de eletrodo, equipamento de fresagem. Podemos aplicar valores de partida e depois adequar ao processo utilizado.

Para definir os parâmetros de fresagem se utiliza os valores descritos abaixo

VALORES DE PARTIDA PARA PARAMETROS DE FRESAGEM				
Diâmetro mm	Número de pontos	Força (kN)	Tempo (segundos)	Voltas
13 a 15	110	0,9	1,00	20
16 a 19	170	1,2	1,50	30
20 a 25	200	1,5	2,00	40

Tabela 2 - valores de partida para parâmetros de fresagem
Elaborado pelo autor

4.6 Acúmulo de impurezas na superfície do eletrodo

Durante o processo de soldagem, a extremidade o contato dos eletrodos com a chapa a ser soldada, além de se deformar também gera um acúmulo de impurezas em sua superfície. Esse acúmulo se chama camada de difusão e é formada basicamente por zinco em soldagem em chapas galvanizadas, traços ferro desprendido do processo, óleo e oxigênio. Na figura 24 é

possível verificar a estrutura da composição da camada de difusão de um eletrodo antes do processo de fresagem.

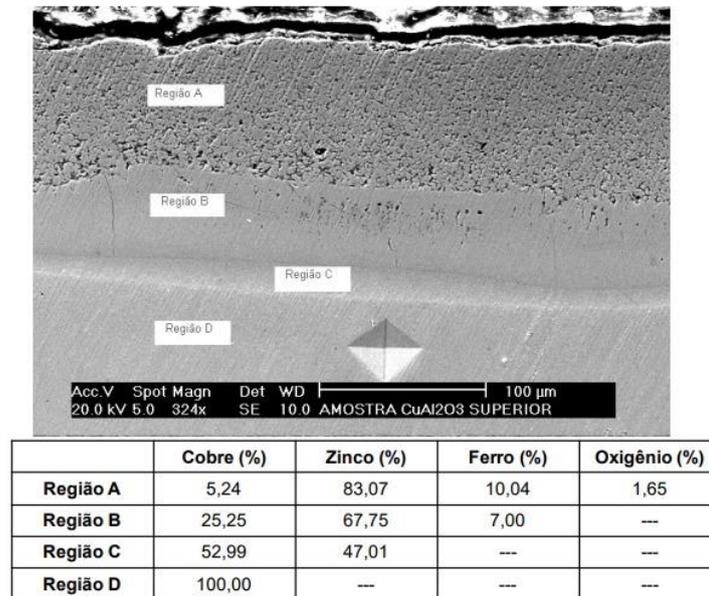


Figura 23 – Composição química nas quatro regiões da capa do eletrodo
Fonte: Branco, 2019

Na camada de difusão a resistência elétrica é maior e apesar de indesejada por elevar a temperatura na capa do eletrodo e em casos extremos isolar a passagem de corrente, isso permitirá, com recurso adequado, realizar a medição desta resistência e identificar a qualidade da fresagem. Para avaliar se haveria possibilidade de realizar a medição foram realizadas algumas medições em diferentes níveis de condições de limpeza da superfície de eletrodos retirados do processo. As medições foram realizadas utilizando um microhmímetro da marca Megabras, modelo MPH204ε. Durante o processo de medição algumas observações foram notadas.

Primeira observação: As medições não poderiam ser realizadas com os eletrodos instalados nos equipamentos em que eles trabalham (Pinças de solda), pois nas pinças existem outros circuitos e componentes (diodos, sonda de tensão bobinas) em paralelo que comprometeriam a leitura dos valores.

Segunda observação: A utilização de ponta de prova não seria possível, pois o equipamento dispõe apenas de garras e a aplicação dessas garras ou até mesmo de uma ponta adaptada, a

coleta dos valores ficaria concentrado em uma área muito restrita. Por isso utilizou-se 2 eletrodos face a face e com as garras presas a lateral dos eletrodos.

Terceira observação: A força aplicada entre os eletrodos durante a medição causa variação no valor da leitura. Foi instalado um dinamômetro na base do eletrodo e realizado a medição com a aplicação de uma força constante de 500N.

Após a aplicação dessas contramedidas e adequações foram realizadas as medições com as seguintes obtenções de valores. Figura 25.

Obs.: todas as medições foram realizadas utilizando 2 eletrodos sendo que 01 dos eletrodos é novo e a corrente de base foi de 80A

MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DA CAMADA DE DIFUSÃO				
Condição eletrodo 01	Condição eletrodo 02	Valor	Foto eletrodo 02	Foto medição
Novo	Novo	30 $\mu\Omega$		
Novo	Fresagem boa Sem camada de difusão	54 $\mu\Omega$		
Novo	Fresagem intermediaria Baixa camada de difusão	754 $\mu\Omega$		
Novo	Fresagem ruim Camada de difusão elevada	8.755m Ω		

Tabela 3 - Medição da resistência da camada de difusão

Obs.: todas as medições foram realizadas utilizando 2 eletrodos sendo que 01 dos eletrodos é novo e a corrente de base foi de 80 A

Fonte: Elaborado pelo autor

4.7 Recurso auto adaptativo

O Recurso auto adaptativo é uma evolução nos sistemas de medição, regulação e monitoramento dos processos de soldagem ponto por resistência. Até o desenvolvimento e a apresentação dos sistemas de soldagem com recurso auto adaptativo havia somente o controle da corrente de soldagem, medida através de um sensor de corrente. O recurso auto adaptativo verifica a resistência dinâmica do processo. Isto é possível utilizando, além do sensor de corrente já instalado no processo, instalando também um sensor da tensão. Pelo produto destas duas leituras se obtém o valor da resistência dinâmica do processo.

Por esse processo ser caracterizado pela quantidade de calor gerado por efeito Joule a equação mostra como existe a possibilidade de aumento ou redução da corrente e/ou tempo se necessário

$$Q = I^2 \times R \times t$$

Onde:

Q = calor gerado, por efeito de Joule

I = corrente de soldagem, ampere

R = resistência da peça de trabalho a ser produzida, ohms

t = duração da corrente, segundo

A corrente de soldadura (I) e a duração da corrente (t) são controlados pela alimentação de energia de soldagem por resistência.

Pequenas alterações na quantidade de tempo podem ter um efeito considerável sobre o calor de soldagem. Anteriormente os equipamentos tinham apenas do monitoramento de corrente, e o processo utilizava o a frequência de rede 50HZ ou 60HZ, porém o recurso auto adaptativo necessita que a frequência seja maior, para que haja uma quantidade maior de ciclos (no mesmo período) e assim possibilitar a correção, quando necessário, da quantidade de calor gerado. A frequência mais utilizada é de 1kHz. O recurso auto adaptativo utiliza a resistência dinâmica média coletada.

