

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

INFLUÊNCIAS DA TEMPERATURA E DA VAZÃO DA ÁGUA NO RESFRIAMENTO DOS
ELETRODOS UTILIZADOS NO PROCESSO DE SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA

por

JOÃO PEDRO SUDATI ARDUIN

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, novembro de 2013



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

INFLUÊNCIAS DA TEMPERATURA E DA VAZÃO DA ÁGUA NO RESFRIAMENTO DO
PROCESSO DE SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA

por

JOÃO PEDRO SUDATI ARDUIN

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Thamy Cristina Hayashi
Coordenadora do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Projeto e Fabricação**

Orientador: Prof. José Antônio E. Mazzaferro

Comissão de Avaliação:

Prof. Arnaldo Ruben Gonzalez

Prof. Cintia C. Petry Mazzaferro

Prof. Rodrigo Rossi

Porto Alegre, 14 de novembro de 2013

AGRADECIMENTOS

Douglas Tarifa Picon, pelo auxílio na criação do programa para o robô ABB IRB6640;

Frederico Ferreira da Silva, pelo auxílio na parametrização do equipamento SERRA MFC3007;

Gabriel Fraga Marcelino, pelo auxílio com fotos e macrografias;

José Antônio E. Mazzaferro, pelo apoio como orientador deste trabalho;

Renato Bruzzo pelo material, referente as vazões no interior do eletrodo;

Vinicius Rios e Vinicius Salvagni, pelas ajudas com material bibliográfico.

ARDUIN, J. P. S. **Influências da Temperatura e da Vazão da Água no Resfriamento dos Eletrodos Utilizados no Processo de Soldagem por Resistência Elétrica**, 2013, 23 pg. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo principal de verificar a possibilidade de implementação de um sistema automático de controle da vazão e temperatura da água que circula no sistema de resfriamento das pinças de solda presentes na empresa Gestamp Gravataí. Através de testes experimentais utilizando equipamentos e instrumentos de medição presentes na empresa, foi possível chegar a resultados que mostram como os eletrodos se comportam ao longo do processo de solda por resistência para diversos valores de vazão e temperatura da água de resfriamento. Também foram analisadas macrografias dos pontos de solda realizados durante os testes. Os resultados apontam para a possibilidade de implementação de um sistema automático que mantenha os ventiladores das torres de resfriamento desligados quando a temperatura da água está abaixo de um valor crítico, reduzindo gastos com energia ao longo do ano. Os resultados também apontam que não há necessidade de implementar um sistema para controle da vazão pois os valores aplicados atualmente no sistema são adequados.

PALAVRAS-CHAVE: Soldagem a Ponto, Sistema de Resfriamento, Eletrodo

ARDUIN, J. P. S. **Influences of Temperature and Flow of Water in the Cooling of the Electrodes applied in Spot Welding Process**, 2013, 23 pg. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

ABSTRACT

This study was conducted with the main objective of verifying the possibility of implementing a welding guns' automatic system for the control of cooling water flow and temperature. The experimental tests were performed in the company Gestamp Gravataí using company's equipment and measuring instruments, so it was possible to achieve results that show how the electrodes behave during the spot welding process for various values of cooling water flow and temperature. The spot welds macrographs were also analyzed. The results indicate the possibility of implementing an automatic system to keep the cooling towers fans off when the water temperature is under a critical value, reducing energy costs throughout the year. The results also indicate that there is no need to implement an water flow control system because the values currently used are adequate.

KEYWORDS: Spot Welding, Cooling System, electrodes.

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	1
PRINCÍPIOS DE OPERAÇÃO DA SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA.....	1
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA.....	1
CICLO DE SOLDAGEM E PARÂMETROS.....	3
CIRCUITOS DERIVADOS.....	4
SOLDABILIDADE DOS MATERIAIS.....	4
PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE.....	4
QUALIDADE DA SOLDA.....	4
3. METODOLOGIA	5
ESCOLHA DOS EQUIPAMENTOS.....	5
ESCOLHA DOS MEIOS DE MEDIÇÃO E DE ANÁLISE.....	6
INCERTEZAS ASSOCIADAS AOS EQUIPAMENTOS.....	8
DEFINIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS CORPOS DE PROVA.....	8
ESCOLHA E VALIDAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SOLDA.....	9
DEFINIÇÃO DA GAMA DE TEMPERATURAS E VAZÕES A SEREM TESTADAS.....	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	11
INFLUÊNCIA DA VAZÃO DA ÁGUA.....	11
INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DA ÁGUA.....	13
TESTES DE ARRANCAMENTO.....	14
5. CONCLUSÕES	14
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
Apêndice I	16
Apêndice II	17
Anexo I.....	18

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho abordará o processo de soldagem por resistência, com foco no sistema de resfriamento por circulação de água no interior do eletrodo. O objetivo do trabalho é identificar a influência que a variação da temperatura e da vazão do fluxo de água irão ocasionar na qualidade do ponto de solda e na deformação do eletrodo. Os resultados foram obtidos de forma experimental utilizando chapas de aço galvanizadas utilizadas na estampagem de componentes estruturais automotivos. Os testes experimentais foram realizados na empresa Gestamp, localizada no Complexo Industrial Automotivo de Gravataí, onde o autor trabalha.

O conhecimento sobre a faixa de temperaturas e vazões aceitáveis para o fluxo de água no interior do eletrodo implica na possibilidade de implementar um controle automático sobre o sistema de arrefecimento, permitindo assim que o consumo de energia elétrica na empresa seja reduzido.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

PRINCÍPIOS DE OPERAÇÃO DA SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA:

A soldagem por resistência elétrica compreende processos nos quais a união de peças metálicas é produzida em superfícies sobrepostas ou em contato topo a topo, pelo calor gerado na junta através da resistência à passagem de uma corrente elétrica (Efeito Joule) e pela aplicação de pressão, ocorre fusão na superfície [Marques, P.V., 1991].

Machado, 1996, observou que a resistência elétrica na interface entre as peças se situa geralmente no intervalo de 50 a 500 $\mu\Omega$ - mas pode ser tão baixa quanto 20 $\mu\Omega$ para o alumínio, por exemplo.

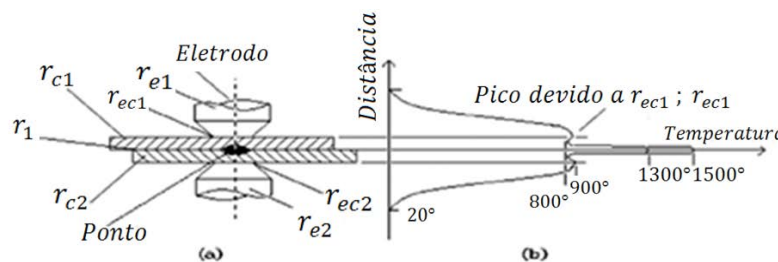


Figura 2.1 – (a) Resistências envolvidas no processo; (b) Distribuição da Temperatura em torno do ponto [Adaptado de Machado, 1996].

A Figura 2.1 (a) mostra $r_{e1,2}$ que são as resistências dos eletrodos; $r_{ec1,2}$ são as resistências de contato entre os eletrodos; r_i a resistência na interface entre as peças, ou resistência de contato; e $r_{c1,2}$ as resistências das peças.

Analisando a Figura 2.1 (b) é possível ver que as regiões com picos de elevação nas temperaturas são as áreas de contato entre as peças e as regiões de contato entre peça e eletrodo.

EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA:

DISPOSITIVO MECÂNICO:

O dispositivo mecânico pode ser do tipo estacionário ou portátil (pinça de solda). Dispositivos estacionários têm o movimento do eletrodo acionado geralmente por pedal, enquanto os portáteis comumente são acionados por motor ou cilindro [Machado, 1996].

As pinças do tipo portáteis podem ser acionadas manualmente ou acopladas a um robô. Uma pinça é caracterizada como um dispositivo mecânico de solda por resistência que

aplica força e corrente elétrica para gerar uma união na montagem. As pinças acionadas por servo-motor são preferíveis frente às pneumáticas e hidráulicas, pois atingem a força de soldagem num intervalo de tempo menor. [Norma GM, 2010]. Quanto à geometria, atualmente são divididas em três principais tipos, conforme a Figura 2.2.

