

MANUAL DE INSTRUÇÕES

2ª Edição 10/98



INVERSAL 450/600

SUMÁRIO

Capítulo 1	FONTES DE ENERGIA PARA SOLDAGEM	1
1.1	INTRODUÇÃO	1
1.2	EVOLUÇÃO DAS FONTES DE ENERGIA	1
1.3	A FONTE INVERSAL 450/600	5
Capítulo 2	DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO	7
2.1	INTRODUÇÃO	7
2.2	DADOS TÉCNICOS DO EQUIPAMENTO	7
Capítulo 3	DESCRIÇÃO DOS PAINÉIS	9
3.1	PAINEL FRONTAL DA INVERSAL 450/600	9
3.2	PAINEL TRASEIRO DA INVERSAL 450/600	10
3.3	PAINEL SUPERIOR DA INVERSAL 450/600	11
3.4	PAINEL FRONTAL DO STA-20	12
Capítulo 4	INSTALAÇÃO	13
4.1	ELÉTRICA	13
4.2	GASES	14
4.3	ÁGUA	14
Capítulo 5	OPERAÇÃO COMO FONTE MIG/MAG	15
5.1	INTRODUÇÃO	15
5.2	COLOCANDO A FONTE EM OPERAÇÃO	15
5.3	AJUSTE DAS VARIÁVEIS DE SOLDAGEM - MIG/MAG	17
5.3.1	COMANDO DE TENSÃO	17
5.3.2	IMPOSIÇÃO DE CORRENTE	21
5.3.2.1	IMPOSIÇÃO DE CORRENTE EM REGIME CONSTANTE	21
5.3.2.2	IMPOSIÇÃO DE CORRENTE EM REGIME PULSADO	23
5.3.3	COMANDO NO MODO MISTO	27
5.3.4	DADOS TABELADOS PARA ALGUNS MATERIAIS	29
Capítulo 6	OPERAÇÃO COMO FONTE TIG	34
6.1	INTRODUÇÃO	34
6.2	COLOCANDO A FONTE EM OPERAÇÃO	35

6.3 SOLDAGEM TIG EM CORRENTE CONTÍNUA	36
6.3.1 AJUSTE DAS VARIÁVEIS PARA TIG- CC CONSTANTE	37
6.3.2 AJUSTE DAS VARIÁVEIS PARA TIG- CC PULSADA	37
6.3.3 RECOMENDAÇÕES PARA SOLDAGEM TIG - CC PULSADA	39
6.4 SOLDAGEM TIG EM CORRENTE ALTERNADA	39
6.4.1 AJUSTE DAS VARIÁVEIS PARA TIG- CA NÃO PULSADA	40
6.4.2 AJUSTE DAS VARIÁVEIS PARA TIG- CA PULSADA	41
Capítulo 7 OPERAÇÃO COMO FONTE PARA ELETRODO REVESTIDO	43
7.1 INTRODUÇÃO	43
7.2 COLOCANDO A FONTE EM OPERAÇÃO	44
7.3 SOLDAGEM EM CORRENTE CONTÍNUA	44
7.4 SOLDAGEM EM CORRENTE ALTERNADA	45
Capítulo 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

Autor: Paulo Ricardo Fonseca Blank

Revisor: Prof. Jair Carlos Dutra, Dr. Ing. Florianópolis ,1998

Capítulo 1

FONTES DE ENERGIA PARA SOLDAGEM

1.1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a tecnologia da soldagem sofreu profundos avanços devido as crescentes exigências dos diferentes ramos industriais. Uma das bases para estes avanços foi o rápido progresso da eletrônica, que possibilitou uma vertiginosa transformação das fontes de energia para soldagem. Esta transformação está em pleno curso nos países desenvolvidos, tendo-se constantes esforços a cada dia para que cada produtor possa se manter no mercado, o qual é progressivamente mais competitivo.

No caso brasileiro, as empresas produtoras desses equipamentos deixam passar ao largo todo este surto desenvolvimentista e insistem com seus tradicionais equipamentos desenvolvidos nas décadas de 50 e 60.

O equipamento que aqui se apresenta significa uma quebra de rotina, um passo para um futuro que não precisa ser somente das ditas potências econômicas. Este equipamento significa a materialização de pensamentos, metas e ações de brasileiros que acreditam que se pode fazer aqui equipamentos com tecnologia superior a das ditas potências.

1.2 EVOLUÇÃO DAS FONTES DE ENERGIA

As primeiras fontes de energia para soldagem a arco, os transformadores e os conversores rotativos, foram por muitas décadas as únicas opções em equipamentos para soldagem a arco. Para o processo MIG/MAG, devido a exigência de corrente contínua, restava então apenas os conversores rotativos. Com o advento da eletrônica do estado sólido, surgiu então uma nova era para os equipamentos de soldagem. Assim, mediante o uso de diodos retificadores, foi possível obter a baixo custo a transformação direta da energia elétrica de corrente alternada para energia elétrica de corrente contínua.

Entretanto, mesmo com a utilização destes componentes eletrônicos, a energia do arco continuava a ser ajustada por meios convencionais na etapa de corrente alternada das fontes de soldagem. Até então era impossível o uso de corrente pulsada, bem como era quase impossível o uso dessas fontes com unidades robotizadas.

Foi com a utilização de tiristores nas pontes retificadoras que então se tornou possível o comando eletrônico da energia entregue ao arco, o que marcou a partir

daí uma nova era para as máquinas de soldagem. Elas tornaram-se aptas a serem comandadas facilmente pelas unidades de comando dos robôs e se tornou possível a introdução de pulsos de energia para se controlar a transferência metálica no processo MIG/MAG e para se controlar a poça de fusão no TIG.

Estas fontes tiristorizadas, entretanto, não permaneceram em elevada consideração por muito tempo, pois logo foram verificadas uma série de restrições, que podiam ser suplantadas pelo uso de transistores na unidade de potência das máquinas de soldagem.

Uma das restrições das fontes tiristorizadas era a impossibilidade de pulsar em freqüências continuamente ajustáveis na faixa de uso do processo MIG/MAG pulsado. Para este, que necessita de freqüências superiores a 30 Hz a pulsação só poderia ocorrer sincronizadamente com múltiplos e submúltiplos da freqüência da rede. Esta restrição, associada com a forma do pulso, que é senoidal, elimina a possibilidade de uma formulação matemática para a especificação das variáveis de soldagem. Outra restrição das fontes tiristorizadas é a não possibilidade de um ajuste eletrônico da dinâmica do equipamento em soldagem com transferência por curto-circuito, o que tem de ser feito pela inserção ou retirada de indutores no circuito de soldagem. Para o processo TIG, entretanto, que utiliza freqüências de pulsação bem mais baixas (0,1 a 5 Hz), as fontes tiristorizadas não apresentam muitas desvantagens em soldagem com corrente não alternada.

As primeiras fontes transistorizadas eram do tipo analógico (figura 1.1). Devido aos transistores operarem na região linear, como em amplificadores de baixa potência, pode-se reproduzir qualquer tipo de sinal em sua saída, desde que sejam respeitados os limites máximos para o qual a fonte foi projetada. Sendo assim, pode-se obter todas as características dinâmicas para qualquer tipo de processo de soldagem. Além disso, tais equipamentos de soldagem produzem uma saída de corrente ou tensão sem flutuação em relação à referência desejada, já que o controle é contínuo sobre o transistor.

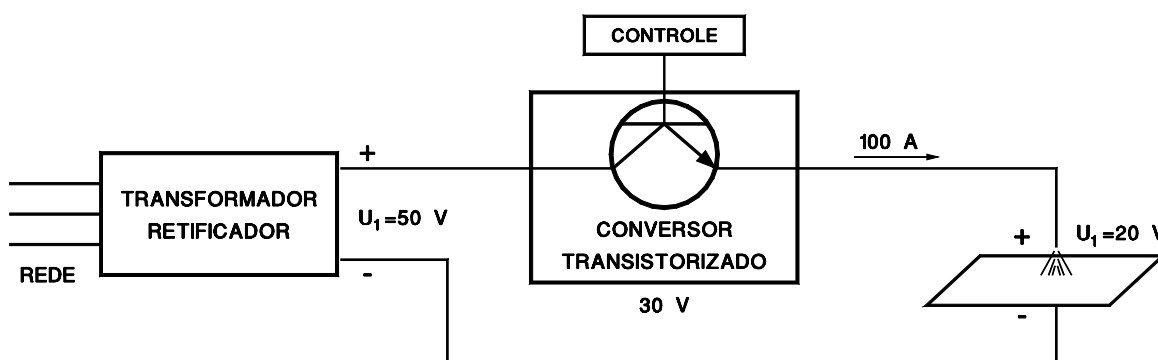


Figura 1.1 - Diagrama de uma fonte transistorizada analógica

A grande desvantagem apresentada pelas fontes transistorizadas analógicas é a perda de energia nos transistores, a qual pode atingir valores superiores a energia fornecida para a soldagem. Por exemplo, para uma tensão de arco de 20 V e uma corrente de 100 A, se o conjunto transformador-retificador estiver fornecendo uma tensão de 50 V, ter-se-á uma queda de tensão sobre o transistor de 30 V. Isto equivale a necessidade de dissipar sobre o transistor 3000 VA de potência, o que dá um rendimento de somente 40 %, uma vez que a potência do arco é somente 2000 VA. Esta dissipação de energia sobre o transistor obriga sua refrigeração à água.

Para minimizar a dissipação de energia desenvolveram-se as fontes chaveadas em que, para o controle da variável de soldagem desejada, o transistor atua como uma chave, interrompendo ou permitindo o fluxo de corrente pelo transistor. O fundamento é controlar a energia do arco, não de forma contínua e analógica, como no caso anterior, mas discretamente, abrindo-se e fechando-se o transistor, de acordo com a diferença entre o nível real e de referência da variável controlada. A figura 1.2 ilustra o diagrama de uma fonte chaveada no secundário e as formas de onda obtidas em cada etapa do circuito.

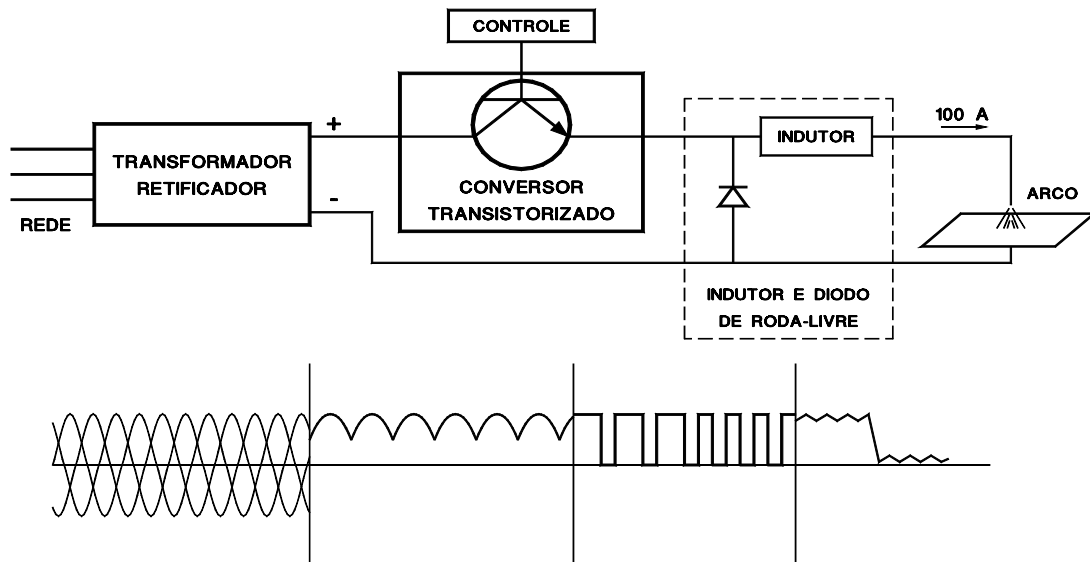


Figura 1.2 - Diagrama simplificado de uma fonte chaveada no secundário

Através destas técnicas de chaveamento as perdas foram bastante reduzidas, pois teoricamente quando o transistor está aberto, a corrente que passa pelo mesmo é zero, e quando está fechado, a tensão sobre seus terminais é igual a zero, resultando em perdas nulas. Entretanto, na prática, isso não acontece, pois quando ele está conduzindo existe uma determinada queda de tensão sobre os seus terminais (tensão de saturação) que provoca perdas em condução. Além disso, existe ainda as perdas devido a comutação dos transistores que aumentam com a frequência de operação dos mesmos.

Para a consecução de uma fonte de energia transistorizada dispõe-se de três tipos de transistores: os bipolares, que apresentam baixa queda de tensão em

condução, mas necessitam de uma elevada corrente de controle, que pode atingir 20% da corrente de soldagem, fazendo com que o circuito de controle se torne complicado e muito dissipativo. Os transistores denominados Mosfets, sendo comandados em tensão, praticamente não consomem energia no controle, pois a corrente necessária é desprezível. Contudo, estes transistores proporcionam uma elevada queda de tensão em condução, o que os torna mais dissipativos.

Para associar as boas características de cada um desses transistores, foram concebidos os transistores IGBT's (Insulated Gate Bipolar Transistors), que são comandados em tensão, como os Mosfets, mas possuem uma baixa queda de tensão em condução como os bipolares. O Laboratório de Soldagem e Mecatrônica da UFSC vem trabalhando desde 1990 com esta tecnologia, tendo obtido excelentes resultados com a utilização dos IGBT's nas fontes de soldagem que produz.

1.3 A FONTE (CENTRAL DE SOLDAGEM) INVERSAL 450/600

O desenvolvimento da fonte de energia para soldagem multi-processo Inversal 450/600, teve como objetivo reunir, numa mesma fonte, todas as características necessárias para possibilitar sua utilização em vários processos de soldagem, e por isso sua designação como Central de Soldagem. Seu projeto foi motivo de dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica pelo Engenheiro Raul Gohr Júnior, em 1992. O trabalho de desenvolvimento da fonte durou cerca de 4 anos, contando com a participação de vários técnicos e bolsistas do LABSOLDA.

Os principais motivos que levaram ao desenvolvimento deste equipamento foram:

- não existência de fontes de soldagem no mercado com todas as características propostas;
- não existência de fabricantes, no Brasil, de fontes transistorizadas de energia para soldagem;
- desenvolver capacitação tecnológica;
- possibilitar a pesquisa fundamental da tecnologia da soldagem.

O fundamento da fonte obedece, em princípio, a estrutura apresentada na figura 1.2, mas devido a necessidade de produção de corrente alternada, sua topologia ficou de acordo com a figura 1.3, sendo utilizados quatro IGBT's. Assim, quando se deseja polaridade positiva no eletrodo, a unidade de controle faz funcionar os transistores 1 e 4 e em caso contrário, os transistores 2 e 3. Fazendo-se uma alternância periódica do sentido da corrente, obtém-se uma corrente alternada com forma de onda do tipo retangular.