Alguns controles do auto adaptativo são: A extensão do tempo de soldagem, o controlador mantém a corrente de soldagem com a mesma energia de soldagem; respingos são identificados, compensação por desvio dos parâmetros do processo de referência causadas por qualquer interferência externa.

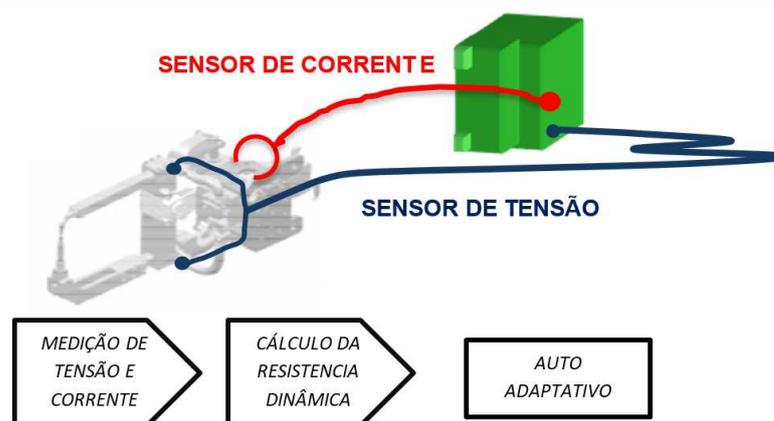


Figura 24 – Configuração de hardware sensores pinça e controlador de solda
 Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

4.7.1 Resistência dinâmica

O processo de soldagem ponto por resistência (RSW), como já mencionado, produz o calor necessário para proporcionar a fusão do aço e união das partes graças a dificuldade da circulação da corrente entre as partes a serem soldadas. Porém, a resistência oferecida por uma chapa de aço é baixa sendo é assim necessário elevados valores de corrente para que se obtenha fusão do aço. “A resistência elétrica de contato muda rapidamente durante o período de soldagem, portanto, é de natureza dinâmica” (BATISTA, 2015, p 20).

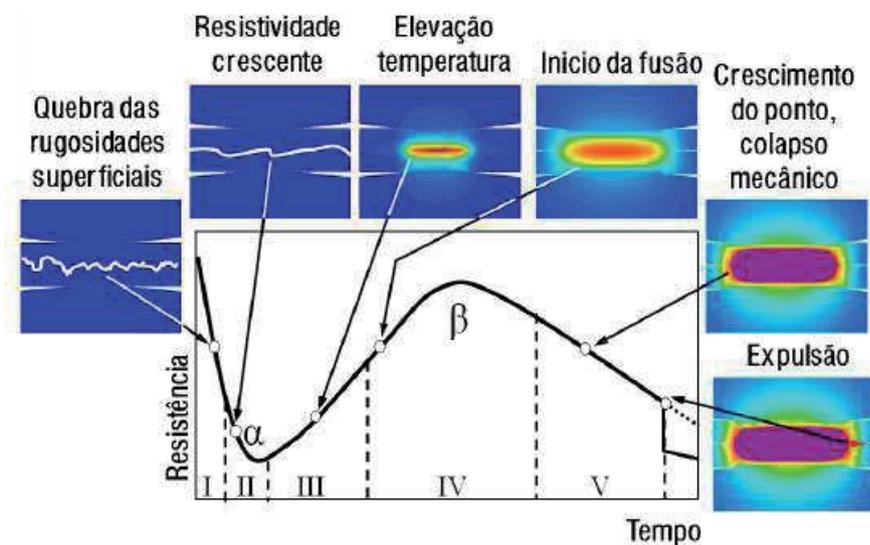


Figura 25 – O comportamento da resistência dinâmica
Fonte: BATISTA, 2015

A resistência elétrica de contato depende da superfície da chapa, propriedades termo físicas, rugosidade da superfície, resistência mecânica e a resistividade do material a ser soldado. Na figura são mostrados os principais estágios da resistência dinâmica durante a formação do ponto de solda. Seguem seus estágios, considerando a expulsão de material ou respingos

Estágio I - Eliminação de óxidos e/ou contaminações superficiais e quebra da rugosidade superficial nas junções e interfaces das chapas.

Estágio II - Contato entre metais, aquecimento concentrado na junta das chapas, resistência elétrica diminui com o aumento das áreas de contato e com aplicação da força e a resistividade do aço aumenta com a temperatura.

Estágio III - Aumenta a resistividade do aço com o aumento da temperatura; transição para o *estágio IV* na inflexão da curva e dá-se início à fusão.

Estágio IV - fusão por três mecanismos:

- 01 - Temperatura do material continua aumentando, aumentando a resistividade;
- 02 - Fusão na interface aumenta a área da seção transversal, diminuindo a resistência elétrica;
- 03 - A resistência mecânica do material diminui com o aumento da temperatura, colapso mecânico reduz a resistência, início do crescimento do ponto.

Estágio V - Ponto cresce e pode ocorrer o colapso mecânico e eventualmente há expulsão de material da junta ou respingos

4.7.2 Equipamentos

Para que o recurso auto adaptativo seja utilizado algumas exigências de hardware devem ser atendidas:

- Controlador de solda com fonte geradora de corrente com uma frequência de 1kHz;
- Transformador da pinça de solda com ponte retificadora de onda completa;
- Sensores de tensão e de corrente;
- Computador com aplicativo de gestão e controle de processo de soldagem;

4.7.3 Controlador de soldagem Bosch PSI

Na verificação da condição de fresagem utilizando o auto adaptativo são utilizados equipamentos fabricados pela Bosch, modelo PSI que são controladores de soldagem média frequência. O equipamento de soldagem de frequência média, serve para a soldagem por resistência mediante corrente.

O gráfico a seguir mostra o princípio de funcionamento da soldadura a média frequência.

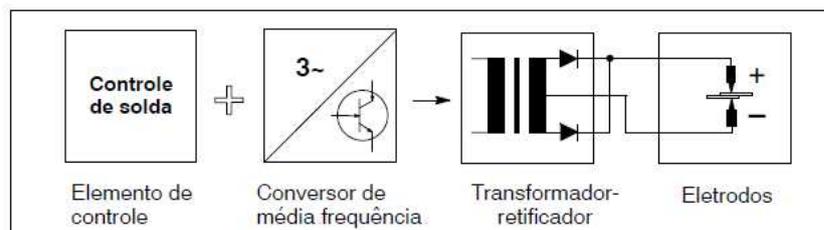


Figura 26 - Princípio de funcionamento da soldadura a média frequência
Fonte: Manual Conversor de frequência média PSI 6000, 2019

A corrente alternada da rede de força, de 50 Hz / 60 Hz, é retificada. A tensão contínua assim gerada liga uma ponte em H, transistorizada, alternadamente ao transformador de solda com uma frequência de 1 kHz. A corrente é retificada do lado secundário do transformador de solda. A intensidade da corrente de solda é definida pelo ajuste da largura dos impulsos. A corrente de solda é medida mediante sensor de corrente integrado no circuito secundário do

transformador de solda ou, nos transformadores de solda sem sensor de corrente por medição da corrente primária integrada no conversor de frequência média.