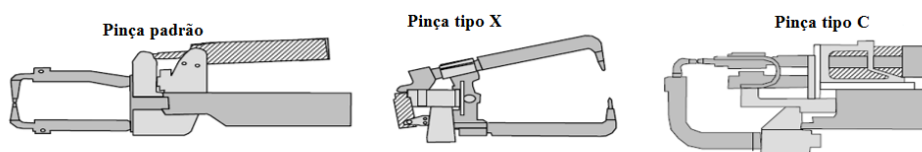


Figura 2.2 – Configurações típicas das pinças de solda.

FONTE CONTROLADORA:

Segundo a AWS, 2007, o equipamento de solda é dividido em três principais partes, o circuito elétrico, o controlador e o dispositivo mecânico (já abordado no tópico anterior). O circuito elétrico é responsável por transformar alta tensão com a baixa corrente provinda da rede em baixa tensão com alta corrente necessária para executar o processo de solda. O controlador é responsável por controlar os parâmetros de solda durante o processo e sinalizar quando algum parâmetro estiver fora dos limites de tolerâncias.

Consta na norma GM, 2010, que atualmente os circuitos elétricos são divididos em dois principais tipos. As fontes AC fornecem corrente alternada na mesma frequência da rede onde estão instaladas (50 Hz ou 60 Hz) e o tempo de soldagem é controlado em múltiplos do tempo total de um ciclo da corrente. O outro tipo são as fontes HF-DC e as MF-DC (Corrente Direta em Altas e Médias Frequências) que retificam a corrente da rede e a fornecem em ondas quadradas normalmente entre as frequências de 400 Hz e 2000 Hz. Nas fontes HF-DC o tempo de soldagem é controlado em milissegundos.

Outro tipo de circuito de solda, menos utilizado, é o que armazena a energia. Este trabalha com banco de capacitores e acumula energia da rede durante um período de tempo longo para descarregar esta energia em um curto intervalo de tempo, atingindo a corrente necessária para alcançar a fusão e união das duas peças [AWS, 2007].

ELETRODO:

O eletrodo, componente que mantém contato com a peça, deve possuir alta condutividade térmica e elétrica, baixa resistência de contato e grande resistência mecânica e ao desgaste nas temperaturas de trabalho. Existem diversos materiais indicados para fabricação dos eletrodos conforme cada tipo de material a ser soldado. Para soldagem de aços baixo carbono, com alta frequência de aplicação dos pontos de solda, são largamente empregadas as ligas de cobre-zircônio para fabricação dos eletrodos, devido a apresentarem maior resistência em altas temperaturas [Machado, 1996].

Segundo a AWS, 2007, a temperatura da face (área de contato com a peça) é o fator mais importante sobre a vida em serviço do eletrodo. A forma do eletrodo usualmente é determinada com base no material e espessura da chapa a ser soldada.

A capa do eletrodo, extremidade substituível que mantém contato com a peça, deve ser fresada após um determinado número de pontos executados para que a geometria do eletrodo seja mantida. Em pinças robotizadas, comumente a fresagem é feita de forma automática.

Devido ao desgaste na ponta do eletrodo, haverá um progressivo aumento na área de contato com a peça. Por outro lado, quando a ponta é fresada manualmente, pode haver diminuição excessiva da área de contato do eletrodo com a peça. Ambas as situações causam perdas no processo. No primeiro caso, haverá diminuição da densidade superficial de corrente, diminuindo o rendimento do processo. No segundo, haverá aumento da densidade superficial de corrente acarretando sobreaquecimento do eletrodo e diminuição de sua vida-útil [Wainer et al., 1992].

SISTEMA DE RESFRIAMENTO DOS ELETRODOS:

Segundo Wainer et al., 1992, deve-se dar especial atenção a distribuição de temperaturas nos eletrodos, refrigerados a água. A refrigeração do eletrodo aliada à condução de calor pelas chapas são as grandes responsáveis pela diminuição no rendimento do processo. A Figura 2.3 representa uma vista em corte do eletrodo, ilustrando o sistema de resfriamento. A distância entre o tubo e a ponta (capa) do eletrodo é muito importante para o resfriamento do mesmo.

A vazão de água recomendada para os eletrodos deve ser de no mínimo 4 litros por minuto (L/min) para chapas de aço sem revestimento e de 6 L/min para chapas com revestimento. A temperatura da água deve ser controlada na entrada do sistema de resfriamento para que não haja influência no processo [Powel et al., 1996]. Segundo o manual de instruções das pinças de solda modelo 3G fabricadas pela empresa ARO Welding Technologies, essa temperatura deve estar entre 18 e 30° C.

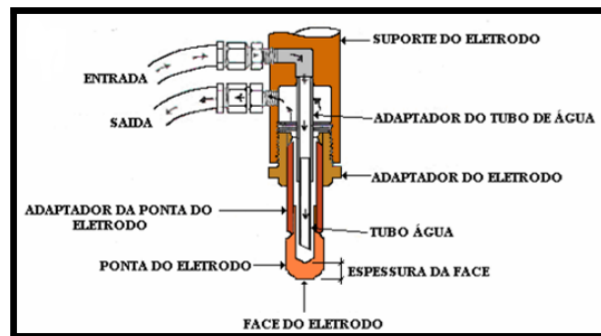


Figura 2.3 – Sistema de resfriamento do eletrodo. [Adaptado da norma GM, 2010 e Intermachinery, 2002].

CICLO DE SOLDAGEM E PARÂMETROS:

A soldagem por resistência elétrica pode ser executada utilizando um único impulso ou múltiplos impulsos na sequência. A sequência de impulsos é utilizada para controlar a taxa de aquecimento durante o processo [AWS, 2007].

Na figura 2.4 é possível identificar os principais parâmetros envolvidos no processo de solda por resistência utilizando múltiplos impulsos e circuito elétrico HF-DC.

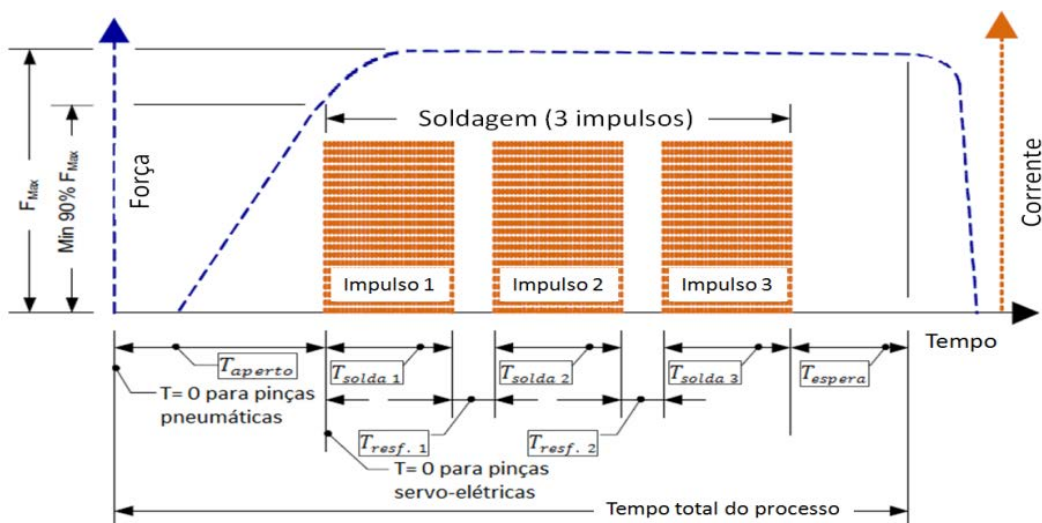


Figura 2.4 – Comportamento da força e da corrente ao longo do processo de soldagem por resistência [Adaptado da norma GM, 2010].

