

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS - MG

ENGENHARIA MECÂNICA

MARCOS FELIPE DE SOUSA FIGUEREDO

Biblioteca Monsenhor Domingos Prado Fonseca
N. Class. <i>M 671.52</i>
Call. <i>F475i</i>
Ass./Ed. _____

**SISTEMA DE BIBLIOTECAS
FEPESMIG**
BIBLIOTECA MONSENHOR DOMINGOS PRADO FONSECA

**A INFLUÊNCIA DA CORRENTE ELÉTRICA NA PROFUNDIDADE E
DUREZA DE VÁLVULAS AUTOMOTIVAS**

Varginha - MG
2010

MARCOS FELIPE DE SOUSA FIGUEREDO

**A INFLUÊNCIA DA CORRENTE ELÉTRICA NA PROFUNDIDADE E
DUREZA DE VÁLVULAS AUTOMOTIVAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Mecânica do Centro Universitário do
Sul de Minas – UNIS/MG como pré-
requisito para a obtenção do grau de
Engenheiro Mecânico, sob a orientação
do Prof. Márcio de Santana.

**Varginha - MG
2010**

MARCOS FELIPE DE SOUSA FIGUEREDO

**A INFLUÊNCIA DA CORRENTE ELÉTRICA NA PROFUNDIDADE E
DUREZA DE VÁLVULAS AUTOMOTIVAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico pela banca Examinadora composta pelos membros: Prof. Esp. Márcio de Santana, Prof. Ms. Nilton Portugal e Prof. Ms. Luiz Carlos Vieira Guedes.

Aprovado em 29/11/2010



Prof. Esp. Márcio de Santana



Prof. Ms. Nilton Portugal



Prof. Ms. Luiz Carlos Vieira Guedes

OBS.:

Dedico este trabalho a Deus, aos meus familiares, namorada, colegas de classe e pessoas que me ajudaram tanto direta ou indiretamente para que isso acontecesse.

Agradeço a todos que me ajudaram a elaborar este trabalho principalmente aos companheiros de trabalho pelos dados cedidos, aos professores pelo conhecimento que nos foi passado, aos familiares pelo incentivo e apoio nas horas cabíveis, à minha namorada pela paciência e compreensão e aos colegas pelo companheirismo.

“Tenho a impressão de ter sido uma criança brincando à beira-mar, divertindo-me em descobrir uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita que as outras, enquanto o imenso oceano da verdade continua misterioso diante de meus olhos”.

Isaac Newton

RESUMO

Levando em conta que o processo de soldagem a plasma é um processo consideravelmente novo, sempre é importante estudos sobre a mesma, assim deduzindo novos meios para a melhoria e eficiência do processo. Nota-se a importância de uma solda feita com sucesso, desta forma reduzindo alguns defeitos que na solda pode ocorrer. Em relação a solda ocorre alguns defeitos como profundidade insuficiente, dureza inadequada e a invasão do material de adição na face superior da válvula. Este tipo de soldagem é aplicada na sede da válvula, esta área por sua vez é considerada uma área crítica, pois uma vez que se tem algum defeito como os que foram citados, pode comprometer o funcionamento do motor. Com a utilização primeiramente de um teste de três peças, foi identificado como cada uma reagia de acordo com a corrente elétrica submetida. Logo após ao primeiro teste, foi feito um novo teste com oito peças, assim buscando a otimização do processo e a obtenção da corrente adequada para o processo.

Palavras-chaves: Soldagem a Plasma. Profundidade da Solda. Dureza.

ABSTRACT

Taking into account that the process of plasma welding process and a pretty new, and always important studies on it, thus deducing new means for the improvement and process efficiency. Note the importance of a weld made with success, thus reducing some defects such as solder is not enough depth, hardness and inappropriate invasion of filler material on the upper surface of the valve. This type of welding and applied at the valve seat, this in turn and considered a critical, because once it is defective as the one mentioned above, may jeopardize the operation of the engine. With the use of a first test of three parts, each was identified as one reacted in accordance with the electric current subject. Soon after first test, another test was made with eight parts, thereby seeking to optimize the process and obtaining the appropriated power of the process

Keywords: Plasma welding. Depth of welding. Hardness.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Válvulas VX3152M0 no tabuleiro.....	22
Figura 02 – Logo Marca Waukesha.....	23
Figura 03 – Rota da válvula VX3152M0.....	23
Figura 04 – Válvula depositada.....	24
Figura 05 – Máquina Starweld.....	25
Figura 06 – Desenho da máquina STARWELD 04.....	25
Figura 07 – Peça antes e depois de ser soldada.....	27
Figura 08 – Peça após a operação CNC.....	27
Figura 09 – Restante da válvula cortada.....	28
Figura 10 – Ataque no marble.....	28
Figura 11 – Profundidade de penetração da solda.....	29
Figura 12 – Amostra metalográfica (embutida em baquelite) mostrando a profundidade de penetração.....	29
Figura 13 – Válvula após soldagem.....	30
Figura 14 – Falta de material.....	31
Figura 15 – Furo na sede.....	31
Figura 16 – Diluição da solda no perfil.....	32
Figura 17 – Profundidade de penetração da solda na margem.....	32
Figura 18 – Profundidade de penetração da solda na sede.....	33
Figura 19 – Amostra metalográfica (embutida em baquelite) mostrando a profundidade de penetração.....	33
Figura 20 – Fusão do material base.....	34
Figura 21 – Penetração da solda na sede.....	35
Figura 22 – Diluição do material de adição no perfil da válvula.....	35
Figura 23 – Amostra metalográfica (embutida em baquelite) mostrando a profundidade de penetração.....	36
Figura 24 – Não diluição dos materiais.....	37
Figura 25 – Solda fria na válvula número 03.....	37
Figura 26 – Diluição do material na face inferior na peça número 04.....	38
Figura 27 – Diluição do material na margem da peça número 04.....	38
Figura 28 – Penetração da solda na peça número 04.....	39
Figura 29 – Amostra metalográfica (embutida em baquelite) mostrando a profundidade de penetração.....	39
Figura 30 – Falha no caldeamento.....	40
Figura 31 – Diluição do material na face inferior na peça número 05.....	41
Figura 32 – Diluição do material na margem peça número 05.....	41
Figura 33 – Penetração da solda na peça número 05.....	42
Figura 34 – Amostra metalográfica (embutida em baquelite) mostrando a profundidade de penetração.....	42
Figura 35 – Caldeamento isento de falhas.....	43
Figura 36 – Diluição do material na face inferior na peça número 06.....	43
Figura 37 – Diluição do material na margem peça número 06.....	44
Figura 38 – Penetração da solda na peça número 06.....	44
Figura 39 – Amostra metalográfica (embutida em baquelite) mostrando a profundidade de penetração.....	45
Figura 40 – Diluição do material na face inferior na peça número 07.....	46
Figura 41 – Diluição de material na margem peça número 07.....	46
Figura 42 – Penetração da solda na peça número 07.....	47

Figura 43 – Amostra metalográfica (embutida em baquelite) mostrando a profundidade de penetração	47
Figura 44 – Diluição do material na face inferior na peça número 08	48
Figura 45 – Diluição do material na margem peça número 08	48
Figura 46 – Penetração da solda na peça número 08	49
Figura 47 – Amostra metalográfica (embutida em baquelite) mostrando a profundidade de penetração	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Comparativo entre os resultados de profundidade e dureza..... 52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. OBJETIVO.....	15
1.2. OBJETIVO ESPECIFICO	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1. INTRODUÇÃO	15
2.2. SOLDAGEM.....	15
2.3. SOLDAGEM ELÉTRICA A ARCO VOLTAICO	17
2.4. CORRENTE ELÉTRICA	18
2.4.1. CICLO DE TRABALHO.....	19
2.4.2. CONSTRUÇÃO E METODOS DE CONTROLE DE FONTES CONVENCIONAIS ESTÁTICAS	20
2.5. SOLDAGEM PLASMA	21
2.6. AÇOS PARA VÁLVULAS DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.....	22
2.7. AÇOS INOXIDÁVEIS	22
2.7.1. AÇOS INOXIDÁVEIS MARTENSÍTICOS	23
2.7.2. AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS.....	23
3. A EMPRESA ESTUDADA	24
4. VÁLVULA EM ESTUDO	24
4.1. FLUXO DE PRODUÇÃO DA VÁLVULA	25
5. MATERIAL DE ADIÇÃO	26
6. MÁQUINA EM ESTUDO	26
7. CONDUZINDO O ESTUDO DAS VÁLVULAS.....	28
7.1. TESTE INICIAL	28
7.1.1. PEÇA NÚMERO 01	28
7.1.1.1. ENSAIO METALOGRAFICO	29
7.1.1.2. CORPO DE PROVA.....	31
7.1.2. PEÇA NÚMERO 02	32
7.1.2.1. ENSAIO METALOGRAFICO	33
7.1.2.2. CORPO DE PROVA.....	35
7.1.3. PEÇA NÚMERO 03	36
7.1.3.1. ENSAIO METALOGRAFICO	37
7.1.3.2. CORPO DE PROVA.....	38
7.2. TESTE FINAL	38
7.2.1. PEÇA NÚMERO 03	39
7.2.2. PEÇA NÚMERO 04	40
7.2.2.1. ENSAIO METALOGRAFICO	41
7.2.2.2. CORPO DE PROVA.....	41
7.2.3. PEÇA NÚMERO 05	42
7.2.3.1. ENSAIO METALOGRAFICO	43
7.2.3.2. CORPO DE PROVA.....	44
7.2.4. PEÇA NÚMERO 06	45
7.2.4.1. ENSAIO METALOGRAFICO	46
7.2.4.2. CORPO DE PROVA.....	47
7.2.5. PEÇA NÚMERO 07	47

7.2.5.1. ENSAIO METALOGRAFICO	48
7.2.5.2. CORPO DE PROVA.....	49
7.2.6. PEÇA NÚMERO 08	50
7.2.6.1. ENSAIO METALOGRAFICO	51
7.2.6.2. CORPO DE PROVA.....	51
7.3. CONCLUSÕES FINAIS DOS ESTUDOS DE INFLUÊNCIA DE CORRENTE ELÉTRICA EM VÁLVULAS AUTOMOTIVAS.....	52
CONCLUSÕES	54
REFERÊNCIAS	55

**SISTEMA DE BIBLIOTECAS
FEPEMIG**

BIBLIOTECA MONSENHOR DOMINGOS PRADO FONSECA

1. INTRODUÇÃO

A soldagem desde muito tempo já vem sendo usada na antiguidade, naquela época a soldagem era utilizada para a construção de armas e outros instrumentos cortantes. Assim, ferramentas eram fabricadas com ferro e com tiras de aço soldadas nos locais de corte e endurecidas por têmpera

Quando se fala de solda logo vem à idéia de coalecencia entre materiais, e com a soldagem a plasma não acontece diferente. A soldagem a plasma é um processo que visa a união entre metais por intermédio de uma fusão dos componentes, esta fusão acontece através de um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo não consumível (tungstênio) e a peça (válvula). A união por plasma pode acontecer com ou sem a adição de material, quando o material de adição, que preenche a folga, for uma porção do próprio material de base a soldagem é chamada de autógena.