Os conversores de solda a frequência média PSI 6000 utilizam uma tensão de saída de média frequência e corrente contínua para soldar. Assim, o controle do processo de soldagem é melhor e mais rápido que os que utilizam a frequência de rede e a própria solda é mais uniforme. A percentagem de soldas sem defeitos e com mais qualidade é maior. A corrente de soldagem a frequência média é ciclada com 1 kHz. A regulagem da corrente é nitidamente mais rápida e precisa comparada com soldas a 60 Hz. A figura 29 mostra os gráficos de frequência, tensão e corrente de soldagem quando utiliza um inversor no processo de soldagem.

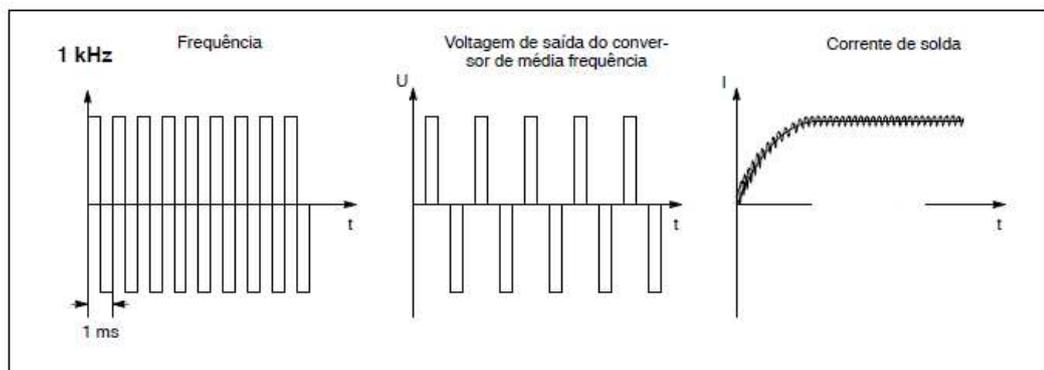


Figura 27 Formas de ondas, frequência, tensão e corrente de solda MFDC
Fonte: Manual Conversor de frequência média PSI 6000, 2019

4.7.3.1 PSQ

PSQ é o nome dado ao pacote técnico que viabiliza o recurso auto adaptativo. Como mencionado no capítulo 4.7.2 algumas exigências de hardware devem ser seguidas. Como o principal elemento que propicia o recurso auto adaptativo é a resistência dinâmica, os equipamentos devem ter condições de medir a resistência. Também alguns procedimentos devem ser seguidos para sua ativação e utilização e o pacote PSQ deve ser adquirido quando se pretende obter um controle maior no processo de RSW. Quando o recurso está disponível em um equipamento ou em um processo devemos antes de habilitarmos o controle auto adaptativo otimizar o máximo possível o processo de soldagem, se processo for automático condições como posicionamento, ângulo de aplicação, acoplamento, parâmetros (corrente, força e tempo), e fresagem devem realizar a soldagem com menor índice de defeitos possível, nos processos manuais devem ser reforçada os treinamentos do recurso auto adaptativo e a troca dos eletrodos devem ser realizadas nas janelas especificadas. Uma vez obtida uma solda mais próxima do

padrão de qualidade estabelecido e com mínimo possível de falhas no processo se inicia procedimento de habilitação de sistema de auto adaptativo. A primeira etapa é a coleta das curvas referentes a resistência dinâmica de cada ponto.

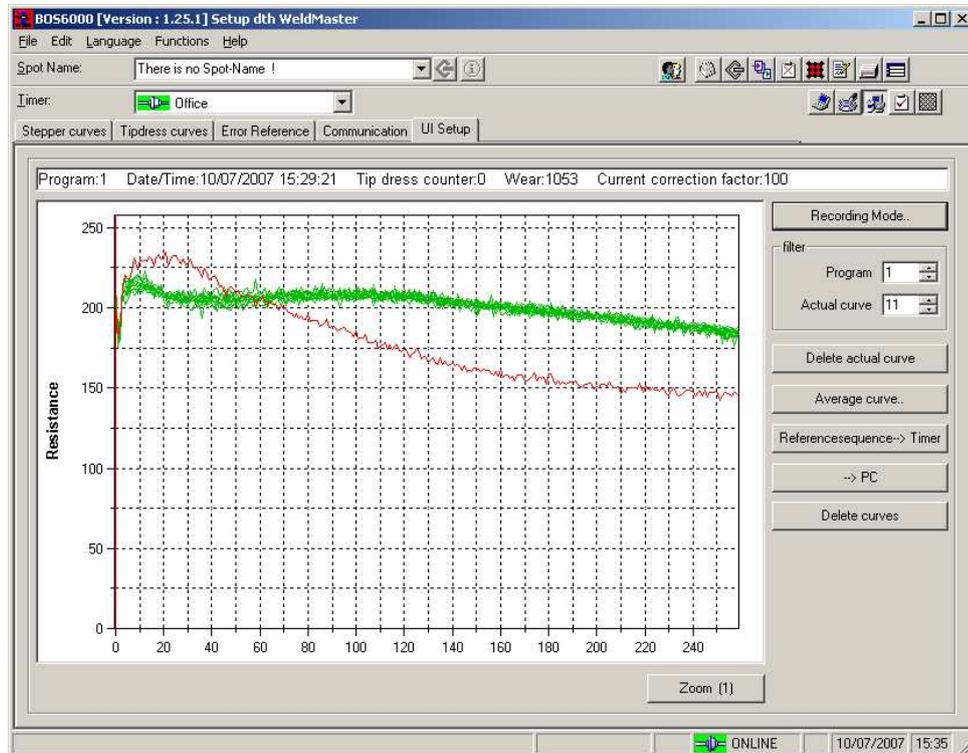


Figura 28 - Coleta da resistência dinâmica
Fonte: BOS 6000

Na figura 28 como são coletadas pelo aplicativo as curvas da resistência dinâmica. O número de curvas de referência coletadas vai depender da variação no processo e do volume produtivo. Após a coleta das curvas é realizada a eliminação das curvas que possivelmente saíram do padrão pré-definido e calculada a curva referência média. A coleta das curvas é necessária para que quando se ativa o prolongamento de tempo, o regulador se assegura de que o ponto de solda tem a mesma energia do que condição de referência.