Segundo a AWS, 2007, a corrente tem um efeito maior na geração de calor comparada a resistência e ao tempo. Uma excessiva densidade de corrente irá ocasionar expulsão de material durante o processo, trincas e diminuição da resistência mecânica do ponto.

Com a adequada densidade de corrente, um tempo mínimo é necessário para alcançar a temperatura de fusão durante o processo [AWS, 2007]. O tempo de soldagem é importante no rendimento da operação. Wainer, et al., 1992, mostram que as perdas de calor são máximas no início da soldagem, mas o valor total das perdas é proporcional a raiz quadrada do tempo de soldagem.

A resistência de contato é influenciada diretamente pela pressão exercida pela pinça. Se forem observadas em microescala, as superfícies das peças são compostas por uma série de picos e vales. Com uma baixa pressão durante o processo, apenas os picos estarão em contato e assim a resistência de contato será afetada [Machado, I.G., 1996].

CIRCUITOS DERIVADOS:

Um efeito importante relatado por Emílio et al., 1992, é a formação de circuitos derivados, também conhecido como efeito shunt [AWS, 2007]. Estes surgem quando a resistência de contato entre duas peças é muito grande e então parte da corrente é desviada por um percurso onde a resistência é menor. O principal exemplo são pontos de solda adjacentes. Caso não seja possível aumentar o espaçamento entre os pontos, será necessário aumentar a corrente de soldagem para compensar as perdas.

SOLDABILIDADE DOS MATERIAIS:

Soldabilidade consiste na facilidade que uma determinada liga apresenta para ser soldada por resistência. A soldabilidade do aço de baixo carbono ($C < 0,20\%$) é muito boa pois o mesmo não apresenta grandes variações na dureza após a soldagem. Já os aços de médio e alto carbono e os aços inoxidáveis apresentam menor nível de soldabilidade devido à maior temperabilidade. Pode ser necessário, nesses casos, a utilização de ciclos com pré e pós-aquecimento [Wainer, et al., 1992].

Segundo Machado, 1996, ao soldar chapas com recobrimento de zinco, uma maior corrente deverá ser utilizada devido ao grande desvio da mesma, resultando numa menor vida do eletrodo devido ao superaquecimento.

PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE:

Na soldagem por resistência, a condição da superfície deve ser controlada fortemente para garantir a qualidade da união soldada. A superfície deve estar livre de tinta, poeira, camadas de óxido, camadas espessas de óleo ou graxas. O óleo protetivo normalmente utilizado no transporte de chapas de aço carbono sem recobrimento não traz problemas para o processo de solda por resistência.

QUALIDADE DA SOLDA:

Comumente a qualidade da solda por resistência é analisada com base em dois itens, a macrografia e o teste de arrancamento.

O teste de arrancamento serve para determinar o diâmetro do ponto de solda e o modo pelo qual a fratura ocorre na região. É o teste mais utilizado na indústria devido a sua praticidade, porém ele não é suficiente e deve acompanhar o estudo da macrografia. No Anexo I é possível verificar a metodologia pela qual o teste é realizado.

Para analisar a macrografia de um ponto de solda, deve-se realizar um corte transversal que secciona o ponto exatamente em sua linha central, assim poderá ser dimensionado o diâmetro da região onde houve a fusão com exatidão. Após o corte, é necessária a realização de ataque químico, assim haverá contraste entre as regiões que

sofreram fusão e as demais regiões do metal base. Este contraste é primordial para a análise do ponto de solda.

O diâmetro da região onde ocorre a fusão deve ter no mínimo 3,5 a 4 vezes a espessura da chapa externa mais fina da união.

No sentido da espessura da chapa, a região onde há fusão no ponto de solda deve ser de no mínimo 20% da espessura e de no máximo 80%. Na Figura 2.4 (a) é possível observar o resultado da soldagem com penetração excessiva, normal e insuficiente.

A Figura 2.4 (b) ilustra duas análises macrográficas. A análise I apresenta uma cavidade pequena no interior do ponto de solda. Essas cavidades são comumente encontradas na soldagem de chapas com espessuras na faixa de 1,0 mm e geralmente não são um fator que gera a reprovação do ponto de solda por falta de qualidade. A análise II mostra uma grande cavidade ocasionada pela expulsão de material durante o ciclo de soldagem, muito provavelmente por aplicação excessiva de corrente ou tempo demasiadamente longo do processo. A cavidade maior é determinante para a reprovação do ponto de solda [AWS, 2001].

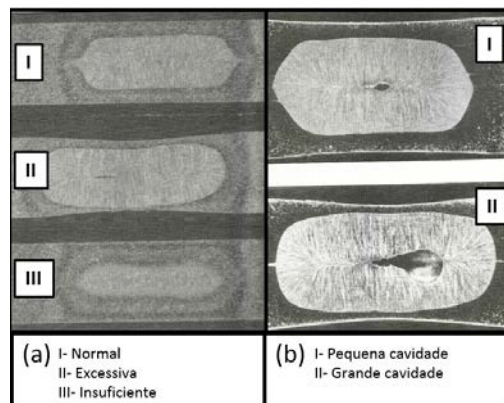


Figura 2.4 – (a) Penetração no ponto de solda; (b) Cavidades no ponto de solda.

3. METODOLOGIA

ESCOLHA DOS EQUIPAMENTOS:

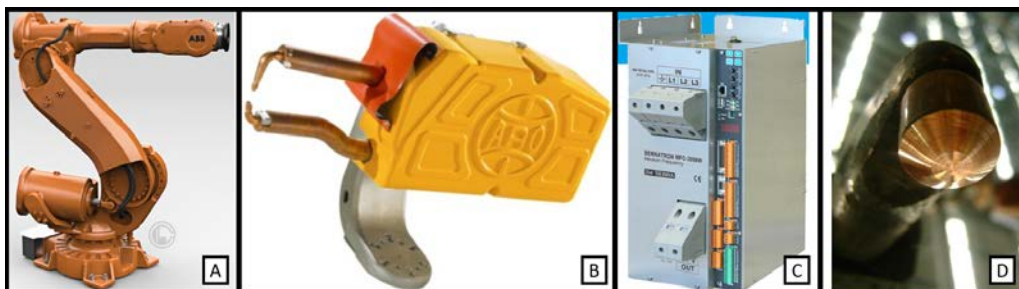


Figura 3.1 – (a) Robô ABB IRB 6640; (b) Pinça de Solda ARO 3G R3X; (c) Controlador de solda SERRA MFC 3007W; (d) Ponteira do eletrodo após fresagem.

ROBÔ:

Com o objetivo de garantir o perfeito posicionamento dos pontos de solda durante a realização dos testes, optou-se pela utilização da pinça de solda acoplada a um robô. O modelo de robô utilizado é o IRB 6640 [ver Figura 3.1(a)] fabricado pela empresa suíça ABB. Este robô permite manipulação de equipamentos pesando até 235 kg. Os seis eixos do robô permitem o movimento da flange, onde são fixados equipamentos, em um raio máximo de 2550 mm e altura máxima de 3016 mm, cobrindo um ângulo de 340° ao redor da base do robô.

Durante a movimentação, este robô garante erro máximo de 0,7 mm no posicionamento. Quando estático, garante um erro máximo de apenas 0,07 mm no posicionamento.

PINÇA:

A pinça escolhida para a realização dos testes foi o modelo R3X da família 3G [ver Figura 3.1(b)], fabricada pela empresa francesa ARO Welding Technologies. Este equipamento é largamente utilizado na indústria automotiva devido ao baixo peso e a tecnologia empregada de movimentação servo acionada. Diferentemente das pinças pneumáticas que possuem duas ou três possíveis posições do cilindro atuador, as pinças acionadas por servo motor permitem agilidade e distanciamento preciso entre os eletrodos. Outra grande vantagem sobre as pinças pneumáticas está no fato de que as pinças acionadas por servo motor funcionam como dispositivo de medição do desgaste dos eletrodos após as fresagens, garantindo assim perfeita aplicação da pressão parametrizada para a soldagem.