Como uma das ferramentas utilizadas, a que teve o peso maior foi a máquina STARWELD 04, equipamento que aloja em si o sistema de soldagem a plasma, e opera com intuito de adicionar cobalto na sede da válvula através de um arco elétrico. Esta operação é realizada com a finalidade de aumentar a resistência térmica e a corrosão do material, tendo em vista que o material de adição e o cobalto.

O estudo foi realizado com a ajuda de testes para a conclusão dos resultados, desta forma em primeira instancia foi-se utilizado três peças da válvula VX3152M0, assim alternando somente os parâmetros da corrente elétrica do equipamento, assim desconsiderando outros fatores que possam influenciar nos resultados finais. Posteriormente com o resultado do primeiro teste e levando em conta a avalia do mesmo, foi executado um novo teste mais detalhado.

Levando em conta o sistema de soldagem estudado, foram identificadas diferenças satisfatórias quando se fala de dureza e profundidade de solda do material. Não se esquecendo que a área depositada da válvula e a sede cujo seu controle de qualidade é muito alto devido a sua grande importância no funcionamento de um motor de combustão interna.

1.1. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo o estudo da corrente elétrica através de um sistema de solda a plasma e a verificação da influência da mesma na oscilação de dois fatores “profundidade de solda” e “dureza superficial” da válvula. Desta forma viabilizando uma otimização em relação a parâmetros ideais para corrente elétrica.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar comparativos em relação a corrente elétrica usada.
- Gerar através de uma tabela a otimização para cada caso.
- Determinar parâmetros ideais para corrente elétrica.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo tem por objetivo, analisar as contribuições teóricas que serão utilizadas para a estruturação deste estudo. Buscando todo conceito capaz de auxiliar na otimização do processo de soldagem a plasma em válvulas automotivas. Contudo o mesmo apresenta princípios elementares à detalhamentos técnicos do processo estudado.

2.2. SOLDAGEM

”Soldagem é a operação que visa a união de duas ou mais peças, assegurando na junta a continuidade das propriedades químicas e físicas” (QUITES, 2002, p.15). Usualmente faz se uso de outras aplicações quando se fala em soldagem, como para recuperações de peças desgastadas ou para formação de um revestimento com características especiais.

Para Quites (2002, p.15), “[...] Para garantir está continuidade, é necessário a interposição de material adicional, capaz de preencher a folga entre os materiais de base, e é indispensável a solubilização do material de adição no de base”.

Marques, Modenesi & Bracarense (2009, p.17) diz que “[...] A soldagem é o processo mais importante de união de metais utilizando industrialmente. Este método de união, considerado em conjunto com a brasagem, tem importante aplicação desde a indústria microeletrônica até a fabricação de navios e outras estruturas com centenas ou milhares de toneladas de peso. A soldagem é utilizada na fabricação de estruturas simples, como grades e portões, assim como em componentes encontrados em aplicações como elevado grau de responsabilidade, como nas indústrias químicas, petrolíferas e nuclear, e também na criação de peças de artesanato, jóias e de outro objeto de arte”.

Para Wainer, Brandi & Mello (1992, p.1), “[...] Denomina-se soldagem ao processo de união uma fonte de calor, com ou sem aplicação de pressão. A solda é o resultado desse processo”.

Wainer, Brandi & Mello (1992, p.3) diz que “O desenvolvimento e o aperfeiçoamento dos processos de soldagem são alcançados com a interação de três partes: projetos de equipamentos soldados, desenvolvimento e aperfeiçoamentos de soldagem, bem como dos materiais, visando obter boa soldabilidade. Realmente, pouco adianta desenvolver um novo material sem que ele possibilite alcançar boa soldabilidade. Por isso, os processos de soldagem estão em contínua evolução”.

Marques, Modenesi & Bracarense (2009, p.18) também diz que “[...] Um grande número de diferentes processos utilizados na fabricação e recuperação de peças, equipamentos e estruturas é abrangido pelo termo “SOLDAGEM”. Classificamente, a soldagem é considerada como um processo de união, porém, na atualidade, muitos processos de soldagem ou variações destes são usados para a deposição de material sobre uma superfície, visando à recuperação de peças desgastadas ou para a formação de um revestimento com características especiais”.

“Os métodos de união de metais podem ser divididos em duas categorias principais, isto é, aqueles baseados no aparecimento de forças mecânicas macroscópicas entre as partes a serem unidas e aqueles baseados em forças microscópicas (interatômicas ou intermoleculares). No primeiro caso, do qual são exemplos a parafusagem e a rebiteagem, a resistência da junta é dada pela resistência ao cisalhamento do parafuso ou rebite, mais as forças de atrito entre as superfícies em contato. No segundo caso, a união é conseguida pela aproximação dos átomos e moléculas das partes a serem unidas, ou destas e um material intermediário, até distâncias suficientemente pequenas para a formação de ligações metálicas e de Van der Waals”. (MARQUES, MODENESI & MARQUES, 2009, p.2)

“A solubilização requer energia. Por exemplo, no caso da soldagem a arco voltaico, esta energia provém quase que exclusivamente do próprio arco voltaico. Entretanto, no caso da soldagem por resistência elétrica, tem-se dois tipos de energia: (a) o calor gerado pelo “efeito joule”, quando a passagem de corrente elétrica pelas peças, e (b) a energia mecânica da pressão exercida entre duas peças ou chapas”. (QUITES, 2002, p.18)

Contudo, nota-se que a soldagem é um processo muito importante na indústria, e de alguma forma acaba sendo um ponto chave para a continuidade e inovações de vários equipamentos que deste sistema são dependentes.

Para Quites (2002 p.305), “[...] O sistema de soldagem é um sistema físico onde se desenvolve um processo essencialmente metalúrgico. O objetivo do sistema é unir elementos [...]”.

2.3. SOLDAGEM ELÉTRICA A ARCO VOLTAICO

Levando em conta todos os conceitos que foram definidos sobre soldagem, pode-se deduzir a importância que o mesmo possui diante ao processo metalúrgico, desta forma considerando a soldagem elétrica a arco voltaico como um dos princípios básicos da pesquisa.

“O arco elétrico consiste de uma descarga elétrica, sustentada através de um gás ionizado, a alta temperatura, conhecido como plasma, podendo produzir energia térmica suficiente para ser usado em soldagem, pela fusão localizada das peças a serem unidas. Atribui-se a primeira observação do arco elétrico em condições controladas a Sir Humphrey Davy, no início do século XIX. O termo arco foi aplicado a este fenômeno em função de sua forma característica resultante da convecção dos gases quentes gerados pelo mesmo. O limite superior de corrente em um arco elétrico não é bem definido, podendo atingir dezenas ou centenas de milhares de ampéres em certos circuitos. Para a soldagem a arco, correntes acima de 1000 A são utilizadas no processo a arco submerso e da ordem de 1 A ou inferiores são usados na soldagem com microplasma. Os valores mais comuns, contudo, são da ordem de 10^1 a 10^2 A”. (MARQUES, MODENESI & BRACARENSE, 2009, p.52)

“Em soldagem, o arco, em geral, opera entre um eletrodo plano, ou aproximadamente plano (a peça), e outro que se localiza na extremidade de um cilindro (o arame, vareta ou eletrodo), cuja área é muito menor do que a do primeiro. Assim a maioria dos arcos em soldagem tem um formato aproximadamente cônico ou “de sino”, com o diâmetro junto da peça maior do que o diâmetro próximo do eletrodo. Exceções podem ocorrer nos processos de soldagem a plasma e a arco submerso. No primeiro, um bocal de constricção na tocha restringe o arco, tornando-o aproximadamente cilíndrico”. (MARQUES, MODENESI & BRACARENSE, 2009, p.52)

“A soldagem elétrica a arco voltaico é o processo de soldagem por solubilização líquida no qual a fusão origina-se da ação direta e localizada de um arco voltaico. Existem grandes vantagens em utilizá-lo como fonte de calor. Uma delas é a alta concentração de calor que permite obter elevadas temperaturas em um pequeno espaço, de tal forma que a zona de influência calorífica fica muito limitada; e outra é que ele pode subsistir em qualquer atmosfera gasosa, propiciando, pelo uso de atmosfera neutras, uma menor contaminação do banho metálico”. (QUITES, 2002, p.19)

Quites (2002, p.19) também diz que “[...] Depois de ligar a fonte de energia, aparecerá uma diferença de potencial elétrico entre o eletrodo e a peça a soldar. Não estará passando corrente elétrica, mas o eletrodo e a peça estarão já energizados. Isto significa que há uma tensão elétrica entre eles (na prática esta tensão é de 15 a 90 volts), chamada *tensão em vazio* (significa tensão sem corrente elétrica)”.

Para Wainer, Brandi & Mello (1992, p.9), “Pode-se definir o arco elétrico como “a descarga elétrica mantida através de um gás ionizado, iniciada por uma quantidade de elétrons emitidos do eletrodo negativo (catodo) aquecido e mantido pela ionização térmica do gás”.

“[...] arco elétrico para soldagem a descarga elétrica tem baixa tensão e alta intensidade. Nessa definição existem três conceitos importantes para o conhecimento do arco elétrico: calor, ionização e emissão”. (WAINER, BRANDI & MELLO, 1992, p.9).

“O calor é devido a movimentação de cargas elétricas no arco elétrico de um eletrodo permanente; a ocorrência de choques entre essas cargas gera calor. No arco os íons positivos podem ser considerados imóveis quando comparados com a velocidade dos elétrons, sendo estes, portanto, os responsáveis pela geração de calor. Para se ter uma ideia da participação de elétron no aquecimento, basta saber que, na colisão de um elétron com um átomo de hélio, somente 0,06% da energia acumulada pelo elétron é transferida para o átomo, aquecendo-o de 0,001 °C por colisão”. (WAINER, BRANDI & MELLO, 1992, p.9).