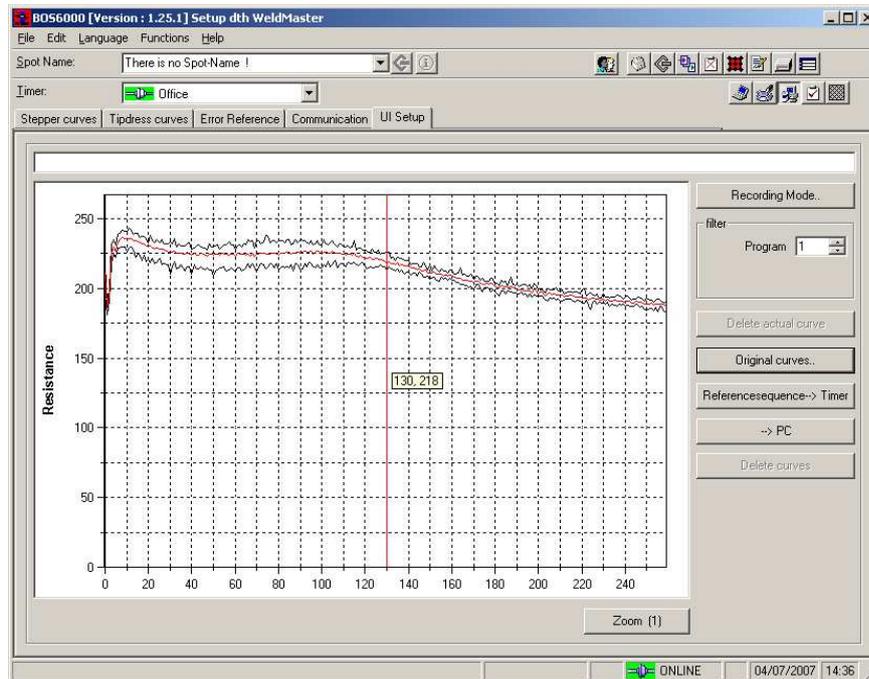


Figura 29 - Curva referência média
Fonte: BOS 6000

Após realizar a coleta e a definição da curva média (Figura 29), esta deve ser enviada ao banco de dados do computador para o controlador de soldagem e será a curva referência para regulação e monitoração da soldagem. O próximo passo será as definições de regulação e monitoração da soldagem. Na regulação serão definidos as proporções de variação de tempo de corrente de soldagem. Na monitoração definimos quais as grandezas deverão ser monitoradas e seus limites. Os parâmetros que podem ser monitorados são: Corrente, tensão, PHA, Tempo de soldagem, energia, resistência, potência, UIP e estabilidade de processo. Figura 30.

A monitoração pode ser utilizada por qualquer um dos itens destacados

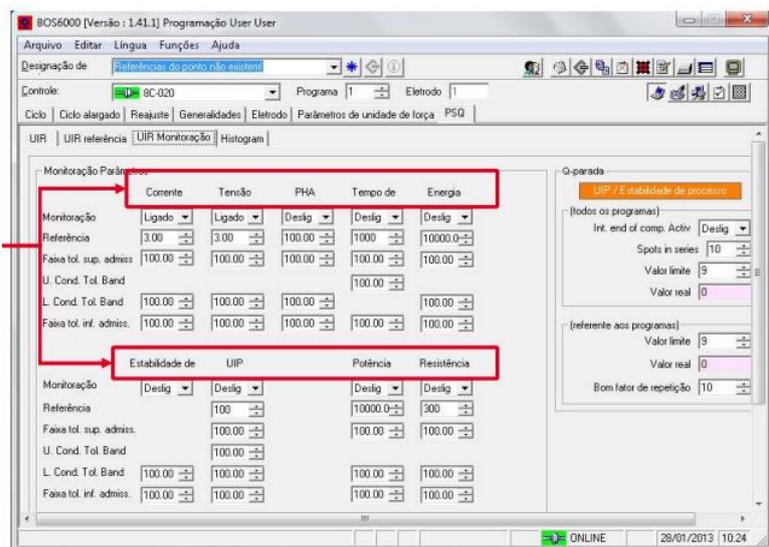
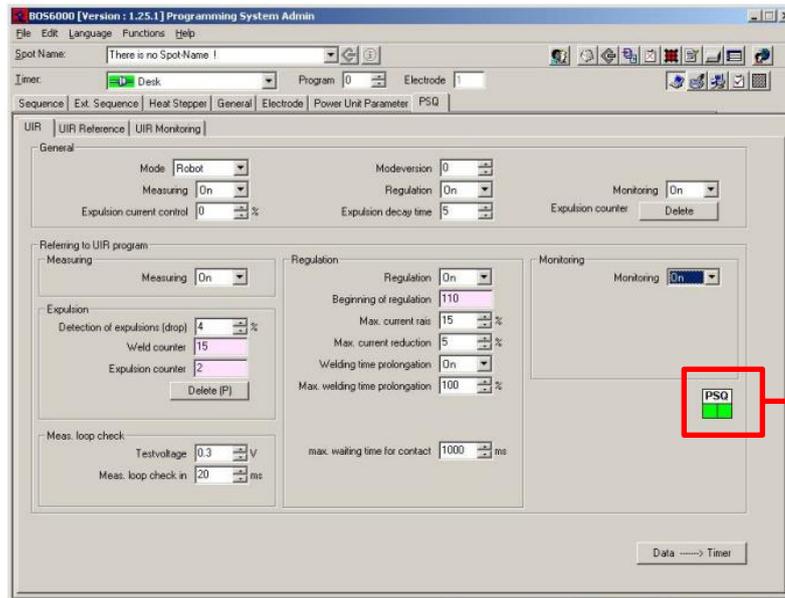


Figura 30 - Definição dos parâmetros monitorados
Fonte: BOS 6000

Após essas definições será ligado o auto adaptativo (Figura 31). Uma vez ligado o controlador de soldagem irá realizar a regulação, e se algum parâmetro sair dos parâmetros definidos na regulação, será gerado um alarme.



Ícone que indica que o sistema auto adaptativo está ligado

Figura 31 - Indicação do auto adaptativo ligado
Fonte: BOS 6000

Alguns recursos são disponibilizados com a utilização do auto adaptativo, como a geração de gráficos dos parâmetros para análise, número de pontos que geraram respingos (emissão de fagulhas), esse recurso é possível quando se identifica uma queda abrupta na resistência dinâmica. Esses recursos estão disponíveis mesmo que a regulação e a monitoração estejam desligadas, porém a medição deve estar ativa.