Para máquinas INVERSAL 450/600, encomendadas para produzir somente corrente contínua, utiliza-se somente dois transistores, sendo que o IGBT3 é

utilizado apenas para se usar o diodo de roda livre, intrínseco a estes transistores (figura 1.4).

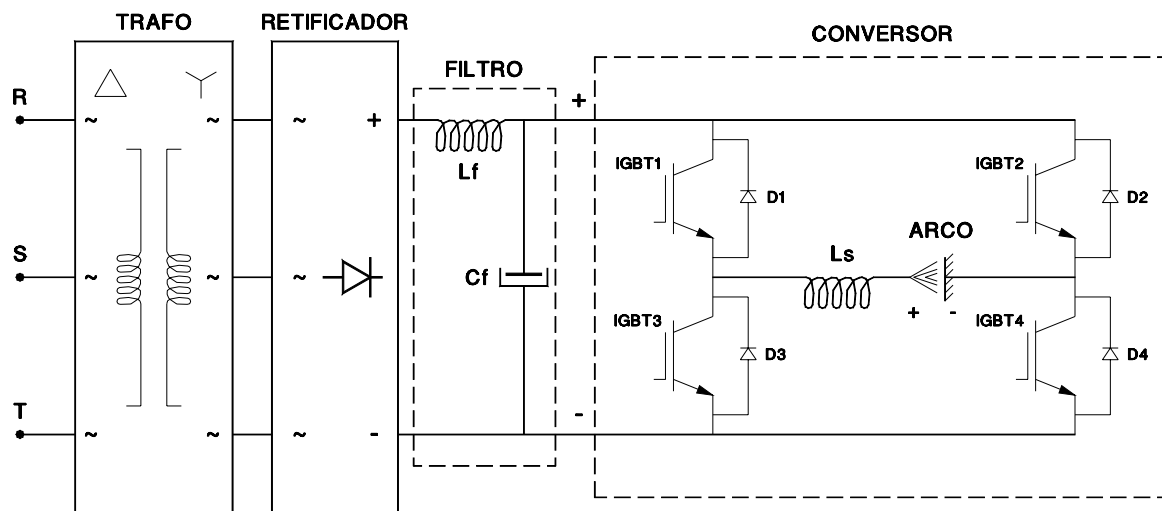


Figura 1.3 - Diagrama esquemático da Fonte Inversal 450/600 padrão

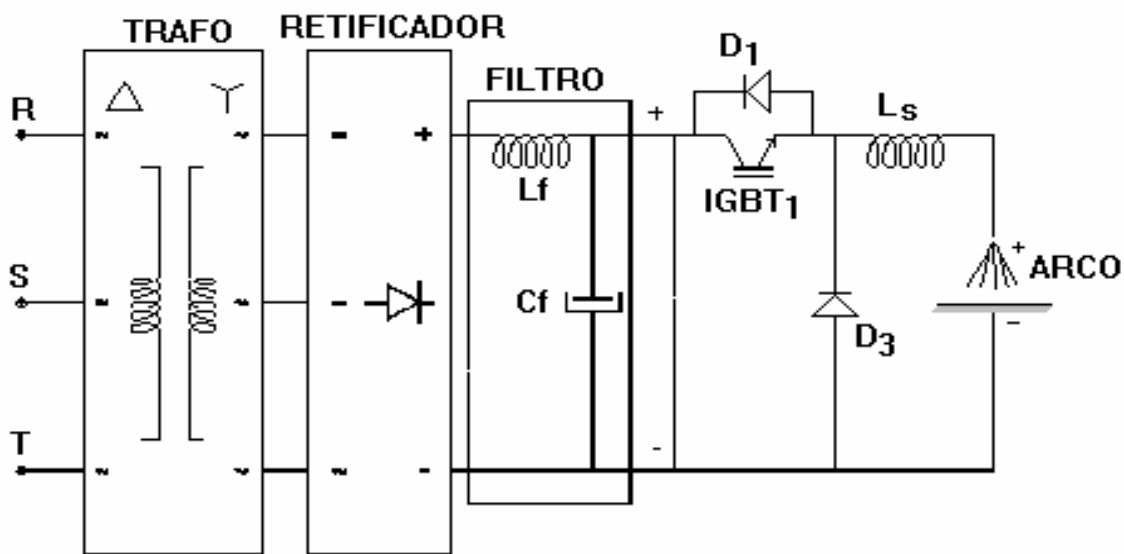


Figura 1.4 - Diagrama esquemático da Fonte Inversal 450/600 para produzir apenas corrente contínua

O equipamento possui um conector para o comando remoto de todas as variáveis de soldagem, bem como para aquisição.

Capítulo 2

DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

2.1 INTRODUÇÃO

A Fonte de Soldagem Multiprocesso Inversal 450/600 foi desenvolvida com tecnologia inédita no Brasil, para operar pelos processos MIG/MAG, TIG, PLASMA e ELETRODO REVESTIDO. O nome Inversal foi escolhido para designar a característica “inversora” e universal da fonte. O número 450 ou 600 relaciona-se com o valor em ampéres da corrente máxima que a fonte pode operar.

Embora o equipamento tenha sido concebido para ser amplamente abrangente em possibilidades, seu painel de comando, aliado à tampa superior, facilitam a operação com um mínimo de conhecimento. Porém, o operador deve possuir alguma experiência no que se refere ao ajuste das variáveis de cada processo, para que possa ajustar a fonte de forma adequada.

2.2 DADOS TÉCNICOS DO EQUIPAMENTO

a) Gerais

Tensão de Alimentação	220, 380 ou 440 V Trifásica
Tensão em vazio	68 V
Corrente	Contínua ou alternada (Constante ou pulsada)
Dimensões	0,5 x 0,6 x 1,2 m
Peso	170 kg
Circuito de arrefecimento	3,5 litros de água destilada
Fator de Potência	0,95

b) Versão 450

Corrente nominal	280 A
Corrente máxima	450 A
Corrente a 100% Fc	280 A / 35 V
Potência nominal	13 kVA

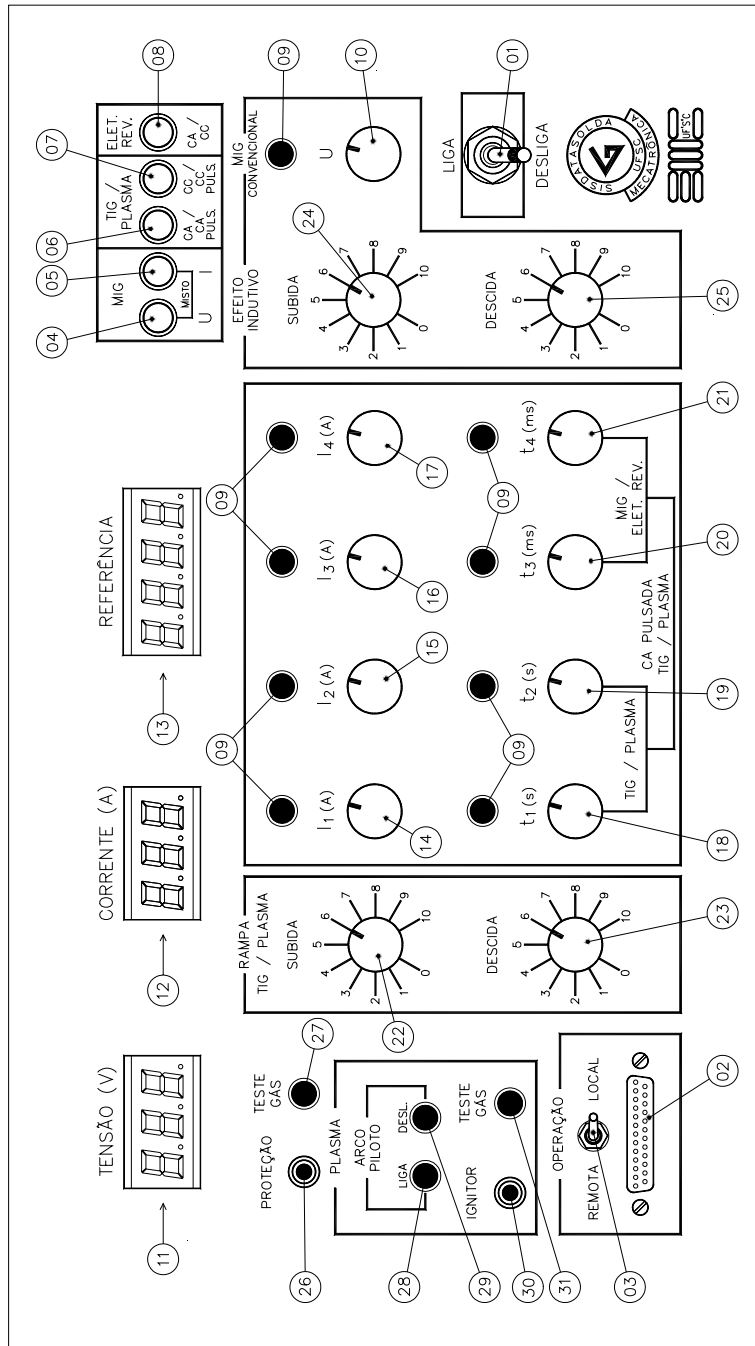
b) Versão 600

Corrente nominal	320 A
Corrente máxima	600 A
Corrente a 100% Fc	320 A / 30 V
Potência nominal	13 kVA

