

N. CLASS. 141 671.52
CUTTER E53e
ANO/EDIÇÃO 2014

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS

ENGENHARIA MECÂNICA

THOMAS WILLIAM EMIDIO

**EFICIÊNCIA ENTRE DOIS DIFERENTES TIPOS DE ELETRODOS DE SOLDA NA
RECUPERAÇÃO DE FERRAMENTAS AUTOMOTIVAS DE ESTAMPAR**

**Varginha
2014**

THOMAS WILLIAM EMIDIO

**EFICIÊNCIA ENTRE DOIS DIFERENTES TIPOS DE ELETRODOS DE SOLDA NA
RECUPERAÇÃO DE FERRAMENTAS AUTOMOTIVAS DE ESTAMPAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas Gerais - UNIS como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Mecânica sob orientação do Prof. Erik Vitor da Silva.

**Varginha
2014**

THOMAS WILLIAM EMIDIO

**EFICIÊNCIA ENTRE DOIS DIFERENTES TIPOS DE ELETRODOS DE SOLDA NA
RECUPERAÇÃO DE FERRAMENTAS AUTOMOTIVAS DE ESTAMPAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do UNIS-MG, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof.:

Prof.:

Prof.:

Convidado

OBS.:

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por ter abençoado toda dificuldade durante o curso, aos familiares pelo apoio e ao SENAI de Pouso Alegre pela grande ajuda a realização do mesmo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os colegas pelo apoio a família e principalmente os instrutores do SENAI de Pouso Alegre pela ajuda nos experimentos realizados no trabalho.

“Quando o trabalho é prazer, a vida é uma grande alegria. Quando o trabalho é dever, a vida é uma escravidão.”

Máximo Gorki

Grupo Educacional UNIS

RESUMO

Raramente materiais de adição são indicados e desenvolvidos com a finalidade de serem aplicados em aços ligas e temperados, pelo fato dos mesmos apresentarem uma difícil soldabilidade e necessitarem de tratamentos antes e pós-solda, no caso do VC-131 assim chamado pelo seu fabricante VILLARES, onde o mesmo apresenta uma alta resistência a abrasão e retenção de corte sendo um dos melhores aços aplicados em estampas de corte, especificamente em punções e matrizes. Ocasionalmente em uma visita na empresa TORATA, residente em Sorocaba-SP especializada em serviços de cromação de ferramentas de estampar, realizada pela equipe da Engenharia de Processos da empresa Flamma Automotiva foi comentado sobre nossa dificuldade em soldar esses tipos de aços com o material de adição WA-12 e nos foi indicado um material de adição especial importado diretamente por eles do Japão, mais conhecido como T-2000 tendo com característica um excelente resultado quando aplicado em materiais já temperados e de difícil soldabilidade e tendo como principal aplicação em aços ferramentas como VC-131. O presente estudo tem como principal objetivo relatar através de testes (estampagem e dureza) e análises (macroscópica e líquido penetrante), quais dos materiais de adição terá o melhor resultado, rendimento e custo benefício aplicando-os em diferentes corpos de prova devidamente preparados relatando a realidade, posteriormente realização de cálculo de viabilidade para calcular os custos dos diferentes tipos.

Palavra-chave: Custo benefício. Estampas de corte. Análises e testes.

ABSTRACT

Adding materials are rarely indicated and developed in order to be applied and tempered alloy steels, because of weldability they present a difficult and require treatment before and after welding, in the case of so-called VC-131 by its manufacturer VILLARES , where it has a high abrasion resistance and retention of one of the best cutting steels used in cutting dies, punches and dies specifically. Occasionally visit the company Torata, residing in Sorocaba-SP specializing in chroming of stamping tools, performed by the Process Engineering team Flamma Automotive services company has commented on our difficulty in welding these types of steels with the addition material WA-12 and the special addition of a material directly imported by them from Japan, better known as T-2000 has good weldability characteristics with materials already in temperate and difficult weldability was appointed and its main application in steel tools like VC 131. This study aims to report through testing (stamping and hardness) and Reviews (macroscopic and liquid penetrant), which the added material will have the best result, yield and cost benefit by applying them in different specimens prepared properly reporting reality and subsequently conducting feasibility calculation to calculate the costs of different types.

Keyword:*Cost benefit. Cutting dies. Analysis and testing.*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 PREPARAÇÕES DOS CORPOS DE PROVA PARA APLICAÇÃO DA SOLDA	16
2.1 Fresamento.....	16
2.1.1 Conceito de fresamento.....	16
2.2 Furação e tipagem	17
2.2.1 Conceito de furação.....	17
2.3 Chanfro	18
2.4 Tratamento Térmico	18
2.4.1 Procedimentos dos Tratamentos Térmicos	18
2.4.1.1 Procedimentos para Tempera.....	18
2.4.1.2 Procedimentos para Revenimento.....	19
3 APLICAÇÃO DA SOLDA	20
3.1 Conceito de Soldagem	20
3.1.1 Soldagem elétrica com eletrodo revestido WA-12	20
3.1.2 Processo, Máquina e Parâmetros Utilizados	21
3.1.3 Soldagem TIG com eletrodo T-2000	23
3.1.4 Processo, Máquina e Parâmetros Utilizados	24
4 AJUSTE DAS MEDIDAS.....	27
4.1 Aproximação das Medidas (Desbaste).....	27
4.2 Medidas Finais.....	27
5 REALIZAÇÃO DOS TESTES	29
5.1 Macrografia	29
5.1.1 Preparação para Ataque dos Corpos de Prova.....	29
5.1.1.1 Embutimento	29
5.1.1.2 Lixamento e Polimento Automático	29
5.1.2 Ataque dos Corpos de Prova	30
5.1.3 Visualização Microscopia dos Corpos de Prova.....	31
5.1.4 Resultados	33
5.2 Teste com Líquido Penetrante	33
5.2.1 Aplicação do Penetrante.....	33
5.2.2 Remoção do excesso de penetrante.....	35
5.2.3 Revelação	36
5.2.4 Resultados	37
5.3 Teste de Estampagem.....	38
5.3.1 Resultados	40
5.4 Teste com líquido penetrante após a estampagem	40
5.4.1 Resultados	41
5.5 Análise microscopia após a estampagem	41
5.5.1 Resultados	43
6 CUSTOS.....	44
6.1 Custo de uma parada de linha com possibilidade de correção	44
6.2 Custo de uma parada de linha sem possibilidade de correção.....	44

6.3 Custo dos eletrodos.....	45
6.4 Ganho anual com aplicação do eletrodo nas paradas de linha	45
7 CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS	48

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Estoque de matérias e tipos de materiais	16
Figura 02 – Fresamento dos corpos de prova.....	17
Figura 03 – Corpos de prova fresados e com roscas de fixação	17
Figura 04 – Corpos de prova chanfrados	18
Figura 05 – Relação Dureza x Temperatura de Revenimento	19
Figura 06 – Dados técnicos do eletrodo utilizados WA-12.....	21
Figura 07 – Máquina de solda elétrica BAMBOZZI	22
Figura 08 – Soldagem dos corpos de prova processo elétrico	22
Figura 09 – Corpo de prova soldado com eletrodo WA-12	23
Figura 10 – Dados técnicos do eletrodo utilizado T-2000	24
Figura 11 – Máquina de solda TIG, LINCOLN INVERTEC	25
Figura 12 – Soldagem dos corpos de prova processo TIG.....	25
Figura 13 – Corpos de prova soldados com eletrodo T2000.....	25
Figura 14 – Aproximação das medidas para retificar	27
Figura 15 – Retificando os corpos de prova.....	28
Figura 16 – Lixa utilizada no processo de lixamento.....	30
Figura 17 – Lixadeira utilizada no processo de lixamento.....	30
Figura 18 – Lixadeira utilizada no processo de polimento	30
Figura 19 – Corpos de prova já atacados	31
Figura 20 – Microscópio utilizado	31
Figura 21 – Corpo de prova número 2	32
Figura 22 – Corpo de prova de número 4.....	32
Figura 23 – Corpo de prova de número 1.....	32
Figura 24 – Corpo de prova de número 3.....	33
Figura 25 – Líquido penetrante	34
Figura 26 – Demonstração da penetração do líquido penetrante	34
Figura 27 – Aplicação do líquido penetrante nos corpos de prova	35
Figura 28 – Penetração do líquido penetrante nos corpos de prova.....	35
Figura 29 – Exemplo do estado do corpo de prova após a remoção do líquido penetrante	36
Figura 30 – Corpo de prova após a remoção do líquido penetrante.....	36
Figura 31 – Revelador	36
Figura 32 – Exemplo do estado do corpo de prova após a aplicação do revelador	37

Figura 33 – Aplicação do revelador	37
Figura 34 – Revelação dos defeitos	37
Figura 35 – Estampo utilizado para teste de estampagem	38
Figura 36 – Prensa utilizada para teste de estampagem	39
Figura 37 – Montagem do estampo em prensa	39
Figura 38 – Processo de estampagem	40
Figura 39 – Peças estampadas.....	40
Figura 40 – Aplicação do líquido penetrante após a estampagem	41
Figura 41 – Revelação dos defeitos após a estampagem	41
Figura 42 – Corpo de prova de número 1, após a estampagem	42
Figura 43 – Corpo de prova de número 2, após a estampagem	42
Figura 44 – Corpo de prova de número 3, após a estampagem	42
Figura 45 – Corpo de prova de número 4, após a estampagem	43
Figura 46 – Comparação dos corpos de prova antes e após a estampagem	43

1 INTRODUÇÃO

O trabalho apresenta um estudo de caso onde se obtém a eficiência financeira e qualitativa e apresentando qual melhor custo benefício, entre dois diferentes tipos de eletrodos de solda aplicados em estampos de corte automobilísticos especificamente em punções e matrizes, onde os eletrodos são usados constantemente para manutenção tanto corretiva como preventiva dos mesmos.

Como as empresas na atualidade estão totalmente voltadas à redução de desperdício e custos, achar qual melhor processo para se utilizar em suas correções, seria uma grande vitória, pois a mesma é responsável por muitas paradas de linha e isso custa muito para a empresa, tanto como perda de produção quanto ao serviço executado, pois o mesmo terá que ser realizado novamente. Utilizando o eletrodo T-2000 para essas correções possivelmente será a melhor aplicação, pois as indicações do eletrodo citado são ótimas e suas reações são mínimas. Tendo em vista que para sua aplicação se utiliza o processo TIG e se tratar de um eletrodo e um processo relativamente mais caro, a recomendação do fornecedor seria sua utilização, pois sua solda fica mais uniforme não aquecendo a peça e sua microestrutura não sofre alterações, fazendo que seu gume de corte permaneça estável e não condenando seu material base, eliminando trincas geradas por superaquecimento.

O objetivo principal do trabalho será identificar se realmente o material de adição indicado pelo cliente seria realmente o mais viável, ou se o eletrodo utilizado atualmente (WA-12) teria o melhor custo benefício, já que o mesmo se trata de um eletrodo de menor custo e resultado satisfatório.