“A ionização ocorre quando um elétron localizado em uma órbita recebe uma quantidade de energia, sendo forçado para órbita de maior energia. Conforme energia que o elétron recebe, ele pode ou não sair da influência do campo eletromagnético do átomo e tornar-se um elétron livre. A energia necessária a produção de um elétron livre é chamada de potencial de ionização”. (WAINER, BRANDI & MELLO, 1992, p.10).

Para Wainer, Brandi & Mello (1992, p.9), “A emissão termiônica é um processo de liberação de elétrons de uma superfície”.

Segundo Anellise Zeemnn (2003, p.1), “[...] Chama-se de diluição a parcela de metal de base que entra na composição da zona fundida (metal e solda).”

Para Anellise Zeemnn (2003 p.1), “[...] a diluição apresenta pequena importância no que diz respeito ao comportamento da junta em serviço, porém em algumas aplicações “especiais” esta característica pode ser determinante na performance do componente, podendo inclusive favorecer falhas durante a operação do equipamento, sem que o problema – elevada diluição – possa ser detectado durante a fabricação”.

2.4. CORRENTE ELÉTRICA

Quando se fala na realização de uma soldagem é fundamental a utilização de uma fonte elétrica adequada. A corrente elétrica pode-se apresentar de duas diferentes formas, a saber: Corrente contínua e Corrente alternada.

“ A corrente elétrica não é visível, mas seus efeitos são”. (QUITES, 2002, p.25).

Segundo Quites (2002 p.344), “A corrente elétrica é um fluxo de partículas (positivas, negativas ou ambas), portadoras de carga elétrica. Logo, trata-se de uma circulação de energia. A corrente é medida segundo a quantidade de carga elétrica posta em circulação.”

“ Para que haja o fluxo dessas cargas elétricas é necessário que exista uma diferença de potencial elétrico, da mesma forma que para existir um fluxo de água, originando um rio ou uma cachoeira, é necessário uma diferença de nível”. (QUITES, 2002, p.25).

“Embora a corrente, como se viu, possa se caracterizar pela mão dupla de percurso das partículas ou pela movimentação única dos elétrons do negativo para o positivo, arbitrou-se para fins de cálculos matemáticos que o sentido da corrente é sempre ao lado positivo para o negativo.” (QUITES, 2002, p.26).

Segundo Quites (2002, p.26), “Uma corrente contínua pode ser definida como a que se obtém a partir do estabelecimento de uma diferença de potencial entre dois terminais (pólos) cujas polaridades são invariáveis no tempo.” “[...] único sentido de percurso [...]”.

“Quando a intensidade da corrente contínua varia periodicamente no tempo é denominada corrente pulsada.” (QUITES, 2002, p.25).

“Uma corrente alternada pode ser definida como a que se obtém a partir do estabelecimento de uma diferença de potencial elétrico entre dois terminais, cuja polaridade é alternadamente positiva ou negativa.” (QUITES, 2002, p.25).

“Na maioria das aplicações dos processos de soldagem por plasma, é usada a configuração de corrente contínua com polaridade direta (eletrodo negativo), circuito de arco transferido e eletrodo de tungstênio. A configuração de corrente contínua com polaridade reversa (eletrodo positivo), eletrodo de tungstênio ou cobre refrigerado a água é utilizado, com limitações, para a soldagem de alumínio”. (WAINER, BRANDI & MELLO, 2002, p.26).

Segundo Wainer, Brandi & Mello (1992, p.167), “Equipamentos especiais de corrente alternada com estabilizador contínuo de alta frequência podem ser utilizados para a soldagem de alumínio e suas ligas na faixa de corrente de aproximadamente 10 a 100 A”.

2.4.1. CICLO DE TRABALHO

Para Marques, Modenesi & Bracarense (2009, p.66), “Os componentes internos de uma fonte de energia tendem a se aquecer pela passagem da corrente elétrica durante uma operação de soldagem. Por outro lado, quando o arco não está operando, o equipamento tende a se resfriar, particularmente quando este apresenta ventiladores internos. Assim, em uma fonte operando continuamente por um período longo de tempo, a sua temperatura interna pode se tornar muito elevada. Caso ela ultrapasse um valor crítico, dependente das características construtivas, o equipamento poderá ser danificado pela queima de algum componente ou pela ruptura do isolamento do transformador, ou poderá ter sua vida útil grandemente reduzida”.

“O ciclo de trabalho (ou fator de trabalho) é definido como a relação entre o tempo de operação permitido durante um intervalo de teste específico [...]” (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009, p.66).

2.4.2. CONSTRUÇÃO E MÉTODOS DE CONTROLE DE FONTES CONVENCIONAIS ESTÁTICAS.

“ Fontes convencionais que utilizam diretamente a energia elétrica da rede são formadas basicamente de um transformador, um dispositivo de controle da saída da fonte e um banco de retificadores (em equipamentos de corrente contínua)”. (MARQUES, MODENESI & BRACARENSE, 2009, p.68).

“O transformador é um dispositivo que transfere energia elétrica de um circuito de corrente alternada para outro através de um campo magnético sem modificação de frequência, mas, dependendo de sua construção, levando a um aumento ou redução da tensão. Em linhas gerais, um transformador é composto de um núcleo de chapas de aço sobrepostas e enrolado por dois segmentos de fio que formam os enrolamentos primário (de entrada) e secundário (de saída)”. (MARQUES, MODENESI & BRACARENSE, 2009, p.69).

Para Marques, Modenesi & Bracarense (2009, p.69). “ Diodos, são componentes eletrônicos retificadores que apresentam valores de resistência elétrica diferentes, dependendo do sentido de fluxo da corrente, isto é, a resistência é muito menor em um sentido do que em outro. Assim, em um circuito de corrente alternada, este dispositivo permite bloquear o fluxo de corrente em um sentido e, desta forma, retificar a corrente”.

“ As fontes do tipo retificador são preferidas aos tipos motor-gerador, devido às suas características elétricas de saída”. (WAINER, BRANDI & MELLO, 1992, p.165).

“ Retificadores com tensão de circuito aberto, variando de 65 a 80V, são satisfatórios para soldagem com arco de plasma com argônio, puro ou com o máximo 7% de hidrogênio. Entretanto, usando hélio puro ou misturas argônio-hélio, tensões maiores serão necessárias para abertura do arco”. WAINER, BRANDI & MELLO, 1992, p.165).

“ O controle de um equipamento para soldagem com plasma compreende: fonte para o arco-piloto; válvulas e medidores de vazão dos gases do plasma e de proteção; sensor de fluxo de água de refrigeração; indicadores de arco-piloto; corrente e tensão de soldagem; controles de ajuste de corrente centralizado e remoto. Para equipamentos também destinados à soldagem automatizadas deve ser incluído o circuito e ajustes do programador de soldagem, permitindo a programação da sequência do gás de proteção, a cive, pulsação, declive e intensidade de corrente; para soldagem utilizando a técnica buraco de fechadura o controle do fluxo de gás desde a abertura até a redução do fluxo para o fechamento do orifício no término da soldagem”. (WAINER, BRANDI & MELLO, 1992, p.165).

2.5. SOLDAGEM PLASMA

“Embora todo o arco voltaico seja considerado um plasma atravessado por corrente elétrica, somente um processo recebe a denominação de soldagem a plasma”. (QUITES, 2002, p.41).

“A particularidade que conduziu a esta designação foi o fato de o calor poder chegar até a peça sem a existência de um arco diretamente conectado a ela. O arco existente e estabelecido internamente a uma tocha, entra um eletrodo de tungstênio e um bocal de cobre que o circunda. O fluxo de argônio que é forçado para dentro da tocha se ioniza continuamente ao passar pelo arco, tornando-se plasma e gerando calor para a peça-obra. O plasma incide nesta peça com alta densidade e alta energia cinética. Esta é uma das versões do processo plasma chamada de arco não transferido. A outra versão denominada arco transferido, utiliza um arco, estabelecido entre o eletrodo e a peça”. (QUITES, 2002, p.42).

“Embora não seja tão comum, este processo pode ser semi-automático ou totalmente automatizado. Além disso o processo pode ser empregado com ou sem metal de adição”. (QUITES, 2002, p.42).

“O arco na soldagem plasma é bastante estável, de alta intensidade, e o cordão de solda é pouco afetado pela distância da tocha de soldagem à peça, conhecida como “atand-off”, permitindo, na soldagem manual, maior liberdade de operação ao soldador. O equipamento de soldagem a arco, exigindo cuidados especiais e manutenção mais difícil”. (MARQUES, MODENESI & BRACARENSE, 2009, p.220).

“Devido à sua grande estabilidade e excelente controle da fonte de calor, o processo plasma pode ser usado também na soldagem de peças de espessura muito pequena, inferior a 1mm, com intensidade de correntes de soldagem na faixa de uns poucos Ampères e uma tocha apropriada. Neste caso, a soldagem é chamada de microplasma”. (MARQUES, MODENESI & BRACARENSE, 2009, p.221).

“A soldagem a arco plasma é aplicável à maioria dos metais e a muitos materiais não metálicos. Entretanto, seu custo é relativamente elevado e pode, às vezes, inviabilizar o uso do processo de algumas aplicações”. (MARQUES, MODENESI & BRACARENSE, 2009, p.221).

Segundo Wainer, Bradi & Mello (2010, p.156), “ No processo de soldagem por plasma, a coalescência de metal é obtida através do aquecimento feito pelo arco que sofreu constrição”.

“O processo consiste inicialmente em provocar numa coluna de gás, com o auxílio de um arco elétrico, o aumento de sua temperatura, o suficiente para que os

impactos entre as moléculas de gás provoquem entre si certo grau de dissociação e ionização. O gás ionizado é forçado a passar através de um orifício de parede fria e esta repentina mudança provoca um grande gradiente térmico entre o centro da coluna de gás com periferia, que está em contato com a parede de cobre, fazendo com que a densidade no centro da coluna diminua, favorecendo aos elétrons adquirirem energia suficiente para provocar a ionização de outro átomos". (WAINER, BRANDI & MELLO, 1992, p.157)

Para Wainer, Brandi & Mello (1992, p.157). "No caso de soldagem a plasma, o eletrodo é alojado no interior do bocal de constrição. O arco é colimado e focalizado por esse bocal e se projeta em uma área relativamente pequena sobre a peça a ser soldada. A coluna do arco que emerge do bocal pode ser considerada, com boa aproximação, um cilindro, e praticamente não ocorre variação da área projetada pelo arco com a variação dentro de certos limites do comprimento do arco".