Nome de ponto	Designação...	Número Sabl...	Número ...	%Salpicos
WP 167541_00_0	DFS020R01	210	238	
WP 167519_00_0	DFS020R07	145	239	
WP 167565_00_0	DFS020R07	113	238	47,48
WP 167569_00_0	DFS020R07	113	239	47,28
WP 167553_00_0	DFS020R01	97	238	40,76
WP 167551_00_0	DFS020R01	67	238	28,15
WP 167549_00_0	DFS020R01	47	238	19,75
WP 167535_00_0	DFS020R07	45	238	18,91
WP 167543_00_0	DFS020R07	48	255	18,82
WP 167567_00_0	DFS020R07	43	238	18,07
WP 167593_00_0	DFS020R01	43	238	18,07
WP 167537_00_0	DFS020R07	39	238	16,39
WP 167533_00_0	DFS020R01	36	238	15,13
WP 167523_00_0	DFS020R07	33	238	13,87
WP 167539_00_0	DFS020R07	33	238	13,87
WP 167515_00_0	DFS020R07	27	239	11,30
WP 167529_00_0	DFS020R07	25	238	10,50
WP 167525_00_0	DFS020R07	17	238	7,14
WP 167595_00_0	DFS020R07	7	238	2,94
WP 167561_00_0	DFS020R01	7	238	2,94
WP 167599_00_0	DFS020R07	5	238	2,10
WP 167521_00_0	DFS020R01	3	238	1,26
WP 167527_00_0	DFS020R01	3	238	1,26
WP 167531_00_0	DFS020R01	3	238	1,26
WP 167545_00_0	DFS020R01	1	238	0,42

Figura 32 - Indicação de números de respingos
Fonte: BOS 6000

4.7.3.2 Aplicativo BOS 6000

BOS 6000 é o do aplicativo que faz a gestão do processo de soldagem. E com esse aplicativo que inserimos os valores de parâmetros de solda, tabela com nome de pontos (vincula o nome de um ponto a um programa), controle de vida útil de eletrodos e fresagem, calibração de força e corrente, realização de backups e downloads, protocolos de alteração de dados e falhas, e controle do auto adaptativo entre outros. O controle do auto adaptativo só é liberada a sua utilização no aplicativo BOS 6000 uma vez que o hardware for identificado no controlador de solda, seja por uma placa ou por um cartão de memória codificado. A figura 35 mostra os dispositivos de hardware que habilita a o controle auto adaptativo.



Figura 33 - Dispositivos PSQ para auto adaptativo
Fonte: Manual Conversor de frequência média PSI 6000, 2019

A instalação do aplicativo BOS 6000 pode ser para utilização em um computador central da linha ou em um notebook. Sua instalação é feita por meio de um programa fornecido pelo fabricante e pode ser configurado por um outro aplicativo (confgtool). O aplicativo de configuração é responsável por definir o nível de acesso, características de backup, layout de telas etc. O acesso do aplicativo ao controlador de solda pode se via rede ou porta 24V, mas isso depende do pacote que foi adquirido.

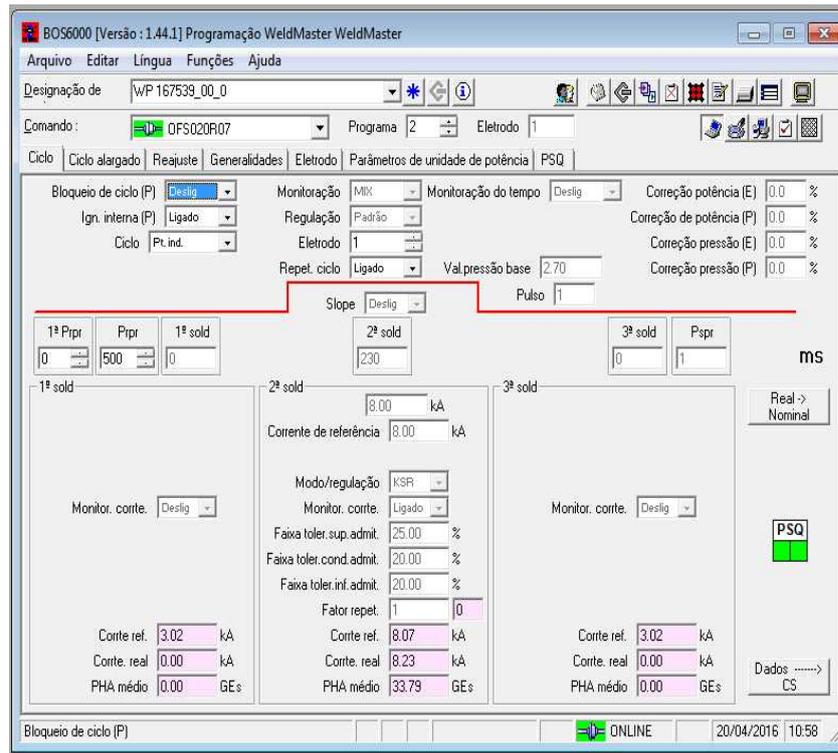


Figura 34 - Parâmetros de ciclo de solda
Fonte: BOS 6000, 2023

A tela principal (Figura 34) do aplicativo que é onde acessamos todas as funções disponíveis. Um detalhe importante que deve se ressaltar é que uma vez que habilitamos o controle auto adaptativo as alterações dos parâmetros já não serão permitidas, pois isso afetaria na referência que foi definida anteriormente.

4.8 Verificação da condição da fresagem

A verificação da condição de fresagem é uma necessidade fundamental para garantia da qualidade da solda e deve ter padrões e procedimentos definidos e seguidos, pois o não cumprimento dessas exigências pode levar a um prejuízo financeiro como retrabalhos e relacionado à segurança do produto.

4.8.1 Situação atual

Hoje as verificações das condições da fresa são realizadas basicamente por intervenções periódicas para inspeção ou após a troca dos eletrodos, porém esses métodos podem não ser tão eficazes pois existe a possibilidade de que o calendário não seja cumprido e que na troca de eletrodos o responsável faça a análise de forma inconsistente ou ineficaz por falta de padrão. Existe também um contador de fresagens feito pelo controlador de soldagem e definido pelo

usuário e inserido através do aplicativo. Essa alternativa, porém, depende da informação do fabricante, que muitas das vezes não é precisa, ou da realização de ensaios para acompanhar a vida útil da lâmina, pode levar tempo e sofrer variações uma vez, que a depender do material que está sendo usado, a camada de difusão formada prejudica o corte da lâmina e em sua vida útil. Sensores de visão que avaliam o surgimento e intensidade da camada de difusão foram desenvolvidos para também avaliar a condição do corte através dessa camada. O seu funcionamento é simples e seu resultado é eficaz, porém os custos de aquisição e implantação tornam a sua utilização menos atrativa. O princípio de seu funcionamento é usar como referência um eletrodo fresado com uma lâmina nova e sem camada de difusão e comparar as próximas fresagens até que o surgimento da camada de difusão indique que a lâmina já não corta com eficiência. Para isto a cada fresagem o robô deve ir até o sensor e verificar a existência desta camada. Para isso o programa deve conter uma rotina de aviso com alarme. Conforme mencionado o processo de verificação das condições de fresagem e corte da lâmina tem limitações seja por confiabilidade ou custo elevado.

4.8.2 Resultado esperado

O principal objetivo é eliminar as atividades periódica de inspeção da lâmina de fresa e usar o alarme gerado com indicação da condição de fresagem para substituição ou manutenção.