Para tal avaliação serão levantados os seguintes dados e realizados os seguintes testes:

- a) Realizar um estudo de tempo de processo (média de tempo perdido a cada parada);
- b) Levantar custos dos processos e eletrodos;
- c) Elaborar e aplicar os diferentes tipos de solda em corpos de prova de VC 131;
- d) Realizar análise microscopia nos corpos de prova antes e depois de serem exercidos esforços nos mesmos;
- e) Realizar teste com líquido penetrante antes e depois do teste de estampagem;
- f) Realizar teste de estampagem para que os mesmos possam ser submetidos ao esforço de trabalho;
- g) Realizar o cálculo de custo benefício para identificar qual será mais viável para utilizar, e qual será o ganho a empresa;

Este na verdade é um caso prático da empresa FLAMMA AUTOMOTIVA, onde são usados os dois tipos de eletrodos para correção de estampos. A idéia seria a padronização dos eletrodos a fim de economizar tanto em manutenções quanto em paradas de linhas e gasto na compra dos mesmos.

2 PREPARAÇÕES DOS CORPOS DE PROVA PARA APLICAÇÃO DA SOLDA

Os corpos de prova foram retirados do mesmo material, para que a variação seja mínima possível. O material utilizado conforme demonstrado na figura 01 foi VC 131, pois os mesmos são aplicados em punções e matrizes.

Figura 01 - Estoque de matérias e tipos de materiais.



Fonte: O autor

2.1 Fresamento

Após o corte o mesmo passou pelo processo de fresamento, aproximando de sua medida real e seu formato.

2.1.1 Conceito de fresamento

Segundo Chiaverini (1983) fresagem é uma operação de usinagem que se executa em uma fresadora (figura 02), com o auxílio de uma ferramenta rotativa poliacortante chamada fresa. O material arrancando (cavaco) tem o formato de uma vírgula. Como a fresa é dotada de vários dentes, a operação de usinagem é quase contínua, permitindo ainda a cada dente da ferramenta resfriar enquanto não está cortando.

Figura 02 - Fresamento dos corpos de prova.



Fonte:O autor

2.2 Furação e tipagem

Depois de fresado os corpos de prova foram furados e aberto rosca M6 para fixação na ferramenta e tipados (marcados), para que nos próximos processos não sejam confundidos. A figura 03 demonstra os mesmos furados e tipados.

Figura 03 - Corpos de prova fresados e com roscas de fixação.



Fonte:O autor

2.2.1 Conceito de furação

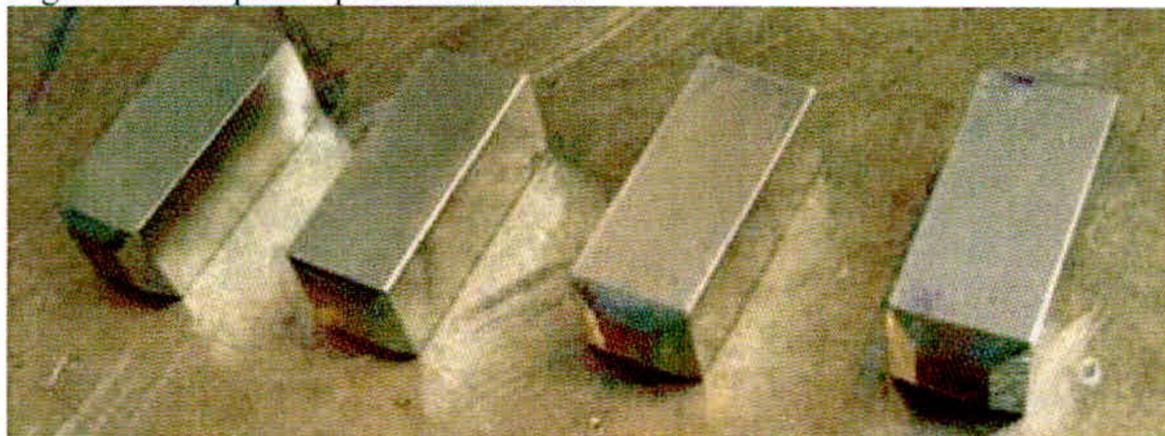
A furação é um processo de usinagem que tem por objetivo a geração de furos, na maioria das vezes cilíndricos, em uma peça, através do movimento relativo de rotação entre a peça e a ferramenta multi e monocortante, denominada broca. A continuidade da retirada de material é garantida pelo movimento relativo de avanço entre a peça e a ferramenta, que ocorre segundo uma trajetória coincidente ou paralela ao eixo longitudinal da ferramenta.

2.3 Chanfro

Após tipados os mesmos foram direcionados a ferramentaria para que fossem chanfrados com 1,5x,1,5mm conforme figura 04, para a adição dos respectivos materiais de adição.

Para sua execução foi utilizado uma lixadeira pneumática com disco abrasivo de 3 mm de espessura

Figura 04 - Corpos de prova chanfrados.



Fonte:O autor

2.4 Tratamento Térmico

Antes que os mesmos fossem soldados, os corpos de prova de numeração 3 e 4 foram temperados e revenidos, para que os testes mostrem a realidade, pois a maioria dos punções e matrizes onde os eletrodos são aplicados são temperados e revenidos.

2.4.1 Procedimentos dos Tratamentos Térmicos

O procedimento para o tratamento térmico dos corpos de prova foi feito conforme norma do fabricante.

2.4.1.1 Procedimentos para Tempera

O aquecimento das peças para têmpera foi com temperatura entre 950 e 970 °C, durante aproximadamente 16 minutos.

O resfriamento foi em óleo.

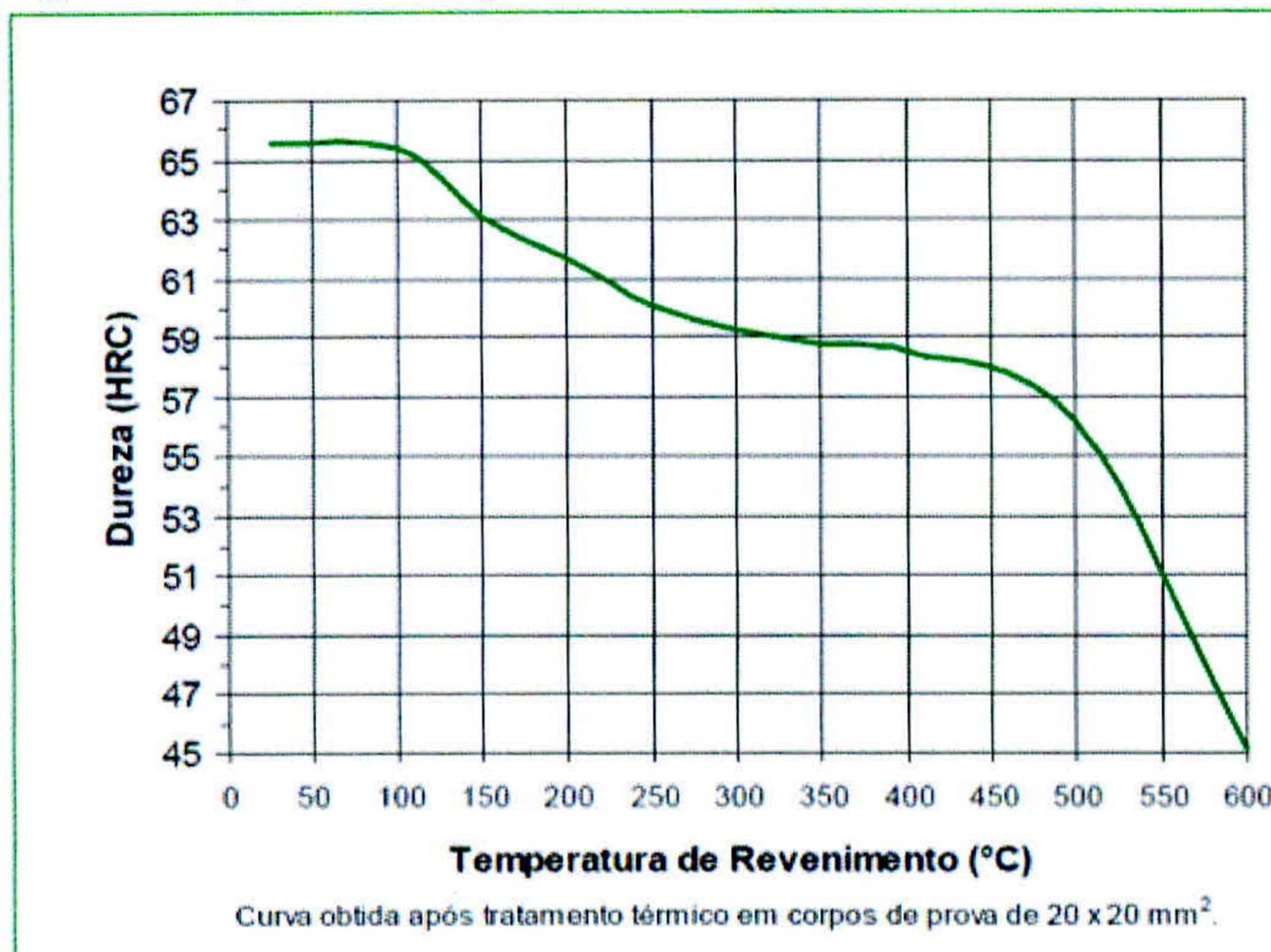
2.4.1.2 Procedimentos para Revenimento

O procedimento de tempera foi realizado de acordo com as instruções do seu fabricante (Villares Metais) citadas abaixo.

As peças foram revenidas imediatamente após a têmpera, tão logo atinjam 60 °C.

Fazer no mínimo, 2 revenimentos e entre cada revenimento as peças devem resfriar lentamente até a temperatura ambiente. Temperaturas de revenimento devem ser escolhidas, conforme a dureza desejada (Figura 05). O tempo de cada revenimento deve ser, de no mínimo, 2 horas. Para peças maiores que 70 mm, deve-se calcular o tempo em função de sua dimensão. Considerar 1 hora para cada polegada de espessura.

Figura 05 - Relação Dureza x Temperatura de Revenimento.



Fonte: Villares metais, 2014

3 APLICAÇÃO DA SOLDA

Após os mesmos serem devidamente preparados, foram encaminhados ao setor de solda para que fosse aplicada a solda.

3.1 Conceito de Soldagem

Um grande número de diferentes processos utilizados na fabricação e recuperação de peças, equipamentos e estruturas é abrangido pelo termo soldagem. Classicamente, a soldagem é considerada como um método de união, porém, 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.

Algumas definições de soldagem são;

- a) Operação que visa obter a união de duas ou mais peças, assegurando, na junta soldada, a continuidade de propriedades físicas, químicas e metalúrgicas;
- b) Operação que visa obter a convalescência localizada produzida pelo aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a aplicação de pressão e de metal de adição. (Definição adotada pela AWS - American Welding Society);
- c) Processo de união de materiais baseado no estabelecimento, na região de contato entre os materiais sendo unidos, de forças de ligação química de natureza similar às atuantes no interior dos próprios materiais.

A soldagem é o mais importante processo industrial de fabricação de peças metálicas. Processos de soldagem ou processos afins são também utilizados na recuperação de peças desgastadas, para a aplicação de revestimentos de características especiais sobre superfícies metálicas e para corte. O sucesso da soldagem está associado a diversos fatores e, em particular, com a sua relativa simplicidade operacional. Por outro lado, apesar desta simplicidade, não se pode esquecer que a soldagem pode ser muitas vezes um processo “traumático” para o material, envolvendo, em geral, a aplicação de uma elevada densidade de energia em um pequeno volume do material, o que pode levar a alterações estruturais e de propriedades importantes dentro e próximo da região da solda.(OGAWA; TSUNETOMI, 1982; p. 45).

3.1.1 Soldagem elétrica com eletrodo revestido WA-12

Somente os corpos de prova de número 2 e 4 foram soldados com o eletrodo revestido citado abaixo (Figura 06).