"O sistema consiste de uma tocha, fonte de energia, consolo de controle, cilindros de gases de plasma e proteção, circuito de água de refrigeração, controle remoto de corrente de soldagem etc". (WAINER, BRANDI & MELLO, 1992, p.161).

2.6. AÇOS PARA VÁLVULAS DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

"Vários fatores influenciam a seleção de materiais para uso em válvulas automotivas de exaustão e de admissão de motores. Os fatores mais importantes são: temperatura de operação, nível de tensões e ambiente corrosivo a que a válvula é exposta. De forma geral, válvulas de admissão estão submetidas a temperatura mais baixa que as válvulas de exaustão. Assim, a aplicação em válvulas de exaustão é, genericamente mais rigorosa". (SILVA & MEI, 1988, p.492).

"Para Silva & Mei (1988, p.492) "Em função destas solicitações, três famílias principais de ligas são empregadas nestas válvulas: Aços inoxidáveis martensíticos, aços inoxidáveis austeníticos e superligas a base de níquel". (SILVA & MEI, 1988, p.492).

"Válvulas "compostas", em que diferentes materiais são utilizados para haste e cabeça, encontram bons resultados, por permitirem balanceamento ótimo das características requeridas de cada região da válvula. Assim, uma haste martensítica, com boa resistência à fadiga e ao desgaste, pode ser soldada a uma cabeça austenítica, com melhores características para resistir à temperatura e corrosão". (SILVA & MEI, 1988, p.493).

"Em alguns casos, o emprego de revestimentos nas superfícies de contato pode também conduzir a bons resultados. Como a grande parte destes revestimentos é, tradicionalmente, de ligas a base de Co [...]". (SILVA & MEI, 1988, p.493).

2.7. AÇOS INOXIDÁVEIS

Os aços inoxidáveis como foi explanado anteriormente é um tipo de material que tem a sua importância no mercado metalúrgico, principalmente quando se fala em válvulas automotivas e basicamente são compostos de cromo e carbono.

2.7.1 AÇOS INOXIDÁVEIS MARTENSÍTICOS

“Os aços inoxidáveis martensíticos são ligados ao cromo e carbono e têm composições que interceptam o campo austenítico, no aquecimento. Assim, estes aços são temperáveis, apresentando na condição “temperado e revenido” [...]”. (SILVA & MEI, 1988, p.482).

“Em função da adição de cromo, têm resistência satisfatória à corrosão em diversos meios”. (SILVA & MEI, 1988, p.482).

Segundo Silva & Mei (1988,p.484) “O fluxograma típico de processamento para estes aços, geralmente fornecidos recozidos, é: deformação a quente, resfriamento controlado, recozimento, usinagem de desbaste, têmpera, revenimento e usinagem final”.

“O aquecimento, tanto para têmpera como para recozimento, deve ser lento, em virtude da baixa condutividade térmica destes aços”. (SILVA & MEI, 1988, p.484).

“Devido a elevadíssima temperabilidade destes aços, cuidados especiais são recomendados nos resfriamentos, especialmente após deformação a quente”. (SILVA & MEI, 1988, p.484).

“O revenimento é essencial para recuperar tenacidade após têmpera. Entretanto, o revenimento na faixa de 450°C a 550°C deve ser evitado, em vista de seu efeito negativo sobre tenacidade e resistência à corrosão”. (SILVA & MEI, 1988, p.484).

2.7.2 AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS

Segundo Silva & Mei (1988,p.486) “Aços inoxidáveis austeníticos são aços de baixo teor de carbono, ligados a Cr-Ni, principalmente, de modo a produzir uma estrutura essencialmente austenítica”.

“Apresentam boa resistência à corrosão e oxidação em diversos meios, excelente tenacidade, mesmo a baixas temperaturas, e boa resistência mecânica à temperatura elevada. São aplicados em equipamentos, estruturas, tubulações etc., em diversas indústrias, visando aproveitar, pelo menos, uma destas características”. (SILVA & MEI, 1988, p.486).

“A estrutura austenítica e não magnética. Assim, para aplicações onde esta característica é importante, a composição química pode ser balanceada de modo a eliminar a ocorrência de ferrita delta (magnética), mesmo em pequenas quantidades. Este material pode ser especificado através do sufixo NM”. (SILVA & MEI, 1988, p.486).

Segundo Silva & Mei (1988,p.487) “A elevada utilidade torna estes aços especialmente adequados à fabricação por conformação. Além disto, as propriedades mecânicas podem ser sensivelmente alterados por encruamento, nas operações de conformação. É importante considerar, entretanto, eventuais efeitos em outras características como, por exemplo, resistência à corrosão sob tensão”. (SILVA & MEI, 1988, p.487).

“Como estes aços não sofrem transformação de fase no aquecimento ou resfriamento, o controle do tamanho de grão, essencial para o controle das propriedades, é feito por recristalização. Assim, a deformação aplicada e os parâmetros de solubilização devem ser adequadamente ajustados, para se atingir o tamanho de grão desejado”. (SILVA & MEI, 1988, p.487).

“De forma geral, o tempo de patamar no tratamento de solubilização deve ser o mínimo suficiente para o tratamento”. (SILVA & MEI, 1988, p.487).

3. A EMPRESA ESTUDADA

A empresa que foi auxílio nos estudos referentes a este trabalho é uma companhia multinacional de origem norte americana, sendo que seu publico alvo são as montadoras e lojas de auto peças.

No Brasil a mesma se situa nos estados de São Paulo e Minas Gerais, sendo que são divididas de acordo com os produtos fabricados. Três Corações, cidade que juntamente com Santo André e responsável pela divisão de válvulas no Brasil, sendo a ferramenta chave para as pesquisas pertinentes do estudo.

4. VÁLVULA EM ESTUDO

A válvula que foi utilizada para a pesquisa, foi a VX3152M0. A mesma é forjada com o aço VV-45 da Villares / Silchrome 1 (Composição química 0,45 %C; 3,25 %Si; 0,40 %Mn; 8,50 %Cr; restante Fe), e utilizada para atender o mercado de motores estacionários, a mesma e de comercialização norte-americana e é um projeto da empresa WAUKESHA.

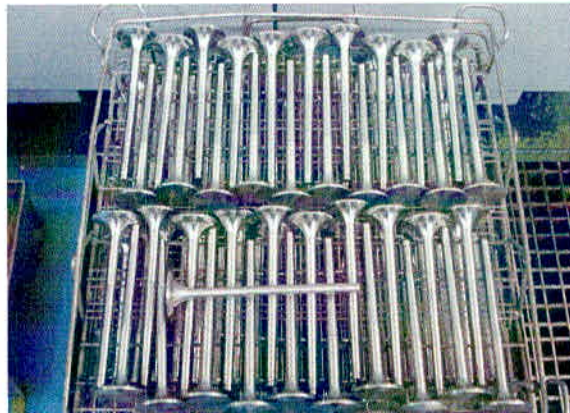


Figura 01: Válvulas VX3152M0 no tabuleiro.

Fonte: O autor.

5. MATERIAL DE ADIÇÃO

Como já foi dito anteriormente, a soldagem que é o foco dos estudos é a soldagem a plasma, que é uma operação executada com o auxílio de um arco voltaico e neste caso é feita com adição de material.

O material usado é o cobalto, liga que é usada na sede da válvula (figura 04) para aumentar a sua resistência térmica, a desgastes e boa soldabilidade. A estrutura da mesma é cúbica de face centrada, logo a sua resistência a altas temperaturas é maior.

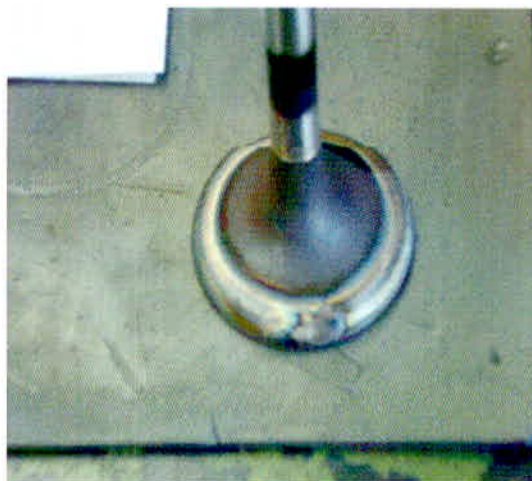


Figura 04: Válvula depositada
Fonte: O autor.

6. MÁQUINA EM ESTUDO

A máquina que foi utilizada para os estudos é a STARWELD 04, equipamento norte americano, que através de um sistema de soldagem a plasma efetua deposições juntamente com o cobalto (material de adição), desta forma propiciando um aperfeiçoamento nas propriedades físicas e mecânicas da válvula.



Figura 05: Máquina Starweld 04
Fonte: O autor.