O modelo escolhido de equipamento possibilita a aplicação de 4,5 kN de força entre os eletrodos e a peça, possibilitando a soldagem de uma grande gama de chapas metálicas utilizadas na indústria.

FONTE CONTROLADORA:

A fonte controladora de solda escolhida foi o modelo MFC 3007W [ver Figura 3.1(c)] fabricado pela empresa espanhola SERRA Soldadura. Este modelo de controlador possibilita a aplicação de múltiplos impulsos com controle muito preciso do tempo de aplicação da corrente e dos tempos de resfriamento. A corrente máxima de trabalho suportada pelo equipamento é de 26 kA.

Esta fonte é do tipo MF-DC e trabalha a uma frequência de 1 kHz. Isso faz com que o consumo de energia seja muito inferior ao das fontes AC. Além do consumo baixo, o tempo total para aplicação de um ponto de solda é menor que nas fontes AC devido a maior densidade de corrente aplicada em um mesmo intervalo de tempo.

ELETRODO:

O eletrodo é um item que acompanha a pinça de solda, porém a ponteira ou capa do eletrodo, que é intercambiável, pode ser selecionada conforme a aplicação. Para os testes deste trabalho foi escolhida uma capa esférica fabricada com a liga Cobre-Cromo-Zircônio devido a sua boa resistência mecânica em altas temperaturas. Após fresada, esta ponteira assume a geometria truncada, conforme Figura 3.1(d).

Conforme os pontos de solda vão sendo aplicados nos corpos de prova, a ponteira vai perdendo a sua geometria e então é necessária nova fresagem. A fresadora utilizada para garantir a geometria das ponteiras que serão utilizadas nos testes é o modelo de fresadora estacionária E2 fabricado pela empresa alemã Lutz Precision.

Acoplada a esta fresadora, escolheu-se a fresa modelo Quadroblade fabricada pela empresa alemã Lutz Precision. Essa fresa garante diâmetro de 6 mm na face da ponteira.

ESCOLHA DOS MEIOS DE MEDIÇÃO E DE ANÁLISE:

TEMPERATURA:

Para medir a temperatura da água na entrada da pinça foi utilizado um sensor PT100 385 classe B fabricado pela empresa nacional NOVUS. Este sensor tem comportamento aproximadamente linear e funciona muito bem na faixa de temperaturas em que a água se encontra durante os testes. A resistência resultante do sensor foi medida utilizando um multímetro modelo EX570 fabricado pela empresa americana Stech Instruments. Este multímetro apresenta resolução de 0,01 Ω .

DIÂMETRO DA FACE DO ELETRODO:

O diâmetro da face do eletrodo foi medido utilizando um paquímetro fabricado pela empresa japonesa Mitutoyo. Este instrumento apresenta resolução de 0,05 mm. O diâmetro de face foi medido em uma primeira direção e posteriormente em uma segunda direção posicionada a um ângulo de 90° da primeira, possibilitando o cálculo da média entre ambas direções quando o diâmetro de face está ovalizado.

VAZÃO:

Para controlar o fluxo de água que circula no interior de cada eletrodo, foi utilizado o fluxômetro modelo SAW-85U fabricado pela empresa alemã FESTO em série com um registro hidráulico esférico de acionamento manual. O instrumento da FESTO permite medições de vazão com a resolução de 0,1 L/min.

O sistema de resfriamento da pinça Aro 3G R3X conta com apenas uma entrada de água. Após o fluxo de água entrar na pinça, o mesmo segue por três caminhos paralelos: eletrodo superior, eletrodo inferior e transformador. Como o fluxômetro foi instalado na entrada da pinça e a vazão que quer-se controlar é no interior de cada eletrodo, foi utilizado um estudo previamente realizado pelo Engenheiro de Processos Renato Bruzzo, conforme Figura 3.2, que aponta para uma divisão do fluxo em aproximadamente três partes iguais no interior da pinça (1/3 para eletrodo superior, 1/3 para eletrodo inferior e 1/3 para transformador). Para este estudo, foi instalada uma tubulação desviando o fluxo de água da ponta do eletrodo diretamente para um segundo fluxômetro.

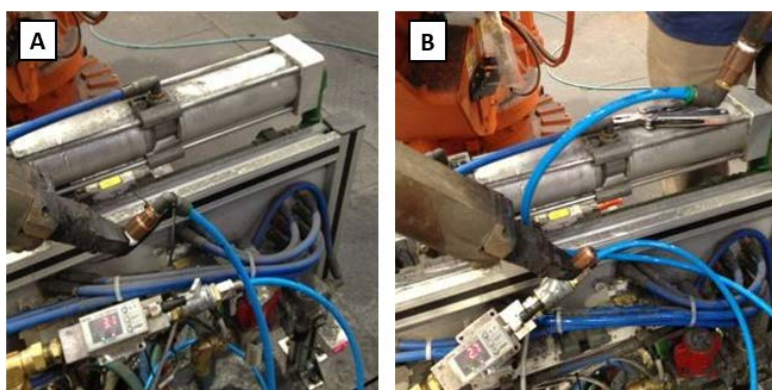


Figura 3.2 – (a) Vazão de 3,1 L/min no eletrodo inferior para uma vazão de 9,0 L/min na entrada da pinça; (b) Vazão de 2,7 L/min no eletrodo superior para uma vazão de 9,0 L/min na entrada da pinça.

MACROGRAFIA:

As macrografias foram realizadas utilizando o Microscópio estéreo binocular fabricado pela empresa PANTEC METROLOGIA DIMENSIONAL acoplado a uma câmera conectada a um computador com o software Umias 2006. Com um aumento de dez vezes foi possível realizar a análise das macrografias quanto ao diâmetro da zona de fusão do ponto de solda, indentação e presença de microfissuras.

Antes de analisar as amostras, utilizando uma serra para metal, o ponto foi cortado transversalmente. Para finalizar a preparação, a amostra é polida com lixa 350 e atacada quimicamente com uma solução de ácido nítrico 5%.

INCERTEZAS ASSOCIADAS AOS EQUIPAMENTOS:

Associadas às medições, existem incertezas devido à resolução e precisão dos instrumentos utilizados. Abaixo estão listados os instrumentos utilizados e suas respectivas incertezas.

Fluxômetro: 0,05 L/min (como a resolução é de 0,1 L/min, desvios de até $\pm 0,05$ L/min não serão mostrados pelo sensor). Além disto, o instrumento apresenta um erro de $\pm 2\%$ do fluxo de saída. Outro fator que aumenta a incerteza da medição é o fato de a medição ser indireta, ou seja, há uma correlação entre o fluxo na entrada da pinça e o fluxo que passa pelo eletrodo. Essa correlação gera erros de até 0,3 L/min, conforme testes realizados.

Sensor PT100: $\pm 0,4 \Omega$ (na faixa de 0 a 30°C);

Multímetro (Ω): $\pm 0,06\%$ (na faixa utilizada que é a de no máximo $111,67 \Omega$, corresponde a no máximo $0,07 \Omega$);

Paquímetro: a resolução do paquímetro é de 0,05 mm. Além desta informação, foi realizado um estudo de repetibilidade que consistiu em medir cinco vezes o diâmetro da face de dez eletrodos. Este estudo apontou que podem haver erros de até 0,1 mm nas medições;

Com relação à temperatura, a incerteza total associada à utilização do PT100 juntamente ao multímetro, é de no máximo $\pm 0,47 \Omega$. Essa incerteza na medição da resistência corresponde a uma incerteza máxima na medição da temperatura de $\pm 1,22^\circ \text{C}$.

Como as medições de temperatura foram realizadas com intervalos de 5°C , levando em consideração apenas este fator, não existe a possibilidade de medições em faixas diferentes de temperatura gerarem resultados similares.

Com relação à vazão, a incerteza máxima é a soma da incerteza associada a resolução do equipamento, o erro de medição e o erro resultante da correlação utilizada para obter o resultado final da medição de fluxo. Então, a incerteza final máxima associada a medição de vazão, é de $\pm 0,6$ L/min para vazões de até 12,5 L/min.