O eletrodo se tem uma característica de trabalho a frio e a quente e uma grande resistência de impacto e abrasão.

Podendo chegar à dureza entre 57 ~ 62 HRC de dureza, podendo ser soldado em corrente contínua e ou alternada (CC ± ou CA).

Figura 06 – Dados técnicos do eletrodo utilizado WA-12.



DIN 8555 : E 3-UM-60-T

BÖHLER FOX WA 12

DESCRIÇÃO:

Eletrodo para revestimento e reparo em ferramentas para trabalho a frio ou a quente. Resistente ao impacto e abrasão.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA TÍPICA DO METAL DEPOSITADO:

	% C	% Si	% Mn	% Cr	% Mo	% V	% W
% Peso	0,3	0,3	0,2	4,8	1,7	0,2	1,0

PROPRIEDADES MECÂNICAS TÍPICAS DO METAL DEPOSITADO:

Dureza : 57 a 62 HRC

Tipo de Corrente : CA, CC ±

DADOS OPERACIONAIS:

Ø (mm)	L (mm)	Corrente (A)
2,50	230	60 – 80
3,25	350	90 – 120
4,00	350	120 – 150

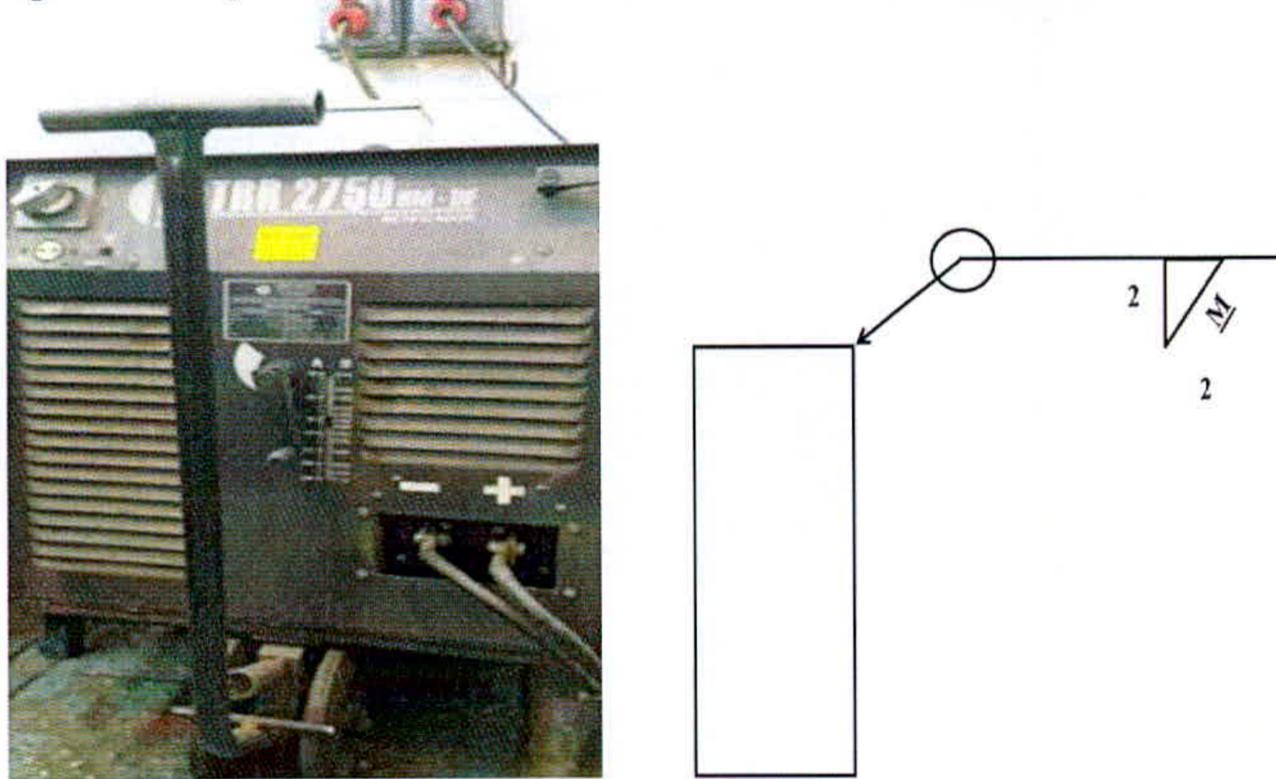
Fonte:Bohler; 2014

3.1.2 Processo, Máquina e Parâmetros Utilizados

Para a soldagem foi utilizada a máquina BAMBOZZI TRR 2750 NM-DF RETIFICADORA (Figura 07) com aproximadamente 70 Amperes (conforme sugestão do

fabricante) em corrente contínua. Utilizado um eletrodo de 2,5mm de diâmetro. A ligação foi feita da seguinte forma, “CC+”, pólo negativo conectado ao corpo de prova e pólo positivo no eletrodo em corrente contínua.

Figura 07 – Máquina de solda elétrica BAMBOZZI, Simbologia da Solda.



Fonte:O autor

Figura 08 – Soldagem dos corpos de prova processo elétrico.



Fonte:O autor

Figura 09 – Corpo de prova soldado com eletrodo WA-12.



Fonte:O autor

A solda foi realizada conforme padrão. Deixando sobre metal, para que o mesmo possa ser ajustado a sua medida nominal posteriormente (figura 09).

Para soldagem do corpo de prova de número 4, tivemos que pré aquecê-lo com um maçarico em uma temperatura de aproximadamente 350 graus para que o mesmo não venha a sofrer trincas e a união dos materiais aconteça mais uniformemente.

Segundo Paschoalim (1991), quando se pré aquece um aço ferramenta endurecido, a temperatura não deve exceder a temperatura de revenido usada anteriormente. Aquecendo à temperaturas maiores que estas irá sobrevenir e “amaciar” a ferramenta. A temperatura de pré-aquecimento deve ser a mais baixa da faixa recomendada para o revenimento.

3.1.3 Soldagem TIG com eletrodo T-2000

Somente os corpos de prova de número 1 e 3 foram soldados com o processo TIG e o material de adição T-2000 (figura 10).

O eletrodo é indicado para peças e estampos onde tenha ocorrência de abrasão e escoriações. O eletrodo T-2000 é uma versão melhorada do eletrodo TM-2000, ideal para aplicação em ferro fundido e ligas de aço como VC-131. Sua aplicação não requer um preenchimento, pois na união da solda se forma uma camada austenítica, garantindo assim sua boa soldabilidade e resistência e conseqüentemente em sua camada exterior forma-se uma camada martensítica, fornecendo a resistência necessária para abrasão e impactos.

Sua aplicação requer uma maior atenção, pois a mesma não necessita de um pré-aquecimento do material base a ser aplicado, portanto sua região de aplicação deve estar isenta de óleos e poeiras causadoras de poros.

Porém não seja necessário um pré aquecimento do material onde será depositado a solda, o fabricante indica o mesmo para obtenção de melhores resultados.

Sua camada de solda pode até chegar a uma dureza entre 44 ~ 46 HRC de dureza, podendo ser soldado em corrente contínua.

Figura 10 – Dados técnicos do eletrodo utilizado T-2000.

T-2000

TIG Welding Rod
Identification Color : Yellow
For Hardfacing Press Metal Molds (for Preventing Galling)

APPLICATION
 Direct hardfacing of press metal mold parts where abrasion and galling occur.

CHARACTERISTICS

1. T-2000, a welding rod, is a modified version of TM-2000, (a covered arc welding electrode), for TIG welding. Underlaying on cast irons with a Ni or Fe-Ni alloy is not necessary and direct building up on cast iron base metals is possible.
2. The first layer of the deposited metal is an austenitic structure and the second layer and afterwards are martensitic structures which assure excellent abrasion resistance.

GUIDELINES FOR USAGE

1. Oil and dust at welding area should be removed because they may cause blowholes.
2. Although it is not necessary, better results are obtainable with preheating at about 150°C.
3. Underlaying with T-3N, TS-12G, etc. is required for building up with more than three layers.

CHEMICAL COMPOSITION OF DEPOSITED METAL
 C · Si · Mn · Cr · Ni · Special Element

TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES OF DEPOSITED METAL

HV	HRC	HS
440~460	44~46	59~62

SIZES (mm)

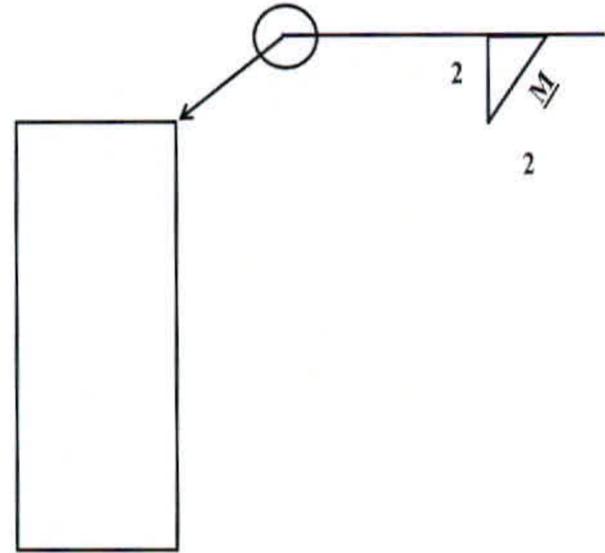
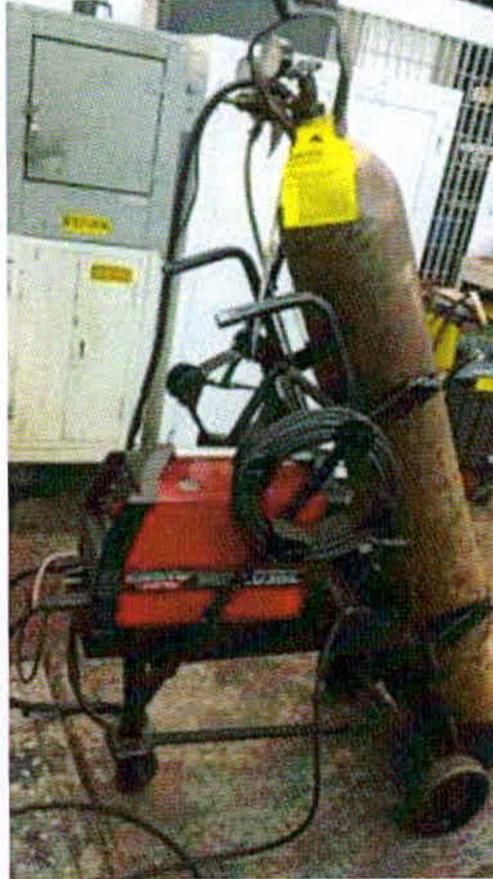
Diameter	1.2	1.6	2.0	2.4	3.2
Length	1,000				

Fonte:YogyoTokay; 2014.

3.1.4 Processo, Máquina e Parâmetros Utilizados

Para a soldagem foi utilizada a máquina LINCOLN INVERTEC V205 T NM-DF (figura 11) com aproximadamente 44 Amperes de corrente contínua. Utilizado um eletrodo de 2,5mm de diâmetro. A ligação foi feita da seguinte forma, pólo negativo conectado ao corpo de prova e pólo positivo no eletrodo em alta frequência.

Figura 11 – Máquina de solda TIG, LINCOLN INVERTEC , Simbologia da Solda.