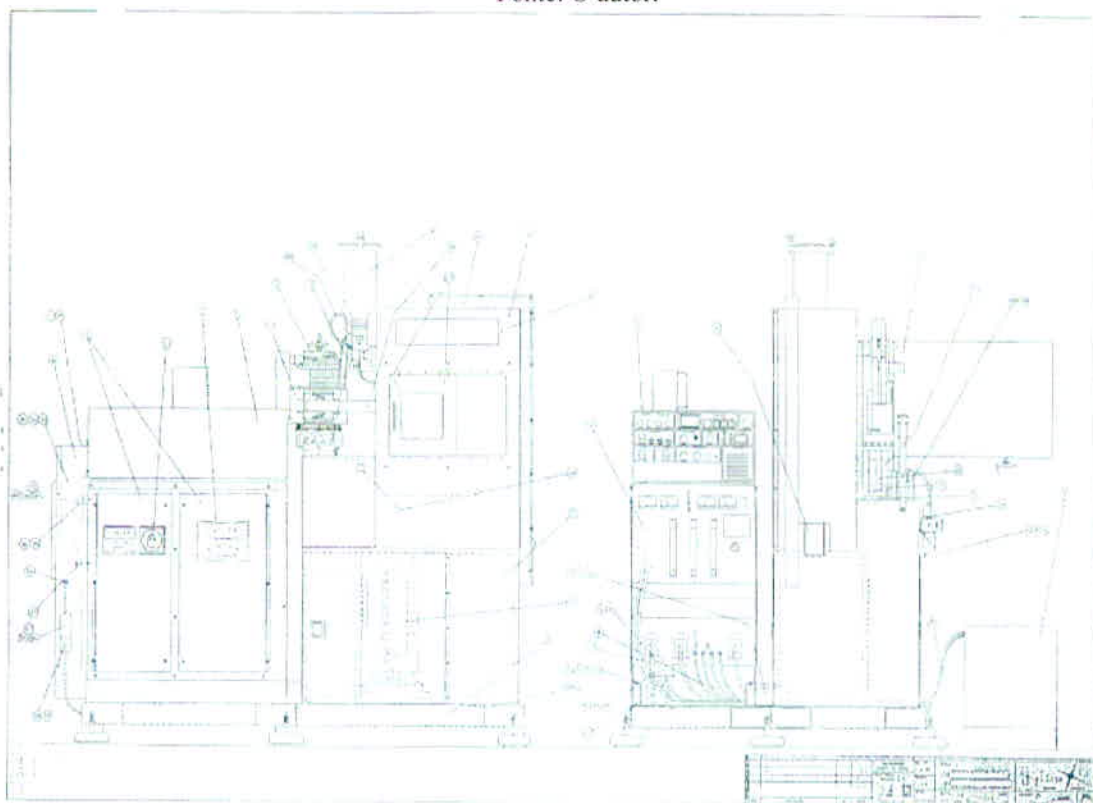


Figura 06 : Desenho da máquina STARWELD 04
Fonte: Manual Starweld.

Este equipamento possui algumas funções que são ajustadas de acordo com a necessidade do projeto, são elas:

Corrente inicial, Corrente de solda 1º degrau, Corrente de solda 2º degrau, Corrente de solda 3º degrau, Corrente de solda 4º degrau, Tempo de aclave, Tempo de declive, Atraso no declive do arco, Atraso no início da mesa, Giro da mesa 1º degrau, Giro da mesa 2º degrau, Giro da mesa 3º degrau, Giro da mesa 4º degrau, Atraso na alimentação do pó, Vazão do pó 1º degrau, Vazão do pó 2º degrau, Vazão do pó 3º degrau, Vazão do pó 4º degrau, Atraso na parada da vazão do pó, Velocidade da mesa, gás de centro, gás de proteção, gás do pó e vazão do pó.

7. CONDUZINDO O ESTUDO DAS VÁLVULAS.

Primeiramente fez-se uso de um teste piloto, com apenas três válvulas do cliente WAUKESHA, cujo o seu material e o VV-45 da Villares. O teste foi feito apenas variando a corrente elétrica.

7.1. TESTE INICIAL.

Após a confecção das válvulas, as mesmas seguiram o fluxo de uma peça normal e posteriormente foram submetidas a alguns testes. As peças foram identificadas pelos algarismos (01,02 e 03).

7.1.1. PEÇA NÚMERO 01.

Esta peça foi feita com uma corrente consideravelmente baixa 90 A, o objetivo a principio era identificar a reação da dureza e se a peça iria apresentar algum tipo de defeito superficial.



Figura 07: Peça antes e depois de ser soldada
Fonte: O autor.

A válvula quando submetida a uma corrente baixa, não revelou nenhum tipo de defeito superficial (após a operação CNC).



Figura 08: Peça após a operação CNC.
Fonte: O autor.

7.1.1.1. ENSAIO METALGRÁFICO.

A peça foi submetida a ensaios metalúrgicos, com a finalidade de identificar algum possível defeito. Todas as peças passaram pelos mesmos procedimentos, sendo eles, o ataque no “*Marble*” (líquido responsável em identificar os materiais de adição na válvula, composto por 20g sulfato cobre, 100 ml ácido clorídrico e 100 ml água destilada, e usado em materiais austeníticos), logo após, elas foram cortadas na “*Policort*” em 04 secções, posteriormente e feito o embutimento das amostras em um corpo de prova através do “*Baqueliti*”, o que restar da parte analisada da válvula atacar novamente no marble para mostrar a profundidade de solda, posteriormente é feito a metalografia, e finalmente a análise no microscópio antes e

depois do ataque no “Vilela” (Reagente metalográfico em materiais austeníticos e martensíticos, composto por 10g ácido pícrico, 50 ml ácido clorídrico e 950 ml álcool etílico).

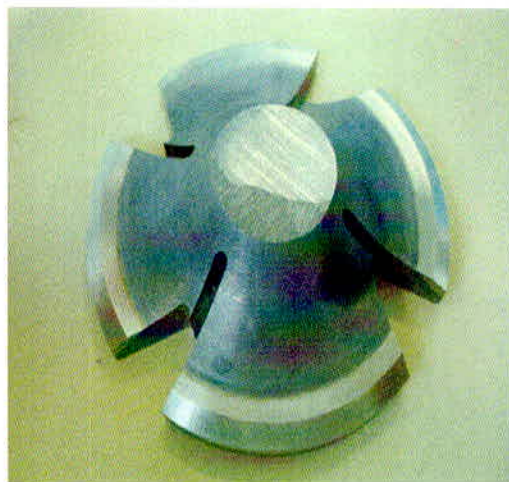


Figura 09: Restante da válvula cortada.
Fonte: O autor.



Figura 10: Ataque no marble.
Fonte: O autor.

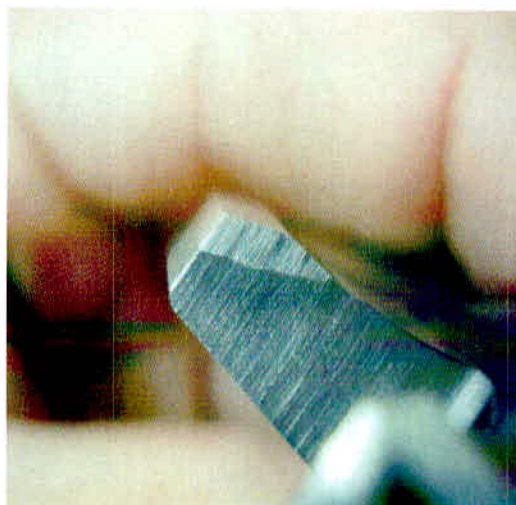


Figura 11: Profundidade de penetração da solda.
Fonte: O autor.

Nas figuras acima, nota-se a profundidade de penetração da solda (figura 11) e também consegue-se verificar nas figuras 09 e 10 a penetração do material de adição no material base tanto no perfil quanto na margem da válvula.

7.1.1.2. CORPO DE PROVA.



Figura 12: Amostra metalográfica (embutida em baquelite)
mostrando a profundidade de penetração.
Fonte: O autor.

A figura 12 expõe o estágio final da análise. Nela consegue-se identificar a profundidade da solda, a dureza na região soldada e entre outras características que não vem ao caso.

Com a finalização do ensaio foi obtido uma profundidade que varia entre 1,44 a 1,76 mm e uma dureza que se encontra entre 49,7 a 51,5 HRC.

7.1.2. PEÇA NÚMERO 02.

Esta peça foi feita com a corrente média 120 A. O objetivo era confeccionar uma válvula que sua dureza estivesse dentro do especificado e a superfície isenta de algum tipo de defeito superficial. Levando em conta que esta corrente é a usual no processo desta válvula.



Figura 13: Válvula após soldagem.

Fonte: O autor.

Seguindo os mesmos passos da peça anterior, a válvula após ser soldada continuou o ciclo normal, encontrou-se um possível defeito (falta de material) em uma operação posterior devido a alta diluição, como mostra a figura 14.



Figura 14: Falta de material
Fonte: O autor.

Ao passar a peça no CNC foi identificado um defeito superficial. A figura 15 mostra o defeito como um todo, como se vê a falta de material (figura 14) foi solucionada porém ao fazer a usinagem no CNC a válvula acabou revelando um vazio proveniente da solda.

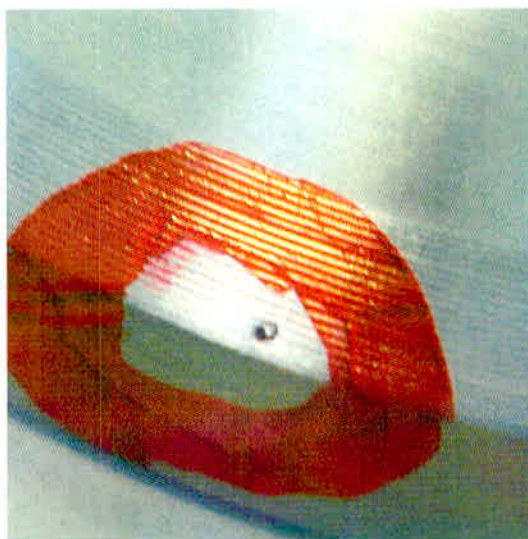


Figura 15: Furo na sede.
Fonte: O autor.

7.1.2.1. ENSAIO METALOGRAFICO.

Depois de ter seguido todos os procedimentos já citados acima para a execução da análise, foi identificado a profundidade de penetração da solda no perfil da válvula (fig 16).



Figura 16: Diluição da solda no perfil.
Fonte: O autor.



Figura 17: Profundidade de penetração da solda na margem.
Fonte: O autor.

Entretanto, é fácil perceber que houve uma maior penetração do material de adição no aço Villares, tanto no perfil (figura 16) como na margem da válvula (figura 17).

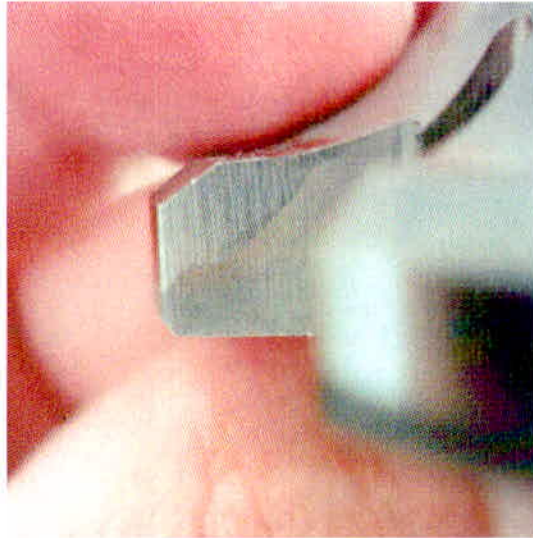


Figura 18: Profundidade de penetração da solda na sede.
Fonte: O autor.