Capítulo 3

DESCRIÇÃO DOS PAINÉIS

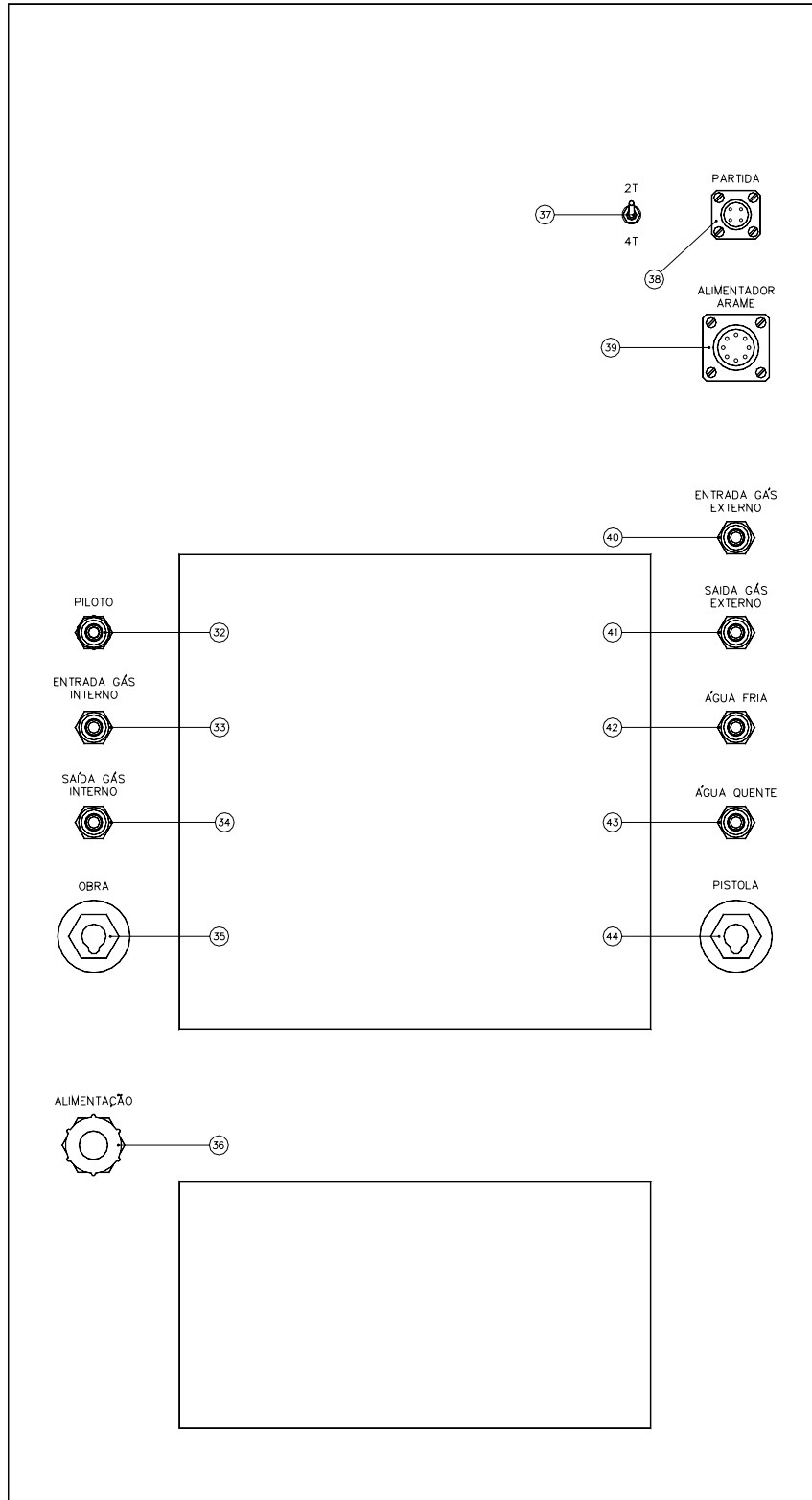
3.1 PAINEL FRONTAL DA INVERSAL 450/600



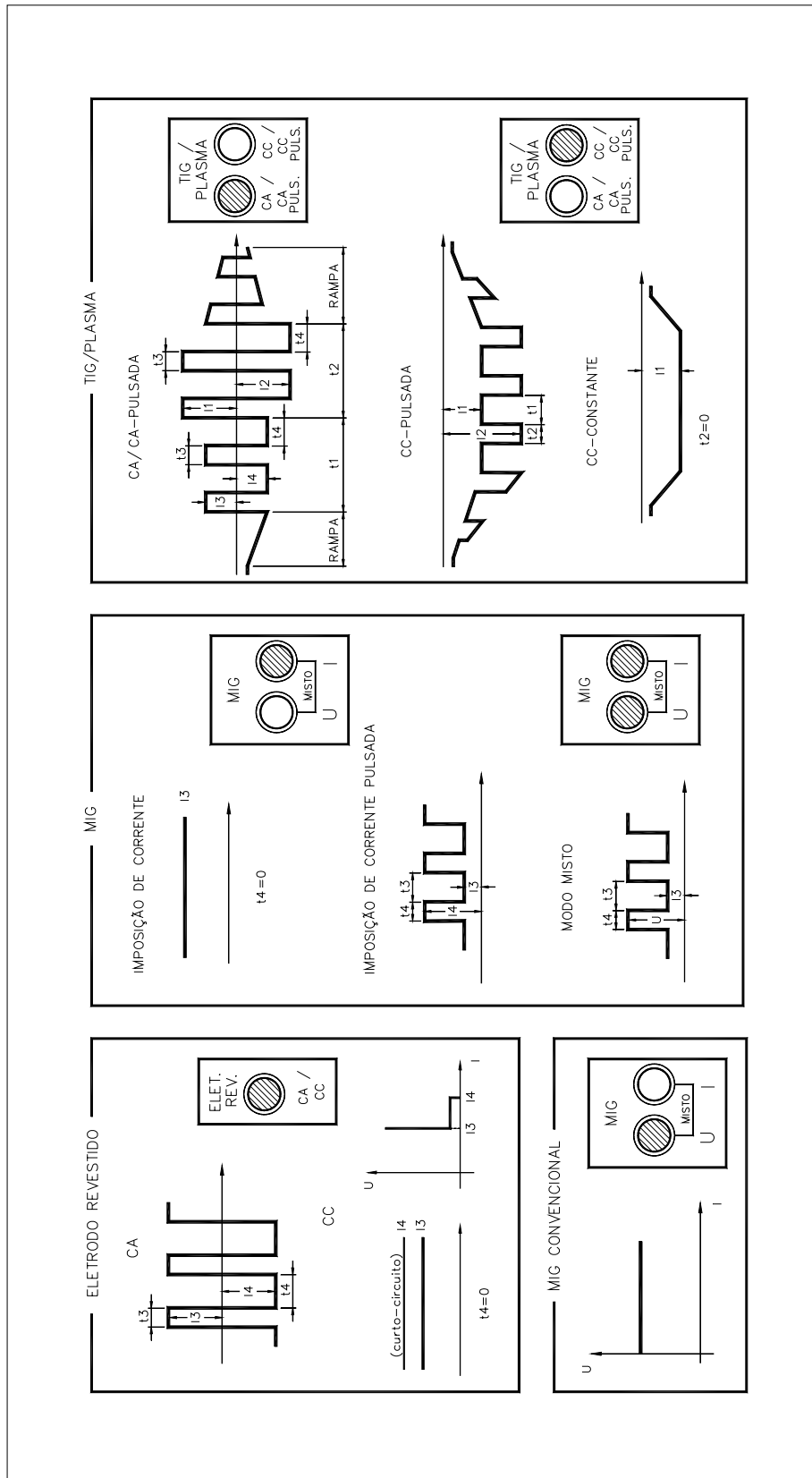
- 01- Chave Liga/Desliga
- 02- Interface para controle remoto
- 03- Botão de seleção do modo de operação
- 04- Botão p/ soldagem MIG com corrente contínua
- 05- Botão p/ soldagem MIG com corrente alternada
- 06- Botão p/ soldagem TIG ou PLASMA em corrente contínua
- 07- Botão p/ soldagem TIG ou PLASMA em corrente alternada
- 08- Botão de visualização do ajuste correspondente
- 09- Potenciômetro de ajuste de tensão no MIG convencional
- 10- Display de tensão eficaz de soldagem
- 11- Display de tensão eficaz de soldagem
- 12- Display de tensão eficaz de soldagem
- 13- Display de tensão eficaz de soldagem
- 14- Potenciômetro de ajuste da corrente
- 15- Potenciômetro de ajuste da corrente
- 16- Potenciômetro de ajuste da corrente
- 17- Potenciômetro de ajuste da corrente
- 18- Potenciômetro de ajuste do tempo t1
- 19- Potenciômetro de ajuste do tempo t2
- 20- Potenciômetro de ajuste do tempo t3
- 21- Potenciômetro de ajuste do tempo t4
- 22- Potenciômetro de ajuste da rampa de subida
- 23- Potenciômetro de ajuste da rampa de descida
- 24- Potenciômetro de ajuste da subida do efeito indutivo
- 25- Potenciômetro de ajuste da descida do efeito indutivo
- 26- Sinalização sistema de proteção
- 27- Botão de acionamento do arco piloto do plasma
- 28- Botão de desligamento do arco piloto
- 29- Sinalização do ignitor ligado
- 30- Botão de teste de gás interno
- 31- Botão de teste de gás interno

3.2 PAINEL TRASEIRO DA INVERSAL 450/600

PAINEL TRASEIRO – INVERSAL 300

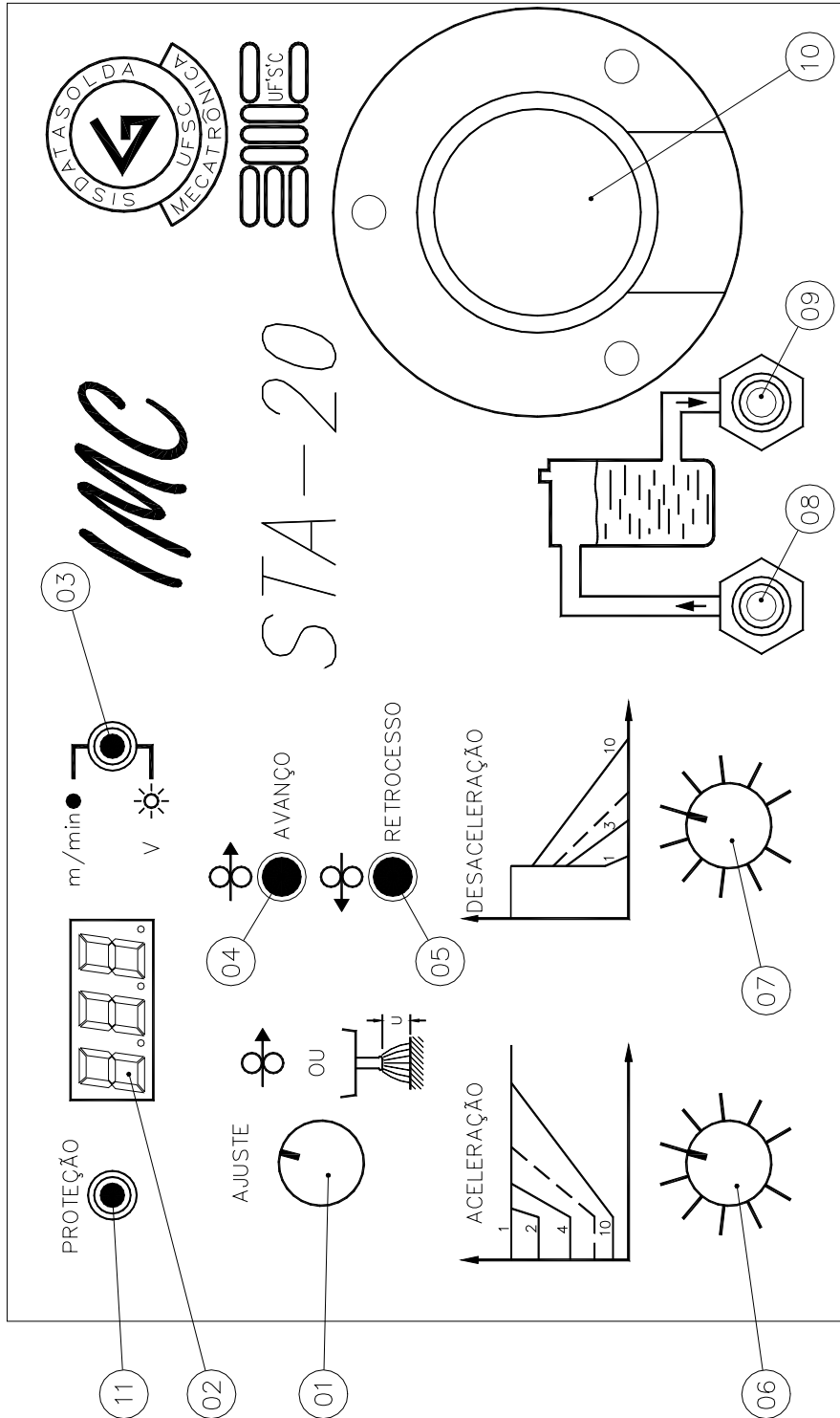


3.3 PAINEL SUPERIOR DA INVERSAL 450/600



3.4 PAINEL FRONTAL DO STA-20

ASPECTO FINAL – PAINEL FRONTAL – STA-20



- 01 – Pot. de ajuste da veloc. de arame ou tensão de arco
- 02 – Display indicador da grandeza ajustada
- 03 – Led indicador da unidade da grandeza ajustada
- 04 – Botão p/ avanço manual do arame
- 05 – Botão p/ retrocesso manual do arame
- 06 – Potenciômetro de ajuste da rampa de aceleração
- 07 – Pot. de ajuste da rampa de desaceleração
- 08 – Entrada de água (quente)
- 09 – Saída de água (fria) para a pistola
- 10 – Conector da pistola MIG/MAG (euroconector)
- 11 – Led de proteção

Capítulo 4

INSTALAÇÃO

4.1 ELÉTRICA

A fonte de soldagem Inversal 450/600 foi projetada para operar tanto em 220, 380 como 440 V trifásicos. Para adequar a tensão de alimentação, deve-se abrir a tampa lateral direita da máquina, olhando-a de frente, e modificar as ligações no quadro de ligações existente no nível inferior da máquina, conforme o esquema que encontra-se gravado na parte interna da tampa lateral direita da fonte. Apenas estas ligações devem ser alteradas! As ligações elétricas dos demais elementos, como ventiladores, válvulas de gás, transformador de comando, foram feitas de tal forma que não precisam ser modificadas. Compatibilizada a alimentação da máquina com a rede local, pode-se conectá-la ao quadro de fusíveis (não incluído com a máquina), observando-se que o fio azul é o terra.

Os fusíveis instalados no quadro devem estar de acordo com a tensão da rede, conforme os valores da tabela 4.1. Devem ser utilizados fusíveis rápidos.

REDE	FUSÍVEIS
220 V	45 A
380 V	25 A
440 V	20 A

Tabela 4.1 - Fusíveis do quadro de alimentação da fonte Inversal 450/600

4.2 GASES

Existem no painel traseiro da máquina duas entradas para gases (interno e externo), e duas saídas para gases. O gás externo é utilizado nos processos MIG/MAG, TIG E PLASMA, e tem por função proteger a poça metálica, estabilizar o arco voltaico, ou ainda atuar /ativamente no processo de soldagem (conforme for o processo). A máquina controla a abertura e o fechamento dos gases de soldagem através de válvulas solenóide (normalmente fechadas), que são acionadas eletronicamente conforme for o processo de soldagem. Se o mesmo não utilizar gases (eletrodo revestido), ou apenas um deles (MIG, TIG), as saídas de gases estarão automaticamente fechadas. Portanto, não será necessário desconectar as mangueiras de gases ou fechar as válvulas dos cilindros de gás quando for selecionado outro processo de soldagem.

Recomenda-se que as válvulas dos cilindros de gás sejam sempre fechadas após o término da soldagem e o desligamento da Inversal 450/600, para evitar qualquer tipo de perda de gás na linha.

4.3 ÁGUA

A água é necessária para a refrigeração da pistola nos processos MIG/MAG, TIG e PLASMA. A Inversal 450/600 possui circuito fechado de refrigeração, no qual só deve ser utilizada ÁGUA DESTILADA para evitar que impurezas da água venham a obstruir os orifícios de circulação de água na tocha. No nível superior da máquina existe um reservatório construído em aço inox.

A fonte não deve ser transportada com água em seu reservatório, para que não haja perigo de eventuais vazamentos virem a danificar os circuitos eletrônicos.

<p>OBSERVAÇÃO: A fonte deve ser abastecida com a água de refrigeração quando for ligada pela primeira vez. A capacidade do tanque é de cerca de 3,5 litros. Recomenda-se fazer inspeções periódicas do nível de água do reservatório para que não haja perigo de sobreaquecimento da tocha. Complete sempre com água destilada.</p>
--

Capítulo 5

OPERAÇÃO COMO FONTE MIG/MAG

5.1 INTRODUÇÃO

A soldagem MIG/MAG usa o calor de um arco elétrico entre um eletrodo nu alimentado de maneira contínua e o metal de base. O calor funde a ponta do eletrodo e a superfície do metal de base para formar a poça de fusão. A proteção do arco e da poça metálica vem inteiramente de um gás alimentado externamente, que pode ser inerte (normalmente argônio e eventualmente hélio) — MIG, ou ativo (no caso o CO₂) — MAG, ou ainda uma mistura destes — MIG/MAG. Em alguns casos usa-se pequenos percentuais de O₂ (1 a 2 %) misturados com o argônio para a soldagem de aços inoxidáveis.

As maiores vantagens do processo MIG/MAG são a alta taxa de deposição, a baixa liberação de fumos relativamente ao eletrodo revestido, e a ampla faixa de espessuras e posições que se pode soldar.

É usada no processo MIG/MAG corrente contínua em polaridade inversa, isto é, com o eletrodo ligado ao pólo positivo (+). A escolha da polaridade inversa é realizada sem a necessidade da troca de conectores, bastando fazer a seleção de valores positivos para a corrente, no caso do processo ser comandado em corrente. Quando o processo for comandado em tensão, ter-se-á sempre valores positivos para a mesma.

O operador deve ler o manual de instruções antes de utilizar a fonte de soldagem pela primeira vez. Ficando compreendidas as funções de cada botão e de cada variável de ajuste descritos, ele poderá utilizar-se das figuras existentes no painel superior da Inversal 450/600 como auxílio para as soldagens subsequentes.

5.2 COLOCANDO A FONTE EM OPERAÇÃO

Para configurar a fonte de soldagem Inversal 450/600 para o processo MIG/MAG, os seguintes passos devem ser seguidos (ver figura 3.2 - painel traseiro):

1- Conectar o cabo de alimentação da Inversal 450/600 à caixa de fusíveis existente nas proximidades do local de soldagem (estando a chave liga/desliga (01) na

posição DESLIGA). A capacidade dos fusíveis deve estar de acordo com a tabela 4.1;

2- Conectar à “Entrada Gás Externo” (40) a mangueira de gás vinda do cilindro a ser utilizado na soldagem;

3- Conectar o mangote do alimentador de arame ao painel traseiro da Inversal 450/600. As seguintes conexões devem ser realizadas:

- Saída Gás Externo (41)
- Água fria (42) e Água quente (43)
- Alimentador de Arame (39)
- Partida (38)
- Pistola (44);

4- Conectar a Obra (35) ao local da soldagem;

5- Conectar o engate da pistola de soldagem ao engate (10S) (euroconector) no painel dianteiro do alimentador de arame STA-20 (figura 3.4). Conectar também as mangueiras de água quente e água fria aos respectivos engates rápidos (08S) e (09S);

6- Ligar a máquina, acionando a chave (01) do painel frontal. Neste instante, os painéis da Inversal 450/600 e do alimentador STA-20 indicarão que os mesmos foram energizados. Caso haja outro interruptor ou disjuntor na caixa de fusíveis, os mesmos devem ser acionados previamente;

7- Colocar no suporte do STA-20 o rolo de arame-eletrodo a ser utilizado, e abrir a tampa lateral direita do alimentador de arame para introduzir o arame por entre os rolos tracionadores e os orifícios existentes. Pressionar o botão (04S) do STA-20 para que o arame avance até a pistola de soldagem;

8- Abrir o gás de soldagem e ajustar a válvula reguladora de pressão no cilindro de gás. A pressão e a vazão devem ser ajustadas de acordo com o tipo de soldagem e das necessidades de gás. A literatura especializada pode ser consultada para maiores esclarecimentos quanto aos gases utilizados na soldagem MIG/MAG. Pressionando o botão de “Teste gás” (27), executa-se a purga do ar existente na canalização. Um rotâmetro apropriado pode ser acoplado ao bocal da pistola de soldagem para verificar se a vazão do gás é adequada.