Fonte:O autor

Figura 12 – Soldagem dos corpos de prova processo TIG.



Fonte:O autor

Figura 13 – Corpos de prova soldados com eletrodo T-2000.



Fonte:O autor

A solda foi realizada conforme padrão. Deixando sobre metal, para que o mesmo possa ser ajustado a sua medida nominal posteriormente (figura 13).

Como o corpo de prova de número 3 havia sido tratado termicamente, o mesmo teve que passar pelo mesmo processo do corpo de prova de número 4. Aquecendo-o com temperatura inferior a de revenimento e assim aplicando a solda.

4 AJUSTE DAS MEDIDAS

Após o processo de solda os corpos de prova teriam que ser ajustado para que o mesmo possa passar para os testes seguintes.

4.1 Aproximação das Medidas (Desbaste)

Para uma aproximação das medidas nominais os corpos de prova foram encaminhados ao setor de ferramentaria. O ajuste foi feito com uma lixadeira manual, nela montado um disco abrasivo de 3 mm de espessura, deixando aproximadamente 0.3mm de sobre metal, a figura 14 ilustra a operação.

Figura 14 – Aproximação das medidas para retificar.

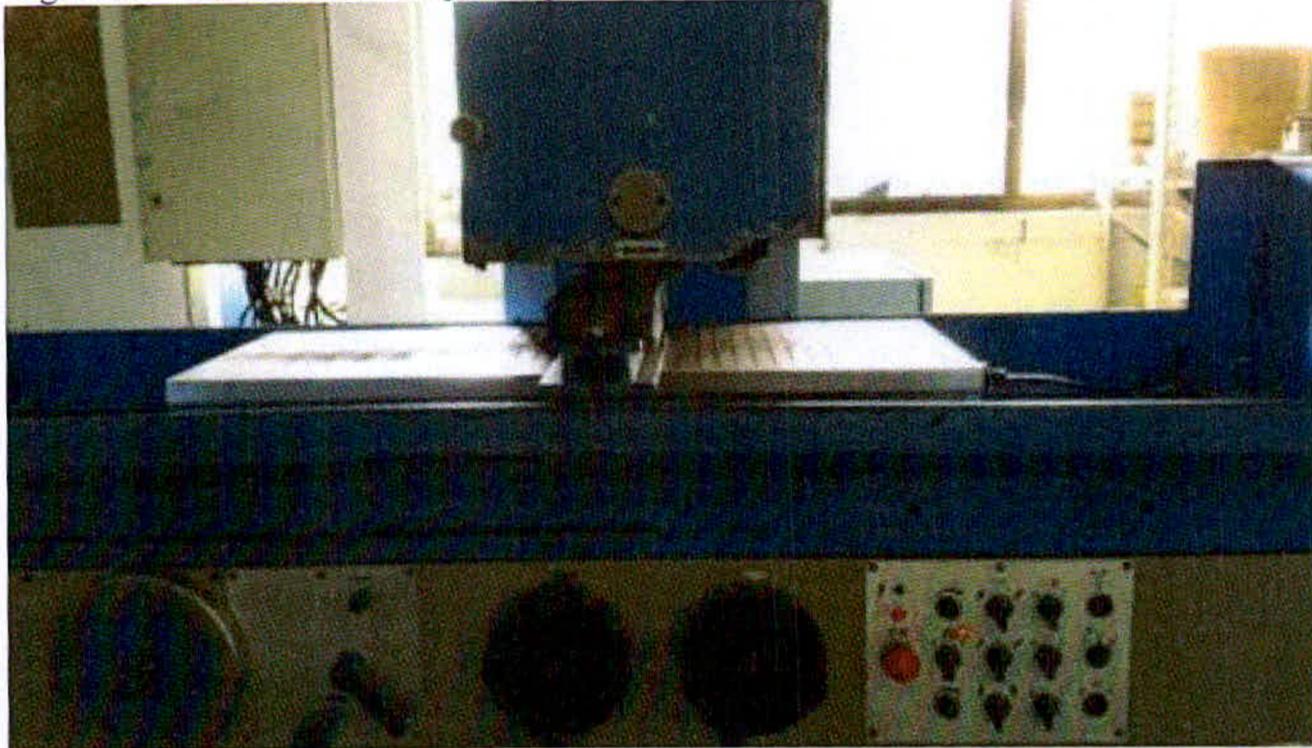


Fonte:O autor

4.2 Medidas Finais

Após o processo de desbaste os corpos de prova foram retificados juntos até suas medidas nominais (16×16^{h7}) para que não houvesse diferenças. Foi utilizada para o processo uma retífica plana, automática da marca Ferdimat (figura 15). Deixando somente em sua face de referência 0.1mm de sobre metal.

Figura 15 – Retificando os corpos de prova.



Fonte:O autor

5 REALIZAÇÃO DOS TESTES

Para que possamos analisar os resultados obtidos serão realizados testes e ensaios para avaliação.

5.1 Macrografia

Com uma análise microscopia dos corpos de prova conseguimos visualizar com uma maior definição suas imperfeições e defeitos gerados nos processos de solda.

5.1.1 Preparação para Ataque dos Corpos de Prova

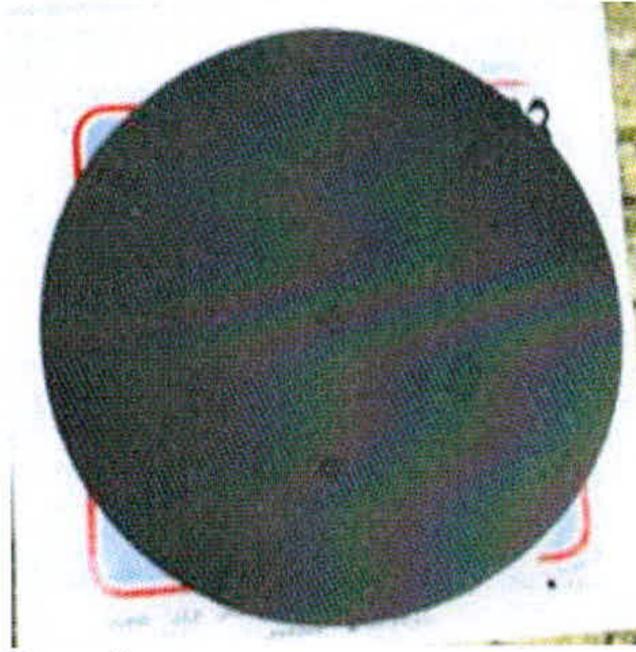
Para que seja possível uma visualização do material no microscópio é necessário atacá-lo com um reagente específico, mas para isso é necessário alguns procedimentos para preparação do mesmo.

5.1.1.1 Embutimento

Como os corpos de prova são de grande dimensão, não foi necessário seu embutimento. Passando assim para o processo de lixamento.

5.1.1.2 Lixamento e Polimento Automático

Devido ao grau de perfeição requerida no acabamento de uma amostra metalográfica idealmente preparada, é essencial que cada etapa da preparação seja executada cautelosamente, é um dos processos mais demorados da preparação de amostras metalográficas. Operação que tem por objetivo eliminar riscos e marcas mais profundas da superfície dando um acabamento a esta superfície, preparando-a para o polimento. O lixamento em si foi feito de maneira automática usando uma lixadeira de bancada modelo AROTEC (figura 17) com as seguintes lixas 100 (figura 16), 220, 320, 400, 600 e 1200. Posteriormente os corpos de prova foram lavados e polidos na mesma máquina (figura 18), onde somente foi trocado a lixa por uma seda de polimento e com auxílio o agente polidor, Alumina.



Fonte:O autor

Figura 17 – Lixadeira utilizada no processo de lixamento.



Fonte:O autor

Figura 18 – Lixadeira utilizada no processo de polimento.

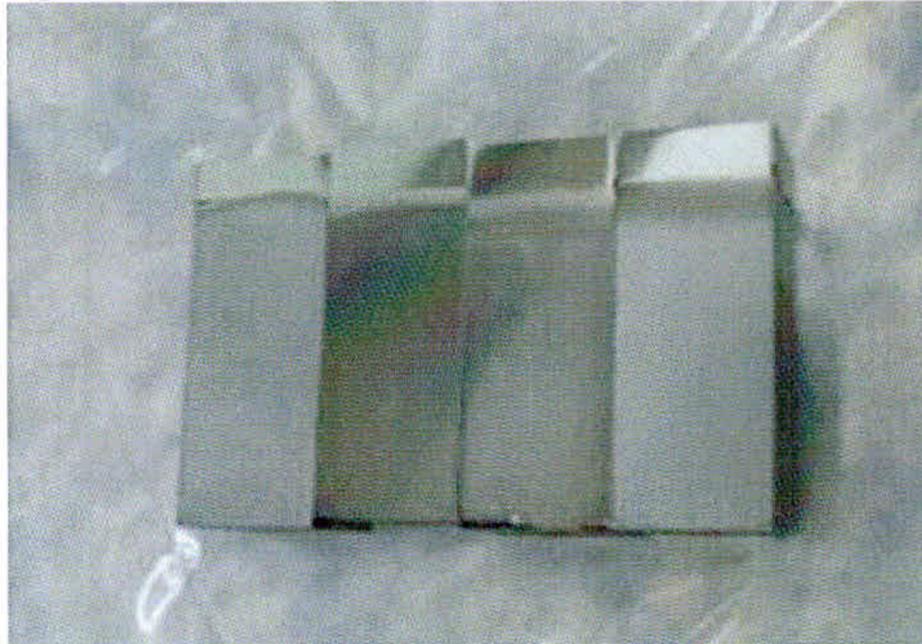


Fonte:O autor

5.1.2 Ataque dos Corpos de Prova

Após a preparação os corpos de prova foram lavados com água corrente e secados com álcool absoluto, para que não haja imperfeições na operação do ataque (figura 19). O ataque foi feito com Nital 2% e aguardado aproximadamente 5 minutos para que seja reagido a solução nas peças.

Figura 19 – Corpos de prova já atacados.



Fonte:O autor

5.1.3 Visualização Microscópica dos Corpos de Prova

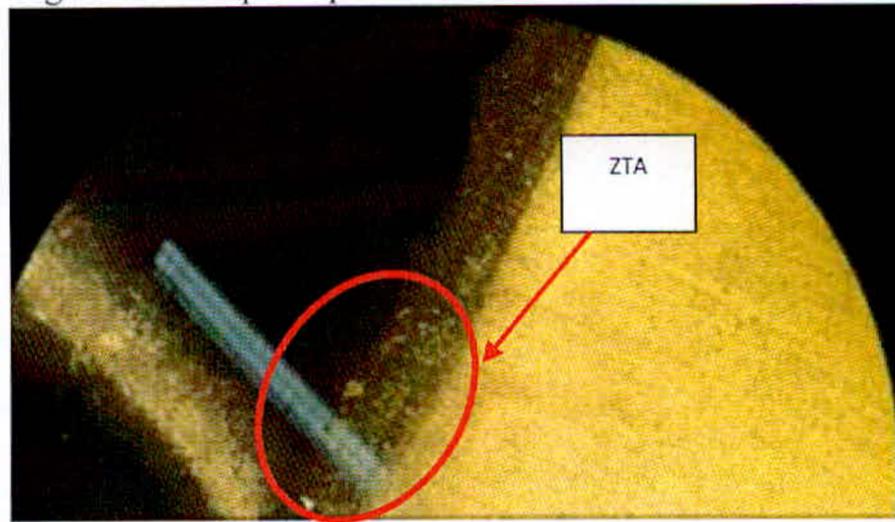
Para visualização microscopia dos corpos de prova foi utilizado o seguinte microscópio SZ-PT OLIMPUS SZ40 com zoom máximo de 40 vezes (figura 20).