No caso das medições entre as vazões de 2,6 L/min e 4 L/min, bem como no caso das medições entre as vazões de 8 L/min e 9,6 L/min, apesar de o erro associado ser menor que os intervalos de medição, existe a possibilidade de as medições gerarem resultados semelhantes, porém isso não foi verificado nos resultados.

DEFINIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS CORPOS DE PROVA:

Espessura: foi escolhida a maior espessura encontrada na empresa Gestamp (2,5 mm). Esta escolha permitiu verificar as modificações no eletrodo com um número menor de pontos de solda.

Material: o material escolhido foi o aço carbono, cuja composição é C: 0,0019%; Mn: 0,0826%; P: 0,0070%; S: 0,0124%; Si: 0,0038%; Al: 0,0654%. As chapas são galvanizadas (recobrimento de zinco por imersão a quente). A resistência ao escoamento por tração é 206 MPa e a resistência máxima é 301 MPa. O material e o recobrimento escolhidos são largamente empregados nos conjuntos soldados fornecidos aos clientes.

Distância entre os pontos de solda: a distância entre os pontos de solda (L) foi obtida pela Equação 3.1, para duas chapas de mesma espessura (e), conforme Machado, 1996.

$$L = 14 \cdot e + 3 \quad (3.1)$$

Resolvendo a equação para uma chapa com $e = 2,50$ mm, chegou-se a $L = 38,00$ mm.

Essa distância é responsável por diminuir a influência indesejada do efeito “shunt” (desvio de parte da corrente elétrica por pontos de solda adjacentes).

Segundo Wang et al., 2013, o principal parâmetro que influencia na redução do efeito shunt é a distância entre os pontos. Garantir a distância mínima de 38,0 mm é importante para diminuir os efeitos gerados pelo desvio da corrente.

Distância entre a borda da chapa e os pontos de solda: de acordo com Machado, 1996, a distância mínima dos pontos de solda a borda da chapa deve ser $S/2$. Para o caso de duas chapas com mesma espessura, a Equação 3.2 determina o valor de S :

$$S=13*(e)^{1/2} \quad (3.2)$$

Resolvendo a equação para uma chapa de 2,50 mm, chegou-se a $S/2=10,3\text{mm}$.

Velocidade de soldagem: segundo norma da GM, para testes, deve ser de 30 pontos/min.

Conforme testes preliminares realizados, com uma quantidade de 60 pontos de solda aplicados na sequência, tornou-se possível observar com clareza o aumento no diâmetro da face do eletrodo.

Com base nestas informações, tornou-se possível especificar as dimensões de interesse do corpo de prova que será utilizado para realização dos testes.

Dimensões finais: chapa de aço com 2,50 mm de espessura, com revestimento de zinco nos dois lados, com comprimento de 443,5 mm e com largura de 177,5 mm. É importante ressaltar que a largura da chapa foi acrescida de 7,0 mm para permitir a fixação no dispositivo de solda.

Para garantir a geometria dos pontos de solda durante os diversos testes realizados, foi feito um programa para o robô, com o auxílio de um profissional da área de robótica.

Foi também desenvolvido um dispositivo de fixação para os corpos de prova que fica preso ao dispositivo da célula de solda que está sendo utilizada para realização dos testes.

ESCOLHA E VALIDAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SOLDA:

Para a definição dos parâmetros de solda, a norma da GM se baseia em características do processo, conforme Tabela 3.1:

Tabela 3.1 – Características relevantes para parametrização de soldagem a ponto por resistência, conforme norma da GM.

CARACTERÍSTICA RELEVANTE PARA A NORMA	PEÇA ENSAIADA
Material das chapas	GMW2M-ST-S-CR3-HD60G60G-U
Presença de cobertura nas chapas	Revestimento de zinco dos dois lados
Espessura da chapa	2,5 mm
Sanduíche de duas ou três chapas	Duas chapas
Tipo de controlador de solda (AC ou HF-DC/MF-DC)	MF-DC

Levando-se em consideração os dados da Tabela 3.1, a norma da GM sugere os parâmetros de solda presentes na coluna “VALOR TESTE 1” da Tabela 3.2. Após teste com estes parâmetros, verificou-se a presença de expulsão de material entre as chapas [ver Figura 3.3 (a)], um indício de que as chapas não estavam perfeitamente assentadas durante o processo.

Para resolver o problema do centelha, foi incrementado o valor da força aplicada durante o teste, conforme coluna “VALOR TESTE 2” da Tabela 3.2. Este incremento na força eliminou a centelha entre chapas, porém após análise da macrografia do segundo teste, conforme Figura 3.3 (b), chegou-se à conclusão que a indentação estava muito alta.

No último teste, foram propostos os parâmetros presentes na coluna “VALOR FINAL” da Tabela 3.2, onde o valor da corrente foi decrescido. Conforme Figura 3.3 (c), o ponto de solda obteve indentação adequada e apresentou zona de fusão também adequada sem presença de micro cavidades. Após teste de arrancamento aprovado, conforme Figura 3.3 (d), os parâmetros foram definidos como padrão para execução dos testes. No Apêndice I pode-se ver um registro da tela do software que faz a interface de parametrização do equipamento SERRA.

Tabela 3.2 – Parâmetros de solda testados para obtenção do ponto de solda ideal para realização dos testes.

PARÂMETRO	VALOR TESTE 1	VALOR TESTE 2	VALOR FINAL
Corrente[KA]	13	13	12
Número de impulsos	5	5	5
Força [KN]	4	4,2	4,2
Tempo de solda em cada impulso [ms]	120	120	120
Tempo de resfriamento entre impulsos [ms]	40	40	40
Tempo de espera ao fim do processo [ms]	180	180	180

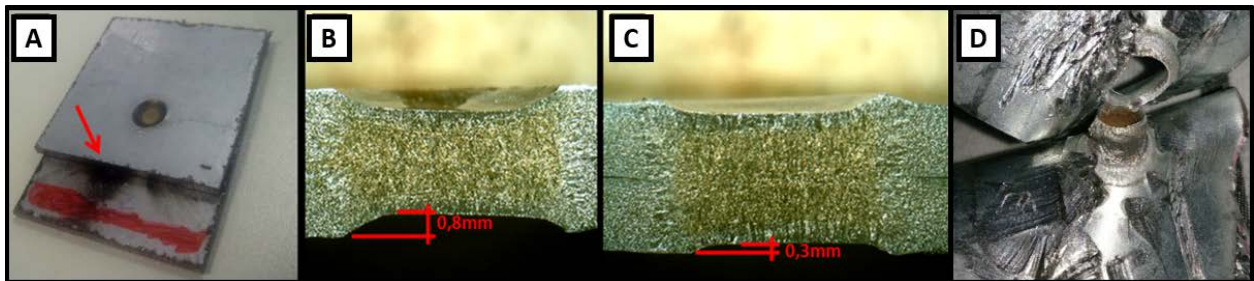


Figura 3.3 – (a) Expulsão de material entre chapas; (b) Macrografia da seção transversal -10x de aumento - indentação alta; (c) Macrografia apresentando ponto de solda OK; (d) Teste de arrancamento apresentando ponto de solda OK.

DEFINIÇÃO DA GAMA DE TEMPERATURAS E VAZÕES A SEREM TESTADAS:

Na empresa Gestamp, o sistema de resfriamento dos eletrodos trabalha com vazão de aproximadamente 10 L/min na entrada de cada pinça e temperatura sempre abaixo da temperatura ambiente. A vazão máxima possível de ser alcançada, para os testes, é de aproximadamente 12,5 L/min.

Conforme levantamento de dados feito ao longo do ano, verificou-se que a temperatura da água de resfriamento na entrada das pinças varia entre 5 e 35°C. Os estudos referentes a este trabalho ocorreram em uma ocasião onde temperaturas muito altas e muito baixas não foram verificadas, por isso, não houveram testes em toda a faixa de temperaturas experimentada pelo sistema de resfriamento, em situações reais.