O alarme de fresagem ineficaz pode ser tratado da maneira mais oportuna e conforme a característica e necessidade produtiva. As opções podem ser: interrupção da produção, alarme sonoro, repetição do ciclo de fresagem até que a camada de difusão seja removida, indicativo luminoso, mensagem de texto em dispositivo IHM ou móvel ou somente emissão de relatório. O principal resultado é um controle dos processos de fresagem e um mapeamento da situação de cada lâmina e maior confiabilidade no processo de soldagem a ponto na área produtiva.

4.8.3 Implementação

O processo implementação passa pelo desafio de se obter as informações e recursos disponíveis, balizar as funcionalidades, ou seja, as condições que o recurso vai oferecer, onde será realizada a implementação e tempo de instalação. Nessa etapa foi necessário aumentar o contato com o corpo técnico responsável pelos equipamentos, robô, controlador e pinça de soldagem. Desta forma foi possível definir a característica dos programas, uma vez que não foi necessária nenhuma alteração ou inserção de hardware, o que reduziu o tempo, custo e dificuldade no processo de implementação.

Os recursos disponíveis no processo são:

- Robô Comau C5G, com aplicativo de soldagem – Permite a aplicação dos pontos de solda de forma autônoma, seleção de individual e cada programa, fresagem automática (Quando solicitada pelo contador de pontos)
- Pinça Comau Compact Gun, sensor de tensão, de corrente e Transformador de soldagem com ponte retificadora – Aplica pontos com corrente contínua, pode informar a corrente e a tensão ao controlador e assim calcular a resistência dinâmica e seu tamanho é menor se comparado as pinças de outros fabricantes.
- Controlador de soldagem Bosch PS6000 – Trabalha com inversor que modula a 1kHz, o que garante uma resposta e correção mais rápida, calcula a resistência dinâmica em tempo real tem controle auto adaptativo.
- Software gestão e controle do processo de soldagem BOS6000 – Interface de programação e configuração do controlador de solda.
- Fresadora de eletrodos com sensor de giros – Equipamento que é responsável pela fresagem dos eletrodos retorna ao robô o sinal de indica se está girando.

Algumas definições das condições de funcionamento devem ser feitas para que o recurso implantado seja o mais eficaz possível e sem prejuízo ao processo produtivo. Os recursos foram definidos da seguinte forma:

- Ao identificar que a fresagem é ineficaz um alarme visual deve ser exibido, porém que não pare ou interrompa a produção.
- Ao identificar que a fresagem não foi adequada, uma nova fresagem deve ser realizada.

O local que o projeto implementado foi onde faz a soldagem do assoalho do carro porque durante o processo de soldagem a formação da camada de difusão é mais rápida. Também há maior exigência mecânica dos eletrodos elevadas (Corrente, tempo de solda e força elevadas), pois existe o acúmulo de impurezas (óleo, poeira etc.) na superfície da peça e cobertura de proteção das chapas e por fim as espessuras de chapas são mais elevadas.

Com as condições estabelecidas e os recursos disponibilizados a implantação técnica se iniciou, com a avaliação das características e limites dos equipamentos, (1) *controlador de soldagem*, (2) *robô*, e (3) *pinça*.

- (1) Quem faz a gestão do sistema auto adaptativo é o controlador de solda, e graças ao recurso desenvolvido e disponibilizado, como auto adaptativo há a possibilidade desenvolver novas técnicas de soldagem. O recurso auto adaptativo faz a medição das correntes e tensão, regulação da corrente e tempo para a manutenção e a monitoração, que verifica se os valores estabelecidos foram aplicados na soldagem e, gera um alarme caso não sejam.

Um “ponto de solda” padrão foi definido, e foi feita a coleta da curva de resistência média, obtida deste ponto. Há de ressaltar que alguns procedimentos ou funcionalidades contidas no recurso auto adaptativo, para finalidade que pretendemos, foram adequados, pois a resistência que foi coletada da camada de difusão utilizando o microhmimetro foi $8.755\text{m}\Omega$, e a resistência medida com a pinça foi $22\mu\Omega$ e $80\mu\Omega$. Essa diferença é porque a pinça de soldagem aplicou a força de $2,5\text{kN}$ e a medição com o microhmimetro a força foi de $0,1\text{kN}$. Valor da resistência é inversamente proporcional a força aplicada. Uma outra questão está relacionada com a regulação, que tem a função de trazer os valores para o padrão de trabalho, conforme a referência média coletada anteriormente. Uma vez que a regulação atuasse, iria mascarar a resistência da camada de difusão que é o principal elemento para análise da fresagem. Neste ponto da implantação a primeira tentativa foi utilizando os mesmos procedimentos para implantação do sistema auto adaptativo no processo de solda, mas a coleta da curva característica da camada de difusão não foi possível pois há uma limitação do equipamento para curvas que não tenham a característica da resistência dinâmica quando no momento da soldagem em uma chapa e por isso gerava um erro ainda na coleta dos valores. Isso ocorre principalmente em equipamentos que tenham os braços das pinças pequenos. A regulação não pode ser utilizada pois iria mascarar o valor da resistência. A utilização da função monitoração é o controle que realmente nos interessa para implementação do projeto. As referências que monitoradas são: Corrente, Tensão, PHA, Tempo de solda, Estabilidade, UIP, Potência e Resistencia. Das referências disponíveis a utilização da monitoração da resistência foi a utilizada para gerar o alarme de identificação da camada de difusão.

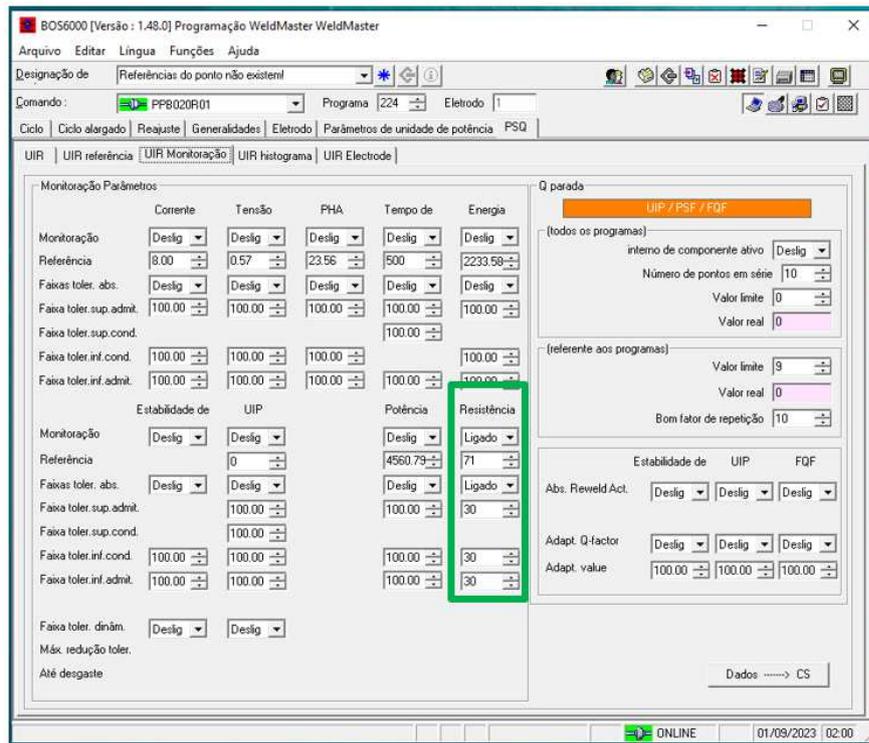


Figura 35 - Valor de da resistência referência a ser monitorada
Fonte: BOS 6000, 2023