Figura 20 – Microscópio utilizado.



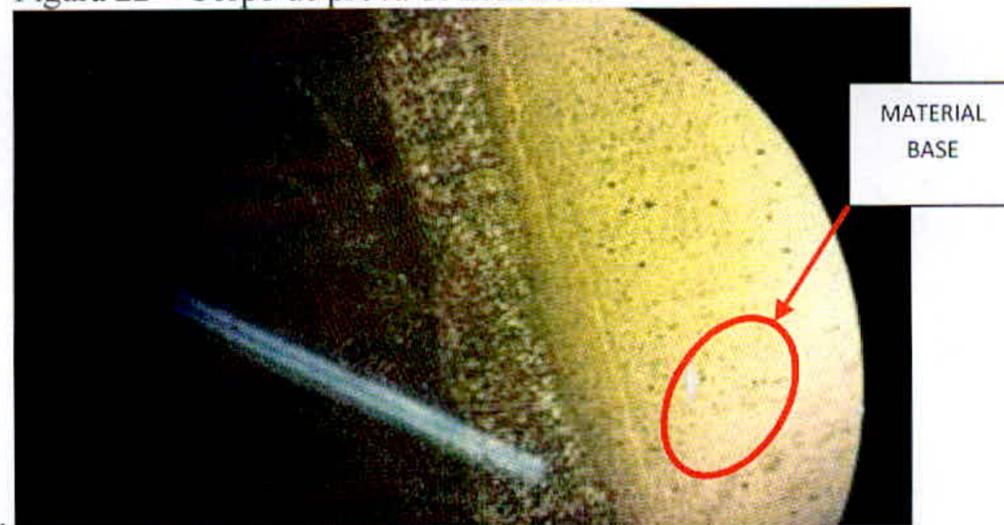
Fonte:O autor

Figura 21 – Corpo de prova número 2.



Fonte:O autor

Figura 22 – Corpo de prova de número 4



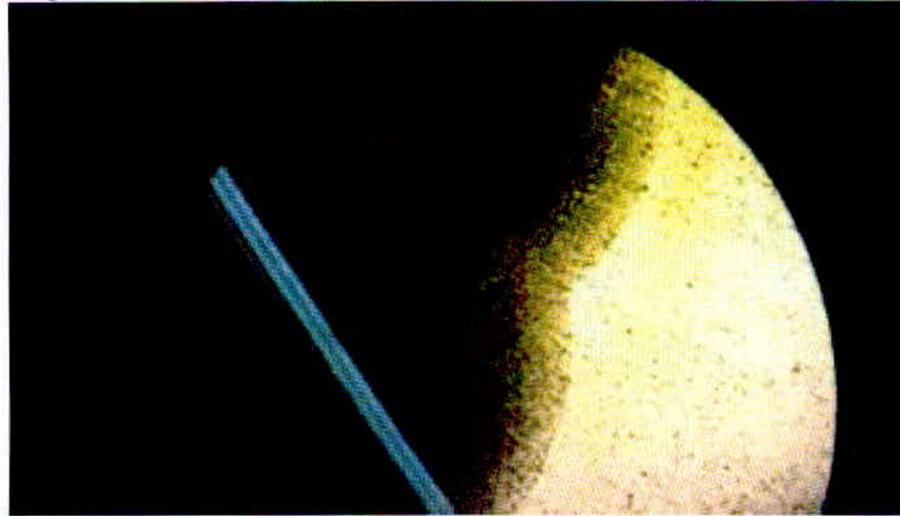
Fonte:O autor

Figura 23 – Corpo de prova de número 1



Fonte:O autor

Figura 24 – Corpo de prova de número 3



Fonte:O autor

5.1.4 Resultados

Em análise foi observado que os corpos de prova 2 e 4 (figura 21 e 22), soldados com o eletrodo WA-20 (eletrodo revestido) geraram uma grande ZTA (zona termicamente afetada) resultado de uma elevada corrente utilizada no processo de solda e uma má soldabilidade do material temperado (CDP 4). No corpo de prova de número 4 além da grande ZTA, surgiram micro trincas, pelo motivo da alta temperatura gerada no processo e pelo fato do corpo de prova ser temperado e revenido. Já nos corpos de prova 1 e 3 em função da corrente ser aproximadamente 40% inferior ao outro processo a ZTA foi muito menor, conseqüentemente fragilizando menos o material (figura 23 e 24).

5.2 Teste com Líquido Penetrante

O método consiste em fazer penetrar na abertura da descontinuidade um líquido. Após a remoção do excesso de líquido da superfície, faz-se sair da descontinuidade o líquido retido através de um revelador. A imagem da descontinuidade fica então desenhada sobre a superfície.

O ensaio por líquidos penetrantes presta-se a detectar descontinuidades superficiais e que sejam abertas na superfície, como trincas, poros, dobras, etc. Podendo ser aplicado em todos os materiais sólidos e que não sejam porosos ou com superfície muito grosseira. É muito usado em materiais não magnéticos como alumínio, magnésio, aços inoxidáveis austeníticos, ligam de titânio, e zircônio, além dos materiais magnéticos. É também aplicado em cerâmica vitrificada, vidro e plásticos. (ANDREUCCI; RICARDO;2003, p.04)

5.2.1 Aplicação do Penetrante

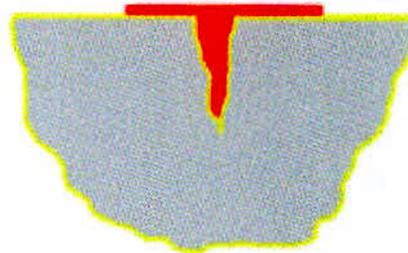
Figura 25 – Líquido penetrante



Fonte:O autor

O líquido penetrante utilizado foi METAL-CHEK modelo referencia VP 30, conforme figura 25. Consiste na aplicação de um líquido chamado penetrante, geralmente de cor vermelha, de tal maneira que forme um filme sobre a superfície e que por ação do fenômeno chamado capilaridade penetre na descontinuidade. Deve ser dado certo tempo para que a penetração se complete. Descritos nas figuras 26,27 e 28.

Figura 26 – Demonstração da penetração do líquido penetrante



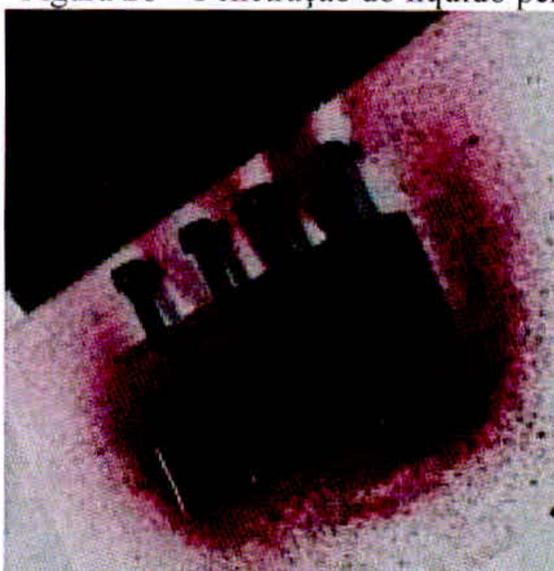
Fonte:Bohler; 2014.

Figura 27 – Aplicação do líquido penetrante nos corpos de prova



Fonte:O autor

Figura 28 – Penetração do líquido penetrante nos corpos de prova

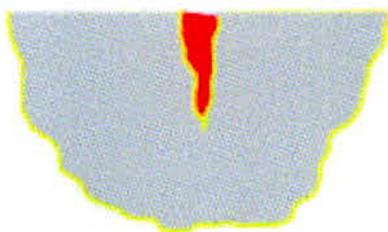


Fonte:O autor

5.2.2 Remoção do excesso de penetrante

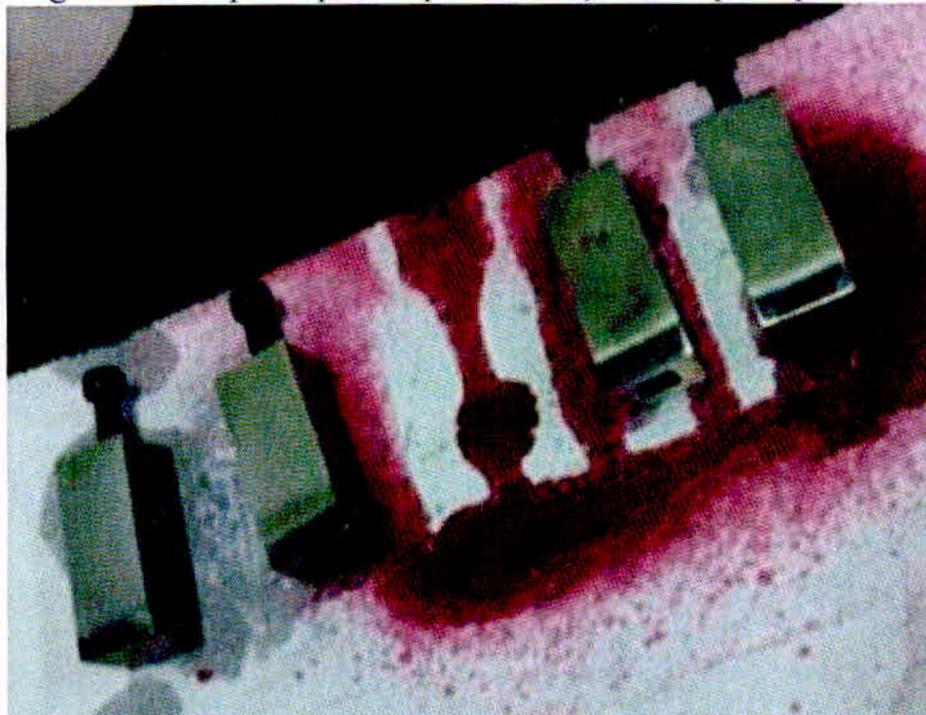
Consiste na remoção do excesso do penetrante da superfície, através de produtos adequados, condizentes com o tipo de líquido penetrante aplicado, devendo a superfície ficar isenta de qualquer resíduo. No caso o penetrante foi removido com água corrente, método mais indicado pelo produto. As figuras 29 e 30 demonstram os corpos de prova após a remoção do líquido penetrante.

Figura 29 – Exemplo do estado do corpo de prova após a remoção do líquido penetrante



Fonte:Bohler; 2014.

Figura 30–Corpo de prova após a remoção do líquido penetrante



Fonte:O autor

5.2.3 Revelação

Figura 31 – Revelador.