Definiu-se a faixa de testes com variação da temperatura entre 15 e 30°C com intervalos de aproximadamente 5°C entre os testes. Para a vazão, a faixa de testes escolhida foi de 2,0 L/min a 12,0 L/min na entrada da pinça. Os intervalos escolhidos inicialmente foram de 2,0 L/min entre a realização dos testes. Com o andamento dos testes verificou-se dificuldade de realização com a vazão de 2,0 L/min devido a superaquecimento da pinça e posterior falha na solda. Por conta disto, a mínima vazão testada foi de 2,6 L/min. Outra dificuldade foi observada nas vazões de 10 L/min e 12 L/min, que durante os testes estabilizaram em valores distintos dos escolhidos. Por isso, as vazões reais nestas faixas foram de 9,6 L/min e 12,5 L/min. Findadas as considerações, as vazões testadas foram, finalmente, de 2,6 L/min, 4 L/min, 6 L/min, 8 L/min, 9,6 L/min e 12,5 L/min.

Todos os valores de vazão neste trabalho são considerados na entrada da pinça. Apenas na conclusão do trabalho consta uma análise sobre os valores de vazão no interior de cada eletrodo (1/3 do valor na entrada da pinça).

PREPARAÇÃO DO AMBIENTE DE TESTES:

Após definição de todos os equipamentos e parâmetros necessários para execução dos testes, bem como os instrumentos utilizados para análise, o ambiente de realização dos testes com todos seus detalhes pode ser visto no Apêndice II.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

INFLUÊNCIA DA VAZÃO DA ÁGUA:

Para chegar à conclusão sobre a influência no processo de solda ocasionada pelas variações na vazão do fluxo de água que resfria os eletrodos, foram realizados testes em um período em que a temperatura da água se encontrava a aproximadamente 21°C. Desta maneira, variando-se apenas a vazão, sabe-se que a temperatura não irá afetar os resultados.

Primeiramente, percebeu-se que conforme a vazão foi sendo reduzida ao longo dos testes, a coloração final da liga de cobre que constitui a capa dos eletrodos foi ficando diferenciada. Marcas da cor roxa decorrentes do aquecimento excessivo foram verificadas, conforme Figura 4.1.



Figura 4.1 – (a) Eletrodo após teste com vazão de 2,6 L/min (diâmetro da face com 8,0 mm e presença de manchas no cobre); (b) Eletrodo após teste com vazão de 9,6 L/min (diâmetro da face com 7,3 mm).

A análise das macrografias foi feita sobre o último ponto aplicado em cada corpo de prova, ou seja, o ponto de número 60. As macrografias aprovaram todos os pontos, porém nas vazões de 4 L/min e 2,6 L/min foram verificados pequenos poros no centro do ponto de solda, conforme Figura 4.2. Essas micro cavidades não são um fator que reprovava o ponto de solda, mas vale a pena ressaltar que nos testes a quantidade de pontos escolhida foi de sessenta, porém em situações reais na indústria automobilística, dependendo da aplicação, mais de duzentos pontos de solda podem ser aplicados na sequência entre cada fresagem do eletrodo, podendo possivelmente potencializar os efeitos da baixa vazão e consequentemente aumentando o tamanho da cavidade.

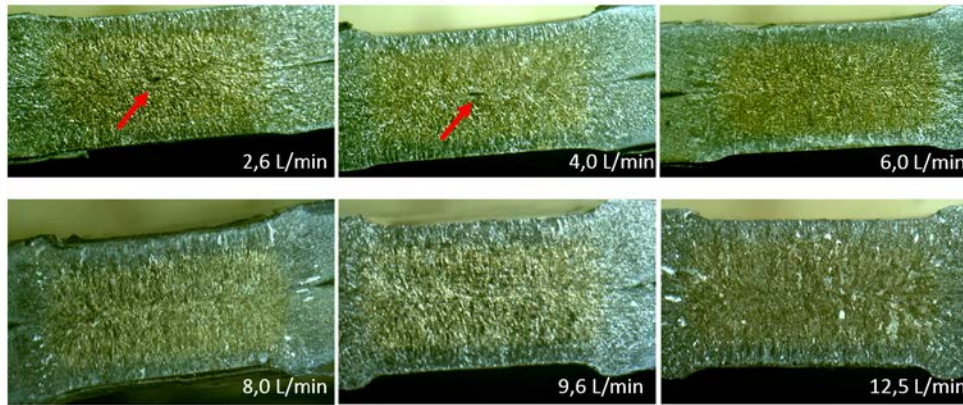


Figura 4.2 – Macrografias dos últimos pontos aplicados em cada corpo de prova variando a vazão de 2,6 L/min até 12,5 L/min (detalhe para as micro cavidades em 2,6 L/min e 4 L/min).

Com o objetivo de verificar a deformação do par de eletrodos ao final de cada teste, foram medidos os diâmetros de face e os mesmos podem ser vistos no gráfico presente na Figura 4.3 (a). Foi considerada a média entre os diâmetros do eletrodo superior e do eletrodo inferior. Para possibilitar uma análise mais concisa sobre os resultados, todos testes nas diversas vazões foram realizados três vezes. Com isso, pode-se chegar a conclusões sobre a variação que ocorre durante o processo, já que todos eletrodos iniciaram os testes com diâmetro da face de 6,0 mm.

Como é possível verificar no gráfico da Figura 4.3 (a), diminuindo a vazão da água de 12,5 L/min para 9,6 L/min praticamente não há variação da deformação dos eletrodos, porém a partir de 8 L/min, cada vez que se reduz a vazão, é perfeitamente notável o resultado negativo na deformação dos eletrodos.

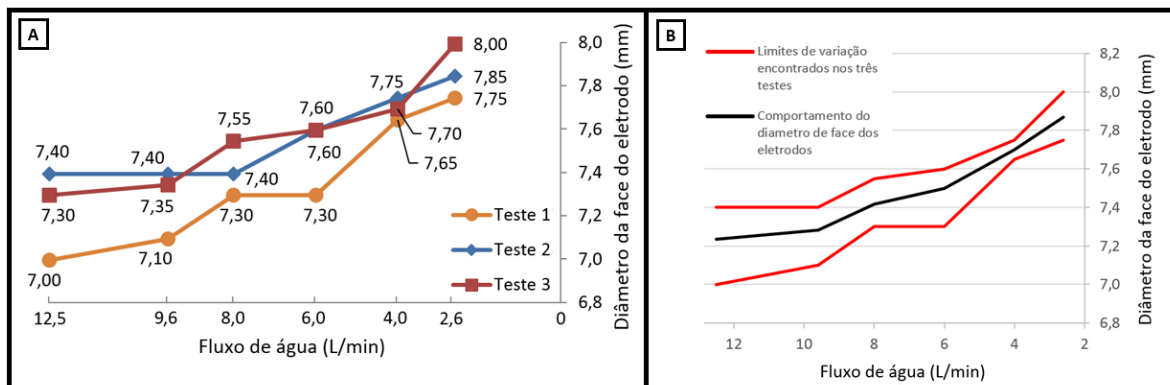


Figura 4.3 – (a) Valores dos três testes realizados reduzindo-se a vazão da água de resfriamento (temperatura constante de 21°C durante os testes); (b) Comportamento médio do diâmetro da face dos eletrodos durante os testes.

Com base no gráfico da Figura 4.3 (a), foi traçada uma curva de deformação levando em consideração os valores mínimos e máximos medidos durante os três testes. Com isso, pode-se chegar a conclusão de como os diferentes valores da vazão de água no interior dos eletrodos influenciam na deformação dos mesmos durante o processo de soldagem por resistência. Essa nova curva pode ser observada na Figura 4.3 (b).

Comparando os resultados obtidos com a bibliografia existente, Powel et al., 1996 chegaram a conclusões que, para chapas com revestimento, os valores de vazão da água de resfriamento dos eletrodos devem ser superiores a 6 L/min. A maior vazão testada neste trabalho foi a de 12,5 L/min (aproximadamente 4,2 L/min em cada eletrodo) e foi possível observar que os efeitos gerados na deformação dos eletrodos foram mínimos, portanto com 6 L/min, esses efeitos serão praticamente nulos e o trabalho vai de acordo com a bibliografia.