Para isso foi necessário a coleta do valor da resistência do conjunto de solda do secundário transformador, diodos, barramentos, braços, porta eletrodos e eletrodo novo fresado e sem camada de difusão. Esse valor pode variar de acordo com as características de cada pinça, que podem ter braços de tamanho, formato e materiais deferentes. Na figura 37 podemos ver o exemplo de uma pinça aonde a impedância do conjunto do secundário e de $71\mu\Omega$, mas como dito anteriormente esse valor pode variar. Para coletar o valor do conjunto secundário que será utilizado como a referência da monitoração aplicamos um “ponto a vazio”, ou seja, a aplicação de um ponto sem chapas entre os eletrodos, e o equipamento realizou a medição sendo o resultado da leitura desse valor foi inserido no campo de resistência, na tela de monitoração considerando de sem camada de difusão.

Com o valor referência do eletrodo em condições de fresagem ideal definido, a definição da condição que define a ineficácia da fresagem foi realizada. Para isso foi necessário a coleta de várias amostras de eletrodos onde a fresagem não estava sendo realizada de forma satisfatória e houve acúmulo de camada de difusão. Importante dizer que foi usando o mesmo critério e parâmetro de solda que foi realizado a medição do eletrodo

em condições ideais de fresagem. Os parâmetros do programa têm os seguintes valores. Corrente 8,00kA, tempo 500ms, força 2,50kN.

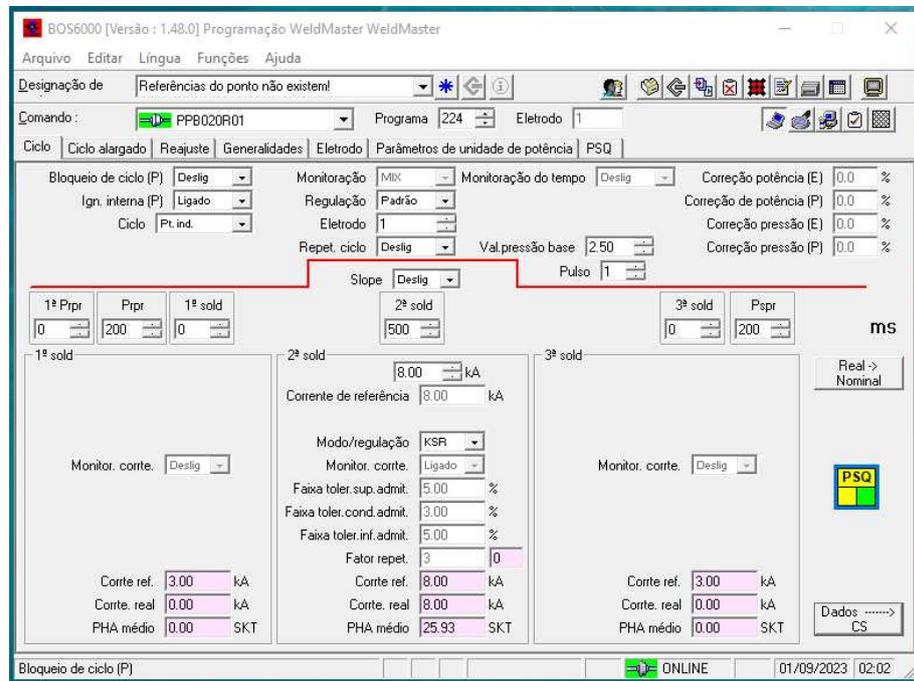


Figura 36 - Programa de solda

Fonte: BOS 6000, 2023

Os valores de resistência coletados nas amostras de eletrodos com fresagem ineficaz foram entre $22\mu\Omega$ e $80\mu\Omega$. Por isso o valor que foi considerado para geração de alarme de identificação de fresagem ineficaz, se definiu da seguinte forma: valor de impedância do secundário (de cada pinça) como referência, e a constante do valor da resistência da camada de difusão, $30\mu\Omega$ como limite de admissível.

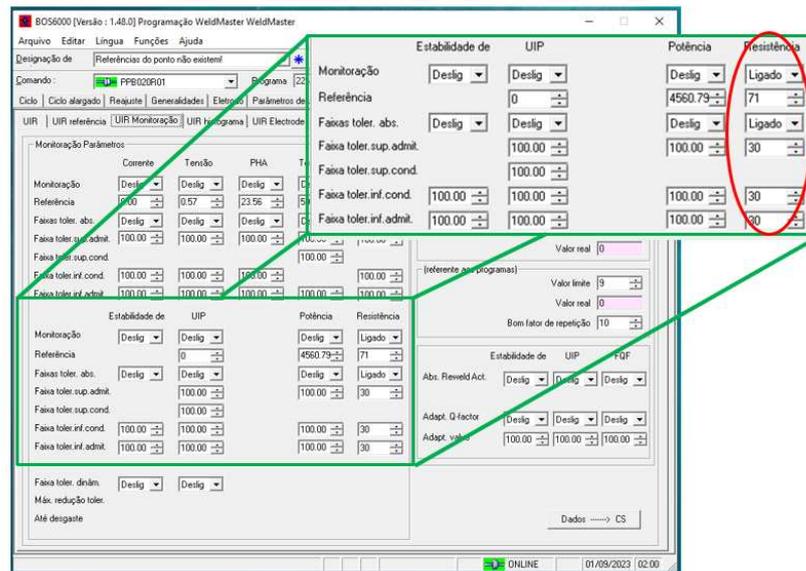


Figura 37 - Monitoração ligada

Fonte: BOS 6000, 2023

Foram definidas as referências, padrões e limites das condições para configuração do programa de que será utilizado pelo controlador de soldagem para identificar a ineficácia da fresagem e gerar o alarme. O programa escolhido foi o 224 por não ser utilizado na soldagem de nenhum ponto de solda de processo, os parâmetros inseridos são os mesmos utilizados para coleta dos valores de impedância do secundário e da camada de difusão Corrente 8,00kA, tempo 500ms, força 2,50kN, o valor de referência, será coletado individualmente para cada pinça e o valor da impedância da camada de difusão, para identificação da fresagem ineficaz a constante de $30\mu\Omega$ como máximo admissível, o controle de PSQ deve ser ligado a medição e a monitoração da resistência, somente para geração de alarme.