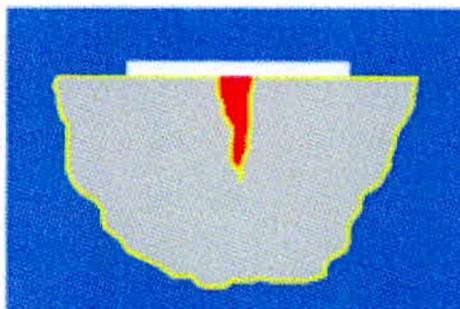


Fonte:O autor

O revelador utilizado foi METAL-CHEK modelo referência E 59, conforme figura 31. O mesmo consiste na aplicação de um filme uniforme de revelador sobre a superfície. O revelador é usualmente um pó fino (talco) branco. Pode ser aplicado seco ou em

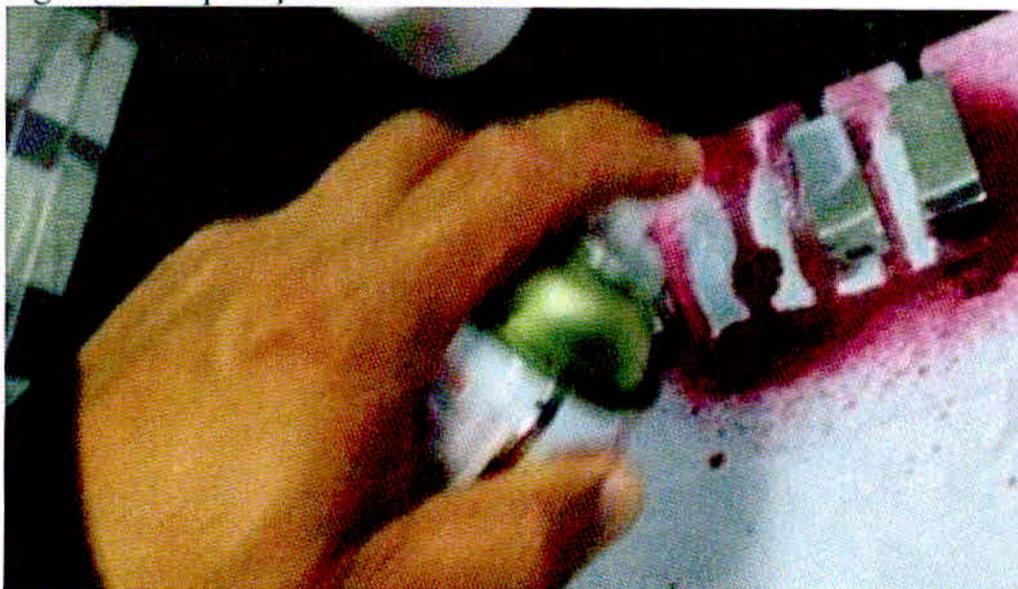
suspensão, em algum líquido. O revelador age absorvendo o penetrante das discontinuidades e revelando-as (figura 32). Deve ser previsto um determinado tempo de revelação para sucesso do ensaio. A seguir as figuras 33 e 34 demonstram a aplicação do revelador.

Figura 32 – Exemplo do estado do corpo de prova após a aplicação do revelador.



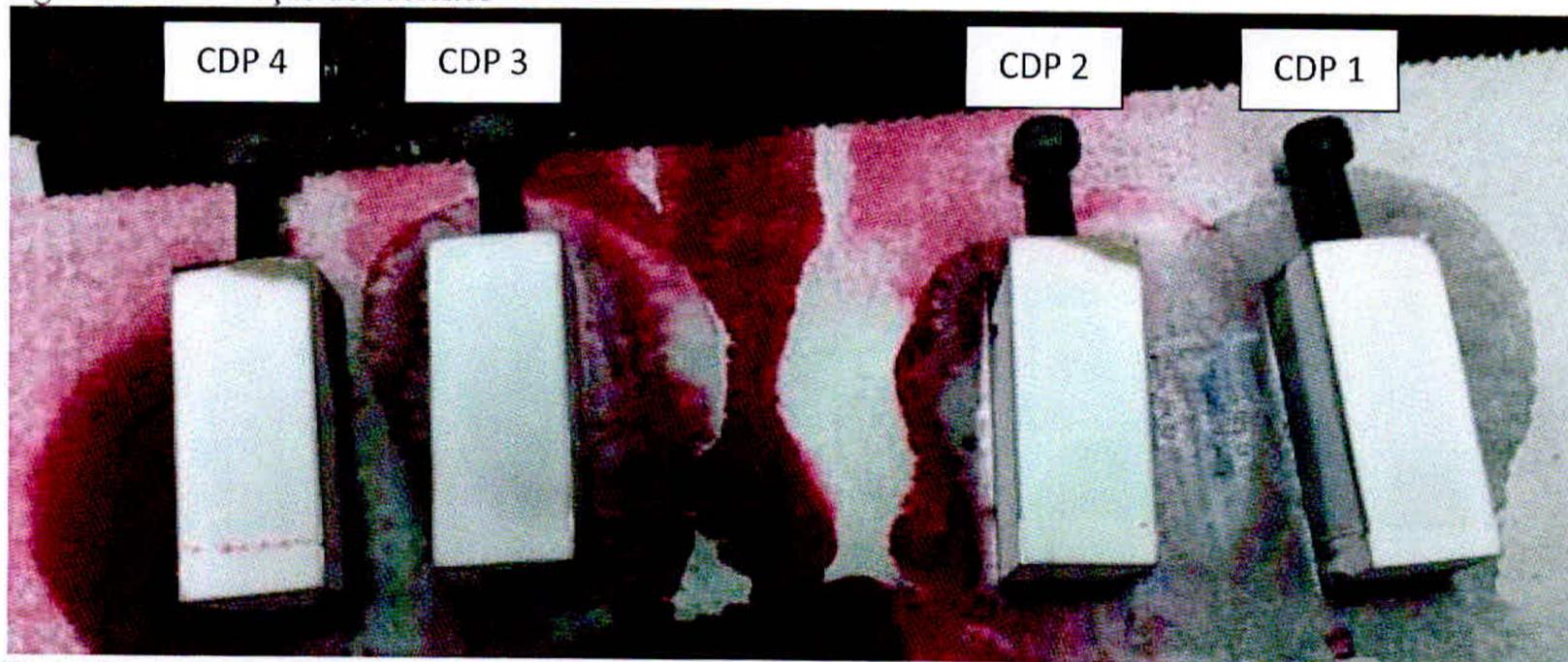
Fonte:Bohler; 2014.

Figura 33 – Aplicação do revelador.



Fonte:O autor

Figura 34 – Revelação dos defeitos



Fonte:O autor

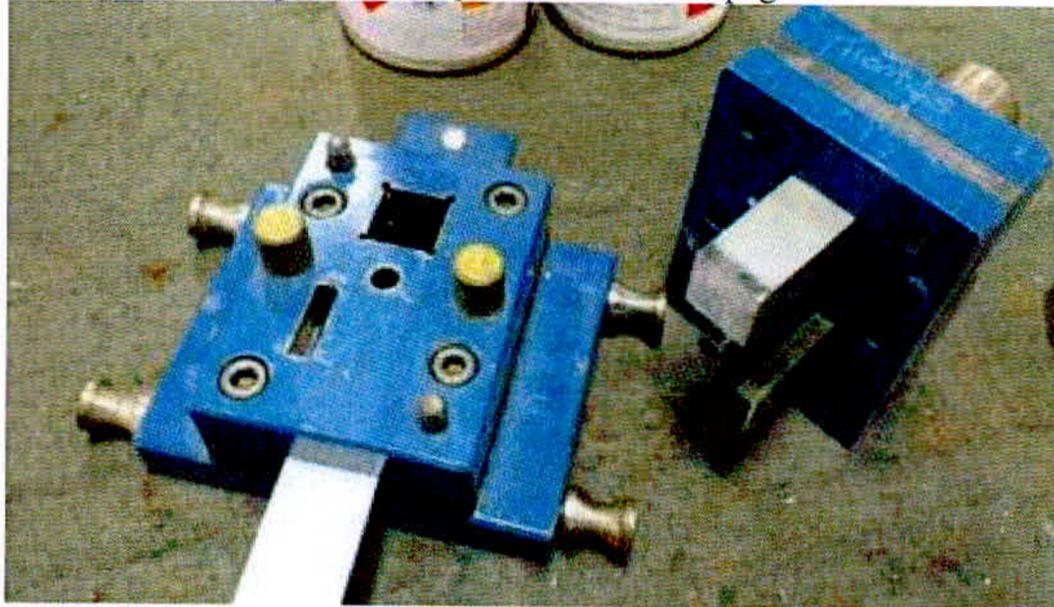
5.2.4 Resultados

Após o processo completo notou se que o corpo de prova de número 4 realmente revelou a trinca vista na análise microscopia. E quanto aos outros corpos de prova somente revelaram defeitos de solda (mordedura), como o corpo de prova de número 1 e 2.

5.3 Teste de Estampagem

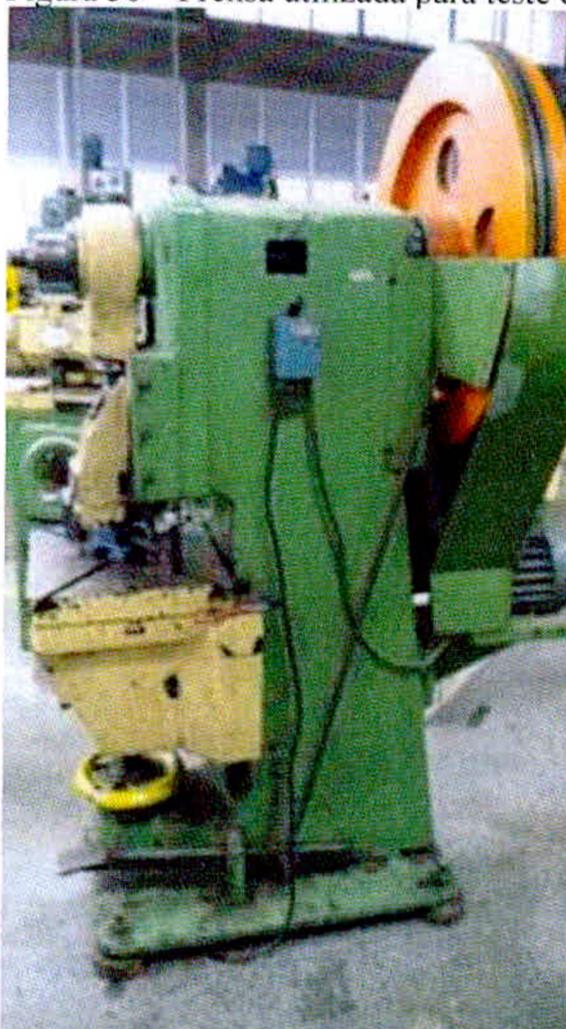
O teste de estampagem foi realizado para avaliar se as soldas foram eficazes e qual serão as reações dos corpos de prova que demonstrarão trincas na análise microscopia e se os que não apresentaram, iram sofrer alguma alteração após serem exercidos aos esforços de trabalho. Para o teste foi utilizado um estampo didático (figura 35), onde os corpos de prova foram montados e usados como punções de corte de chapas. Foi utilizado também para montagem do estampo uma prensa de 25 toneladas excêntrica da marca RICETTI (figura 36).

Figura 35 – Estampo utilizado para teste de estampagem.



Fonte:O autor

Figura 36 – Prensa utilizada para teste de estampagem.



Fonte:O autor

Figura 37 – Montagem do estampo em prensa.



Fonte:O autor

Foram estampadas aproximadamente 500 peças com cada corpo de prova (figura 39).

Figura 38 – Processo de estampagem.



Fonte:O autor

Figura 39 – Peças estampadas.