Levando em conta a visualização das imagens (figura 17 e 18) acima, é fácil perceber que não foi necessário um aumento exagerado em relação a corrente para obter resultados satisfatórios.

**SISTEMA DE BIBLIOTECAS
FEPESMIG**

7.1.2.2. CORPO DE PROVA.

BIBLIOTECA MONSENHOR DOMINGOS PRADO FONSECA

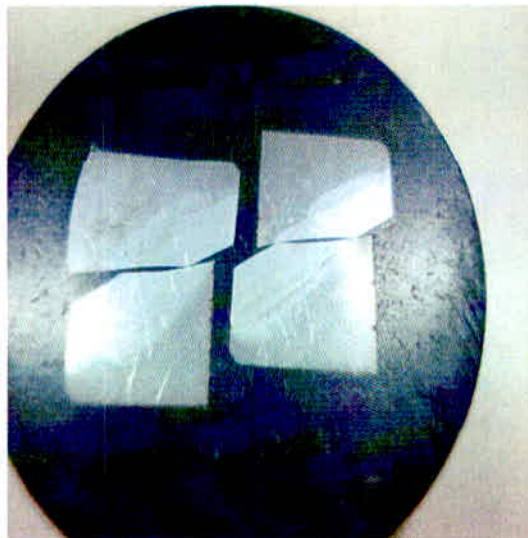


Figura 19: Amostra metalográfica (embutida em baquelite) mostrando a profundidade de penetração.
Fonte: O autor.

Com a finalização de mais um ensaio foi fácil deduzir o aumento de 60% da profundidade de solda quando comparado com a peça feita com a menor corrente, e a redução de 16% na dureza da válvula.

Entretanto, foi identificado uma profundidade na sede da válvula que varia de 2,46 a 2,66 mm e uma dureza que oscila de 42,2 a 42,8 HRC.

7.1.3. PEÇA NÚMERO 03.

A última peça analisada foi feita com uma corrente consideravelmente alta 180 A, o intuito então era expor os devidos defeitos que normalmente se encontram em uma peça feita com a amperagem acima do especificado.

Após seguir todos os procedimentos já citados acima, a válvula apresentou alguns defeitos que são provenientes da alta corrente usada para a execução da mesma.

A fusão do material base é consequência da alta corrente usada na execução da peça. Sempre quando se usa uma corrente muito alta na solda, acontecerá uma maior diluição do material de adição com o material base.

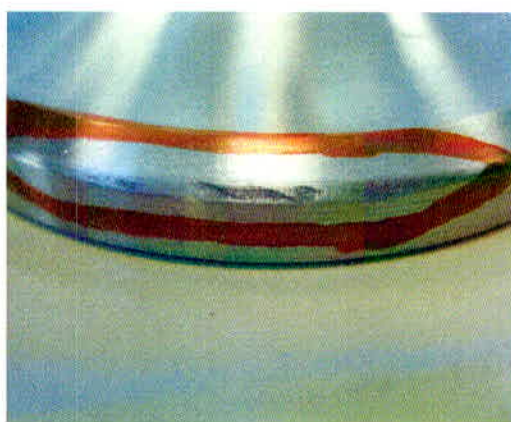


Figura 20: Fusão do material base.

Fonte: O autor.

Em determinados casos a corrente elétrica acaba sendo muito superior a resistência térmica do material base, assim gerando uma falta de material (figura 20), a fragilidade do material quando submetido a uma corrente de 180 A e evidente, devido a alta diluição que o mesmo sofreu.

7.1.3.1. ENSAIO METALOGRAFICO.

Depois de ter seguido todos os procedimentos já citados acima para a execução da análise, foi obtida a penetração da solda na sede (figura 21).



Figura 21: Penetração da solda na sede.
Fonte: O autor.

Visualizando a figura acima nota-se a grande profundidade de penetração da solda, obviamente a diluição do material foi consideravelmente alta. Conseqüentemente a dureza e profundidade (figura 22) será bem maior em relação a peça número 01 e peça número 02.



Figura 22: Diluição do material de adição no perfil da válvula.
Fonte: O autor.

7.1.3.2. CORPO DE PROVA.



Figura 23: Amostra metalografica (embutida em baquelite) mostrando a profundidade de penetração.

Fonte: O autor.

Chegando a etapa final do teste, foi identificado uma mudança considerável em relação a profundidade de solda e a dureza superficial, levando em conta o aumento gradativo da corrente elétrica pelo autor, percebe-se que quando há um aumento de 200% da mesma quando comparado a peça de menor amperagem (peça número 01), nota-se um aumento de 153,75% da profundidade da solda e uma redução de 24,35% da dureza do material.

Contudo, foi identificada uma dureza que fica entre 36,4 a 39,0 HRC e uma profundidade de solda que oscila entre 3,82 a 4,30 mm.

7.2. TESTE FINAL.

Com os bons resultados obtidos através do primeiro teste, foi possível a continuidade dos estudos. Desta forma foram separadas 08 peças da VX3152M0 para novas análises e verificações.

O teste foi realizado para todas as peças somente variando a corrente, sendo que os outros parâmetros da máquina ficaram inalterados. As oito peças destinadas ao estudo foram submetidas a correntes que oscilam de 60 a 200 A, variando assim em uma escala de 20 em 20A.

As duas primeiras peças são elas número 01 e 02, que trabalharam respectivamente a uma corrente de 60 e 80 A, não obtiveram a diluição dos materiais (figura 24), assim comprovando que correntes de 60 a 80 não são correntes viáveis, pois não fornecem a corrente (calor) necessário para que aconteça a diluição do material base com o metal de adição.



Figura 24: Não diluição dos materiais.
Fonte: O autor

7.2.1. PEÇA NÚMERO 03.

A peça número 03, obteve a penetração da solda, porém continuou com baixa corrente devido à detecção da não diluição dos materiais em uma operação posterior à de solda. A operação que foi identificada a não diluição do material, foi a operação torno CNC, que devido a sua alta rotação de trabalho separou os materiais.



Figura 25: Solda fria na válvula número 03.
Fonte: O autor.

Esta peça foi feita com uma corrente de 100 A. E por sua vez não foi possível a identificação da profundidade de solda e dureza devido a não diluição do material, desta forma a análise nesta peça foi suspensa.

7.2.2. PEÇA NÚMERO 04.

A peça número 04 foi submetida a uma corrente elétrica de 120 A. Com o objetivo de verificar a reação da peça em relação aos itens pesquisados e algum possível defeito superficial. Após a mesma ter passado por todo procedimento já citado acima, a válvula foi atacada no marble.



Figura 26: Diluição do material na face inferior peça número 04.
Fonte: O autor.



Figura 27: Diluição do material na margem da peça número 04.
Fonte: O autor.

7.2.2.1. ENSAIO METALGRÁFICO.

Logo após ter seguido todos os passos já citados acima para a execução da metalografia, foi obtido a penetração da solda (figura 28).

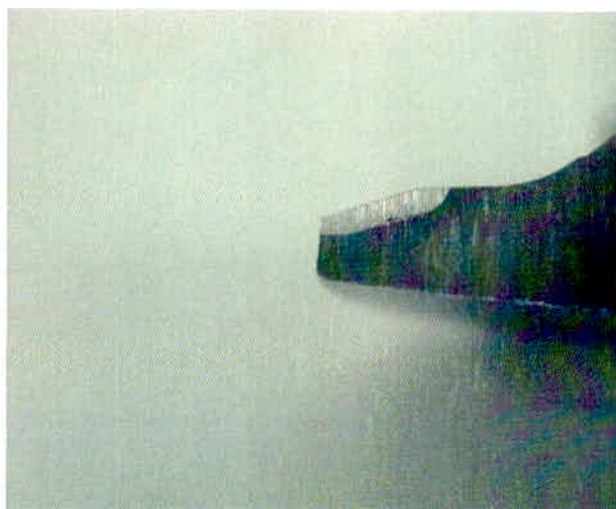
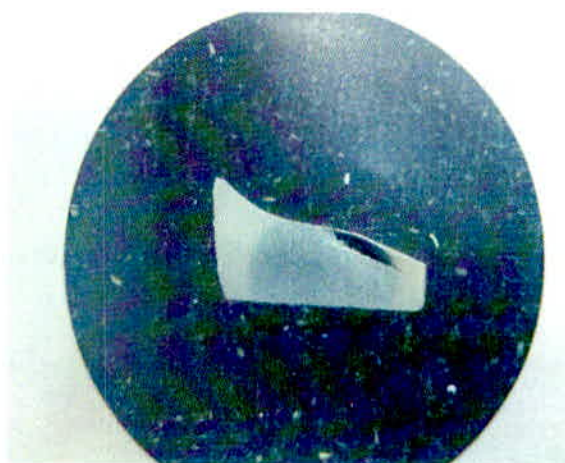


Figura 28: Penetração da solda na peça número 04.
Fonte: O autor.

Entretanto, nota-se que a profundidade de solda foi relativamente baixa, assim conclui-se que para este material a corrente contínua sendo baixa.

7.2.2.2. CORPO DE PROVA.



Fonte 29: Amostra metalográfica (embutida em baquelite) mostrando a profundidade de penetração.
Fonte: O autor.

A figura número 29, evidencia o estágio final da análise na peça, Desta forma foi identificado a profundidade de solda e a dureza na região soldada.

Desta forma, foi obtida uma profundidade de 0,96 mm e uma dureza de 53,9 HRC, na análise foi identificada a falha no caldeamento em toda a sua extensão depositada.