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DA ÁGUA:

Para chegar à conclusão sobre a influência no processo de solda ocasionada pelas variações na temperatura da água que resfria os eletrodos, foram realizados testes com a vazão da água estabilizada entre 9,5 L/min e 9,8 L/min. Desta maneira, variando-se apenas a temperatura sabe-se que a vazão não irá afetar os resultados.

É importante ressaltar, neste momento, que a temperatura da água durante os testes foi influenciada apenas pela temperatura ambiente, ou seja, foram escolhidas ocasiões para realização dos testes cujas temperaturas fossem as desejadas. Essas temperaturas foram medidas com auxílio de sensor PT100 e multímetro.

Inicialmente, pensou-se em aquecer a água com auxílio de resistores, porém esta ideia foi descartada devido a não representar uma situação real, já que apenas a água seria aquecida e não todo restante do ambiente.

Durante a execução dos testes um fato importante percebido foi de que quando a temperatura da água alcança valores acima dos 30°C, ocorrem, de maneira intermitente, quedas das capas dos eletrodos. Como as capas dos eletrodos são fixadas aos eletrodos apenas por contato entre superfícies cônicas, a temperatura alta da água provavelmente gera dilatação excessiva na capa do eletrodo, resultando em perda da aderência entre as superfícies cônicas e consequente queda da capa do eletrodo.

A análise das macrografias foi feita sobre o último ponto aplicado em cada corpo de prova. Todos pontos foram aprovados nas macrografias, conforme Figura 4.4.

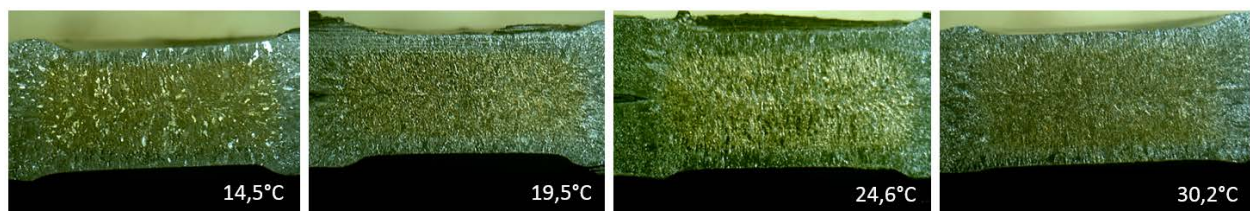


Figura 4.4 - Macrografias dos últimos pontos aplicados em cada corpo de prova variando a temperatura da água de 14,5 até 30,2°C

Para analisar a influência que a temperatura da água gera na deformação dos eletrodos, os diâmetros da face dos eletrodos inferior e superior foram medidos e sua média foi tomada como base.

Os valores finais dos diâmetros de face dos eletrodos referentes aos testes nas quatro temperaturas resultaram em valores muito próximos e constam na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Diâmetro de face dos eletrodos após testes variando-se a temperatura entre 14,5 e 30,2°C (vazão no momento dos testes esteve estável entre 9,5 L/min e 9,8 L/min)

Temperatura da água durante o teste [°C]	Diâmetro de face dos eletrodos após teste [mm]
14,5	7,25
19,5	7,15
24,6	7,15
30,2	7,60

Como os testes com variação da temperatura ocorreram em vazões conhecidas, de aproximadamente 9,6 L/min, foi possível inserir os valores da Tabela 4.1 no gráfico da Figura 4.3 (b) e assim concluir, conforme Figura 4.5, que os testes realizados nas temperaturas de 14,5°C, 19,5°C e 24,6°C estão dentro da zona de variação normal do processo e não tiveram, aparentemente, nenhuma influência ocasionada pela temperatura da água.

O teste realizado com temperatura da água a 30,2°C ficou ligeiramente fora da curva, conforme gráfico da Figura 4.5, mostrando que nesta faixa, provavelmente, algum tipo de influência é gerada pelo aumento da temperatura da água.

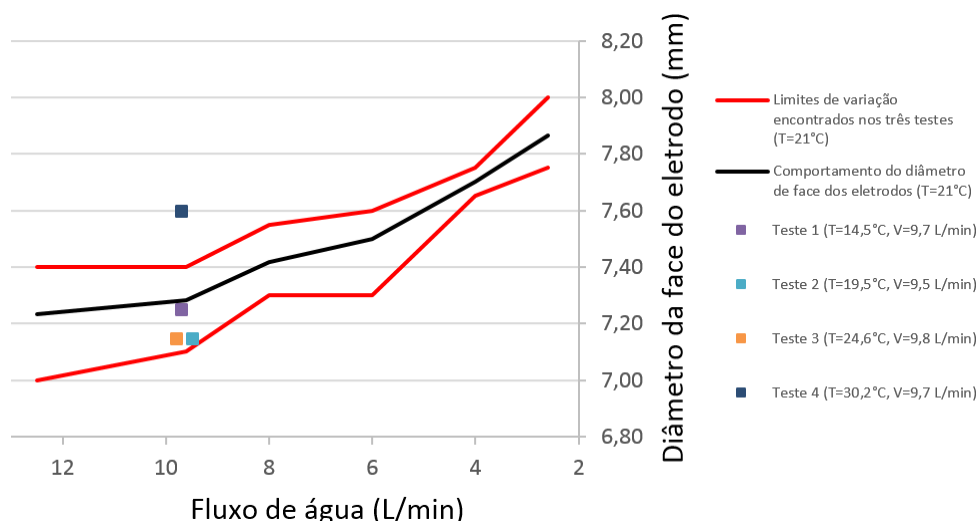


Figura 4.5 – Dimensões dos diâmetros de face dos eletrodos testados em diferentes temperaturas sobrepostos sobre a curva do gráfico presente na Figura 4.3 (b).

TESTES DE ARRANCAMENTO:

Todos os corpos de prova testados para a execução deste trabalho tiveram seu penúltimo ponto de solda submetido a teste de arrancamento, pois o último ponto ficou reservado para a análise da macrografia. Todos pontos submetidos a teste de arrancamento neste trabalho foram aprovados. Isso se deve a quantidade de pontos aplicados em cada corpo de prova ser de apenas sessenta, valor suficiente para verificar a deformação do eletrodo, porém insuficiente para resultar em falha no processo de solda.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nos testes envolvendo variação da vazão com temperatura constante da água, é possível afirmar que valores de vazão inferiores a 10 L/min na entrada da pinça (3,3 L/min em cada eletrodo) geram desgaste excessivo dos eletrodos, demandando uma frequência de fresagem maior que a normal.

Na fábrica, existem duas torres de resfriamento ligadas a duas bombas que, quando estão ambas acionadas, garantem uma vazão entre 8,5 L/min e 12,5 L/min nas entradas das diversas pinças. A motivação inicial deste trabalho foi o fato de possivelmente implementar um sistema para controle da vazão e temperatura da água. Porém, após os testes realizados, chegou-se à conclusão de que reduzir a vazão abaixo dos valores hoje praticados na empresa não é adequado.

Com base nos resultados obtidos nos testes envolvendo variação da temperatura com vazão aproximadamente constante da água, é possível afirmar que valores de temperatura da água de resfriamento dos eletrodos entre 15 e 25°C não geram praticamente nenhuma influência no processo de soldagem por resistência. Este fato torna possível levar adiante a ideia de implementar um sistema que controle apenas para os ventiladores das duas torres de resfriamento, fazendo com que os mesmos sejam desligados ou tenham sua potência reduzida automaticamente para valores de temperatura da água abaixo de 25°C.

Ao longo do ano, são verificados grandes períodos de tempo em que a temperatura ambiente é baixa, fazendo assim com que a ideia de implementar um sistema automático seja viável, já que haverá considerável redução nos gastos com energia elétrica.