Fonte:O autor

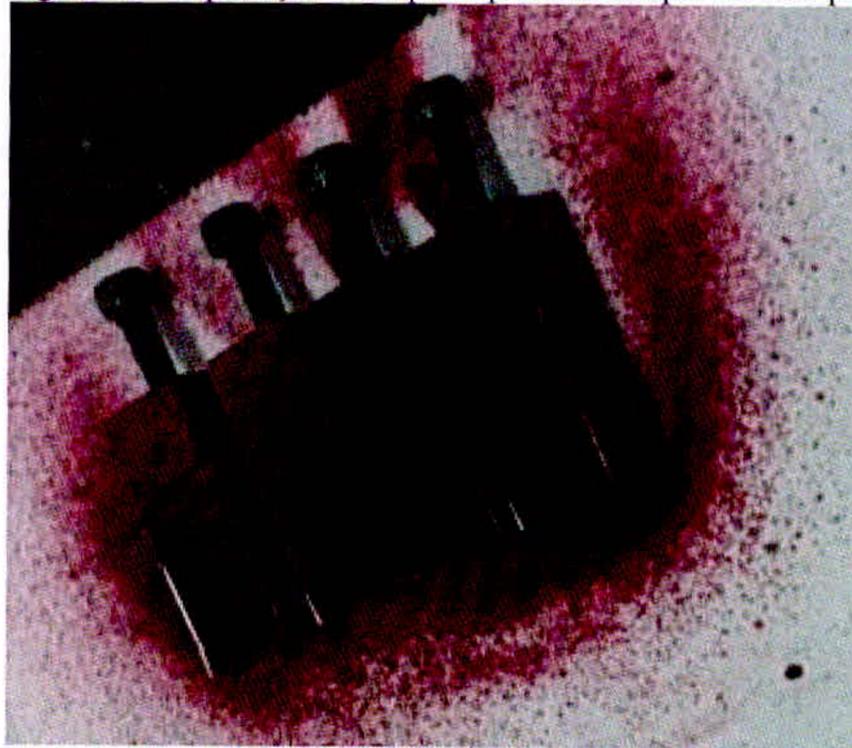
5.3.1 Resultados

A olho nu não foi identificado nenhuma alteração nos corpos de prova, além dos riscos que são normais em um processo de estampagem. Por esse motivo será realizado novamente os testes e análises.

5.4 Teste com líquido penetrante após a estampagem

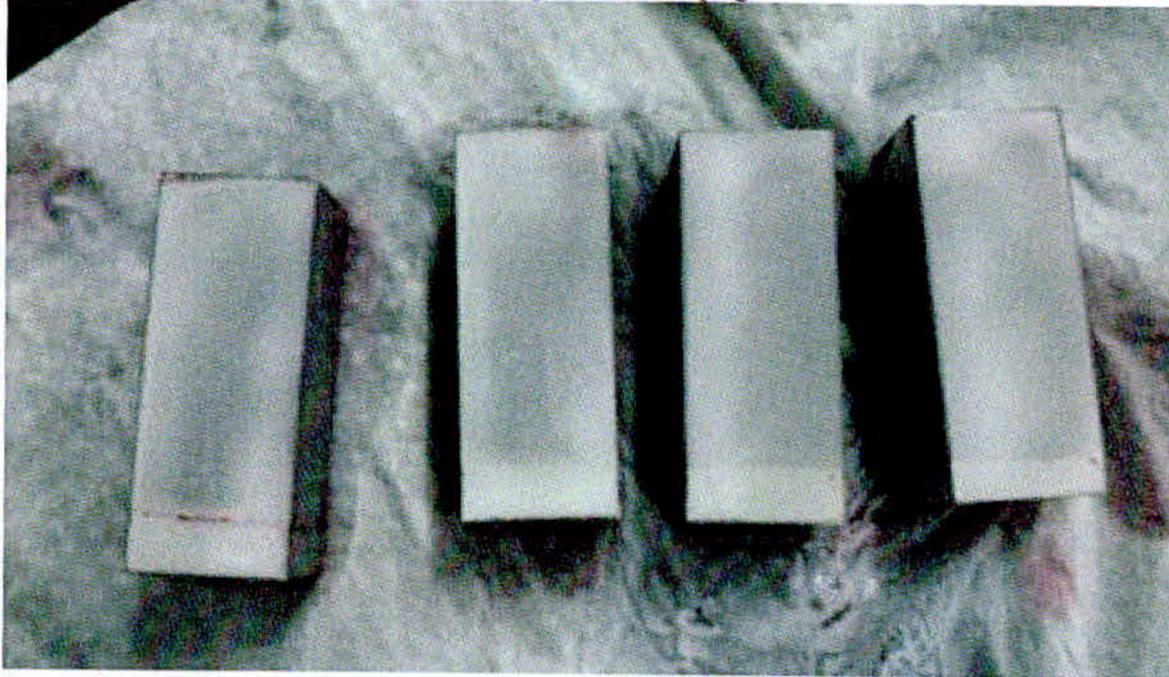
Após a estampagem foi realizado novamente o teste com líquido penetrante, com os mesmos procedimentos do teste anterior (figura 40 e 41).

Figura 40 – Aplicação do líquido penetrante após a estampagem.



Fonte:O autor

Figura 41 – Revelação dos defeitos após a estampagem.



Fonte:O autor

5.4.1 Resultados

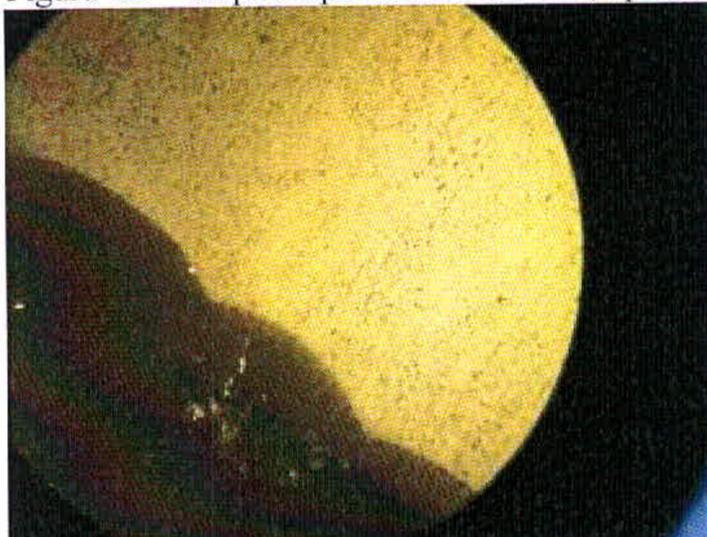
O resultado foi o mesmo do teste anterior. O corpo de prova de número 4 revelou a mesma trinca e os corpos de prova de número 1 e 2 os mesmos defeitos.

5.5 Análise microscopia após a estampagem

Como os corpos de prova foram riscados no processo de estampagem, os mesmos tiveram que ser lixados, polidos e atacados novamente, seguindo o mesmo procedimento da análise anterior.

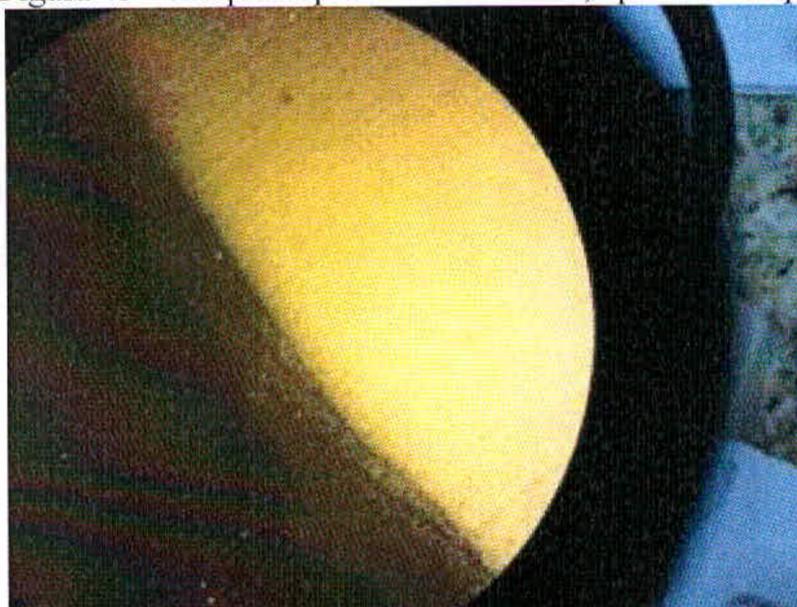
Após o processo de preparação novamente analisamos os mesmos junto ao microscópio.

Figura 42 – Corpo de prova de número 1, após a estampagem.



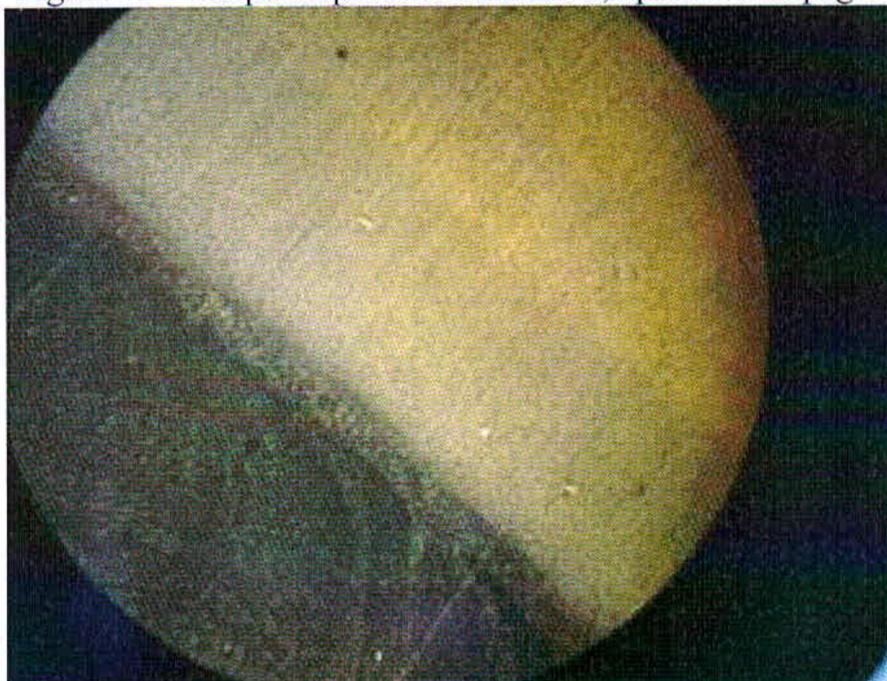
Fonte:O autor

Figura 43 – Corpo de prova de número 2, após a estampagem.