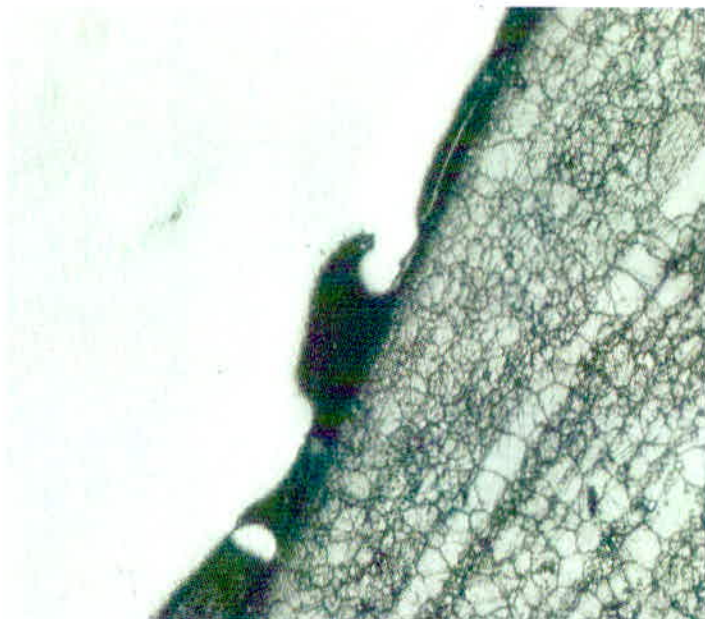


Figura 30: Falha no caldeamento.
Fonte: O autor.

Na figura 30, identifica-se claramente o motivo da dureza ter sido tão alta com esta corrente, a causa raiz foi a não diluição do material, nota-se que não houve a penetração do material de adição no material base.

7.2.3. PEÇA NÚMERO 05.

A peça número 05 foi submetida a uma corrente elétrica de 140 A. Com o objetivo de verificar a reação da peça em relação aos itens pesquisados e algum possível defeito superficial. Após a mesma ter passado por todo procedimento já citado acima, a válvula foi atacada no marble.



Figura 31: Diluição do material na face inferior na peça número 05
Fonte: O autor.



Figura 32: Diluição do material na margem peça número 05.
Fonte: O autor.

7.2.3.1. ENSAIO METALOGRÁFICO.

Logo após ter seguido todos os passos já citados acima para a execução da metalografia, teve-se então a penetração da solda na peça (figura 33).

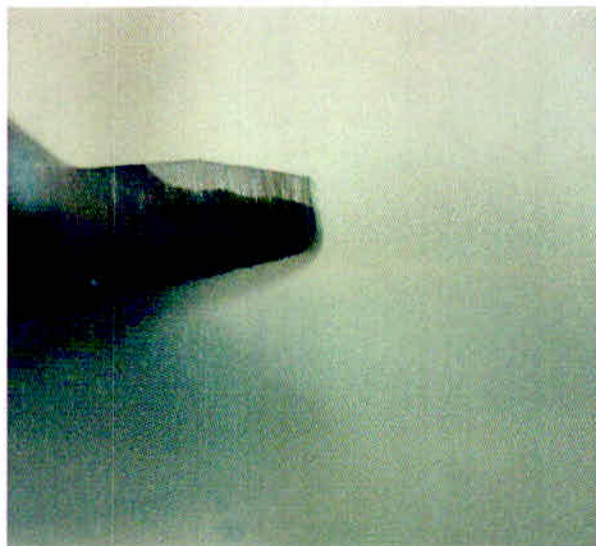


Figura 33: Penetração da solda na peça número 05.
Fonte: O autor.

7.2.3.2. CORPO DE PROVA.

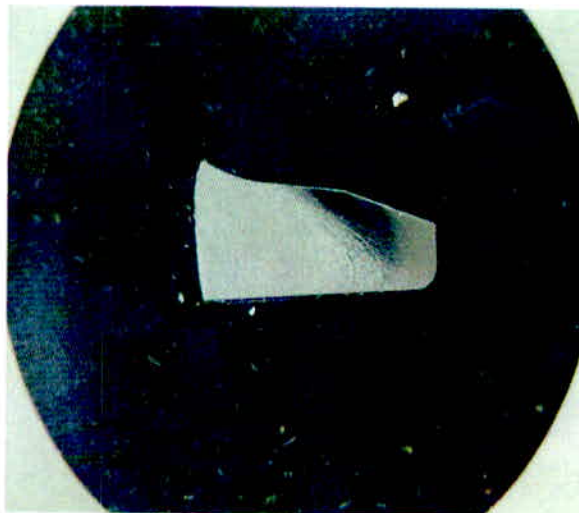


Figura 34: Amostra metalográfica (embutida em baquelite)
mostrando a profundidade de penetração.
Fonte: O autor.

Após a confecção do corpo de prova, foi identificada a dureza e a profundidade da mesma, a surpresa foi a profundidade de solda, que curiosamente apresentou-se inalterada, 0,96 mm, porém a dureza ficou na escala de 48,1 HRC.

Sua estrutura apresentou isenta de falhas no caldeamento, como mostra na figura 34.



Figura 35: Caldeamento isento de falhas.
Fonte: O autor.

7.2.4. PEÇA NÚMERO 06.

A peça número 06 foi submetida a uma corrente elétrica de 160 A. Com o objetivo de verificar a reação da peça em relação aos itens pesquisados e algum possível defeito superficial. Após a mesma ter passado por todo procedimento já citado acima, a válvula foi atacada no marble.



Figura 36: Diluição do material na face inferior na peça número 06
Fonte: O autor.



Figura 37: Diluição do material na margem peça número 06.
Fonte: O autor.

7.2.4.1. ENSAIO METALOGRÁFICO.

Logo após ter seguido todos os passos já citados acima para a execução da metalografia, desde então foi possível identificar a penetração da solda na peça (figura 38).



Figura 38: Penetração da solda na peça número 06.
Fonte: O autor.

7.2.4.2. CORPO DE PROVA.

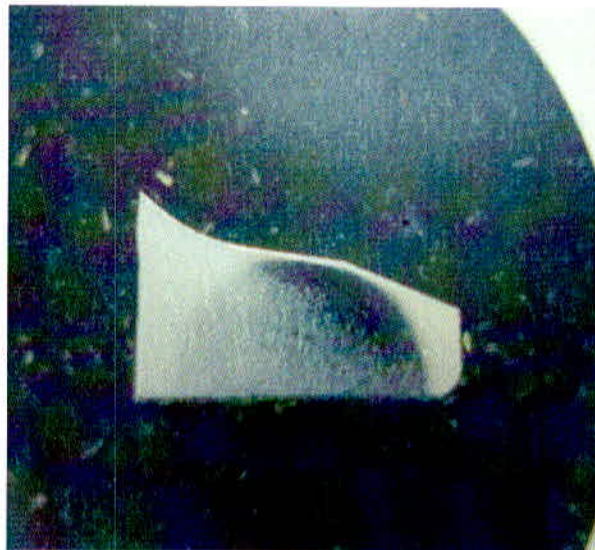


Figura 39: Amostra metalográfica (embutida em baquelite) mostrando a profundidade de penetração.

Fonte: O autor.

Após a confecção do corpo de prova, foi identificada a dureza e a profundidade da mesma, desta forma resultando em uma dureza de 46,4 HRC e uma profundidade de 1,20 mm. O caldeamento apresentou-se isento de falhas em todo o território depositado.

7.2.5. PEÇA NÚMERO 07.

A peça número 07 foi submetida a uma corrente elétrica de 180 A. Com o objetivo de verificar a reação da peça em relação aos itens pesquisados e algum possível defeito superficial. Após a mesma ter passado por todo procedimento já citado acima, a válvula foi atacada no marble.

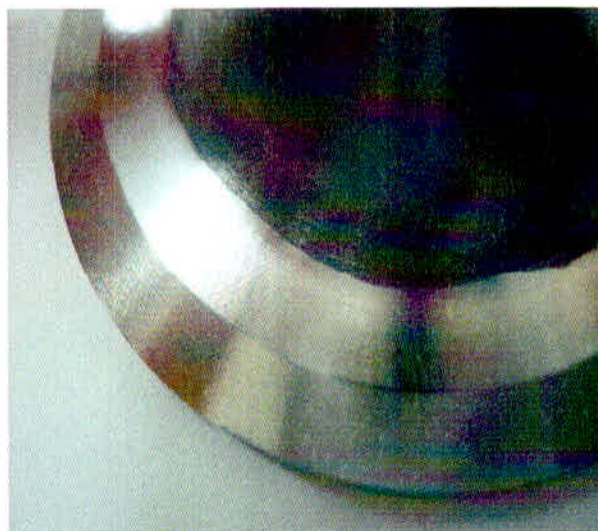


Figura 40: Diluição do material na face inferior na peça número 07
Fonte: O autor.

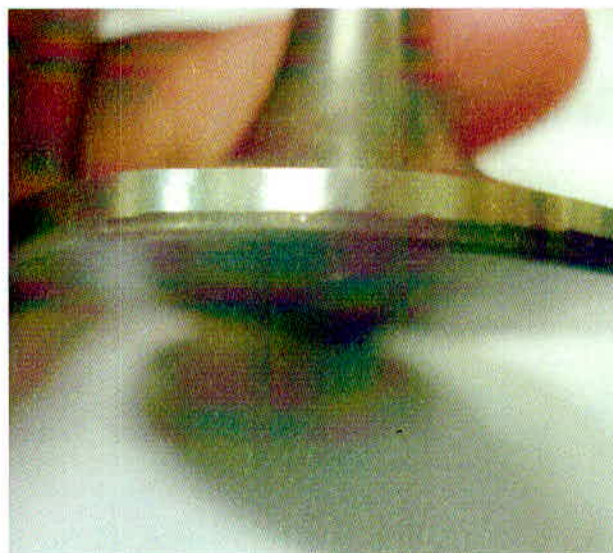


Figura 41: Diluição do material na margem peça número 07.
Fonte: O autor.

7.2.5.1. ENSAIO METALOGRÁFICO.

Logo após ter seguido todos os passos já citados acima para a execução da metalografia, foi obtido a penetração da solda (figura 42).

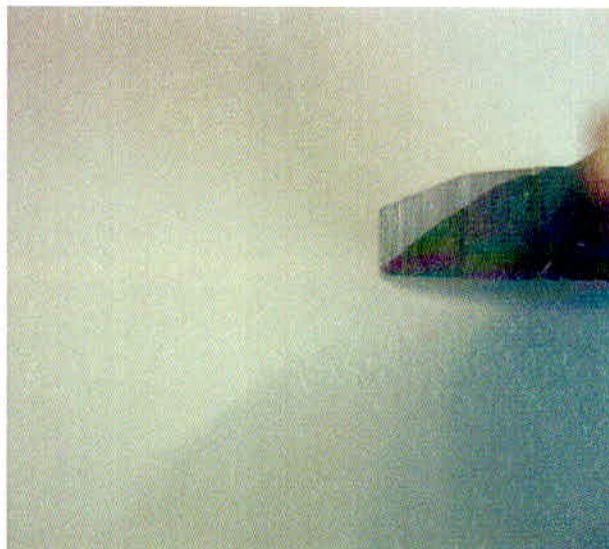


Figura 42: Penetração da solda na peça número 07.
Fonte: O autor.