9- Selecionar, na chave (37) no painel traseiro da fonte, o modo de comando do operador, que pode ser por dois toques (2T) ou quatro toques (4T). No modo 2T, pressiona-se o botão de acionamento da pistola, mantendo-o pressionado durante a soldagem e soltando-o apenas para finalizar. No modo 4T, pressiona-se e solta-se o botão para dar início à soldagem, pressionando-o novamente para finalizar a operação.

10- Posicionar a chave de operação (03) para comando local, onde, neste caso, todas as variáveis deverão ser ajustadas através do painel da Inversal 450/600; ou

remoto, onde todas as variáveis deverão ser ajustadas através de um microcomputador.

11- Selecionar o processo de soldagem MIG/MAG, através dos botões (04) e/ou (05), conforme for o tipo de controle a ser utilizado.

A fonte de soldagem Inversal 450/600 pode soldar MIG/MAG sendo comandada de três maneiras:

- Comando de Tensão - botão (4);
- Imposição de Corrente - botão (5);
- Modo Misto - botões (4) e (5).

Cumpridas todas as etapas descritas acima, procede-se à seleção e ajuste das variáveis de soldagem nos painéis da fonte Inversal 450/600 e do STA-20, conforme for a forma de comando a ser utilizada. A próxima seção explica como devem ser feitos tais ajustes. Dependendo da forma de comando, alguns botões do painel não exercerão função enquanto que outros passarão a ser utilizados.

5.3 AJUSTE DAS VARIÁVEIS DE SOLDAGEM - MIG/MAG

Para a seleção e ajuste das variáveis de soldagem, recomenda-se que o operador tenha noções básicas de soldagem a arco. O presente manual assume que o operador já detém tais conhecimentos, não sendo portanto objetivo desta obra o ensinamento de conceitos básicos de soldagem. A literatura de soldagem deve ser consultada para maiores esclarecimentos. Para isto, uma completa bibliografia foi incluída no final deste manual.

5.3.1 - COMANDO DE TENSÃO (MIG CONVENCIONAL)

Comandar uma fonte em tensão é a maneira mais usual que existe para se trabalhar com o processo MIG/MAG. É o modo mais fácil de soldar quando se está trabalhando na faixa da transferência por curto-circuito, pois obtém-se um auto-ajustamento da corrente em função do comprimento do arco, e o que é mais importante, nos instantes de curto-circuitamento de gotas.

Estando pressionado o botão (04) do seletor de processos de soldagem, a fonte assumirá o comportamento de uma fonte de tensão constante, conforme mostra a figura intitulada MIG CONVENCIONAL gravada na tampa superior da Inversal 450/600.

Neste caso, o valor da corrente de soldagem será determinado indiretamente pela velocidade do eletrodo, ajustada no alimentador de arame. Durante a soldagem, a velocidade média de fusão do eletrodo se equilibra com a velocidade de mergulho do mesmo, porque as correntes média e eficaz acompanham esta última.

Quando a velocidade do arame-eletrodo aumenta, o número de curto-circuitos aumenta, e com isso também aqueles valores de corrente. Se a transferência metálica não for por curto-circuito, o equilíbrio também acontece em virtude da alteração do comprimento do arco com a modificação da velocidade do arame-eletrodo. A medida que esta velocidade cresce, o comprimento do arco diminui, diminuindo a impedância total do circuito e, com isso, aumentando a corrente para assim fundir mais material. Isso caracteriza o que convencionalmente na literatura é designado “controle interno”, pois o processo de soldagem estabiliza-se por si mesmo, não sendo necessário um controle apurado por parte da máquina de soldagem. O mesmo não irá acontecer se a máquina estiver ajustada para impor a corrente de soldagem.

Estando entendidos os princípios de ajuste da fonte para comando de tensão, e sendo este o comando desejado, procede-se ao ajuste das variáveis de soldagem:

a) Ajustar o valor da tensão de soldagem no potenciômetro (10). Para visualizar o valor ajustado, pressiona-se o botão (09) localizado acima de (10), mantendo-o pressionado durante o ajuste. O valor da tensão ajustada será mostrado no display “REFERÊNCIA” (13). Este procedimento é padrão para a visualização de qualquer grandeza que contenha um botão “push-button” acima do potenciômetro correspondente.

OBSERVAÇÃO: A fonte de soldagem Inversal 450/600 foi projetada para indicar nos “displays” “TENSÃO” (11) e “CORRENTE” (12) os VALORES EFICAZES de tensão e corrente, respectivamente. O mesmo não acontece na maioria das fontes eletrônicas convencionais, que geralmente indicam no painel os valores médios. O operador deve estar ciente disto para que proceda ao ajuste das variáveis de forma adequada.

b) Ajustar o efeito indutivo através dos potenciômetros (24) e (25). O efeito indutivo mostra-se bastante relevante em soldagens MIG/MAG por curto-circuito, influenciando diretamente na formação de salpicos e na estabilidade do arco voltaico.

Para que a fonte de soldagem INVERSAL 450/600 se tornasse extremamente versátil no tocante ao uso dos diversos gases de proteção, disponibilizou-se ao usuário dois ajustes de indutância. Um deles atua a partir do instante da ocorrência do curto circuito, designado como efeito indutivo de subida, e o outro, designado como efeito indutivo de descida, atua a partir do instante final do curto-circuito. A título de exemplo, apresentam-se dois oscilogramas de corrente e tensão para soldagem com C25, onde na figura 5.1 o ajuste do efeito indutivo de subida e descida foi maior do que o ajuste utilizado na figura 5.2.

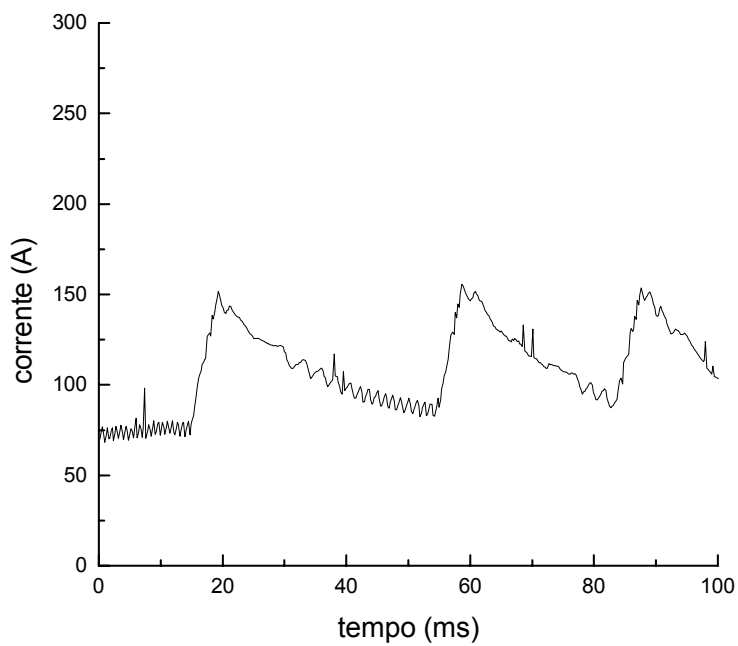
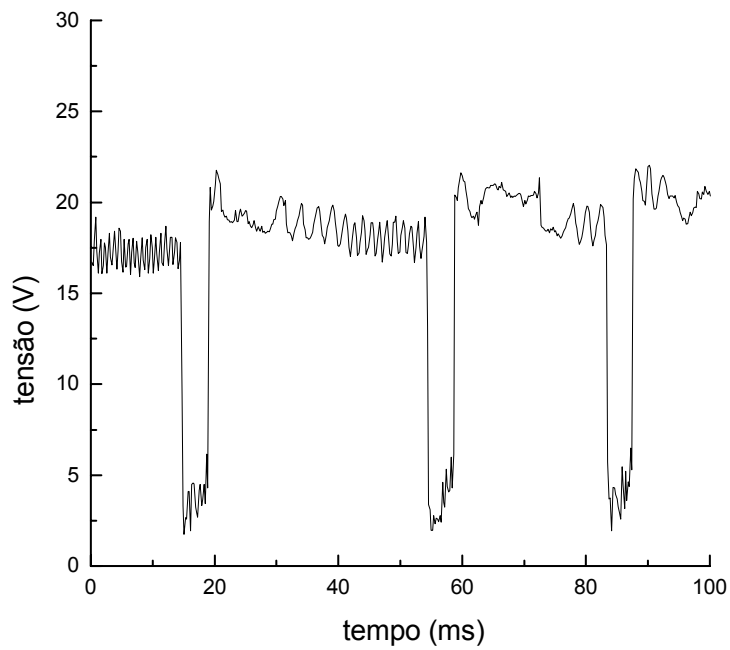


Fig. 5.1: Oscilogramas de corrente e tensão de soldagem, com do efeito indutivo de subida e descida alto (subida e descida da corrente mais lentas).

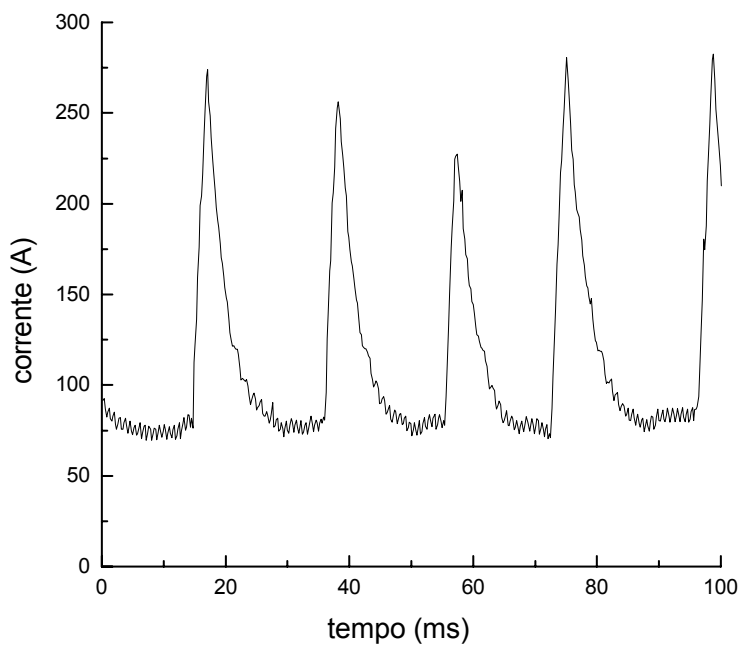
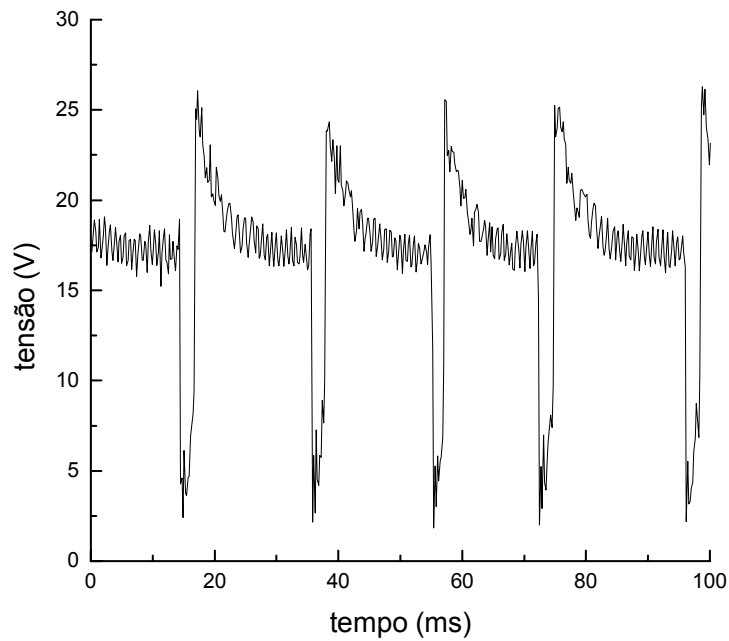


Fig. 5.2: Oscilogramas de corrente e tensão de soldagem, com ajuste do efeito indutivo de subida e descida baixo (subida e descida da corrente mais rápidas).

OBSERVAÇÃO: Os potenciômetros de ajuste do efeito indutivo só têm ação quando em soldagens MIG/MAG com comando de tensão. Nos demais modos de comando

(imposição de corrente e modo misto) o ajuste do efeito indutivo NÃO atua de nenhuma forma na soldagem.

c) No painel do alimentador de arame STA-20, ajustar a velocidade do arame no potenciômetro (01S), bem como as respectivas rampas de aceleração (06S) e desaceleração (07S) do arame-eletrodo. O valor da velocidade ajustada pode ser visualizado no “display” deste painel (02S). Já as rampas devem ser ajustadas conforme os gráficos disponíveis acima dos respectivos potenciômetros.

OBSERVAÇÃO: Caso esteja-se utilizando o controle remoto (chave (02) na posição remoto), o ajuste da velocidade do arame-eletrodo é feito dentro do “software” no computador, e as rampas de subida e descida são ajustadas manualmente pelo operador no painel do alimentador de arame nos botões (06S) e (07S), respectivamente.

Feitos os ajustes de tensão, efeito indutivo, velocidade do arame e estando o gás de soldagem devidamente conectado e ajustado, procede-se a soldagem MIG/MAG.

OBSERVAÇÃO: Os botões e potenciômetros não mencionados nesta seção não exercem efeito algum no ajuste das variáveis, e seus ajustes instantâneos não são relevantes. Por exemplo, na soldagem MIG/MAG com comando de tensão, os potenciômetros de ajuste de corrente I1 e I2 não atuam de forma alguma na soldagem, já que nesta situação a corrente não é uma variável a ser ajustada.

5.3.2 - IMPOSIÇÃO DE CORRENTE

Estando pressionado o botão (05) do seletor de processos, a fonte estará preparada para impor a corrente de soldagem. A Inversal 450/600 pode impor, tanto corrente em regime constante, como em regime pulsado, dependendo apenas de como são ajustados os valores de tempo de onda.