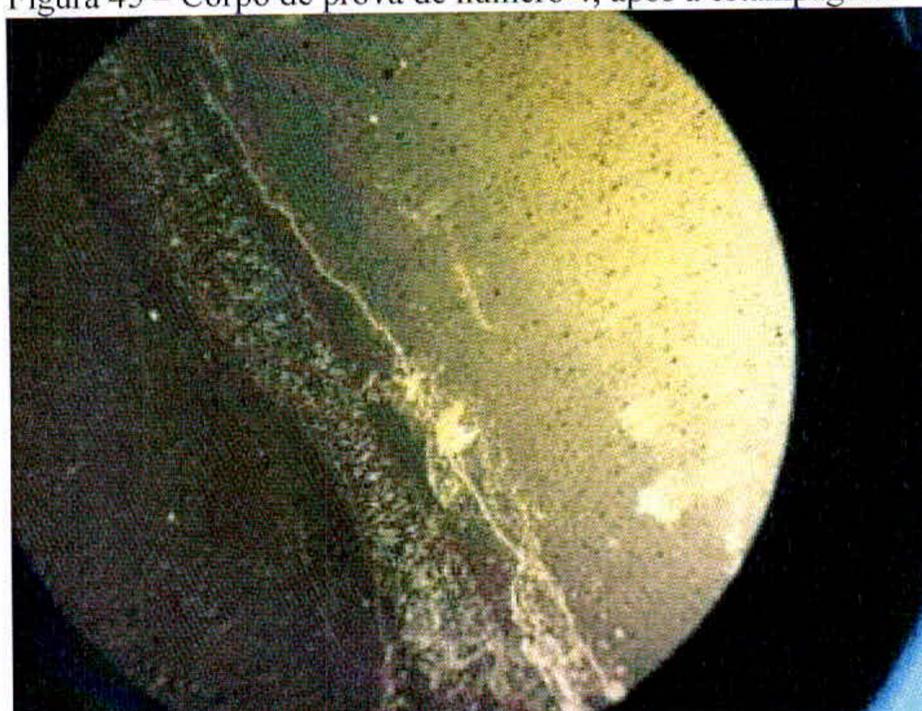
Fonte:O autor

Figura 44 – Corpo de prova de número 3, após a estampagem.



Fonte:O autor

Figura 45 – Corpo de prova de número 4, após a estampagem.



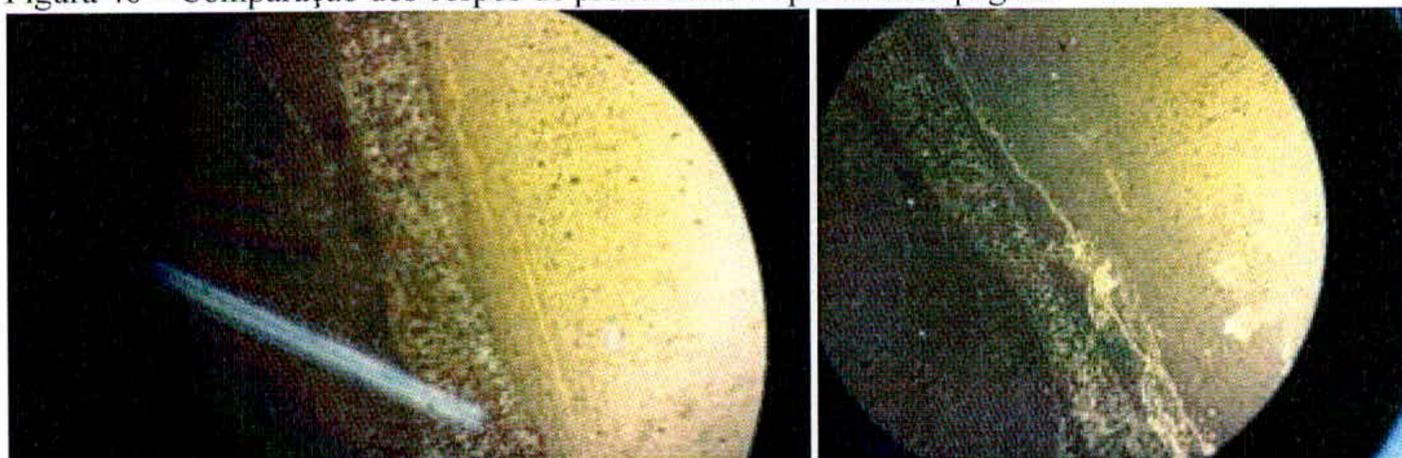
Fonte:O autor

5.5.1 Resultados

Foi realizada a análise e constatado que não houve nenhuma alteração nos corpos de prova de numeração 1, 2, e 3 (figuras 42, 43 e 44). E quanto ao corpo de prova de numeração 4 foi observado que aparentemente sua trinca aumentou (figura 45).

Então foi feito uma comparação visual do antes e depois (figura 46) e constatado que realmente houve esse aumento.

Figura 46 – Comparação dos corpos de prova antes e após a estampagem.



Fonte:O autor

6 CUSTOS

Para análise de viabilidade e determinação do melhor processo e eletrodo a utilizar, serão levantados seus custos e posteriormente apontados.

6.1 Custo de uma parada de linha com possibilidade de correção

Para determinação do custo de cada processo foi desconsiderado custo de energia elétrica e foi levantado os seguintes dados:

- Quantidade de máquinas parada em uma linha de prensas, aguardando a manutenção e seu custo por hora;
- Quantidade de operadores parados e seu custo por hora;
- Quantidade de ferramenteiros necessários para a manutenção;
- Quantidade de soldadores necessários para a manutenção;
- Custo da não produção, onde envolve os produtos que não serão vendidos por tempo de produção;
- Custo dos consumíveis utilizados para manutenção;

Quadro1 – Relação custo\hora parada de linha com correção

	QTDD	CUSTO POR HORA	CUSTO	TOTAL
NÚMERO DE MÁQUINAS	4	R\$ 220,00		R\$ 880,00
NÚMERO DE HOMENS	16	R\$ 10,50		R\$ 168,00
FERRAMENTEIROS	2	R\$ 30,00		R\$ 60,00
SOLDADOR	1	R\$ 25,00		R\$ 25,00
CUSTO DA NÃO PRODUÇÃO			R\$2.500,00	
CONSUMIVEIS			R\$ 150,00	R\$ 150,00
CUSTO TOTAL				R\$3.933,00

Fonte: o autor

Considerado para o cálculo uma parada com correção rápida de 20 minutos, o prejuízo total em uma parada seria de R\$ 786,60.

6.2 Custo de uma parada de linha sem possibilidade de correção

Para determinação do custo de cada processo foi desconsiderado custo de energia elétrica e foi levantado os seguintes dados:

- a) Quantidade de máquinas paradas em uma linha de prensas, aguardando o Set-up;
- b) Quantidade de ferramenteiros necessários para a manutenção;
- c) Custo da não produção, onde envolve os produtos que não serão vendidos por tempo de produção;
- d) Custo do Set-up de toda linha de prensa;
- e) Quantidade de soldadores necessários para a manutenção;
- f) Custo dos consumíveis utilizados para manutenção;

Quadro 2 – Relação custo por hora parada de linha sem correção

	QTDD	CUSTO POR HORA	CUSTO	TOTAL
NÚMERO DE MÁQUINA	4,00	R\$ 220,00		R\$ 880,00
FERRAMENTEIROS	2,00	R\$ 30,00		R\$ 60,00
SOLDADOR	1,00	R\$ 25,00		R\$ 25,00
CUSTO DA NÃO PRODUÇÃO			R\$2.500,00/hr	
CONSUMÍVEIS			R\$ 150,00	R\$ 150,00
CUSTO DE SET-UP			R\$3.500,00	
CUSTO TOTAL				R\$7.265,00

Fonte: o autor

Considerando o tempo gasto com Set-up de 25 minutos o prejuízo total de uma parada seria de R\$ 1816,25

6.3 Custo dos eletrodos

Quadro3 – Relação custo eletrodos

	QTDD	CUSTO
ELETRODO WA-12	1KG	R\$ 239,00
ELETRODO T-2000	1KG	R\$ 857,00

Fonte: o autor

Considerando que a média de gastos com eletrodos seja de 0,3Kg por correção, o gasto com eletrodo WA-12 seria de R\$ 71,7, e para o eletrodo T-2000 seria de R\$ 257,1.

6.4 Ganho anual com aplicação do eletrodo nas paradas de linha

Tendo em vista que a média de paradas de linha seja de 13 por mês (paradas devido à quebra de matrizes ou punções). Foi feito um cálculo para demonstrar o tão quanto isso seria significativo a empresa. Considerando que essas paradas sejam reduzidas em 40%.

Quadro 4 – Custo das paradas

156 PARADAS / ANO		GASTO ANUAL
GASTO TOTAL COM ELETRODO WA-12	R\$ 858,3	R\$ 133894,8
GASTO TOTAL COM ELETRODO T-2000	R\$ 1043,7	R\$ 162817,2

Fonte: o autor

Com redução de 40% nas paradas anuais.

Quadro 5 – Custo das paradas com redução de 40%

93 PARADAS / ANO		GASTO ANUAL
GASTO TOTAL COM ELETRODO T-2000	R\$ 1043,7	R\$ 97690,32

Fonte: o autor

Ganho anual seria igual a **R\$ 65.126,88**.

7 CONCLUSÃO

O estudo revelou que existem várias variáveis a serem observadas no processo de solda e principalmente soldas empregadas em materiais nobres como o VC131 nas correções de estampos.

Mais em função do estudo de viabilidade e custo benefício dos eletrodos empregados, conclui se que a melhor opção a ser aplicada seria o eletrodo T-2000, pelo seu bom comportamento entre os diferentes tipos de corpos de prova (temperados e não temperados) apresentando uma também um menor ZTA (zona termicamente afetada), pois em comparação com o outro processo utilizou aproximadamente apenas 60% de sua corrente gerando menos calor em seu processo de soldagem.

Tendo em vista que a maioria dos punções e matrizes empregados em estampos de corte automobilísticos é de material temperado, independentemente do custo do eletrodo ser elevado, em apenas uma parada de linha seu investimento já é retornado.

A alternativa para o eletrodo WA-12 seria a aplicação do mesmo em materiais não temperados ou execução do processo de normalização do material temperado a ser aplicada a solda, pois o mesmo no corpo de prova não temperado teve bons resultados, tendo em vista que o processo de normalização não pode ser aplicado em paradas de linha.

Para um estudo mais a fundo será necessário um número maior de estampagem de peças, ou seja, até o rompimento e ou desgaste dos corpos de prova, para se tem uma ideia da vida útil e deformação dos materiais aplicados.

REFERÊNCIAS

ANDREUCCI, ANTONIO R. **Inspeção Por Líquido Penetrante**. São Paulo:ÁTICA,2003.

BOHLER. Cold Work **Tool Steel: K107**. Disponível em: <<http://www.bohler-edelstahl.com/files/K107DE.pdf>>. Acesso em:24 junho 2014.

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**. 4. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1983.

HEAT TECH. **Aços Ferramenta:** informações básicas. Disponível em: <http://www.heattech.com.br/publicacoes/FOLDER_ACOS_FERRAMENTA.pdf>. Acesso em:19 junho 2014.

LINCOLN ELECTRIC Co. **The Procedure Handbook of arc Welding**. 14th. Ed. USA, 2000.

MOINO, H. E. PASCHOALIM, A. C. **Programa de curso modulares em tecnologia de Soldagem**, Módulo Tig, Associação Brasileira de Soldagem (ABS), São Paulo 1991.

OGAWA, T. AND TSUNETOMI, E. Hot Cracking Susceptibility of Austenitic Stainless Steels. **WeldingJournal**, 3, 1982.

SCHAFFER. L. **Novos desenvolvimentos em Conformação Mecânica com ênfase em Chapas Metálicas na Indústria Automobilística**. 2009.

TIBURI, Fábio. **Qualidade em Soldagem. Dossiê técnico**. Disponível em: <<http://www.docstoc.com/docs/851562/qualidade-na-soldagem>>. Acesso em:24 junho 2014.

TOKAY YOGYO. **TigWeld Rod:characteristics**. Disponível em: <<http://www.tokai-yogyo.co.jp/english/business/item03.html>>. Acesso em 19 junho 2014.

VILLARES METALS. **Aços para Trabalho a Frio: VC131**. Disponível em: <http://www.villaresmetals.com.br/portuguese/files/FT_13_VC131.pdf>. Acesso em: 26 junho2014