7.2.5.2. CORPO DE PROVA.



Figura 43: Amostra metalográfica (embutida em baquelite) mostrando a profundidade de penetração.
Fonte: O autor.

Com a finalização de mais uma análise foi possível verificar os itens estudados, desta forma foi encontrado uma dureza de 39,0 HRC e uma profundidade de 1,32 mm, e lembrando que esta peça mesmo apresentado um caldeamento bom, infelizmente houve invasão do material de adição na face superior.

SISTEMA DE BIBLIOTECAS
FEPESMIG

BIBLIOTECA MONSENHOR DOMINGOS PRADO FONSECA

7.2.6. PEÇA NÚMERO 08.

A peça número 08 foi submetida a uma corrente elétrica de 200 A. Com o objetivo de verificar a reação da peça em relação aos itens pesquisados e algum possível defeito superficial.



Figura 44: Diluição do material na face inferior na peça número 08
Fonte: O autor.

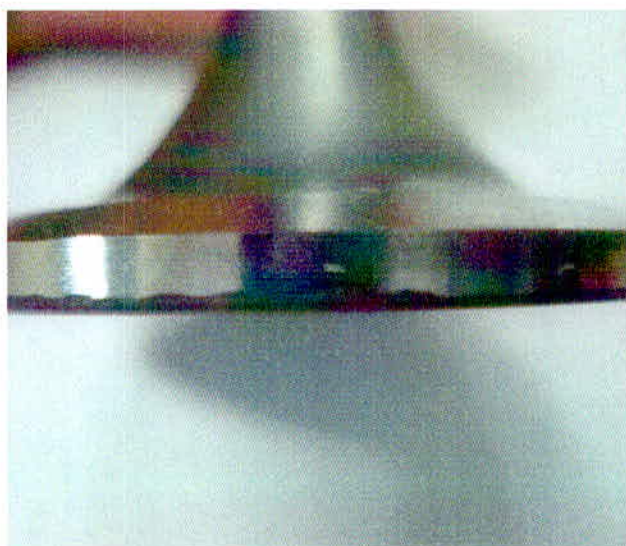


Figura 45: Diluição do material na margem peça número 08.
Fonte: O autor.

Após a mesma ter passado por todo procedimento já citado acima, a válvula foi atacada no marble.

7.2.6.1. ENSAIO METALOGRAFICO.

Com a execução de todos os procedimentos padrões para a análise metalográfica, foi possível verificar a penetração da solda através da figura 46.

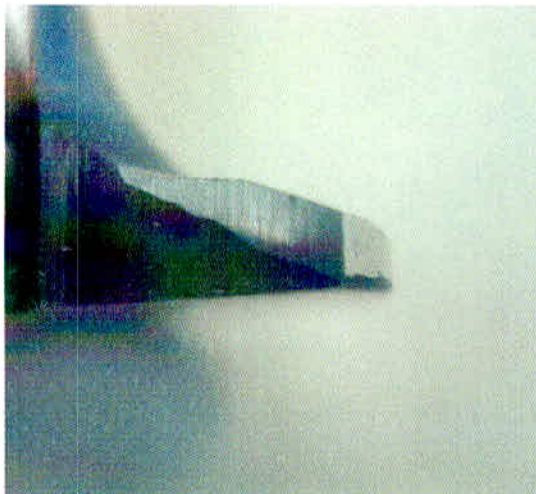


Figura 46: Penetração da solda na peça número 08.
Fonte: O autor.

7.2.6.2. CORPO DE PROVA.

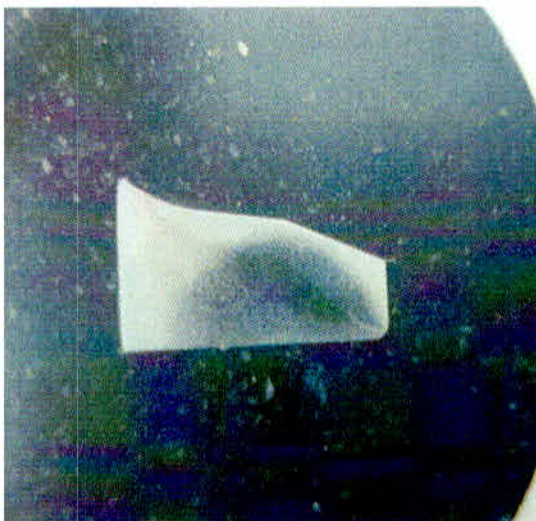


Figura 47: Amostra metalográfica (embutida em baquelite) mostrando a profundidade de penetração.
Fonte: O autor.

Concluindo a etapa final dos estudos foi identificado uma mudança considerável em relação a corrente e a profundidade de solda, contudo foi identificado uma dureza de 38,5 HRC e uma profundidade de solda de 2,36 mm.

O caldeamento desta válvula, está isento de falhas, porém houve a invasão na face superior da mesma.

7.3. CONCLUSÕES FINAIS DOS ESTUDOS DE INFLUÊNCIA DE CORRENTE ELÉTRICA EM VÁLVULAS AUTOMOTIVAS.

Antes de iniciarmos as análises, vejamos o comparativo entre os resultados na tabela abaixo.

Tabela 01 – Comparativo entre os resultados de profundidade e dureza.

Corrente elétrica (A)	Profundidade de solda (mm)	Dureza superficial (HRC)
60	-	-
80	-	-
100	-	-
120	0,96	53,9
140	0,96	48,1
160	1,20	46,4
180	1,32	39,0
200	2,36	38,5

Fonte: o autor

Como nota-se os dois parâmetros são inversamente proporcionais, conforme e evidenciado na tabela 01. Desta forma quanto maior for a profundidade de solda menor será a dureza superficial, resultado de uma corrente elétrica relativamente alta.

Em relação as peças depositadas foram retiradas algumas conclusões interessantes:

- A peça 01 e 02;

Estas válvulas foram submetidas à correntes elétricas de 60 e 80 A, logo após a execução na máquina as peças apresentaram um quadro de solda fria, desta forma comprovando-se a não viabilidade deste parâmetro. A solda fria surgiu pelo fato da corrente elétrica não ter fornecido o calor necessário para a diluição do material.

- A peça 03;

Quando fez se uso de uma corrente elétrica de 100 A, a princípio havia obtido a diluição dos materiais, porém ao analisar a mesma em operações posteriores, foi identificado a não penetração do material de adição no material base.

- A peça 04;

Entretanto, na peça denominada como número 04, houve soldabilidade a princípio, mas ao finalizar o corpo de prova e analisá-lo no microscópio foi possível identificar uma estrutura com falha no caldeamento em toda área depositada. A alta dureza que foi obtida ao utilizar esta corrente, foi consequência da falha no caldeamento.

- A peça 05 e 06;

Executadas com correntes de 140 e 160 A, respectivamente, ambas se comportaram muito bem aos testes. Desta forma não apresentaram nenhuma irregularidade na profundidade e dureza.

- A peça 07 e 08;

As últimas peças feitas para o estudo, não apresentaram resultados satisfatórios levando em conta que nestes casos houve invasão do material de adição na face superior da válvula.

CONCLUSÕES

O artigo teve como princípio, apresentar um estudo completo e detalhado. O mesmo fez-se uso de testes inteiramente práticos, cuja finalidade era verificar as reações emitidas pela válvula analisada em diferentes situações.

Entretanto, o mesmo foi executado em diversas situações, lembrando que todos os parâmetros ficaram inalterados exceto a corrente elétrica. Após as análises pertinentes do processo foi possível verificar que quando utilizada correntes que variam entre 60 e 120 A, ocorre a não diluição dos materiais, fato que surge devido a geração de calor insuficiente na área soldada, assim resultando em falha no caldeamento.

Contudo, nota-se que ao usar correntes que oscilam entre 180 e 200 A, devido aos resultados apresentados pelas peças que foram submetidas a estas correntes, as mesmas não são viáveis. Na análise foi evidenciada uma alta diluição dos materiais, desta forma ocorrendo uma penetração de solda relativamente alta invadindo a face superior da válvula.

Enfim, quando as peças foram submetidas a correntes que ficam entre 140 e 160 A, obtiveram-se então resultados satisfatórios tanto para profundidades de penetração de solda como para a dureza superficial da válvula. Com o termino das análises foi possível garantir que para tal processo e considerando a base dos estudos a válvula VX3152M0, a corrente de trabalho viável seria a que oscila entre 140 a 160 A, por ser o parâmetro que apresentou a diluição suficiente, ou seja, resultou-se a diluição do material sem que houve-se a penetração de solda excessiva. Outro fato importante evidenciado com a pesquisa foi a relação entre os parâmetros de profundidade de solda e a dureza, sendo que, ambos são inversamente proporcionais, variando de acordo com a corrente elétrica.

REFERÊNCIAS

- QUITES, Almir Monteiro – Introdução a soldagem a arco voltaico – Florianópolis – SC: Soldasoft, 2002. ISBN 85-89445-01-1
- WAINER, Emilio; BRANDI, Sérgio Duarte; MELLO, Fábio Décourt – Soldagem: Processos e metalurgia – São Paulo – SP: Edgard Blucher Ltda., 2000. ISBN 85-212-0238-5
- MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo José; BRACARENSE, Alexandre Queiroz – Soldagem: Fundamentos e tecnologia – Belo Horizonte – MG: UFMG, 2009. ISBN 978-85-7041-748-0
- SANTOS, Waldomiro dos – Soldagem: Processos e metalurgia – São Paulo – SP: ABM, 1981.
- STRASSER, Victor E. de – Soldagem moderna dos metais não ferrosos pelo arco elétrico – Rio de Janeiro - RJ: Sedegra, 1963.
- SILVA, André Luiz da Costa; MEI, Paulo Roberto – Aços e ligas especiais – Sumaré – SP: Eletrometal S.A Metais Especiais, 1988.
- Manual Stellite Starweld 4, Manual de operação e manutenção, 1984
- SOUZA, Gleicione Aparecida Dias Bagne – Manual de normalização: Trabalhos científicos – Varginha – MG, UNIS, 2005