- (2) O robô precisou aplicar um “ponto de solda” no vazio, ou seja, a aplicação de um ponto sem chapas entre os eletrodos, para que a camada de difusão fosse medida. Como o foco do projeto é a verificação da eficácia do processo de fresagem a medição deve ser realizada após a realização da retifica do eletrodo. Por isso o ponto a vazio foi colocado imediatamente após a retifica.

```

93 tip_wear(1)
94
95 IF NOT Tip_resistense(224) THEN
96 MOVEFLY JOINT TO xtn0002x ADVANCE
97 MOVEFLY JOINT TO xtn0003x ADVANCE
98 -- setevp(1, 241)
99 --MOVE LINEAR TO dress_w1
00 MOVE LINEAR TO xtn0008X
01
02 Dress(1, 1, 1, FirstDressReq(1, 1))
03 MOVEFLY JOINT TO xtn0004x ADVANCE
04 MOVEFLY JOINT TO xtn0005x ADVANCE
05
06 ELSE
07 ENDIF

```

Figura 38 - Rotina de fresagem do robô
Fonte: C5G, 2023

A rotina “Tip_resistense” foi confeccionada para realizar a gestão da verificação da condição de fresagem. A rotina é executada dentro da rotina de fresagem de eletrodos “PWDRESS” (Figura 40) e excuta a seguinte sequência:

- Aplica um ponto de solda a vazio após a retifica;
- Identifica se houve falha por aumento da resistência da camada de difusão;
- Se for gerado falha, a mensagem de “FRESAGEM INEFICIENTE – TROCAR A FRESA” e uma nova retifica realizada;

```

35 ROUTINE Tip_resistense(spt_prog : INTEGER) : BOOLEAN
36 BEGIN
37
38 SELECT spt_prog OF
39
40 CASE (224):
41 result_spot := SpotCheck(spt_prog, 1, 1, FALSE, TRUE)
42 IF result_spot > 0 THEN -- falha de solda
43 ERR_POST(43243, 'FRESAGEM INEFICIENTE - TROCAR A FRESA ', 2, 16384)
44 RETURN(FALSE)
45 ENDIF
46
47 RETURN(TRUE)
48
49 CASE (244):

```

Figura 39 - Rotina para executar a medição
Fonte: C5G, 2023

A figura 41 mostra a estrutura interna da rotina, o ponto de solda a vazio é executado com a instrução “SpotCheck” que seleciona o programa, solicita a ignição (passagem da corrente de solda) mas não necessita do sinal de fim de solda (FK) realizada para ir para próxima linha, porém a verificação do grupo de sinais de falhas é apurada, e caso o resultado seja maior que 0 a mensagem e a nova retifica é realizada. Uma condição deve ser preservada, a de que somente uma nova retifica deve ser realizada após a identificação da fresagem ineficiente, pois caso essa condição não fosse mantida e o programa poderia entrar em um ciclo repetido e demasiadamente prolongado, pois só teria término quando a camada de difusão fosse totalmente retirada.

- (3) A pinça de solda é o equipamento, que por já ser preparada para trabalhar no regime de auto adaptação já preenchia todas as exigências necessárias para execução do projeto. Média frequência (1KHz), corrente contínua (Ponte retificadora com diodos) e voltímetro (sonda de tensão). As pinças utilizadas são todas automáticas que são mais econômicas se comparadas as utilizadas nos processos manuais. Uma pinça manual que usa transformador suspenso tem elevado consumo (elétrico), por causa das perdas na manutenção, trocas de cabo, temperatura e tamanho dos cabos. E as pinças com Trafo acoplado, por sua vez tem reduzido a capacidade produtiva por serem maiores e de difícil manuseio.

4.8.4 Resultado alcançado

Os resultados alcançados ainda não foram mensurados, porque não houve tempo para girar um ciclo completo de preventivas.

5 Conclusão

Os recursos que alguns novos equipamentos vêm oferecendo permite, hoje, lançar mão de novas práticas, conceitos e até mesmo procedimentos. A utilização do monitoramento e referenciamento da resistência dinâmica nos abriu possibilidades de controlar o processo RSW, como redução de respingos, característica da chapa, verificação das condições de fresagem (alvo deste estudo). A verificação da resistência neste processo foi possível com a inserção de um circuito de medição de tensão uma vez que a corrente já é monitorada na maioria dos equipamentos a mais tempo, que pela aplicação da lei de OHM obtém-se o valor da resistência,

podendo assim realizar a monitoração, controle e regulação do valor mais adequado para aplicação do ponto de solda.

A utilização da camada de difusão, para medir a condição da fresagem é possível e eficaz pois quando o eletrodo não é fresado corretamente também não é limpo totalmente e com a permanência da camada sobre a superfície do eletrodo a resistência elétrica de todo circuito aumenta e varia entre $22\mu\Omega$ e $80\mu\Omega$ permitindo.

O alarme gerado no aplicativo de solda não bloqueia o funcionamento do equipamento pois como a instrução inserida na rotina do robô “SpotCheck” não necessita da confirmação da soldagem pronta. Isso permite que o processo produtivo não seja interrompido. Por isso a escolha e a confecção do programa ou sistema de alarme é fundamental para melhor aproveitamento do recurso.

Nesta monografia foram exibidos as características do processo de solda ponto por resistência e mostrado como o novo recurso disponibilizado pelo equipamento pode suprimir a limitação para identificar a qualidade da fresagem, que é um problema crônico para soldagem a ponto por resistência.

REFERÊNCIAS

- BATISTA, Marcio. **Soldagem a ponto por resistência na indústria automotiva**: estudo da soldabilidade de chapas de aço, utilizando corrente alternada e corrente contínua de média frequência. [S.l.]: Novas Edições Acadêmicas, 2015. 224 p.
- BOSQUILHA, Alessandra; PELEGRINI, Márcio. **Mini manual compacto de física**: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Editora Rideel, 2003. 367 p.
- BRANCO, Hideraldo. **Soldagem por resistência**: máquinas, processos e aplicações. Curitiba: Editora MEPE, 2019. 150 p.
- GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2010. 184 p.
- Manual conversor de frequência média PSI 6000, 2019. 116 p.
- MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo José; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Soldagem**: fundamentos e tecnologia. 2. ed. rev. e ampl. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007. 362 p.
- SANTOS, Flávio Bilha dos. **Estudo da eficiência do processo de soldagem de pontos por resistência elétrica utilizado na indústria automobilística**. 2006. 104 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.
- WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; MELLO, Fábio Décourt Homem de. (Coord.). **Soldagem**: processos e metalurgia. 6. reimp. São Paulo: Edgard Blücher, 2008. 504 p.