A seguir são descritas estas duas formas de impor corrente:

5.3.2.1 IMPOSIÇÃO DE CORRENTE EM REGIME CONSTANTE

Este é um modo de operação que não oferece boa facilidade de soldagem, principalmente na faixa de transferência metálica por curto-circuito, pois não havendo acréscimo de corrente durante o curto-circuito, as gotas tem dificuldade de

se destacarem do eletrodo. Um pouco mais de facilidade de soldagem é obtido se as condições de soldagem propiciarem transferência sem curto-circuito.

Existem duas maneiras de se operar com este modo de operação. Um primeiro, considerado normal, é aquele em que uma chave dentro do alimentador de arame está posicionada em “NORMAL”. Neste caso, o que deve ser ajustado no alimentador de arame pelo botão (01S) não é a velocidade do arame, mas sim uma tensão de soldagem, denominada tensão de referência. A velocidade do arame fica automaticamente controlada por um circuito controlador do alimentador de arame, denominado controle externo.

O segundo modo de operação é aquele em que a chave interna do alimentador de arame deve estar posicionada para “ESPECIAL”. Neste caso, a velocidade do arame deve ser ajustada de uma maneira muito crítica em relação à corrente ajustada. Deve-se possuir equações que relacionem esta com a velocidade de fusão do eletrodo.

Se a opção for pela imposição de corrente em regime constante, procede-se ao ajuste das variáveis de soldagem da seguinte maneira: (ver figura MIG - Imposição de Corrente, no painel superior da fonte)

- a) Ajustar a corrente de soldagem I₃ no potenciômetro (16).
- b) Ajustar o valor de t₄ para zero, no potenciômetro (21). Isto faz com que a corrente não seja pulsada e sim assuma um valor fixo.
- c) Ajustar, no alimentador de arame STA-20, a tensão de referência ou a velocidade do arame-eletrodo no potenciômetro (01S). A opção por uma ou outra é dependente da posição de uma chave interna ao alimentador do arame. A posição, dita normal, é a que conduz ao acendimento do LED (03S) do alimentador e indica que a grandeza ajustada é uma tensão, em Volts. A mesma designada como tensão de referência é a tensão que se quer ter no arco voltaico, e tem influência direta no comprimento do mesmo. Portanto, a tensão de referência é o valor que deve ser ajustado para que se obtenha um comprimento de arco ideal para cada soldagem. Com a chave interna do alimentador do arame na posição especial, o LED (03S) não acende, indicando que a grandeza a ser ajustada é a velocidade do arame. Neste caso, o ajuste da mesma é bastante crítico, devendo manter uma correlação adequada com a corrente ajustada.

Feitos os ajustes descritos acima, pode-se executar a soldagem.

5.3.2.2 IMPOSIÇÃO DE CORRENTE EM REGIME PULSADO

Em soldagens MIG/MAG convencionais com baixas correntes médias, a transferência metálica efetua-se por curto-circuitos. Nesta, cada gota se transfere por ocasião do estabelecimento de um contato físico desta com a poça líquida.

A concepção da corrente pulsada para o controle da transferência metálica não é nada mais do que uma metodologia de antecipação de picos de corrente para

transferir as gotas antes que estas curto-circuitem na peça. Com isso evita-se intensas salpicagens e tem-se um arco com uma pressão razoavelmente homogênea sobre a poça líquida.

Entretanto, os picos de corrente (pulsos), devem satisfazer certos requisitos para que estes objetivos sejam alcançados. Assim, o tempo de permanência no valor de pulso deve ser tal que a energia gerada seja suficiente para a complementação da formação da gota e sua expulsão. A elevada corrente de pulso necessária para tanto impõe que a corrente de base seja ajustada num patamar tal que possa ser obtida uma corrente média dentro dos valores necessários e desejáveis à operação de soldagem.

O uso da corrente pulsada tem possibilitado a soldagem com transferência sem curto-circuito fora da posição plana e a união de materiais de menor espessura. Entretanto, a seleção correta das grandezas envolvidas no processo é de fundamental importância para que os objetivos da utilização da corrente pulsada sejam atingidos. Tal tarefa, porém tem sido uma das principais razões para a falta de popularidade da soldagem MIG/MAG pulsada na indústria.

Se a opção for pela imposição de corrente pulsada, procede-se o ajuste das variáveis de soldagem da seguinte maneira: (ver figura 5.3, que também encontra-se no painel superior da fonte)

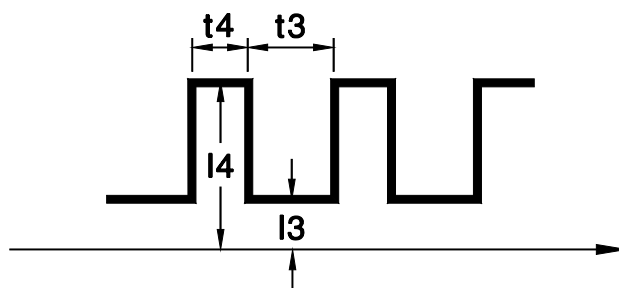


Figura 5.3 - Variáveis da corrente pulsada na imposição de corrente

- a) Ajustar a corrente de base I_b , representada por I_3 no potenciômetro (16);
- b) Ajustar a corrente de pulso I_p , representada por I_4 no potenciômetro (17);
- c) Ajustar o tempo de base t_b , representado por t_3 no potenciômetro (20);
- d) Ajustar o tempo de pulso t_p , representado por t_4 no potenciômetro (21).
- e) Ajustar, no alimentador de arame STA-20, a tensão de referência ou a velocidade do arame-eletrodo, no potenciômetro (01S), conforme a posição da chave interna, de acordo com a descrição no item anterior.

OBSERVAÇÃO: Caso esteja-se utilizando o controle remoto, os ajustes de correntes, tempos e tensão de referência são feitos dentro do “software” no computador, e as rampas de aceleração e desaceleração do arame-eletrodo são ajustadas pelo operador no painel do STA-20, nos botões (06S) e (07S), respectivamente.

Feitos os ajustes descritos acima, pode-se executar a soldagem.

EXEMPLOS PRÁTICOS DE SOLDAGENS COM IMPOSIÇÃO DE CORRENTE

Ajustes da fonte:

$I_3 = 30 \text{ A}$ $I_4 = 240 \text{ A}$ $t_3 = 39 \text{ ms}$ $t_4 = 4.1 \text{ ms}$ $U_{ref} = 21 \text{ V}$

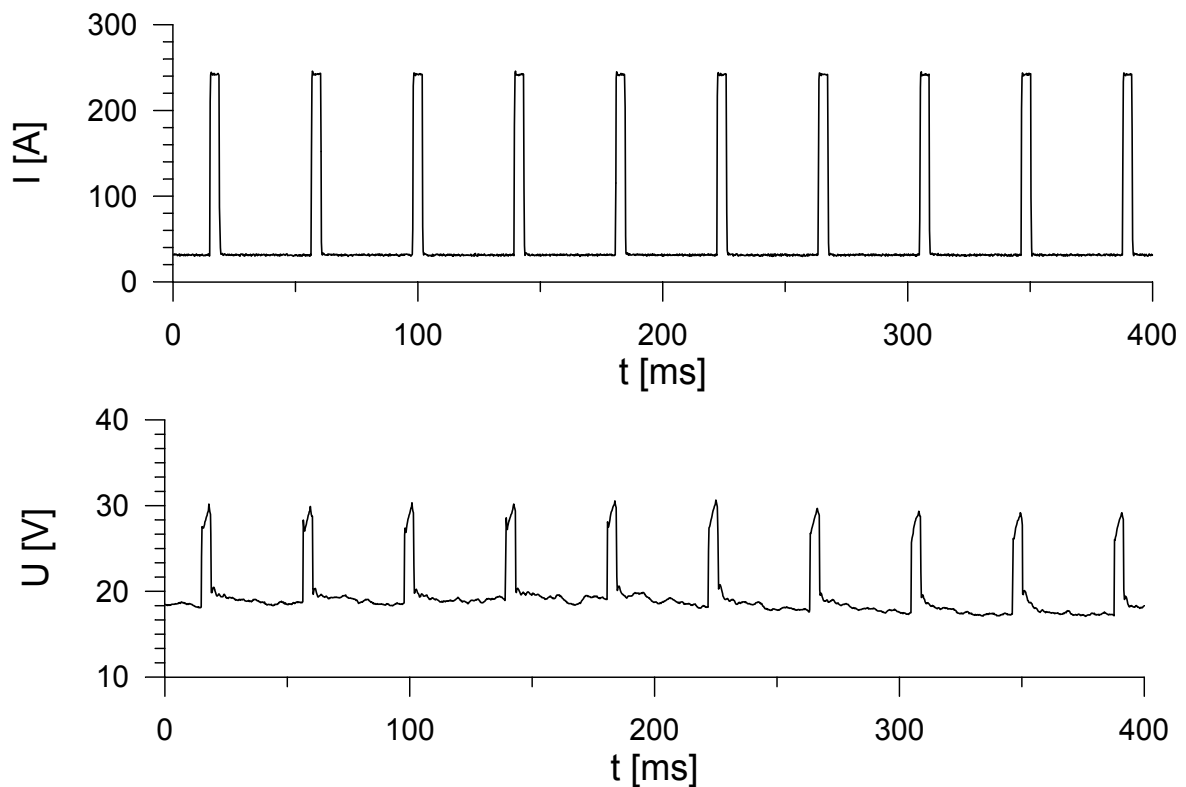


Fig. 5.4 - Soldagem MIG/MAG pulsada com imposição de corrente com eletrodo ER70S-6 de 1,0 mm, corrente média de 50 A e eficaz de 79 A.

Ajustes na fonte:

$I_3 = 76 \text{ A}$ $I_4 = 240 \text{ A}$ $t_3 = 11.2 \text{ ms}$ $t_4 = 4.1 \text{ ms}$ $U_{ref} = 25 \text{ V}$

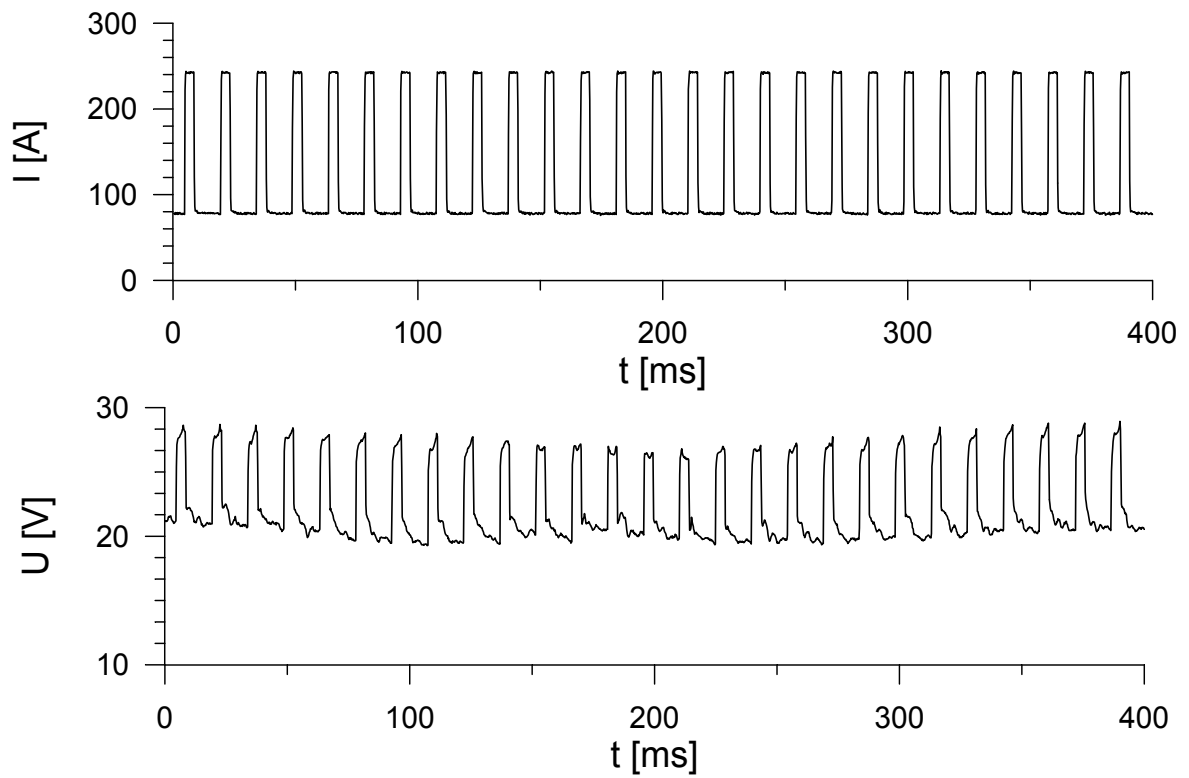
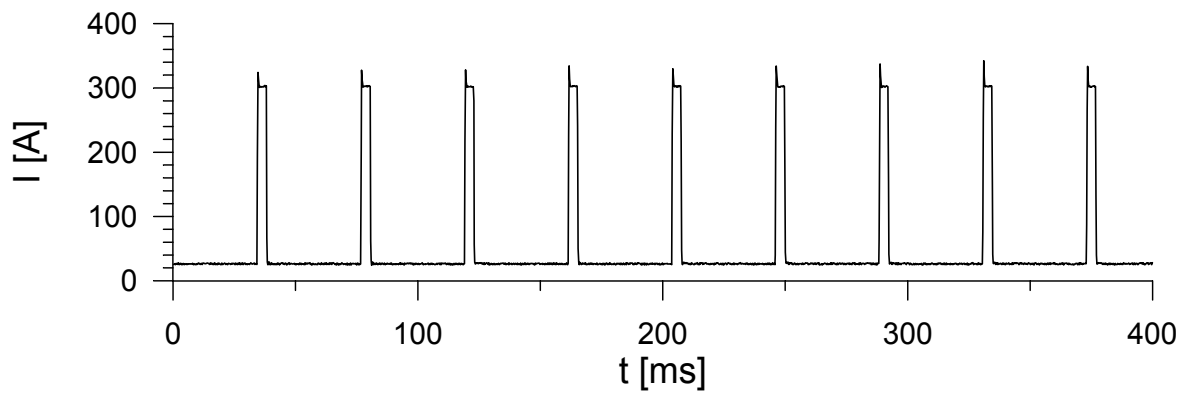


Fig. 5.5 - Soldagem MIG/MAG pulsada com imposição de corrente com eletrodo ER70S-6 de 1,0 mm, corrente média de 120 A e eficaz de 140 A.

Ajustes na fonte:

$I_3 = 25 \text{ A}$	$I_4 = 300 \text{ A}$	$t_3 = 40 \text{ ms}$	$t_4 = 4.1 \text{ ms}$	$U_{ref} = 22 \text{ V}$
----------------------	-----------------------	-----------------------	------------------------	--------------------------



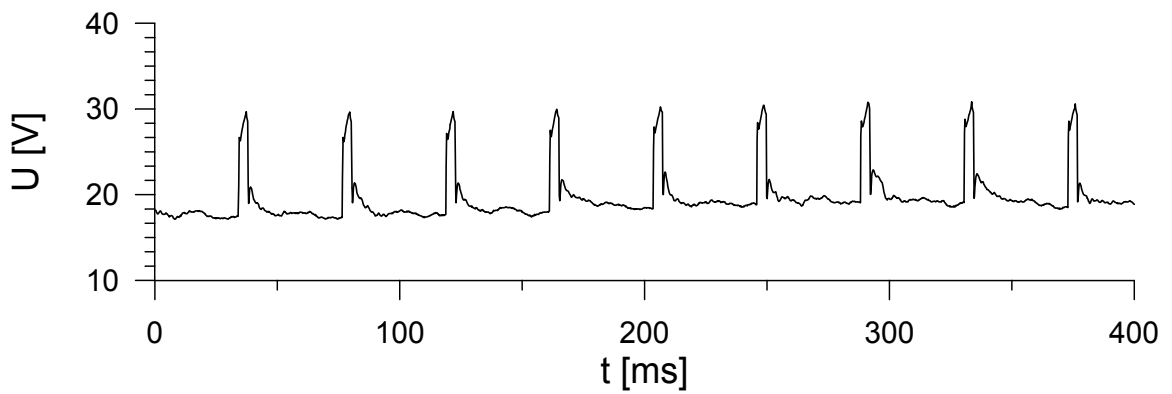


Fig. 5.6 - Soldagem MIG/MAG pulsada com imposição de corrente com eletrodo ER70S-6 de 1,2 mm, corrente média de 50 A e eficaz de 94 A.

Ajustes na fonte:

$I_3 = 70 \text{ A}$	$I_4 = 300 \text{ A}$	$t_3 = 14.4 \text{ ms}$	$t_4 = 4.1 \text{ ms}$	$U_{ref} = 22 \text{ V}$
----------------------	-----------------------	-------------------------	------------------------	--------------------------

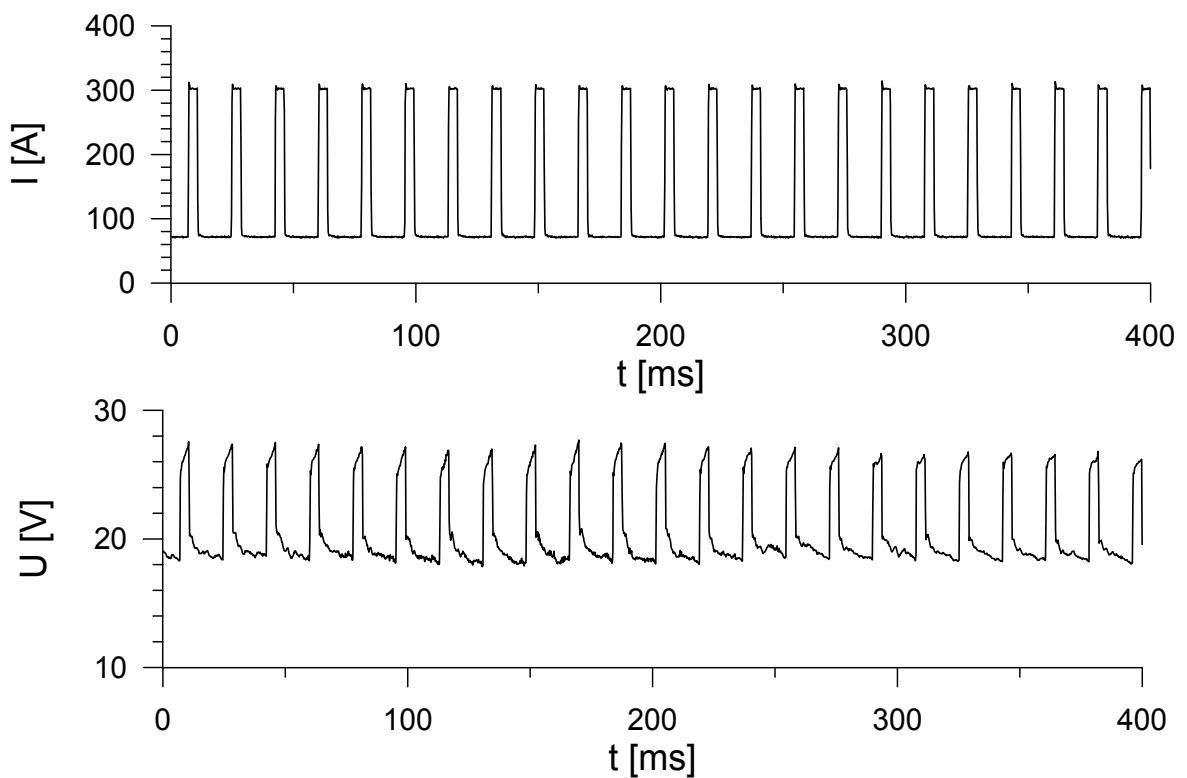


Fig. 5.7 - Soldagem MIG/MAG pulsada com imposição de corrente com eletrodo ER70S-6 de 1,2 mm, corrente média de 120 A e eficaz de 153 A.

5.3.3 - COMANDO NO MODO MISTO

Estando pressionadas simultaneamente as teclas (04) e (05) do seletor de processos de soldagem, a fonte estará preparada para operar em modo misto. O modo misto é apenas utilizado em soldagens MIG/MAG com corrente pulsada. Caracteriza-se por impor a corrente na fase de base e comandar a tensão na fase de pulso.

Trabalhando-se em corrente pulsada, embora seja a corrente de pulso a variável que é diretamente relacionada na equação de destacamento de gota, o valor da tensão de pulso mantém uma relação biunívoca com a mesma. Isto significa que, a princípio, se pode comandar a transferência metálica, seja pelo comando da corrente, seja pelo comando da tensão. Da mesma forma, os valores da corrente e tensão da fase de base podem ser ajustados, partindo-se de qualquer uma dessas variáveis. Dessa forma, pode-se ter uma corrente pulsada, utilizando-se vários critérios. Entretanto, a resposta dinâmica à perturbações da estabilidade do arco é diferente em cada um dos casos. Em função disso é que surgiram uma série de metodologias diferentes para comandar a transferência metálica em corrente pulsada, dentre elas o comando no modo misto.

Quando se utiliza a imposição de corrente, tanto na fase de base como na fase de pulso, as correntes média e eficaz estão perfeitamente definidas, o que significa que a velocidade do arame-eletrodo está quase que 100 % definida. Isto implica que o processo não possui por si mesmo uma grande capacidade de correção de instabilidades ocasionais.

Quando o arco, por uma eventualidade, diminui seu tamanho, a tensão também diminuirá, reduzindo a energia do arco e, com isso, a capacidade de fusão do eletrodo. Este fato conduz inevitavelmente a uma interrupção do processo.

Para que situações como esta não sejam um impedimento total ao uso do processo, providências adicionais são necessárias para corrigir dinamicamente as instabilidades. Isto é realizado através de mecanismos de realimentação que se baseiam primordialmente na variação média da corrente para compensar os distúrbios ou variando-se instantaneamente a velocidade de alimentação do arame-eletrodo, através do controle que é designado na literatura de “controle externo”.

Quando, entretanto, a variável a ser previamente definida for a tensão, a princípio, para que pelo menos não se tenha uma interrupção total do processo, não se precisa ter nenhuma realimentação. Na prática, não há necessidade de utilização de um alimentador de arame com velocidade variável. Quando o arco, por exemplo, tender a um curto-circuito, certamente existirá uma anomalia na transferência, mas a fusão do arame-eletrodo não sofrerá descontinuidade devido ao aumento da corrente nas fases em que a fonte comanda a tensão. Isto caracteriza o que convencionalmente na literatura é designado como “controle interno”.

Isto é o que acontece quando a fonte está ajustada para soldar com o comando misto (fig. 5.8) pois, a corrente na fase de pulso não é mantida num patamar único, e sim se ajusta em conformidade com as condições do arco. Tem-se

então um processo de soldagem menos susceptível a instabilidades e anormalidades.

A técnica de comando pelo modo misto surgiu com o intuito de facilitar o ajuste das variáveis de soldagem em corrente pulsada.

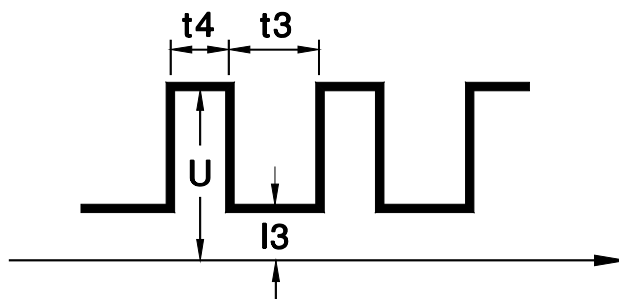


Figura 5.8 - Variáveis da corrente pulsada no modo misto

Se a opção for pelo modo misto, procede-se o ajuste das variáveis de soldagem da seguinte maneira: (ver figura 5.8, que também encontra-se no painel superior da fonte)

- a) Ajustar a corrente de base I_3 no potenciômetro (16);
- b) Ajustar a tensão de pulso U no potenciômetro (10);
- c) Ajustar o tempo de base t_3 no potenciômetro (20);
- d) Ajustar o tempo de pulso t_4 no potenciômetro (21).
- e) Ajustar, no alimentador de arame STA-20, a velocidade do arame-eletrodo, no potenciômetro (01S).

OBSERVAÇÃO: Caso esteja-se utilizando o controle remoto, os ajustes de corrente, tensão, tempos e velocidade de arame são feitos dentro do “software” no computador, e as rampas de aceleração e desaceleração do arame-eletrodo são ajustadas pelo operador no painel do STA-20, nos botões (06S) e (07S), respectivamente.

Feitos os ajustes descritos acima, a fonte estará pronta para a soldagem.

5.3.4 - DADOS TABELADOS PARA ALGUNS MATERIAIS

Nas tabelas 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4, são apresentados os dados de ajuste das variáveis de soldagem em modo pulsado para aço carbono e alumínio. Os dados foram calculados e testados para valores de corrente média variando de 10 em 10 A. Como o amperímetro do equipamento indica o valor eficaz e não como comumente o valor médio, este também é apresentado nas tabelas.

Para cada corrente média ou eficaz desejada o usuário deve ajustar as variáveis referentes às colunas numeradas de acordo com a modalidade desejada, como segue:

a) Imposição de corrente e posição da chave interna do alimentador de arame em especial -

Variáveis das colunas 3, 4, 5, 6 e 7.

b) Imposição de corrente e posição da chave interna do alimentador de arame em normal -

Variáveis das colunas 3, 4, 5, 6 e 8.

c) Modo misto (qualquer que seja a posição chave interna do alimentador de arame)

-

Variáveis das colunas 4, 5, 6, 7 e 9.

Tabela 5.1 - Dados de ajuste no modo pulsado.

Metal de adição: Arame-eletrodo ER70S-6 (aço)

Diâmetro do eletrodo: 1.0 mm

Diâmetro da gota: 1.2 mm

Gás: Ar + 5 % CO₂

1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_m (A)	I_{ef} (A)	I_p (I_4) (A)	t_p (t_4) (ms)	I_b (I_3) (A)	t_b (t_3) (ms)	V_a (m/min) (modo esp.)	U (volt) (modo normal)	U_p (volt) (modo misto)
30	62	240	4.1	16	61.6	1.2	16.1	29
40	72	240	4.1	22	45.1	1.4	17.0	29
50	82	240	4.1	28	35.3	1.8	19.3	29
60	91	240	4.1	34	28.8	2.1	19.5	29
70	99	240	4.1	41	24.1	2.5	19.8	29
80	107	240	4.1	48	20.5	2.8	21.4	29
90	115	240	4.1	55	17.8	3.2	22.2	29
100	123	240	4.1	63	15.6	3.5	23.0	29
110	131	240	4.1	71	13.8	4.0	24.0	29
120	139	240	4.1	80	12.3	4.4	25.0	29
130	146	240	4.1	89	11.1	4.6	25.5	29
140	154	240	4.1	99	10.0	4.9	26.0	30
150	162	240	4.1	109	9.0	5.5	26.4	30
160	170	240	4.1	120	8.2	5.9	27.3	30
170	178	240	4.1	132	7.5	6.3	28.0	30
180	186	240	4.1	144	6.9	7.0	28.2	30

Tabela 5.2 - Dados de ajuste no modo pulsado.

Metal de adição: Arame-eletrodo ER70S-6 (aço)

Diâmetro do eletrodo: 1.2 mm

Diâmetro da gota: 1.2 mm

Gás: Ar + 5 % CO₂

1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_m (A)	I_{ef} (A)	I_p (I_4) (A)	t_p (t_4) (ms)	I_b (I_3) (A)	t_b (t_3) (ms)	v_a (m/min) (modo esp.)	U (volt) (modo normal)	U_p (volt) (modo misto)
30	79	300	4	11	55.3	0.8	17.5	29
40	91	300	4	14	40.4	1.0	17.5	29
50	102	300	4	18	31.6	1.3	17.7	29
60	112	300	4	23	25.6	1.6	18.0	29
70	122	300	4	27	21.4	1.8	18.8	29
80	131	300	4	32	18.2	2.0	19.3	29
90	139	300	4	37	15.8	2.3	19.5	29
100	147	300	4	42	13.8	2.6	19.9	29
110	155	300	4	48	12.2	2.8	22.0	29
120	162	300	4	53	10.8	3.0	22.2	29
130	170	300	4	60	9.7	3.4	22.8	29
140	177	300	4	66	8.7	3.5	23.8	29
150	184	300	4	74	7.9	4.1	24.6	29
160	191	300	4	81	7.1	4.0	24.8	29
170	198	300	4	90	6.5	4.2	24.9	29
180	205	300	4	98	5.9	4.9	25.6	29
190	213	300	4	108	5.4	5.1	25.8	30
200	220	300	4	118	4.9	5.4	26.1	30
210	227	300	4	129	4.5	5.7	26.3	30
220	234	300	4	142	4.1	5.9	26.9	30

Tabela 5.3 - Dados de ajuste no modo pulsado.

Metal de adição: Arame-eletrodo 4043 A/AlSi5 (Alumínio)

Diâmetro do eletrodo: 1.2 mm

Diâmetro da gota: 1.2 mm

Gás: Ar

1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_m (A)	I_{ef} (A)	I_p (I ₄) (A)	t_p (t ₄) (ms)	I_b (I ₃) (A)	t_b (t ₃) (ms)	v_a (m/min) (modo esp.)	U (volt) (modo normal)	U_p (volt) (modo misto)
30	73	300	2	14	32.8	1.4	19.0	28.0
40	85	300	2	18	24.1	1.9	19.0	29.5
50	96	300	2	24	18.9	2.4	19.5	29.5
60	105	300	2	29	15.4	2.8	20.0	30.4
70	114	300	2	34	12.9	3.2	21.4	30.4
80	123	300	2	40	11.0	3.7	21.0	30.4
90	132	300	2	46	9.6	4.0	22.0	30.4
100	140	300	2	53	8.4	4.4	20.4	30.4
110	148	300	2	59	7.5	4.8	22.0	29.0
120	155	300	2	66	6.7	5.3	21.0	29.0
130	163	300	2	74	6.0	5.6	21.4	29.0
140	170	300	2	81	5.5	5.9	22.4	29.0
150	178	300	2	90	5.0	6.4	23.9	29.0

Tabela 5.4 - Dados de ajuste no modo pulsado.

Metal de adição: Arame-eletrodo ER 316 L SI (aço inox)

Diâmetro do eletrodo: 1.2 mm

Diâmetro da gota: 1.35 mm

Gás: Ar + 2% O₂

1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_m (A)	I_{ef} (A)	I_p (I ₄) (A)	t_p (t ₄) (ms)	I_b (I ₃) (A)	t_b (t ₃) (ms)	v_a (m/min) (modo esp.)	U (volt) (modo normal)	U_p (volt) (modo misto)
40	83	300	4.5	20	58.3	1.1	17.5	35.1
50	93	300	4.5	25	45.8	1.3	19.0	35.1
60	103	300	4.5	31	37.4	1.6	20.0	35.1
70	112	300	4.5	37	31.4	1.9	20.2	36.4
80	120	300	4.5	43	26.9	2.2	21.0	36.4
90	129	300	4.5	50	23.4	2.4	22.6	37.0
100	137	300	4.5	56	20.6	2.7	23.0	37.0
110	145	300	4.5	63	18.4	3.0	23.4	37.0
120	153	300	4.5	71	16.4	3.2	23.6	38.2
130	160	300	4.5	78	14.8	3.5	24.8	38.2
140	168	300	4.5	86	13.5	3.8	25.4	38.2
150	175	300	4.5	95	12.3	4.0	25.6	37.4
160	183	300	4.5	104	11.2	4.3	26.0	37.4
170	191	300	4.5	113	10.3	4.6	26.5	37.4
180	198	300	4.5	123	9.5	4.9	26.6	36.0
190	206	300	4.5	133	8.7	5.1	27.9	36.0
200	214	300	4.5	144	8.1	5.4	28.5	36.0
210	221	300	4.5	156	7.5	5.7	28.3	36.0
220	229	300	4.5	168	6.9	6.0	29.0	36.0
230	237	300	4.5	181	6.4	6.2	30.8	36.0

Capítulo 6

OPERAÇÃO COMO FONTE TIG

6.1 INTRODUÇÃO

Soldagem TIG é a união de metais pelo aquecimento destes com um arco entre um eletrodo de tungstênio (puro ou ligado) não consumível e a peça.

A proteção durante a soldagem é conseguida com um gás inerte, ou mistura de gases inertes, que também tem a função de transferir a corrente elétrica quando ionizados durante o processo. A soldagem pode ser feita com ou sem adição de material. Quando é feita com material de adição, ele não é transferido através do arco, mas é fundido pelo arco.

A área do arco é protegida da contaminação atmosférica pelo gás protetor que flui do bocal da pistola. O gás remove o ar, eliminando o ar do contato com o metal fundido e com o eletrodo de tungstênio aquecido. Há pouco ou nenhum salpico e fumaça, porém sensível emissão de energia radiante, notadamente raios ultravioleta.

A soldagem TIG é usada para executar soldas de alta qualidade na maioria dos metais e ligas. Não há escória (pois não há fluxo), e o processo pode ser usado em todas as posições. É o mais lento dos processos manuais a arco, porém o de maior perfeição, atrás apenas do processo PLASMA.

A soldagem TIG é um processo bastante adequado a espessuras finas devido ao excelente controle que se tem sobre o arco, uma vez que há total independência entre o calor produzido e a fusão do material de adição.

Ele pode também unir paredes espessas de chapas e tubos de aço e de ligas metálicas. É usado tanto para soldar tubos de metais ferrosos como não ferrosos. Os passes de raiz de tubulações de aço carbono e aço inoxidável, especialmente aqueles de aplicações críticas são frequentemente soldadas pelo processo TIG.

Embora a soldagem TIG tenha baixa produtividade, esta desvantagem pode ser compensada pela possibilidade de se soldar muitos tipos de metais, variedades de espessuras e em posições não possíveis por outros processos, bem como pela obtenção de soldas de alta qualidade e resistência.

A soldagem TIG prontamente possibilita soldar alumínio, magnésio, titânio, cobre e aços inoxidáveis, como também metais de soldagem difícil.

Uma consideração que deve se ter em mente é o ângulo da ponta do eletrodo de tungstênio, pois a conicidade afeta a penetração da solda. Se a ponta tornar-se

aguda demais, a densidade de corrente aumenta na ponta e a extremidade desta pode atingir temperaturas superiores ao ponto de fusão do eletrodo, quando então irá se desprender do eletrodo e fazer parte da poça metálica, constituindo após sua solidificação numa inclusão de tungstênio na solda.

6.2 COLOCANDO A FONTE EM OPERAÇÃO

Para configurar a fonte de soldagem Inversal 450/600 para o processo TIG, os seguintes passos devem ser seguidos (ver figura 3.2 - painel traseiro):

- 1- Conectar a alimentação da Inversal 450/600 à caixa de fusíveis existente nas proximidades do local de soldagem (estando a chave liga/desliga (01) na posição DESLIGA). A capacidade dos fusíveis deve estar de acordo com a tabela 4.1;
- 2- Conectar à “Entrada Gás Externo” (40) a mangueira de gás vinda do cilindro a ser utilizado na soldagem.
- 3- Conectar o cabo da tocha de soldagem TIG ao painel traseiro da Inversal 450/600. As seguintes conexões devem ser realizadas:
 - Saída Gás Externo (41)
 - Água fria (42) e Água quente (43)
 - Partida (38)
 - Pistola (44);
- 4- Conectar a Obra (35) ao local da soldagem;
- 5- Ligar a máquina, acionando a chave (01) do painel frontal. Neste instante, os displays do painel e os ventiladores acusarão que o equipamento foi energizado. Caso haja outro interruptor ou disjuntor na caixa de fusíveis, o mesmo deve ser acionado previamente;
- 6- Posicionar a chave de operação (03) para comando “LOCAL” se o ajuste das variáveis for ser realizado pelo painel da Inversal 450/600 ou “REMOTO” se for pretendido se comandar pelo microcomputador.
- 7- Abrir o gás de soldagem e ajustar a pressão na válvula reguladora do cilindro de gás e ajustar a vazão. A literatura especializada deve ser consultada em caso de dúvidas quanto ao gás de soldagem a ser utilizado.
- 8- Pressionar em seguida o botão de teste de gás (27) para verificar se o gás realmente está aberto e ainda executar a purga do ar existente na canalização. Um rotâmetro apropriado pode ser acoplado ao bocal da pistola de soldagem para verificar se a vazão do gás é adequada.
- 9- Selecionar na chave (37) do painel traseiro da fonte se o comando do operador será feito com dois toques (2T) ou quatro toques (4T). No modo 2T, pressiona-se o botão de acionamento da tocha, mantendo-o pressionado durante a soldagem e

soltando-o apenas para finalizar. No modo 4T, pressiona-se e solta-se o botão para dar início à soldagem, pressionando-o novamente para finalizar a operação.

10- Ajustar o tempo da rampa de subida da corrente no potenciômetro (22). Ajustada em zero, praticamente não há rampa de subida, pois a corrente sobe rapidamente até a corrente nominal. Ajustada em 10, a corrente de soldagem demora um tempo considerável até atingir o valor ajustado no potenciômetro (14). Escolhe-se um valor intermediário entre 0 e 10. Cabe ressaltar que tal escala representa tempo, mas os valores impressos não devem ser considerados precisos. O ajuste é algo intuitivo do operador, já que depende muito da habilidade deste.

11- Ajustar o tempo da rampa de descida da corrente no potenciômetro (23). Os mesmos comentários do passo anterior são válidos para a rampa de descida.

12- Selecionar o processo de soldagem TIG, através dos botões (06) ou (07), conforme for a corrente a ser empregada.

A fonte de soldagem Inversal 450/600 pode soldar TIG com os dois tipos de corrente:

- Corrente Contínua - botão (7);
- Corrente Alternada - botão (6);

As próximas seções descrevem separadamente os procedimentos para ajustar a fonte para soldar em corrente contínua e em corrente alternada. Dependendo da corrente utilizada, alguns botões do painel não exercerão função, enquanto que outros passarão a ser utilizados.

OBSERVAÇÃO: Não há necessidade de desconectar todas as ligações do alimentador de arame STA-20 durante uma soldagem TIG, apenas as conexões necessárias ao TIG.

6.3 - SOLDAGEM TIG EM CORRENTE CONTÍNUA

Pressionando-se o botão (7) no painel frontal da Inversal 450/600, a fonte estará habilitada a soldar TIG em corrente contínua.

Visto que a polaridade direta produz menos aquecimento do eletrodo, maior aquecimento da peça e melhor estabilidade de arco, deve ser usada somente a polaridade direta.

A polaridade direta (pólo negativo na tocha) é obtida na fonte Inversal 450/600 sem necessidade de trocas de ligações elétricas. Isto é feito internamente pelos circuitos eletrônicos da fonte. Basta ajustar a corrente para valores negativos, girando o potenciômetro de corrente no sentido anti-horário até que o display “REFERÊNCIA” (13) apresente um sinal de “menos” na frente da grandeza ajustada. Nesta situação, a fonte estará ajustada para trabalhar com polaridade direta.

A corrente contínua poderá ser em regime constante ou pulsado. As variáveis de ajuste em cada caso são diferentes, como é descrito a seguir.

6.3.1 - AJUSTE DAS VARIÁVEIS PARA TIG CC-CONSTANTE

Para soldar em corrente contínua constante, tendo-se executado todos os passos descritos na seção 6.2 e estando pressionado o botão (07), procede-se ao ajuste das variáveis de soldagem (observar as figuras no painel superior da fonte):

- a) Ajustar o valor de t_2 para zero no potenciômetro (19). Isto faz com que a corrente não seja pulsada e sim assuma um valor constante.
- b) Ajustar a corrente de soldagem I_1 no potenciômetro (14). Para visualizar o valor ajustado, pressiona-se o botão (09) localizado acima de (14), mantendo-o pressionado durante o ajuste. O valor da corrente ajustada será mostrado no display “REFERÊNCIA” (13). Este procedimento é padrão para a visualização de qualquer grandeza que contenha um botão “push-button” acima do potenciômetro correspondente.

Feitos os ajustes descritos acima, pode-se proceder à soldagem TIG - CC constante.

A abertura do arco deve ser feita encostando-se o eletrodo na peça, pressionando-se o botão da tocha. Neste instante, um circuito limitador de corrente atua para que o eletrodo não sofra desgaste ou contamine a solda. Após uma pequena fração de tempo, o eletrodo pode ser afastado, abrindo o arco imediatamente.

O desligamento do arco é realizado pressionando-se ou soltando-se o botão da tocha, conforme a opção 2T ou 4T descrita no item 6.2.

O desligamento da fonte é feito na chave 01, mas o mesmo acontecerá retardadamente para propiciar o descarregamento dos capacitores.

6.3.2 - AJUSTE DAS VARIÁVEIS PARA TIG CC-PULSADA

O fundamento básico da aplicação da corrente pulsada no processo TIG é que a aplicação de uma elevada corrente de pulso causa uma intensa penetração no metal de base. Se esta elevada corrente fosse mantida, levaria a uma excessiva penetração e a perfuração do metal de base. Entretanto, o pulso termina após um determinado tempo, e então a poça metálica solidifica-se, estando sob a ação da

corrente de base. A técnica de pulsação vem mostrando-se particularmente benéfica no controle da penetração da soldagem.

Para soldar em corrente contínua pulsada, tendo-se executado todos os passos descritos na seção 6.2, e estando pressionado o botão (07), procede-se ao ajuste das variáveis de soldagem (observar a figura 6.1, que também encontra-se no painel superior da fonte):

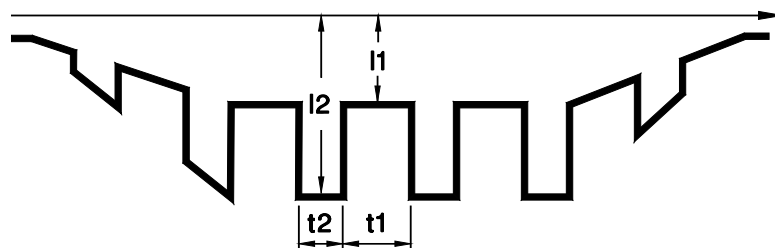


Figura 6.1 - Variáveis de soldagem TIG - CC pulsada

- Ajustar a corrente de base I_1 no potenciômetro (14).
- Ajustar a corrente de pulso I_2 no potenciômetro (15).
- Ajustar o tempo de base t_1 no potenciômetro (18).
- Ajustar o tempo de pulso t_2 no potenciômetro (19).
- Verificar se as rampas de subida e descida da corrente foram ajustadas adequadamente, conforme descrito nos procedimentos gerais para todas as modalidades TIG.

Feitos os ajustes descritos acima, a fonte estará preparada para a soldagem.

A partida deve ser realizada por toque do eletrodo na peça, conforme descrito no item anterior.

6.3.3 RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS PARA SOLDAGEM TIG - CC PULSADA

Embora estando o soldador ciente das óbvias vantagens da corrente pulsada nos processos TIG, esta técnica pode parecer um tanto complicada, devido ao grande número de variáveis de soldagem que deve ser considerado :

- Corrente de pulso
- Tempo de pulso
- Corrente de base
- Tempo de base
- Ajustes das rampas

A técnica pode ser simplificada em uma primeira instância com o conhecimento de que, para um dado material, há um determinado nível de corrente de pulso ideal, ficando o tempo de pulso diretamente relacionado com a espessura

do material. Os valores ideais de I_p giram em torno de 300 A para cobre, 150 A para o aço carbono, 100 A para ligas de cobre e níquel e 50 A para chumbo. Portanto, para um dado componente, o soldador precisa ajustar apenas o tempo de pulso para obter a penetração desejada, que é determinada apenas pela espessura do metal de base. Por exemplo, para soldar uma chapa de 2,5 mm de aço inox a 100 A, um pulso de 0,4 s seria necessário. Já para uma espessura de 1,5 mm, o tempo de pulso seria reduzido para 0,1 s, no mesmo nível de corrente do caso anterior.

As variáveis de base (corrente e tempo) são consideravelmente menos críticas. Normalmente, a corrente de base é ajustada para algo em torno de 15 A, nível este que garante a estabilidade do arco. O tempo de base depende fundamentalmente da velocidade de soldagem para que não traga descontinuidade da solda, mas normalmente não excede a três vezes o tempo de pulso.

As considerações feitas acima devem servir apenas como ponto de partida para o ajuste das variáveis da corrente pulsada, e devem ser tratadas com cautela, particularmente em soldagens nos limites extremos de espessura, ou seja, seções maiores de 3 mm e menores de 1 mm. Nos dois casos, a corrente de pulso ideal será bastante diferente dos valores citados anteriormente. Por exemplo, em soldagem de aço inox, experimentos práticos constataram que, para espessuras de 4 mm, o ajuste ideal foi 250 A/ 0,75 s, enquanto que para espessuras de 0,5 mm o ajuste ideal foi 50 A/ 0,1 s.

6.4 - SOLDAGEM TIG EM CORRENTE ALTERNADA

A corrente alternada também pode ser usada em processos TIG, especialmente destinadas a soldar alumínio, magnésio e suas ligas. Em corrente alternada, os tempos de eletrodo positivo promovem uma eficiente limpeza catódica do filme de óxido existente na superfície do metal. Comparado com a soldagem TIG CC, a desvantagem da corrente alternada está na pequena capacidade de penetração do arco, devido ao rápido arredondamento da ponta do eletrodo, devido ao intenso aquecimento verificado durante o semi-ciclo positivo.

A fonte Inversal 450/600 foi desenvolvida de forma a fornecer uma corrente alternada de onda retangular (square wave arc), ao invés de corrente alternada de onda senoidal. Desta forma, evita-se o inconveniente da necessidade de um ignitor de alta frequência e diminui-se o aquecimento do eletrodo e aumenta-se a penetração para uma mesma corrente eficaz pelo uso de tempos menores em polaridade inversa.

Pressionando-se o botão (6) no painel frontal da Inversal 450/600, a fonte estará habilitada a soldar TIG em corrente alternada.

A corrente alternada poderá ser em regime constante ou pulsado. As variáveis de ajuste em cada caso são um pouco diferentes, como é descrito a seguir.

6.4.1 - AJUSTE DAS VARIÁVEIS PARA TIG CA-NÃO PULSADA

Para soldar em corrente alternada não pulsada, tendo-se executado todos os passos descritos na seção 6.2 e estando pressionado o botão (06), procede-se ao ajuste das variáveis de soldagem (observar a figura 6.2, que também encontra-se no painel superior da fonte):

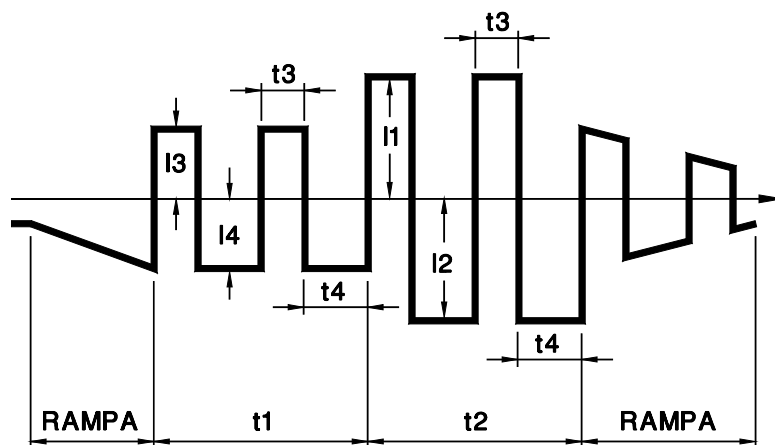


Figura 6.2 - Variáveis de soldagem TIG - CA

- Ajustar o valor de t_2 para zero, no potenciômetro (19). Isto faz com que a corrente não seja pulsada.
- Ajustar a corrente positiva de soldagem I_3 no potenciômetro (16). Esta corrente, sendo de polaridade inversa, é a responsável pela limpeza da camada óxida do material.
- Ajustar a corrente negativa de soldagem I_4 no potenciômetro (17). Note que a polaridade direta (negativa) é visualizada no display "REFERÊNCIA" (13) pelo sinal de "menos" antes da corrente ajustada.
- Ajustar o tempo em polaridade inversa t_3 no potenciômetro (20).
- Ajustar o tempo em polaridade direta t_4 no potenciômetro (21).

Dado Prático: Na maioria dos casos, o ajuste do tempo em polaridade inversa de 3 ms e em polaridade direta de 9 a 12 ms mostrou-se o mais adequado. Para casos especiais, caso o arco tenda a se extinguir, utilizou-se um tempo em polaridade inversa de 1,5 ms contra 9 ms em polaridade direta, obtendo-se bons resultados.

- Verificar se as rampas de subida e descida da corrente foram ajustadas adequadamente, conforme descrito nos procedimentos gerais para todas as modalidades TIG.

Feitos os ajustes descritos acima, a fonte estará preparada para a soldagem.

A abertura do arco deve ser feita encostando-se o eletrodo na peça, conforme descrito no item 6.3.1.

A partida em corrente alternada dá-se em corrente contínua direta, para facilitar a abertura do arco. A corrente alternada é estabelecida somente após o término do tempo de rampa.

6.4.2 - AJUSTE DAS VARIÁVEIS PARA TIG CA- PULSADA

Para soldar em corrente alternada pulsada, tendo-se executado todos os passos descritos na seção 6.2 e estando pressionado o botão (06), procede-se ao ajuste das variáveis de soldagem (observar a figura 6.2, que também encontra-se no painel superior da fonte):

- a) Ajustar a corrente positiva da fase de base I3 no potenciômetro (16). Esta corrente, sendo de polaridade inversa, é a responsável pela limpeza da camada óxida do material, na fase de base (de intensidade menor).
- b) Ajustar a corrente negativa da fase de base I4 no potenciômetro (17). Note que a polaridade direta (negativa) é visualizada no display “REFERÊNCIA” (13) pelo sinal negativo antes da corrente ajustada.
- c) Ajustar a corrente positiva da fase de pulso I1 no potenciômetro (14). Esta corrente, sendo de polaridade inversa, é a responsável pela limpeza da camada óxida do material, na fase de pulso (de intensidade maior).
- d) Ajustar a corrente negativa da fase de pulso I2 no potenciômetro (15). Esta corrente, sendo de polaridade direta, é a responsável pela penetração da solda na fase de pulso (intensidade maior). Note que a polaridade direta (negativa) é visualizada no display “REFERÊNCIA” (13) pelo sinal negativo antes da corrente ajustada.
- e) Ajustar o tempo de polaridade inversa t3 no potenciômetro (20).
- f) Ajustar o tempo de polaridade direta t4 no potenciômetro (21).
- g) Ajustar o tempo de base, t1, no potenciômetro (18).
- h) Ajustar o tempo de pulso, t2, no potenciômetro (19).
- i) Verificar se as rampas de subida e descida da corrente foram ajustadas adequadamente, conforme descrito no item 6.2.

Feitos os ajustes descritos acima, a fonte estará preparada para a soldagem.

A abertura do arco deve ser feita encostando-se o eletrodo na peça, conforme descrito no item 6.3.1.

A partida em corrente alternada dá-se em corrente contínua direta para facilitar a abertura do arco. A corrente alternada é estabelecida somente após o término do tempo de rampa.

Capítulo 7

OPERAÇÃO COMO FONTE P/ ELETRODO REVESTIDO

7.1 INTRODUÇÃO

Como a característica tensão x corrente exigida para uma fonte de eletrodo revestido é a mesma de uma fonte TIG, não houve grandes alterações no projeto da Inversal 450/600 para que ela pudesse operar com eletrodo revestido. Quando se aperta o botão de eletrodo revestido(08), se está apenas desativando a função de rampa e o sistema de refrigeração da tocha.

Soldagem com eletrodo revestido é a união de metais pelo aquecimento através de um arco elétrico, entre um eletrodo revestido e o metal de base. O metal fundido do eletrodo é transferido através do arco até a poça de fusão do metal de base, formando assim o metal de solda depositado.

Parte do revestimento do eletrodo e as impurezas do metal de base, na fusão, formam uma escória que flutua na superfície e cobre o depósito, protegendo-o da contaminação atmosférica e também controlando a taxa de resfriamento. O metal de adição vem da alma do arame do eletrodo e do revestimento, que pode conter pó de ferro, elementos de liga ou outros.

O suprimento de energia pode ser, tanto corrente alternada, como corrente contínua. Em corrente contínua, pode-se ter o eletrodo ligado ao pólo negativo, onde tem-se polaridade direta ou pode-se ter o eletrodo ligado ao pólo positivo, onde tem-se polaridade inversa.

A soldagem com eletrodo revestido é o processo ainda hoje mais usado no Brasil, devido à simplicidade do equipamento, baixo custo do investimento inicial, grande flexibilidade, disponibilidade de mão de obra qualificada, entre outros. Porém é um processo de soldagem bastante improdutivo, devido a baixa velocidade de fusão do eletrodo e aos tempos de parada.

7.2 COLOCANDO A FONTE EM OPERAÇÃO

Para a execução de uma soldagem com eletrodo revestido, os seguintes passos devem ser seguidos (ver figuras 3.1 e 3.2) :

- 1- O operador deve ler o manual de instruções antes de utilizar a fonte de soldagem pela primeira vez. Ficando compreendidas as funções de cada botão e de cada variável de ajuste descritos, o operador poderá utilizar-se das figuras existentes na tampa superior da Inversal 450/600 como um auxílio para as soldagens subsequentes.
- 2- Conectar a tomada de alimentação da Inversal 450/600 à caixa de fusíveis existente nas proximidades do local de soldagem (estando a chave liga/desliga (01) na posição DESLIGA). A capacidade dos fusíveis deve estar de acordo com a tabela 4.1.
- 3- Ligar a máquina, acionando a chave (01) do painel frontal. Neste instante, os displays do painel da Inversal 450/600 indicarão que ela foi energizada. Caso haja outro interruptor ou disjuntor na caixa de fusíveis, os mesmos devem ser acionados previamente.
- 4- Conectar o cabo do porta eletrodo ao painel traseiro da Inversal 450/600.
- 5- Conectar a Obra (35) ao local da soldagem.
- 6- Conectar o cabo do interruptor de partida no conector PARTIDA (38) do painel traseiro da Inversal 450/600.
- 7- Posicionar a chave de operação (03) para comando local (através do painel da Inversal 450/600) ou remoto (através de microcomputador).
- 8- Selecionar o processo de soldagem ELETRODO REVESTIDO, pressionando o botão (08).

A soldagem com eletrodo revestido pode ser em corrente contínua ou alternada. Os próximos dois itens descrevem separadamente os ajustes para cada uma delas.

7.3 SOLDAGEM EM CORRENTE CONTÍNUA

Se a corrente a ser utilizada para a soldagem for contínua, ajusta-se as variáveis de soldagem da seguinte forma:

- a) Ajustar a corrente de soldagem I3 no potenciômetro (16).
- b) Ajustar a corrente de curto-circuito I4 no potenciômetro (17). A corrente de curto-circuito é a corrente que irá se estabelecer se eventualmente o eletrodo estiver prestes a “colar” na peça. Isso facilita a reabertura do arco ou evita a colagem e torna a soldagem mais fácil e com menos possibilidade de interrupção.
- c) Ajustar o tempo t4 (21) para zero, para que a corrente seja contínua e não alternada.
- d) Acionar o interruptor de partida. Neste instante verifica-se que o display “TENSÃO” (11) indicará a existência de tensão no porta-eletrodo (tensão em vazio).

Feitos os ajustes descritos acima, pode-se executar a soldagem.

7.4 SOLDAGEM EM CORRENTE ALTERNADA

Se a corrente a ser utilizada para a soldagem for alternada, ajusta-se as variáveis de soldagem da seguinte forma:

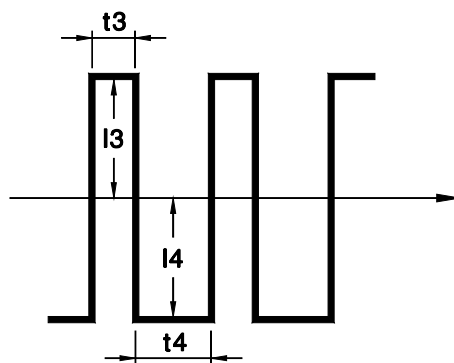


Figura 7.1 - Variáveis de soldagem - Eletrodo Revestido - CA

- a) Ajustar a corrente positiva de soldagem I3 no potenciômetro (16).
- b) Ajustar a corrente negativa de soldagem I4 no potenciômetro (17).
- c) Ajustar o tempo do ciclo positivo t3, no potenciômetro (21).
- d) Ajustar o tempo do ciclo negativo t4, no potenciômetro (22).

e) Acionar o interruptor de partida. Neste instante verifica-se que o display “TENSÃO” (11) indicará a existência de tensão no porta-eletrodo (tensão em vazio).

Feitos os ajustes descritos acima, pode-se executar a soldagem.

BIBLIOGRAFIA

- QUITES, A. M.; DUTRA, J. C. Tecnologia da Soldagem a Arco Voltaico. Florianópolis, EDEME, 1979.
- W. Lucas. Tig and Plasma Welding. Abington Publishing. Cambridge, England, 1990.
- GOHR JR., R. Projeto e Realização de uma Fonte de Energia para Soldagem Multi-Processo. Florianópolis, UFSC, 1992.
- DUTRA, J. C., GOHR JR., R. Alta Tecnologia Eletrônica de Fontes de Soldagem a Disposição do Mercado Brasileiro. XIX Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem - ABS. Águas de São Pedro - SP, 24 a 27 de outubro de 1993, p. 625-642.
- DUTRA, J. C., OLLÉ, L. F., GOHR JR., R. As fontes de Soldagem do Ano 2000 já Fabricadas no Brasil. XX Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem - ABS. Contagem - MG, 21 a 24 de agosto de 1994, p. 509-529.
- DUTRA, J. C., OLLÉ, L. F., GOHR JR., R. O processo MIG/MAG pulsado com pulsação térmica. XXI Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem - ABS. Caxias do Sul - RS, 20 a 24 de junho de 1995, vol. 1, p. 889-902.
- DUTRA, J. C., OLLÉ, L. F., KIRST, E. R. Uma Contribuição ao Estudo da Seleção de Variáveis na Soldagem MIG/MAG Pulsada. III Congresso Ibero Americano de Soldagem - ABS. Rio de Janeiro - RJ, 4 a 10 de abril de 1992, vol. 2, p. 925-942.