Comparando os resultados obtidos para temperatura da água de resfriamento a 30,2°C com o que consta no manual da pinça ARO 3G, os dados não coincidem pois no manual há a informação de que temperaturas entre 18 e 30°C são adequadas, enquanto neste trabalho consta que a deformação do eletrodo foi influenciada.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Finalmente, visando a melhoria e credibilidade das informações contidas neste trabalho, o fato de os testes terem sido realizados nos meses de setembro e outubro do ano de 2013, não permitiu analisar as influências que temperaturas abaixo de 14,5°C e acima de 30,2°C irão gerar no processo. Para uma completa análise, toda gama de temperaturas deve ser testada, repetindo-se mais de uma vez os mesmos testes para que se tenha ideia também de variação, como no caso dos testes com vazões diferentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARO Welding Technologies, **Manual de manutenção e operação da pinça de solda modelo 3G**, versão português, 2011.

ARO Welding Technologies, **New generation 3G Guns**, <http://www.arotechnologies.com>, acessado em 19/08/2013.

AWS, **Welding Handbook (Welding, Science & Technology)**, Volume 1, 2001.

AWS, **Welding Handbook (Welding Processes, part 2)**, Volume 1, 2007.

B. WANG, M. LOU, Q. SHEN, Y. B. LI, AND H. ZHANG., **Shunting Effect in Resistance Spot Welding Steels** — Part 1: Experimental Study, *Welding Journal*, volume 92, 2013.

General Motors, **Norma com especificações de soldagem por resistência**, 2010.

Intermachinery, **Manual de Soldagem por Resistência a Ponto**, 2002.

Machado, I. G., **Soldagem & Técnicas Conexas: Processos**, Editado pelo autor, Porto Alegre, 1996.

Marques, P. V., **Tecnologia da Soldagem**, Editora O LUTADOR, Belo Horizonte, 1991.

Powell, H. J., Westgate S. A., Wiemer, K., **A practical guide to process and quality control for resistance spot welding**, The Welding Institute, 1992.

Wainer, E., Brandi, S. D., de Mello, F. D. H., **SOLDAGEM, processos e metalurgia**. Editora Edgard Blucher Ltda, 1992.

APÊNDICE I:

CPC-Connect - R1-Coluna-A

Ficheiro Editar Rede MFC-3000 Documentação Opções Janela Ajuda

CPC-Connect - Serratron 300dp_Rev0

R1-Coluna-A

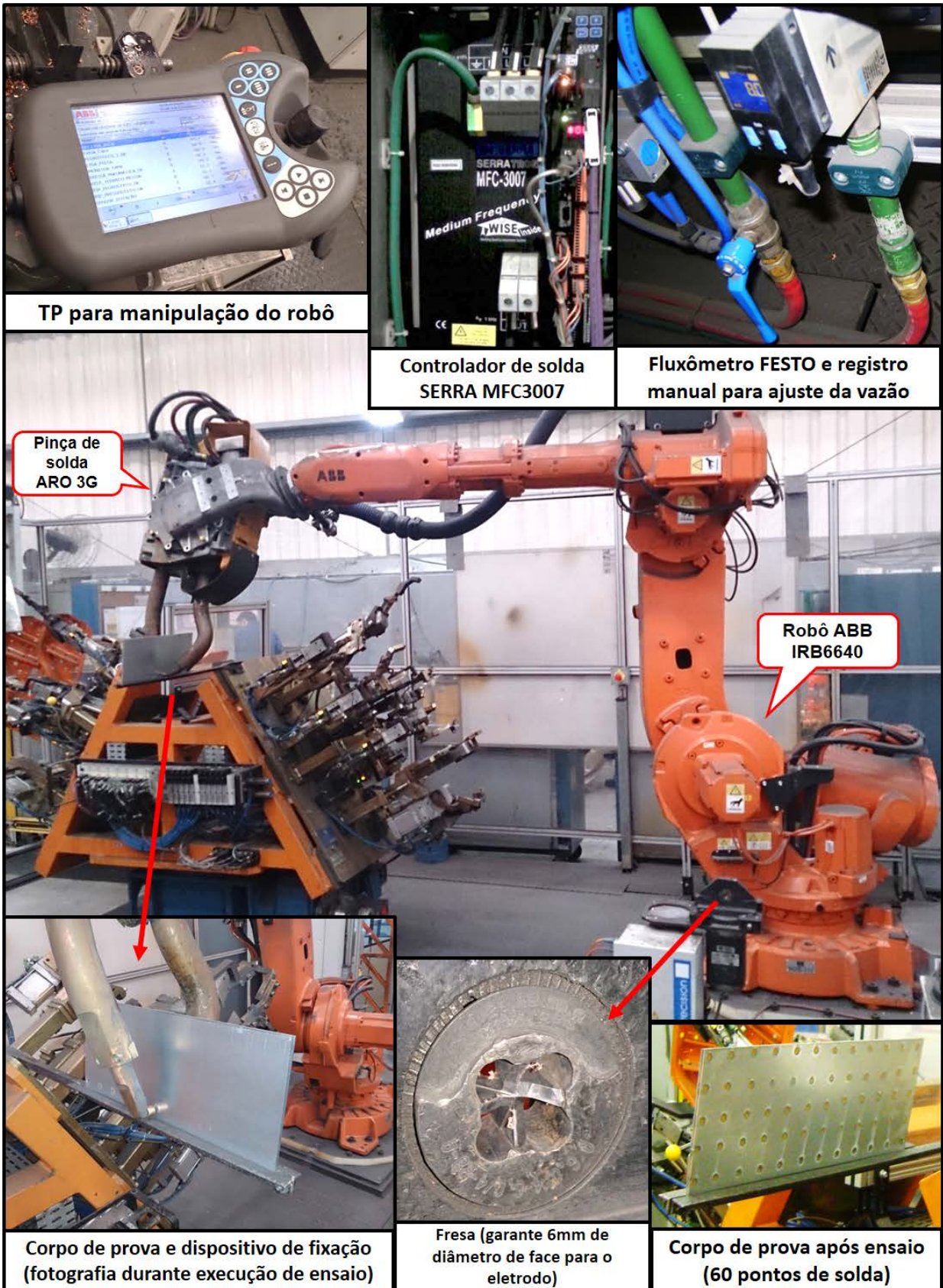
200

Eléctrodo 1	Modo Ciclo Único	!Tolerancia + 15	Cf W A 85	Rel TI! 5
!Enviar Wise No	!Modo KSR Corriente Const.	!Tolerancia - 10	Cf W Ng 65	Rep W Não
!EVPi 0.0	!EVPu 0.0	!EVPf 0.0	En2i 10	En2u 0
En2m 0	En2f 10	!Agresividad 0	!Consigna 0	!Material 15
Fa1i 28	Fa1u 0	Fa1f 1	Fa2i 60	Fa2u 0
Fa2m 0	Fa2f 60	Imp 5	Fa3i 1	Fa3u 0
Fa3m 0	Fa3f 1	I1i 5.00	I1u 0.00	I1f 5.50
I1m 0.00	I1f 5.50	I2i 12.00	I2u 0.00	I2f 12.00
I2m 0.00	I2f 12.00	I3i 0.01	I3u 0.00	I3f 0.01
I3m 0.00	I3f 0.01	Apx 0	Apr 100	Ts1 0
Tf1 0	SIUp 0	Ts2 120	SIDn 0	Tf2 40
!Ts2m 0	Tf2 40	Tf3 10	Ts3 0	Enf 180
Int 1000				

Corrente final em Soldadura 2 < 0.01...150.00 kA > [Parâmetro = 81, Índice = Programa]

Iniciar CPC-Connect - R1-Col...

APÊNDICE II:



TP para manipulação do robô

Controlador de solda
SERRA MFC3007

Fluxômetro FESTO e registro
manual para ajuste da vazão

Pinça de
solda
ARO 3G

Robô ABB
IRB6640

Corpo de prova e dispositivo de fixação
(fotografia durante execução de ensaio)

Fresa (garante 6mm de
diâmetro de face para o
eletrodo)

Corpo de prova após ensaio
(60 pontos de solda)

ANEXO I - Metodologia de execução para teste de arrancamento [Adaptado de AWS, 2001]:

