

2299088

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE FORMATURA

Gravado
10/10
1981

PROCESSOS DE SOLDAGEM

AUTOR. CLEBER MENNA GASPAR

ORIENTADOR. GILBERTO FREIRE

Ano. 1981

PREFÁCIO

A IMPORTÂNCIA DO ENSINO DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM, PARA OS CURSOS DE FORMAÇÃO DE PROFISSIONAIS PARA A ÁREA TÉCNICA, É UM FATO INEGÁVEL, E ATESTADO PELA OBRIGATORIEDADE DESSA MATÉRIA EM GRANDE PARTE DOS CURRÍCULOS. ENTRETANTO, A LITERATURA EXISTENTE SOBRE O ASSUNTO, EM GRANDE PARTE TÊM SURGIDO EM IDIOMAS ESTRANGEIROS OU EM TRADUÇÕES QUE RARAMENTE SATISFAZEM AO TIPO DE ORIENTAÇÃO DADAS AOS NOSSOS CURSOS.

O TEXTO, EXCETUANDO O ÚLTIMO CAPÍTULO, VERSA EXCLUSIVAMENTE SOBRE AS TÉCNICAS DE SOLDAGEM MAIS EM VOGA ATUALMENTE, EXPERIMENTANDO, TAMBÉM, UM NOVO TIPO DE ABORDAGEM DO ASSUNTO, LEVANDO-SE EM CONSIDERAÇÃO PRINCIPALMENTE AS CARACTERÍSTICAS DOS ELÉTRODOS E SUAS INFLUÊNCIAS NAS CONDIÇÕES DE SOLDAGEM; NÃO NOS DETEREMOS NO ESTUDO DE MATERIAIS ESPECÍFICOS, MAS APRESENTANDO UM TRABALHO DE TEOR GERAL.

COMPLEMENTANDO O ESTUDO, TRATAMOS DE ENFOCAR UM TEMA QUE APRESENTA IMPORTÂNCIA CADA VEZ MAIOR NAS INDÚSTRIAS, OU SEJA, O SURGIMENTO DE TRINCAS À FRIO, ISTO É, TRINCAS QUE SE MANIFESTAM LENTAMENTE, APÓS A SOLDA. AS CONDIÇÕES EM QUE OCORREM ESTE FENÔMENO SÃO CONSIDERADAS EM UM ÚNICO CAPÍTULO, RESSALTANDO-SE PRINCIPALMENTE A INFLUÊNCIA DO HIDROGÊNIO.

NOSSA IDÉIA FOI PRODUIR UM TEXTO QUE SE PRESTASSE A VÁRIOS NÍVEIS, E ASSIM, SOMOS MAIS DISSERTATIVOS NAS PARTES DITAS OBRIGATORIAS, PODENDO TAIS PARTES SER OBJETO DE SIMPLES LEITURA, EM TEXTOS MAIS FORTES. DENTRO DESSA LINHA DE IDÉIAS, PROCURAMOS ESTUDAR COM MAIOR PROFUNDIDADE OS ASSUNTOS ATUAIS, OMITINDO COMPLETAMENTE OU APENAS TRATANDO DE MANEIRA SIMPLES ALGUNS DOS TÓPICOS TRADICIONAIS, COMO POR EXEMPLO A SOLDAGEM À CHAMA MANUAL COM VARETAS NÃO REVESTIDAS, MODIFICANDO A ESCOLHA E O TRATAMENTO DOS TÓPICOS DENTRO DA FORMA TRADICIONAL.

ESPERAMOS TER CONSEGUIDO REALIZAR NOSSO DESEJO, APRESENTANDO UM ESTUDO DE UM TEMA QUE VEM EXPERIMENTANDO GRANDES AVANÇOS NOS ÚLTIMOS TEMPOS, APROVEITANDO-SE DE TODA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA, DESDE O SURGIMENTO DA SOLDAGEM À CHAMA ATÉ OS MODERNOS PROCESSOS DE SOLDAGEM À LASER, ULTRA-SOM, BOMBARDEAMENTO ELETRÔNICO, ELETRO-ESCÓRIA, ETC.

POR FIM DESEJAMOS REGISTRAR OS AGRADECIMENTOS AOS QUE DIRETA OU INDIRETAMENTE COLABORARAM COM ESTE TRABALHO, ESPECIALMENTE A MEUS PAIS, QUE MUITO NOS INCENTIVARAM, MEU ORIENTADOR, E MINHA NAMORADA, QUE MUITO NOS AUXILIARAM NA REDAÇÃO, PESQUISA E REDAÇÃO FINAL, TORNANDO POSSÍVEL A EXECUÇÃO DESSE TRABALHO.

CLEBER MENNA GASPAR

NOVEMBRO 1981
SÃO PAULO

ÍNDICE

1.- INTRODUÇÃO	1
2.- METALURGIA DA SOLDA	3
3.- SOLDAGEM A CHAMA E PROCESSOS AFINS	
1. ESTUDO DA CHAMA	6
2. INFORMAÇÕES TÉCNICAS DE SOLDAGEM OXIACETILÊNICA	
2.1-OXICORTE	9
2.2-OXICORTE COM PÓ DE FERRO	10
2.3-AQUECIMENTO	11
2.4-TÊMPERA SUPERFICIAL	12
2.5-METALIZAÇÃO À CHAMA	15
2.6-BRASAGEM	20
4.- SOLDAGEM ALUMÍNIO-TÉRMICA	30
5.- SOLDAGEM A ARCO	31
5.1 INTRODUÇÃO	31
5.2 PROCESSOS ATUAIS DE SOLDAGEM	
5.2.1 - SOLDAGEM COM ELÉTRODOS REVESTIDOS	
- INTRODUÇÃO	33
- CONSIDERAÇÕES SOBRE O TIPO DE JUNTA E FORMA DO CORDÃO	45
- A TÉCNICA DE SOLDAGEM MANUAL..	50
- CUIDADOS NA ARMAZENAGEM E SECAGEM DE ELÉTRODOS	51
5.2.2 - SOLDAGEM COM ELÉTRODOS NUS PROTEGIDA POR GASES	
- INTRODUÇÃO	53
- PROCESSO TIG	54
- PROCESSO MIG/MAG	61
- SOLDAGEM A ARCO SUBMERSO	72
- SOLDAGEM A ARCO DE ELÉTRODO TUBULAR	80

6.- SOLDA POR RESISTÊNCIA	
6.1 INTRODUÇÃO	84
6.2 MATERIAIS SOLDÁVEIS	84
6.3 RESISTÊNCIA DE CONTATO	85
6.4 ESFRIAMENTO DO PONTO DE SOLDA	86
6.5 CORRENTE DE SOLDA	87
6.6 PRESSÃO DOS ELÉTRODOS	87
6.7 SOLDA POR COSTURA	88
6.8 SOLDA TÔPO A TÔPO	88
6.9 TESTES DE SOLDAS	90
7.- PROCESSO PLASMAC DE CORTE E SOLDA	
7.1 INTRODUÇÃO	91
7.2 APLICAÇÕES	91
7.3 EQUIPAMENTOS	91
7.4 CORTE COM O ARCO-PLASMA	94
7.5 SOLDA PELO PROCESSO PLASMAC	95
7.6 RECOBRIMENTO	95
8.- NOVOS PROCESSOS DE SOLDAGEM	
8.1 SOLDAGEM POR ULTRA-SOM	96
8.2 SOLDAGEM POR BOMBARDEAMENTO ELETRÔNICO	96
8.3 SOLDAGEM POR FRICÇÃO	97
8.4 SOLDAGEM POR LASER	97
8.5 SOLDAGEM POR ELETRO-ESCÓRIA	98
9.- TRINCAS À FRIO EM SOLDAS DE AÇOS	
9.1 DESCRIÇÃO DO FENÔMENO	100
9.2 INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA DE TRANSFORMA- ÇÃO	104
9.3 INFLUÊNCIA DOS ESFORÇOS	115
9.4 CONCLUSÕES	118

1 - INTRODUÇÃO

1.1 NOÇÕES GERAIS

CHAMAMOS SOLDAGEM AO PROCESSO DE PRODUZIR UMA FUSÃO ENTRE DUAS PEÇAS OU MAIS DE METAL, DE MODO QUE O LUGAR DA UNÇÃO FORME COM O TOLO UMA MASSA HOMOGÊNEA, ASSEGURANDO ENTRE ELAS A CONTINUIDADE DO MATERIAL E EM CONSEQUÊNCIA SUAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS E QUÍMICAS. OUTRAS OPERAÇÕES COM O MESMO FIM NÃO ASSEGURAM ESSA CONTINUIDADE GEOMÉTRICA, CASO DA REBITAGEM, PARA FUSAGEM, COLAGEM, ETC.

ESSA TÉCNICA OU CONJUNTO DE TÉCNICAS PODEM SER APLICADAS A DIVERSOS MATERIAIS, TAIS COMO: PLÁSTICOS, VIDROS, ETC; PORÉM NOS DETEREMOS ESPECIFICAMENTE NOS METAIS E SEUS LIGAS. NESSE SENTIDO, A SOLDAGEM SE CLASSIFICA ENTRE OS MÉTODOS DE CONFORMAÇÃO DOS METAIS, COMPLEMENTANDO A SÉRIE DE PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO METALÚRGICOS E MECÂNICOS.

1.2 HISTÓRICO

AS MAIS ANTIGAS NOTÍCIAS SOBRE SOLDAGEM REMONTAM DO SÉCULO XIII, A SOLDAGEM POR FORJAMENTO, E AO USO DE UMA ESPÉCIE DE MAÇARICO SOPRADO PELA BOCA, USANDO ALCÓOL OU ÓLEO COMBUSTÍVEL, QUE OS EGÍPCIOS USAVAM PARA FUNDIR E SOLDAR BRONZE.

A FASE PROPRAMENTE HISTÓRICA DA SOLDAGEM COMEÇA NO SÉCULO XIX, COM SIR. HUMPHREY DAVIS CRIANDO UM ARCO ELÉTRICO ENTRE TERMINAIS DE UM CIRCUITO. A PARTIR DESTA PONTO VÁRIAS DESCOBERTAS FORAM SE SEGUINDO, COM PROGRESSOS BASTANTE SIGNIFICATIVOS, ATÉ ATINGIRMOS OS DIAS ATUAIS COM PROCESSOS COMO: LASER, ELET/ELETRÓ-ESCÓRIA, FRICÇÃO, ETC.

1.3 CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM

PARA OBTER UMA SOLDAGEM É NECESSÁRIO DISPONIR DE: CALOR, PRESSÃO, TEMPO. COM O CALOR A CONTINUIDADE DA MASSA SE ESTABELECE POR FUSÃO A PARTIR DO ESTADO LÍQUIDO; COM A PRESSÃO TEM-SE UM FORJAMENTO LOCALIZADO.

O CALOR É NECESSÁRIO , POIS, GRANDE PARTE DOS PROCESSOS / DE SOLDAGEM ENVOLVE PARCIAL FUSÃO DAS PEÇAS OU DO METAL DE ADIÇÃO; MESMO QUANDO NÃO ATINGINDO O PONTO DE FUSÃO JÁ O AQUECIMENTO FACILITA A PLASTICIDADE DO METAL E FAVORECE A AÇÃO DA PRESSÃO / PRESSÃO.

O CRITÉRIO MAIS ACEITO PARA A CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM É O RELATIVO A FONTE DE ENERGIA TÉRMICA:

- 1 - FONTE QUÍMICA -- SOLDAGEM A GÁS E ALUMINOTÉRMICA
- 2 - FONTE ELÉTRICA -- ARCO ELÉTRICO, RESISTÊNCIA ELÉTRICA
- 3 - FONTE MECÂNICA -- FRICÇÃO, EXPLOSÃO, ETC
- 4 - FONTE DE ENERGIA RADIANTE -- LASER

ESSAS MESMAS FONTES DE ENERGIA QUE SERVE A UMA OPERAÇÃO DE SOLDAGEM SE PRESTAM A UMA SÉRIE DE OUTRAS FORMAS DE FABRICAÇÃO E MANUTENÇÃO, CONHECIDAS COMO 'TÉCNICAS AFINS À SOLDAGEM' COMO:

- ENCHIMENTO SUPERFICIAL
- SOLDA BRASAGEM
- CORTE TÉRMICO
- METALIZAÇÃO
- AQUECIMENTO LOCALIZADO E SEUS DERIVADOS (TÊMPERA SUPERFICIAL, ALÍVIO DE TENSÕES, ETC)
- DECAPAGEM SUPERFICIAL

2 - METALURGIA DA SOLDA

A SOLDABILIDADE MÚTUA DOS METAIS VARIA DE UM ELEMENTO METÁLICO PARA OUTRO, DE MODO QUE AS JUNTAS SOLDADAS NEM SEMPRE APRESENTAM A SEGURANÇA E INSEPARABILIDADE OU COESÃO QUE SERIAM / NECESSÁRIAS, PARA MELHORES RESISTÊNCIAS MECÂNICAS.

O MAIS ALTO GRAU DE SOLDABILIDADE POR FUSÃO É APRESENTADO PELOS METAIS QUE SÃO CAPAZES DE FORMAR UM SÉRIE CONTÍNUA DE SOLUÇÕES SÓLIDAS UM COM O OUTRO. A SOLUBILIDADE SÓLIDA LIMITADA / RESULTA EM MENOR SOLDABILIDADE, ASSIM COMO A SOLUBILIDADE SÓLIDA NULA PRATICAMENTE IMPOSSIBILITA A SOLDAGEM POR FUSÃO. NESTE CASO, OS METAIS SÃO SOLDADOS POR PRESSÃO, OU SE INTRODUZ UM METAL INTERMEDIÁRIO, RESULTANDO NUM OUTRO TIPO DE SOLDAGEM, DENOMINADO BRASAGEM, A SER DESCRITO ADIANTE.

AS FIGURAS 2.1 E 2.2 REPRESENTAM ESQUEMÁTICAMENTE OS FENÔMENOS METALÚRGICOS QUE OCORREM DURANTE O PROCESSO DE SOLDAGEM / DE UM AÇO, DESDE O ESTADO LÍQUIDO DO METAL DA SOLDA ATÉ O SEU / RESFRIAMENTO.

AS FIGURAS REFEREM-SE A UMA SOLDA EM V. NA FIGURA 2.1, A ZONA INDICADA POR (2) CORRESPONDE À CAMADA DEPOSITADA, OBTIDA / PELA FUSÃO DO METAL DE ENCHIMENTO E SUA MISTURA COM O METAL BASE (1), NA FAIXA ESTREITA DE FUSÃO INDICADA POR (3).

DE UM MODO GERAL, PODE-SE DIZER QUE O METAL DEPOSITADO APRESENTA ESTRUTURA METALOGRÁFICA COLUNAR (DENDRÍTICA), CARACTERÍSTICA DE METAL FUNDIDO. SE O METAL DEPOSITADO OU A ZONA ADJACENTE DO METAL ORIGINAL FOREM SUPERAQUECIDAS EM ALTO GRAU, NO / RESFRIAMENTO OS GRÃOS DO METAL ORIGINAL ADQUIREM UMA FORMA ACICULAR, FORMANDO UMA ESTRUTURA CONHECIDA PELO NOME DE "MIDIANSTATTEN". O METAL SUPERAQUECIDO APRESENTA UMA RESISTÊNCIA MAIS BAIXA E A JUNTA SOLDADA É RELATIVAMENTE FRÁGIL.

UMA ZONA AFETADA PELO CALOR ESTÁ INDICADA PELO NÚMERO (4). AÍ A ESTRUTURA DO METAL É MODIFICADA PELO RÁPIDO AQUECIMENTO E / RESFRIAMENTO DURANTE O PROCESSO DE SOLDAGEM. A COMPOSIÇÃO QUÍMICA FICA, ENTRETANTO, INALTERADA.

A DIMENSÃO DA ZONA AFETADA PELO CALOR É FUNÇÃO DO PROCESSO DE SOLDAGEM EMPREGADO E DA NATUREZA DOS METAIS SENDO SOLDADOS. NA SOLDAGEM MANUAL A ARCO, POR EXEMPLO, COM ELÉTRODOS DE / REVESTIMENTO FINO, A ZONA AFETADA PELO CALOR É MENOR — DE 2 A

2,5 mm. JÁ NA SOLDAGEM COM ELÉTRÓDOS RECOBERTOS ESSA ZONA SE ESTENDE POR 4 A 10MM E NA SOLDAGEM A GÁS PODE ATINGIR 20 A 25MM. A ESTRUTURA DA SOLDA, NESSAS CONDIÇÕES, É ALTERADA.

PODEM-SE RESUMIR OS VÁRIOS FENÔMENOS DA SOLDAGEM, EM FUNÇÃO DO QUE ESTÁ REPRESENTADO NAS FIGURAS DA SEGUINTE MANEIRA:

- PRÓXIMO DO DEPÓSITO DO METAL - PEQUENA FAIXA ENTRE (3) E (4) - SITUA-SE A ZONA DE FUSÃO, EM QUE UMA TRANSIÇÃO DE UMA ESTRUTURA DO METAL DEPOSITADO AO METAL ORIGINAL É OBSERVADA. NESSA FAIXA OCORREU FUSÃO PARCIAL E, DURANTE UM CERTO TEMPO, VERIFICOU-SE UMA MISTURA DAS FASES SÓLIDA E LÍQUIDA.
- PRÓXIMO A ESSA FAIXA, COM O SUPERAQUECIMENTO DO METAL, HOUVE UM CRESCIMENTO DO GRÃO, COM A FORMAÇÃO DE UMA ESTRUTURA ACICULAR, A MAIS FRÁGIL DA JUNTA.
- A SEGUIR, NA FAIXA MAIS AFASTADA DA ZONA DE DEPÓSITO, OBSERVA-SE UMA NORMALIZAÇÃO DO AÇO (FORMAÇÃO DE UMA ESTRUTURA FINA), COM PROPRIEDADES MECÂNICAS BOAS.
- À MEDIDA QUE A DISTÂNCIA DA ZONA DO METAL DEPOSITADO VAI AUMENTANDO, VERIFICA-SE MENOR INFLUÊNCIA NA ESTRUTURA DO MATERIAL, PELAS MENORES TEMPERATURAS QUE OCORRERAM.

PARA MELHORES RESULTADOS, DEVE-SE PROCURAR EVITAR A INTRODUÇÃO DE IMPUREZAS E SUBSTÂNCIAS ESTRANHAS (ÓXIDOS, INCLUSÕES DE ESCÓRIA, ETC.) JUNTAMENTE COM O METAL DEPOSITADO, POIS TAIS SUBSTÂNCIAS PODEM-SE LOCALIZAR NOS CONTÓRNOS DE GRÃO, O QUE DIMINUI A RESISTÊNCIA E A UTILIDADE DO METAL DEPOSITADO.

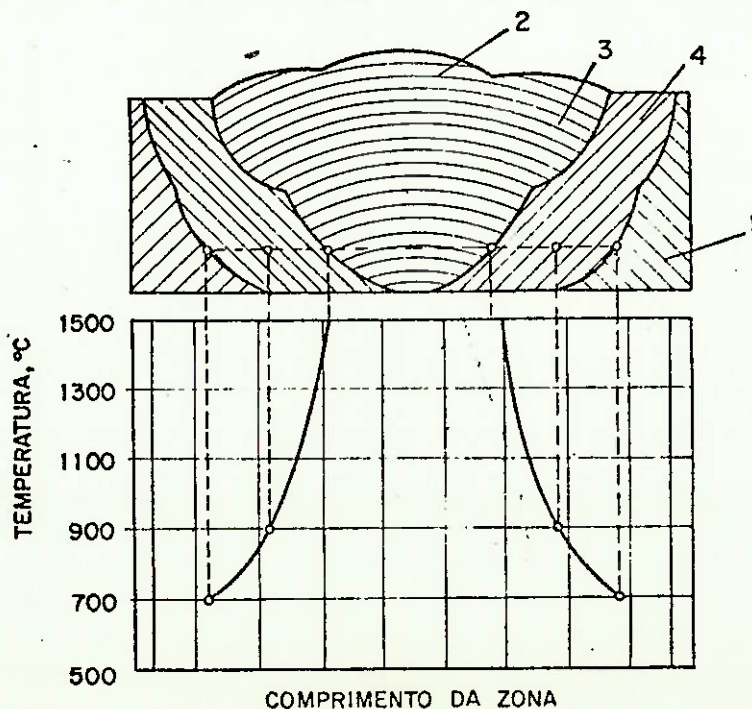


FIG. 2.1

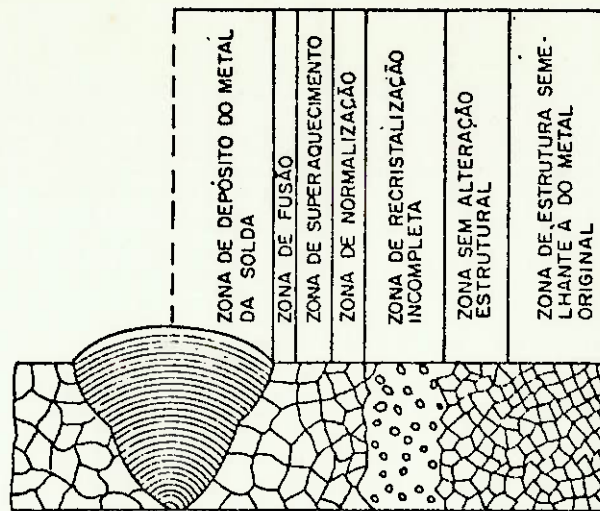


FIG. 2.2 REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS FENÔMENOS METALÚRGICOS QUE OCORREM NA SOLDAGEM DO AÇO.

3 - SOLDAGEM A CHAMA E PROCESSOS AFINS

1. ESTUDO DA CHAMA

1.1 COMBUSTÍVEIS E COMBURENTE

COMBUSTÍVEIS SÃO OS MATERIAIS QUE REAGEM COM O OXIGÊNIO (COMBURENTE) DO AR, PRODUZINDO GRANDE QUANTIDADE DE CALOR. OS DOIS ELEMENTOS CARACTERÍSTICOS QUE ENTRAM NA COMPOSIÇÃO E DE QUASE TODOS OS COMBUSTÍVEIS SÃO O CARBONO E O HIDROGÊNIO, QUE PRODUZEM REAÇÕES EXOTÉRMICAS COM O OXIGÊNIO DO AR.

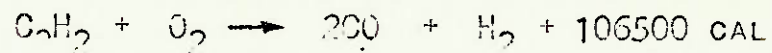
O VALOR DE UM COMBUSTÍVEL PODE SER MEDIDO PELO SEU PODER CALORÍFICO (QUANTIDADE DE CALOR LIBERADA POR UNIDADE DE MASSA OU VOLUME DO COMBUSTÍVEL, SUPONDO-SE COMBUSTÃO COMPLETA):

PODER CALORÍFICO SUPERIOR - CALOR OBTIDO QUANDO SE CONSIDERA COMO ESTADO FINAL DA COMBUSTÃO, AQUELE EM QUE TODA A ÁGUA (EXISTENTE NO COMBUSTÍVEL OU FORMADA PELA COMBUSTÃO) CONDENSA;

PODER CALORÍFICO INFERIOR - CALOR OBTIDO QUANDO SE CONSIDERA A ÁGUA COMO NÃO CONDENSADA.

1.2 CHAMA OXIACETILÊNICA

1.2.1 DESCRIÇÃO



O ESQUEMA DA FIGURA 1 MOSTRA AS TRÊS ZONAS CARACTERÍSTICAS DA CHAMA OXIACETILÊNICA NORMAL.

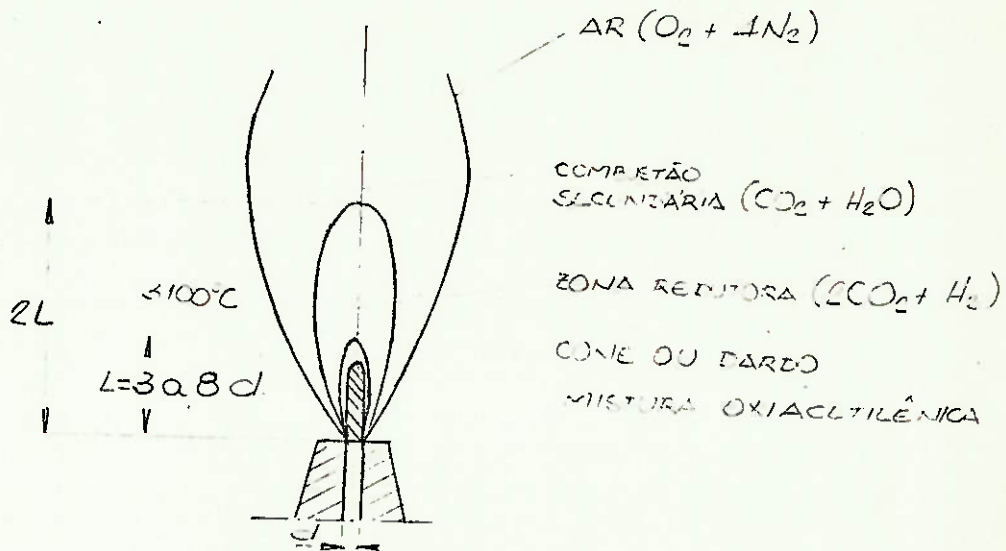


FIG. 1 CHAMA OXIACETILÊNICA NORMAL

CONE OU DARTO : É A ZONA CLARA E BRILHANTE COMPOSTA DE DUAS PARTES:

- UMA REGIÃO MAIS ESCURA, ONDE A MISTURA SE AQUECE PROGRESSIVAMENTE ATÉ $400^\circ C$, TEMPERATURA DE INFLAMAÇÃO DO ACETILENO NO OXIGÊNIO;
- UMA PARTE ESTREITA E BRILHANTE, QUE COBRE A ZONA INTERIOR, NA QUAL SE OPERA A COMBUSTÃO PRIMÁRIA;

ZONA REDUTORA : REGIÃO QUE POSSUI COLORAÇÃO CINZA, ENVOLVE O CONE E CONTEM A MAIOR PROPORÇÃO DE GASES REDUTORES CO E H_2 .

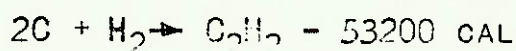
ZONA DE COMBUSTÃO SECUNDÁRIA : POSSUI UMA COLORAÇÃO VIOLETA E ENVOLVE A ZONA ANTERIOR.

DE TODOS OS GASES UTILIZÁVEIS PARA A SOLDAGEM A CHAMA, O ACETILENO APARECE COMO O MAIS INTERESSANTE PARA A SOLDAGEM, DEVIDO ÀS SUAS CARACTERÍSTICAS:

- TEMPERATURA MÁXIMA DE $3100^\circ C$ PARA COMBUSTÃO PRÁTICA, SUPERIOR AOS OUTROS GASES COMBUSTÍVEIS;

- COMPOSIÇÃO DE CHAMA CORRESPONDENTE A NOTÁVEIS PROPRIEDADES REDUTORAS;
- CHAMA FÁCIL DE SER REGULADA;

ESSAS PROPRIEDADES SÃO DEVIDAS PRINCIPALMENTE AO ELEVADO TEOR DE CARBONO NA MOLÉCULA C_2H_2 (EM PESO: 92,3% C E 7,7% H) E À FORMAÇÃO ENDOTÉRMICA DO ACETILENO:



1.2.2 TIPOS DE CHAMA

CHAMA NORMAL OU NEUTRA: CORRESPONDE A UMA ALIMENTAÇÃO DO MAÇARICO EM VOLUME IGUAIS DE OXIGÊNIO E ACETILENO. O CONE É BRANCO, BRILHANTE E SOMENTE VISÍVEL ATRAVÉS DE ÓCULOS ESPECIAIS (SOLDADOR). É A CHAMA UTILIZADA NA MAIOR PARTE DOS CASOS DE SOLDA BRASAGEM E AQUECIMENTO.

CHAMA REDUTORA: CORRESPONDE A UM AUMENTO DA PROPORÇÃO DE ACETILENO NA MISTURA. A CHAMA RESULTANTE TERÁ TRÊS ZONAS DE LUMINOSIDADE DIFERENTES, FACILMENTE RECONHECÍVEIS. CONTÉM ELEVADO TEOR DE CARBONO E TEM-SE O RISCO DE CARBURAR-SE O AÇO, O QUE O TORNA MAIS DURO E MAIS FRÁGIL. ESSA PROPRIEDADE É UTILIZADA EM ENCHIMENTOS.

CHAMA OXIDANTE: QUANDO A PROPORÇÃO DO OXIGÊNIO É AUMENTADA, E O CONE E A ZONA DE COMBUSTÃO SECUNDÁRIA SE ENCURTAM. ESSA CHAMA, RICA EM OXIGÊNIO, OXIDA O AÇO COM RISCO DE FORMAÇÃO DE BOLHAS PELA REAÇÃO COM O CARBONO (FORMADO DO ÓXIDO DE CARBONO).

1.2.3 O MAÇARICO DE SOLDA

NO PROCESSO DE SOLDAGEM POR MEIO DE CHAMA, A FUSÃO DOS METAIS É OBTIDA PELO CALOR DESPREENDIDO NA COMBUSTÃO DA MISTURA / COMBURENTE MAIS COMBUSTÍVEL. ESSA MISTURA É REALIZADA EM PROPORÇÕES CONVENIENTES AO MAÇARICO.

BÁSICAMENTE OS MAÇARICOS COMPÕE-SE DE :

- INJETOR: ONDE EXISTEM ENTRADAS DE GASES E OS VOLANTES / DE REGULAGEM DA PASSAGEM DESSOS GASES;
- MISTURADOR: ONDE OS GASES SE MISTURAM;
- LANÇA : ONDE OS GASES JÁ MISTURADOS CAMINHAM PARA A COMBUSTÃO;
- BICO : ORIFÍCIO(S) CALIBRADO(S) DE SAÍDA DOS GASES;

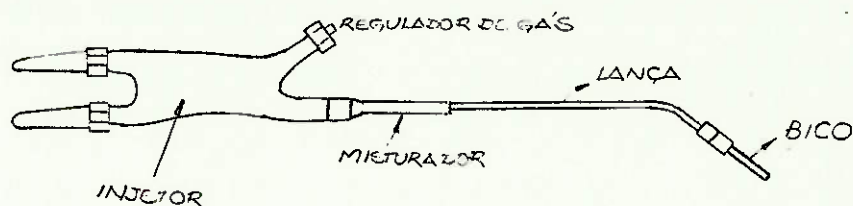


FIG. 2 MAÇARICO DE SOLDA EM

1.2.4 TIPOS DE MAÇARICO

JÁ VERIFICAMOS AS VANTAGENS DA CHAMA OXI-ACETILÊNICA PARA A SOLDA E PRÁTICAMENTE, APENAS NA BRASAGEM É QUE UTILIZAMOS OUTROS GASES COMBUSTÍVEIS (PROPANA, BUTANA, ETC.).

PODEMOS CLASSIFICAR OS MAÇARICOS EM :

MAÇARICOS DE ALTA PRESSÃO : OS GASES ENTRAM COM PRESSÕES SUPERIORES A 0,15 kgf/cm^2

MAÇARICOS DE BAIXA PRESSÃO : O ACETILENO ENTRA COM UMA PRESSÃO DE 0,010 A 0,025 kgf/cm^2 , E O OXIGÊNIO A UMA PRESSÃO SUPERIOR A 1 $\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

DESSA MANEIRA PODE-SE OBTER UMA OU VÁRIAS CHAMAS DE SOLDAGEM, COM DIFERENTES POTÊNCIAS. A VARIAÇÃO DA VAZÃO QUE OBTÉM PELA MUDANÇA DE BICO NÃO NECESSITA DE NENHUM DISPOSITIVO, SENDO POSSÍVEL A REGULAGEM DA CHAMA, LEVANDO-SE EM CONTA AS DIFERENTES VELOCIDADES DE ESCOAMENTO DOS GASES, OCASIONADAS PELAS DIFERENÇAS DE PRESSÕES DE ENTRADA.

2. INFORMAÇÕES TÉCNICAS DE SOLDA OXIACETILÊNICA

NÃO FAREMOS NESTE ÍTEM UM EXTENSO DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO, TENDO EM CONTA A JÁ EXISTÊNCIA DE VÁRIOS MANUAIS QUE TRATAM DESTE ASSUNTO, ASSIM NOS DETEREMOS APENAS NA DESCRIÇÃO E ANÁLISE DAS TÉCNICAS ATUALMENTE EMPREGADAS.

PODEMOS CLASSIFICAR OS MÉTODOS DE APLICAÇÃO DA CHAMA OXIACETILÊNICA DA SEGUINTE FORMA:

- OXICORTE
- OXICORTE COM PÓ DE FERRO
- TÊMPERA SUPERFICIAL
- AQUECIMENTO LOCALIZADO
- METALIZAÇÃO
- SOLDA BRASAGEM

2.1 OXICORTE

A - DEFINIÇÃO

O PROCESSO CONSTITUI EM SECCIONAR OS AÇOS ATRAVÉS DA AÇÃO DE OXIGÊNIO PURO, AGINDO SOBRE UMA SEÇÃO DO METAL PRÉVIAMENTE AQUECIDA E LEVADA AO PONTO DE FUSÃO. DESSA FORMA O CORTE OCORRE DE MANEIRA PROGRESSIVA, POIS O CALOR, FORNECIDO PELA REAÇÃO, AQUECE AS REGIÕES VIZINHAS.

ESTE PROCESSO PERMITE CORTAR APENAS AÇOS COM TEORES DE C/ CARBONO ABAIXO DE 1,9% E AÇOS DE LIGAS SIMPLES. PARA AÇOS DE LIGA MAIS COMPLEXA EXISTEM PROCEDIDOS DE OXICORTE MODERNOS, QUE ASSEGURAM MELHORES RESULTADOS: OXICORTE COM PÓ DE FERRO, CORTE COM PLASMA AO ARCO.

O EQUIPAMENTO DE OXICORTE APRESENTA GRANDE SEMELHANÇA COM O DE SOLDA OXIACETILÊNICA COMUM, COM PEQUENAS ALTERAÇÕES NO MAÇARICO.

B - MAÇARICO DE CORTE

O MAÇARICO DE CORTE POSSUE AS PARTES ESSENCIAIS DE UM MAÇARICO DE SOLDA E POSSUE, TAMBÉM, UMA TUBULAÇÃO ESPECIAL PARA O FORNECIMENTO DO OXIGÊNIO DE CORTE, CONTROLADA ATRAVÉS DE UMA VÁLVULA DE COMANDO.

A EXTREMIDADE ATIVA DO MAÇARICO DE CORTE SE CONSTITUI DE PEÇAS REMOVÍVEIS, CHAMADAS CABEÇAS, ONDE SE ENCONTRAM ORIFÍCIOS DA CHAMA DE AQUECIMENTO E DO JATO DE CORTE. A CADA MAÇARICO DE / CORTE ADAPTAM-SE DIFERENTES 'CABEÇAS', FUNÇÃO DA ESPESSURA A / SER CORTADA E DO GÁS COMBUSTÍVEL A SER UTILIZADO.

POR ANALOGIA AOS MAÇARICOS CONVENCIONAIS OS MAÇARICOS DE CORTE SÃO CHAMADOS DE 'ALTA PRESSÃO' E 'BAIXA PRESSÃO', VISTO QUE A CHAMA DE AQUECIMENTO É PRODUZIDA POR MISTURADORES DE ALTA OU DE BAIXA PRESSÃO.

PODEMOS CLASSIFICAR OS MAÇARICOS DE CORTE EM DUAS CATEGÓRIAS:

- MAÇARICOS MANUAIS
- MAÇARICOS TIPO MÁQUINA

OS MAÇARICOS MANUAIS OFERECEM DIFICULDADES NO QUE SE REFERE A VELOCIDADE DE EXECUÇÃO E PERFEIÇÃO DE CORTE, POIS DEPENDEM DA HABILIDADE DO OPERADOR. ISSO JÁ NÃO OCORRE COM O OXICORTE AUTOMÁTICO, QUE ELIMINA O FATOR HUMANO, REALIZANDO O CORTE COM UMA VELOCIDADE UNIFORME, SEGUINDO UM TRAÇADO PRÉ-DETERMINADO OU UM GABARITO. A PRECISÃO DO CORTE É BASTANTE GRANDE, E FREQUENTEMENTE DISPENSA-SE UMA USINAGEM POSTERIOR.

C - CUIDADOS A SEREM OBSERVADOS EM OXICORTE

O EMPREGO DE VELOCIDADE DE CORTE APROPRIADA É DE FUNDAMENTAL IMPORTÂNCIA, POIS AS VARIAÇÕES DESTA GRANDEZA PODEM OCASIONAR SÉRIOS DEFEITOS, COMPROMETENDO A QUALIDADE DE CORTE.

ESTA VELOCIDADE DE CORTE É ESTABELECIDA COMO FUNÇÃO DOS / PARÂMETROS: ESPESSURA DA CHAPA, BICO DE CORTE, PRESSÃO DE OXIGÊNIO, ACETILENO, OXIGÊNIO DE CORTE; SENDO QUE AS VELOCIDADES VARIAM NA FAIXA DE 34M/H A 10M/H, PARA CHAPAS DE 5 A 200MM DE ESPESSURA, RESPECTIVAMENTE. OS VALORES DAS VELOCIDADES DE CORTE, / COMO DA PRESSÃO DO COMBUSTÍVEL E ESPESSURA DAS CHAPAS, ENCONTRAM-SE TABELADOS NOS CATÁLOGOS DE FORNECEDORES DAS MÁQUINAS DE OXICORTE.

2.2 OXICORTE COM PÓ DE FERRO

O PROCESSO CONVENCIONAL DE OXICORTE NÃO SURTE BONS RESULTADOS PARA AÇOS QUE CONTENHAM CROMO E NÍQUEL, COMO TAMBÉM NÃO PA-

RA O FERRO FUNDIDO E MATERIAIS NÃO FERROSOS. PARA ISSO FOI DESENVOLVIDO O PROCESSO DE OXICORTE COM PÓ DE FERRO, QUE CONSISTE NA INJEÇÃO DE PÓ DE FERRO ESPECIAL NA CHAMA DE AQUECIMENTO DE UM MAÇARICO DE CORTE, O QUE FORNECE UM IMPORTANTE COMPLEMENTO DE CALOR, FAVORECENDO A REAÇÃO DE CORTE; ALÉM DISSO, O ÓXIDO DE FERRO LÍQUIDO, ASSIM FORMADO, É SUPERAQUECIDO AGINDO COMO FUNDENTE DO ÓXIDO DE CROMO, FACILITANDO SUA DILUIÇÃO E CONSEQUENTE ARRASTE NA ESCÓRIA. ESTE PROCESSO PERMITE, PRINCIPALMENTE O CORTE DE AÇOS INOXIDÁVEIS, AÇOS REFRAATÓRIOS E AÇOS COM ALTO TEOR DE MAGNÉSIO.

A DIFERENÇA APRESENTADA NO EQUIPAMENTO DE OXICORTE COM PÓ PARA O EQUIPAMENTO CONVENCIONAL, É ALÉM DO PÓ O QUAL É COLOCADO EM UM RESERVATÓRIO SOB PRESSÃO DE AR SECO OU NITROGÊNIO, O BICO DE CORTE, QUE DEVE SER MAIOR, PARA AS MESMAS ESPESSURAS A SEREM CORTADAS.

2.3 AQUECIMENTO

NORMALMENTE O TRABALHO DOS METAIS, SEMPRE ENVOLVE EM ALGUMA DE SUAS FASES O EMPREGO DE UM MEIO DE AQUECIMENTO. ATUALMENTE AS EMPRESAS DE TRANSFORMAÇÃO DISPÕES, PARA ESSA FINALIDADE, DESDE O ANTIGO EQUIPAMENTO DE FOGO DE FORJA, ATÉ OS MODERNOS FURNOS DE REGULAGEM AUTOMÁTICA DE TEMPERATURA. NO ENTANTO, ESSE EQUIPAMENTOS PERMITEM UM AQUECIMENTO LOCALIZADO DE UM MATERIAL, OPTANDO-SE NESES CASOS POR UM MAÇARICO DE AQUECIMENTO.

ESTE PROCESSO APRESENTA UMA SIMPLICIDADE DE OPERAÇÃO MUITO GRANDE, POIS UTILIZA-SE DO MESMO EQUIPAMENTO QUE UMA SOLDAGEM OXIACETILÊNICA NORMAL, CARACTERIZANDO-SE PELA RAPIDEZ DE OBTENÇÃO DA TEMPERATURA NECESSÁRIA À EXECUÇÃO DO TRABALHO. UM DOS CUIDADOS A SER M OBSERVADOS NESTE PROCESSO É A REGULAGEM DA CHAMA SEMPRE NEUTRA, A FIM DE EVITAR TODA A OXIDAÇÃO OU CARBURAÇÃO DA SUPERFÍCIE AQUECIDA.

AS POSSIBILIDADES DE APLICAÇÕES INDUSTRIAIS DO AQUECIMENTO COM MAÇARICO SÃO MÚLTIPLAS E SE ESTENDEM A TODAS AS INDÚSTRIAS, QUER NA FABRICAÇÃO, QUER NA REPARAÇÃO DE COMPONENTES; POR EXEMPLO:

- AQUECIMENTO PARA SOLDAGEM DE CHAPAS, TUBOS, CURVAS, ETC
- AQUECIMENTOS DE CONTRAÇÃO, RECOZIMENTO DE COBRE, ETC.

2.4 TÊMPERA SUPERFICIAL

O ENDURECIMENTO SUPERFICIAL DOS AÇOS EM GRANDE NÚMERO DE APLICAÇÕES DE PEÇAS DE MÁQUINAS, É, FREQUENTEMENTE, MAIS CONVENIENTE QUE SEU ENDURECIMENTO TOTAL PELA TÊMPERA NORMAL, VISTO QUE, NESSAS APLICAÇÕES, OBJETIVA-SE APENAS A CRIAÇÃO DE UMA SUPERFÍCIE DURA E DE GRANDE RESISTÊNCIA AO DESGASTE E À ABRASÃO.

A TÊMPERA SUPERFICIAL CONSISTE EM PRODUZIR UMA TÊMPERA LOCALIZADA APENAS NA SUPERFÍCIE DO AÇO, QUE ASSIM ADQUIRIRÁ AS PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DA ESTRUTURA MARTENSÍTICA.

OS MOTIVOS QUE DETERMINAM A PREFERÊNCIA DA TÊMPERA SUPERFICIAL EM RELAÇÃO À TÊMPERA TOTAL SÃO :

- OBTENÇÃO DE SUPERFÍCIES DURAS E RESISTENTES AO DESGASTE EM PEÇAS DE AÇO, QUE FACE ÀS SUAS DIMENSÕES NÃO PERMITIRIAM O ENDURECIMENTO TOTAL;
- OBTENÇÃO DE PROPRIEDADES SUPERFICIAIS DIFERENTES DAS PROPRIEDADES NUCLEARES DAS PEÇAS;
- OBTENÇÃO DE COMBINAÇÃO DE ALTAS RESISTÊNCIAS AO DESGASTE NA SUPERFÍCIE COM SUFICIENTE DUTILIDADE E TENACIDADE DO NÚCLEO DAS PEÇAS;

A TÊMPERA POR CHAMA CONSISTE EM AQUECER RÁPIDAMENTE ACIMA DA TEMPERATURA CRÍTICA, A SUPERFÍCIE A SER ENDURECIDA, POR MEIO DE UMA CHAMA DE OXIACETILENO, SEGUINDO-SE UM JATO DE ÁGUA, EM FORMA DE BORRIFO, DE MODO A PRODUZIR UMA CAMADA ENDURECIDA ATÉ A PROFUNDIDADE DESEJADA.

EXISTEM INÚMEROS DISPOSITIVOS UTILIZADOS NA OPERAÇÃO. NO CASO MAIS SIMPLES DE FORMAS CILÍNDRICAS, LEVA-SE A EFEITO O TRATAMENTO MEDIANTE A UTILIZAÇÃO DE UM DISPOSITIVO SEMELHANTE AO TÔRNO, ENTRE AS PONTAS DO QUAL É COLOCADA A PEÇA, SENDO A TORCHA DE OXIACETILENO E O BUCAL DE ÁGUA COLOCADOS NO 'CARRO' DO TÔRNO. A PEÇA GIRA A UMA VELOCIDADE PERIFÉRICA DETERMINADA, AO MESMO TEMPO A TORCHA, DIMENSIONADA DE MODO A ABRANGER A ÁREA QUE SE DESEJA ENDURECER, AQUECE SUCESSIVAMENTE A SUPERFÍCIE, SEGUINDO-SE IMEDIATAMENTE O RESFRIAMENTO PELA ÁGUA. ESTA DISPOSIÇÃO PERMITE A FORMAÇÃO DE FAIXAS MAIS MOLES COM ALGUNS MILÍMETROS DE LARGURA. PARA EVITAR ESSE INCONVENIENTE É PREFERÍVEL A

QUECER A SUPERFÍCIE COM UMA TORCHA DE CHAMA MULTIPLA, QUE SE MOVIMENTA AO LONGO DA PEÇA EM MOVIMENTO. A ESPESSURA DA CAMADA EN DURECIDA PODE VARIAR DESDE APENAS UMA CASCA SUPERFICIAL ATÉ CER CA DE 10 MM.

ALÉM DESSE, UM MÉTODO MAIS SIMPLES É O CHAMADO 'ESTACIONÁ RIO', EM QUE SE AQUECE APENAS LOCALMENTE ÁREAS SELECIONADAS DA PEÇA, COM SUBSEQUENTE RESFRIAMENTO, OU POR BORRIFO OU POR IMER SÃO. ESSE MÉTODO EXIGE APENAS O USO DE UM DISPOSITIVO DE CHAMA E DE CONTRÔLE DO TEMPO (PARA PERMITIR UM AQUECIMENTO UNIFORME).

O MÉTODO PROGRESSIVO É EMPREGADO PARA ENDURECER SEÇÕES QUE NÃO PODEM SER AQUECIDAS POR PROCESSO ESTACIONÁRIO. OS FATORES A SEREM LEVADOS EM CONTA NESTE PROCESSO SÃO AS DIMENSÕES E FORMAS DAS PEÇAS, COM TAMBÉM O VOLUME DE OXIGÊNIO E DE GÁS COMBUSTÍVEL NECESSÁRIO PARA AQUECER A SEÇÃO.

O EQUIPAMENTO NECESSÁRIO NO MÉTODO PROGRESSIVO CONSISTE / DE UM OU MAIS CABEÇOTES DE CHAMA E DE UM DISPOSITIVO DE RESFRIA MENTO, MONTADOS NUM CARRO QUE PODE SE MOVER À UMA VELOCIDADE RE GULÁVEL: AS PEÇAS PODEM, POR EXEMPLO, SER MONTADAS NUM TORNO E TANTO O CABEÇOTE DE CHAMA COMO A PEÇA PODEM GIRAR, NÃO HAVENDO, FINALMENTE, LIMITE PRÁTICO QUANTO AO COMPRIMENTO DAS PEÇAS QUE POSSAM SER TEMPERADAS POR ESSE MÉTODO.

EXISTE TAMBÉM O MÉTODO GIRATÓRIO, EMPREGADO EM PEÇAS DE / SEÇÃO CIRCULAR OU SEMI-CIRCULAR, TAIS COMO RODAS, CAMES, ENGRE NAGENS. EM SUA FORMA MAIS SIMPLES, UTILIZAMOS UM MECANISMO PARA GIRAR A PEÇA NUM PLANO HORIZONTAL OU VERTICAL, FICANDO SUA SUP / SUPERFÍCIE SUJEITA A AÇÃO DA CHAMA. A VELOCIDADE DE ROTAÇÃO É / DE POUCA IMPORTÂNCIA DESDE QUE SE CONSIGA UM AQUECIMENTO UNIFOR ME, COM A PEÇA SENDO RESFRIADA POR IMERSÃO, BORRIFO, OU POR COM BINAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS.

FINALMENTE, O MÉTODO 'COMBINADO PROGRESSIVO-GIRATÓRIO' A LIA OS DOIS ANTERIORES: A PEÇA É GIRADA COMO NO MÉTODO GIRATÓR / RIO, DO MESMO TEMPO QUE A CHAMA SE MOVIMENTA DE UMA EXTREMIDADE À OUTRA. MOMENTE UMA FAIXA ESTREITA DE CIRCUNFERÊNCIA É AQUECI DA PROGRESSIVAMENTE, À MEDIDA QUE A CHAMA SE MOVE DE UMA EXTRE MIDADE À OUTRA DA PEÇA. O RESFRIAMENTO SEGUE IMEDIATAMENTE A - TRÁS DA CHAMA.

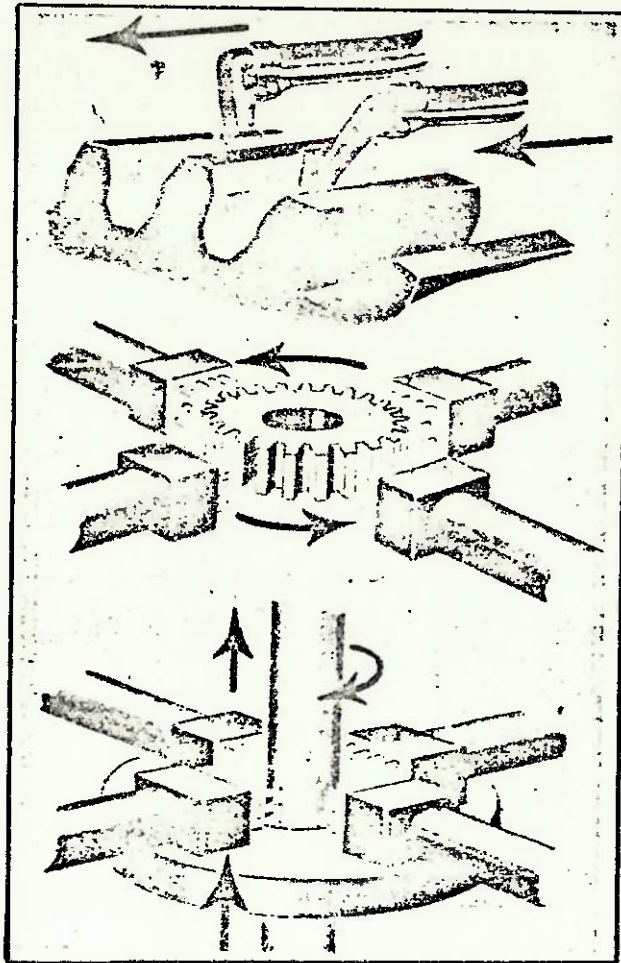
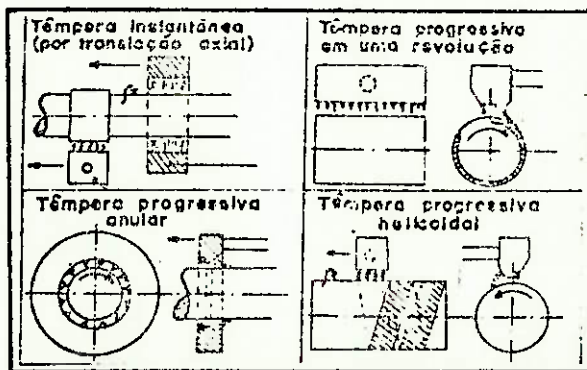
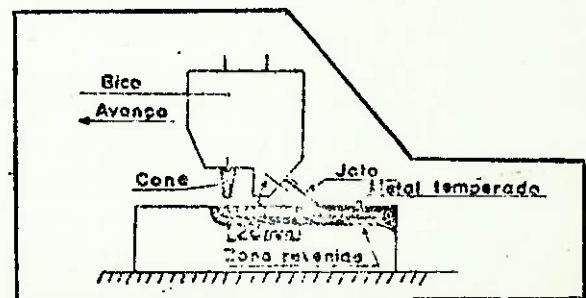


FIG. 2.4 - TRÊS MÉTODOS DE APLICAÇÃO DO ENDURECIMENTO SUPERFICIAL POR CHAMA. A FIGURA SUPERIOR CORRESPONDE AO MÉTODO PROGRESSIVO, A CENTRAL AO GIRATÓRIO, O INFERIOR AO COMBINADO.



- MÉTODOS DE TÊMPERA PARA SUPERFÍCIES CILINDRICAS.



- ESQUEMA DE TÊMPERA PROGRESSIVA.

2.5 METALIZAÇÃO COM CHAMA

A- PRINCÍPIOS DO PROCESSO

A METALIZAÇÃO COM CHAMA É A OPERAÇÃO QUE CONSISTE EM PROJETER UM METAL, POR MEIO DE UM JATO DE AR, SOBRE UMA SUPERFÍCIE METÁLICA OU NÃO, APÓS ESTE METAL ATRAVESSAR A CHAMA DE UM MAÇARICO. ESTE PROCESSO PODE SER EMPREGADO TAMBÉM PARA MATERIAIS P/ PLÁSTICOS, ÓXIDOS, REFRAATÓRIOS, ETC.

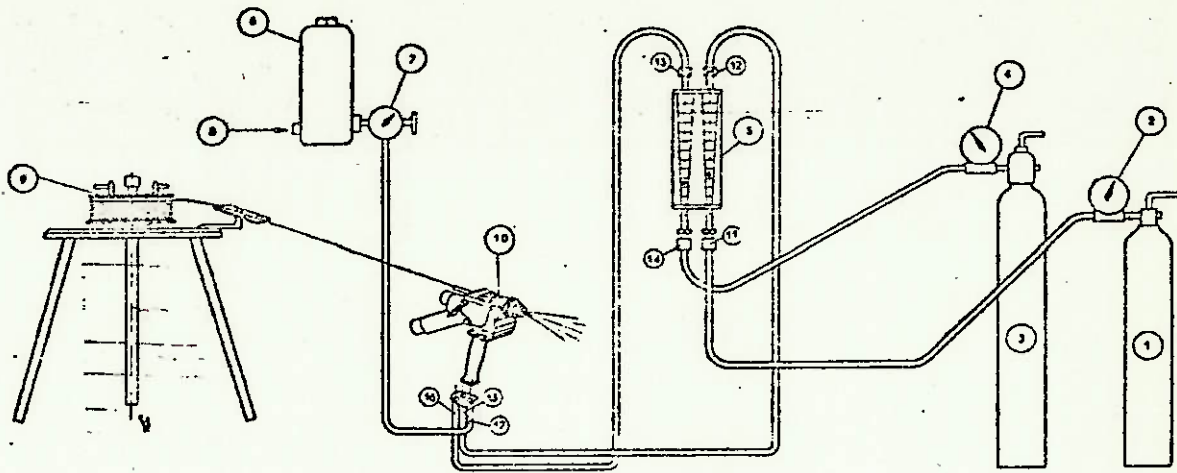
O MATERIAL PROJETADO SOBRE A SUPERFÍCIE DAS PEÇAS A SEREM METALIZADAS ENCONTRAM-SE NA FORMA DE PÓ OU EM FIO QUE SE FUNDE OU SE DESAGREGA, AO PASSAR ATRAVÉS DA CHAMA.

B- FUNDAMENTOS

NO CASO DE ESTARMOS UTILIZANDO UM FIO METÁLICO, A EXTREMIDADE DESTA É ARRASTADA MECANICAMENTE E COLOCADA DIANTE DO CONE DA CHAMA, FUNDINDO-SE PROGRESSIVAMENTE, DANDO INÍCIO A FORMAÇÃO DE PEQUENAS GOTAS.

ESTAS GOTAS SÃO ARRASTADAS PELOS GASES DE COMBUSTÃO, E, ENTRANDO NO JATO DE AR COMPRIMIDO, SÃO DIVIDIDOS EM PARTÍCULAS BASTANTE PEQUENAS E IMPULSIONADOS COM GRANDE VELOCIDADE (200M/S). COMO A TEMPERATURA DO AR É BAIXA, COMPARADA A DAS GOTAS, ESTAS RESFRIAM-SE OU SOFREM OXIDAÇÃO, DIFICULTANDO A EVOLUÇÃO DO PROCESSO; MAS, DEVIDO À VELOCIDADE DE PROJEÇÃO DAS PARTÍCULAS SER CONSIDERAVELMENTE ALTA, EXISTE UM SIGNIFICATIVO AUMENTO DE TEMPERATURA, OCACIONADO PELA TRANSFORMAÇÃO DA ENERGIA DO CHOQUE DAS GOTAS COM A PEÇA, PERMITINDO QUE ESTAS SOLDEM-SE ENTRE SI. O AUMENTO DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE QUE AS RECEBE PERMANECE, AO CONTRÁRIO, BASTANTE BAIXA, DEVIDO A GRANDE DIFERENÇA DE MASSAS.

A CAMADA DE ÓXIDO FORMADA DURANTE O TRAJETO NO AR FRAGMENTA-SE NO CHOQUE, DISPERSANDO-SE EM SEGUIDA NA ATMOSFERA. TODAVIA CERTA PERCENTAGEM DESTA ÓXIDO PERMANECE, SENDO DEPOSITADA NA SUPERFÍCIE, PROVOCANDO A NECESSIDADE DE UM TRATAMENTO SUPERFICIAL POSTERIOR (RECOZIMENTO).



Montagem de um posto de metalização

- | | |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1 - tubo de acetileno ou propana, | 6 - depurador do ar. |
| 2 - regulador de pressão do acetileno ou propana. | 7 - regulador de pressão do ar. |
| 3 - tubo de oxigênio, | 8 - chegada do ar que vem do compressor. |
| 4 - regulador de pressão do oxigênio. | 9 - suporte do fio e seu endireitador. |
| 5 - conjunto para medição das vasões. | 10 - pistola de metalização. |

FIG. ESQUEMA DE UMA INSTALAÇÃO DE METALIZAÇÃO

C- PROPRIEDADES

O METAL PROJETADO TEM AS PROPRIEDADES DO METAL PENSADO E TEMPERADO, APRESENTANDO BOA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E DUREZA ELEVADA. POR OUTRO LADO SUA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO É BAIXA, E SEU ALONGAMENTO É QUASE NULO. COMO JÁ CITADO, RECOMENDA-SE UM TRATAMENTO SUPERFICIAL, AFIM DE REDUZIR A DUREZA E EVITAR A OXIDAÇÃO PELO OXIGÊNIO INCLUSO (1 A 2% PARA AÇOS).

OS COEFICIENTES DE DILATAÇÃO SÃO SEMELHANTES AOS METAIS / CORRESPONDENTES, SUJEITOS À LAMINAÇÃO. A COESÃO DOS METAIS DEPOSITADOS DEPENDE DE SUA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO. ELA É MAIS ELEVADA NO SENTIDO PARALELO ÀS CAMADAS QUE NO SENTIDO PERPENDICULAR. A RESISTÊNCIA AO CHOQUE DAS CAMADAS DEPOSITADAS TAMBÉM É BASTANTE BAIXA.

D- MATERIAIS

OS MATERIAIS QUE APRESENTAM CONDIÇÕES DE SEREM PROJETADOS APÓS FUSÃO OU AQUECIMENTO POR CHAMA, PODEM SER: METAIS, CORPOS REFRACTÁRIOS OU MATERIAIS PLÁSTICOS.

ESTES MATERIAS SE APRESENTAM SOB FORMA DE FIOS , PÓS OU VARETAS. A MAIORIA DOS METAIS TREFILÁVEIS USUAIS SÃO UTILIZADOS NA FORMA DE FIOS COM DIÂMETROS VARIANDO ENTRE 1 E 5 MM, DEPENDENDO DO TRABALHO. OS MATERIAIS NÃO TREFILÁVEIS SÃO UTILIZADOS EM PÓ. ALGUMAS VEZES ESTE PÓ JÁ É RECOBERTO POR UM MATERIAL PLÁSTICO (QUE SE VOLATIZA NO INSTANTE DA PROJEÇÃO). OS MATERIAIS REFRAATÓRIOS SÃO UTILIZADOS EM PÓ OU VARETAS.

D.1- METAIS

A MAIORIA DOS METAIS PODEM SER PROJETADOS SOBRE AS SUPERFÍCIES QUE SE DESEJA TRATAR. ESTAS PODEM SER NATUREZA BASTANTE VARIADAS. SE A SUPERFÍCIE A SER TRATADA É UM OUTRO METAL, É IMPORTANTE LEVAR-SE EM CONTA A POSIÇÃO RECÍPROCA DESTE METAL-SUPORTE E DO METAL PROJETADO NA ESCALA DAS POLARIDADES ELETROQUÍMICAS RELACIONADAS ABAIXO PARA OS METAIS USUAIS;

MAGNÉSIO	AÇO INOX	COBRE-ALUMÍNIO
ZINCO	NÍQUEL-CROMO	BRONZE DE ESTANHO
ALUMÍNIO	NÍQUEL	COBRE
CÁDMIO	CHUMBO	ANTIMÔNIO
FERRO	ESTANHO	PRATA
AÇO	MAILLECHORT	PLATINA
CROMO	LATÃO	OURO

NESTA LISTA APRESENTADA OS METAIS SÃO CLASSIFICADOS POR POLARIDADES CRESCENTES, DE FORMA QUE SE DOIS METAIS ESTIVEREM EM PRESENÇA DE UMA ATMOSFER. ÚMIDA (E CONDUTORA), FORMA-SE UMA VERDADEIRA PILHA ELÉTRICA, ONDE A FORÇA ELETRO-MOTRIZ DESTROE A DOS METAIS QUE FORMAM O ANODO, OU SEJA, AQUELE QUE PRECEDE O OUTRO NA LISTA.

O METAL MAIS NOBRE FORMA, AO CONTRÁRIO, CÁTODO E SE ENCONTRA PROTEGIDO, ENQUANTO, UMA CAMADA DE METAL ANÓDICO SUBSISTE. POR EXEMPLO : O ZINCO PROTEGE MUITO BEM O AÇO CARBONO. O AÇO INOX , AO CONTRÁRIO, NÃO PROTEGE SE NÃO FOREM TOMADAS PROVIDÊNCIAS ESPECIAIS DE POLIMENTOS E ESPESSURAS E RECOBRIMENTOS.

D.2- REVESTIMENTOS REFRAATÓRIOS

ESTES MATERIAIS COMPÕE-SE DE UM ÓXIDO , OU DE UM SAL METÁLICO REFRAATÓRIO, E DE UM ADITIVO DÚTIL (NORMALMENTE METAL). ES-

TES MATERIAIS SÃO CHAMADOS CERMETES, E APRESENTAM UMA RESISTÊNCIA MUITO BOA PARA OS GASES QUENTES, ATÉ 1500°C.

OUTROS TIPOS DE MATERIAL REFRAATÁRIO UTILIZADOS SÃO OS CARBURETOS METÁLICOS E OS ÓXIDOS (ALUMINA, ÓXIDO DE ZIRCÔNIO), NAS FORMAS DE PÓ FINO OU VARETAS, COM DEPÓSITOS DE 0,7 A 0,2MM E RESISTÊNCIA ATÉ 2000°C. APRESENTAM TAMBÉM GRANDE RESISTÊNCIA À ABRASÃO.

D.3- MATERIAIS PLÁSTICOS

UM GRANDE NÚMERO DE MATERIAIS PLÁSTICOS PODEM SER APLICADOS SOBRE SUPERFÍCIES PELO PROCESSO DE METALIZAÇÃO. ESTES MATERIAIS APESAR DO BAIXO PONTO DE FUSÃO (~200°C), ATRAVESSAM A CHAMA DE 3000°C SEM DECOMPOR-SE, POIS SÃO MAUS CONDUTORES DE CALOR.

ENTRE OS MATERIAIS UTILIZÁVEIS PODEMOS CITAR OS TERMOFIX/TERMOFIXOS (BAQUELITE), QUE SÃO POUCO UTILIZADOS, E OS TERMOPLÁSTICOS (POLITILENO, NYLON, POLIESTIRMOS, ETC).

A PLASTIFICAÇÃO NÃO PODE SER CONSIDERADA SE A TEMPERATURA DE SERVIÇO DA PEÇA, A SER REVESTIDA DE PLÁSTICO FOR INFERIOR (PELO MENOS 30°C) NA TEMPERATURA DE FUSÃO DO MATERIAL UTILIZADO POR EXEMPLO: 80°C PARA O ACETATO DE VINILA E 90°C PARA A BORRACHA.

E- SUPERFÍCIES METALIZÁVEIS

1. SUPERFÍCIES DE BAIXA DUREZA: NÃO PODEM SER USADOS METALIZÁVEIS Duros (COBRE, FERRO, NÍQUEL) NO RECOBRIMENTO DESSAS SUPERFÍCIES. SOMENTE METAIS COMO ZINCO, ALUMÍNIO E ESTANHO SÃO RECOMENDADOS PARA ESTE TRABALHO.
2. SUPERFÍCIES DE ALTA DUREZA: A SUPERFÍCIE DEVE SER PREPARADA, NÃO PODE SER LISA, E A PENETRAÇÃO VARIA CONFORME O ESTADO DA SUPERFÍCIE.

NA PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE DEVE-SE CONSIDERAR A NECESSIDADE DA LIMPEZA (ISENTA DE ÓLEO, GRAXA, ÁCIDOS, TINTAS, ETC), E COM RUGOSIDADE FAVORÁVEL À ADERÊNCIA DO MATERIAL A SER DEPOSITADO. PARA ISTO, PODEMOS USAR DIVERSOS PROCESSOS, COMO A USINAGEM MECÂNICA, ESMERILHAMENTO, JATO DE AREIA, ENCHIMENTO INICIAL COM MOLDBENTO (ESTE METAL PERMITE UM TIPO DE SOLDA COM

AÇO DE SUPERFÍCIE NÃO PREPARADA), PREPARAÇÃO TÉRMICA (DECAPAGEM COM CHAMA PARA CARBONIZAR AS IMPUREZAS E CONTAMINAÇÕES, COMO GRAXAS E ÓLEOS), PRÉ-AQUECIMENTO (ELIMINAÇÃO DA ÁGUA, QUE PREJUDICA MUITO A ADERÊNCIA).

F- APLICAÇÕES

ENTRE ALGUMAS DAS APLICAÇÕES PODEMOS MENCIONAR:

- PROTEÇÃO CONTRA OXIDAÇÃO COM O CALOR, TUBULAÇÕES, COLETORES DE ESCAPAMENTO DE MOTORES, PEÇAS PARA FORNOS, / ETC;
- REVESTIMENTOS DECORATIVOS : COBRE, BRONZE, ACETATO DE VINILA COLORIDO, ETC;
- PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO E ABRASÃO;
- FABRICAÇÃO DE PEÇAS SOBRE MOLES, COM FORMATOS COMPLEXOS EM MATERIAIS DE DIFÍCIL USINAGEM, OU REFRACTÁRIOS. CAMADAS SUCESSIVAS SÃO DEPOSITADAS SOBRE UM MOLDE DE GRÁFITE OU MADEIRA, ATÉ QUE A ESPESURA DESEJADA SEJA ALCANÇADA. EM SEQUIDA, O MOLDE É DESMONTADO OU DESTRUÍDO POR COMBUSTÃO. AS TOLERÂNCIAS ALCANÇADAS CHEGAM A UM LIMITE DE 0,03 MM;
- ENCHIMENTOS PARA RESTABELECER FORMAS OU DIMENSÕES INICIAIS DE PEÇAS QUE SOFRERAM ABRASÃO, EROSÃO OU CORROSÃO;
- REVESTIMENTO COM PLÁSTICOS PARA ISOLAMENTOS ELÉTRICOS, COMO REVESTIMENTO COM COBRE PARA FABRICAÇÃO DE RESISTÊNCIAS, CONDENSADORES, ETC.

G- EQUIPAMENTO

O EQUIPAMENTO UTILIZADO NA METALIZAÇÃO É RELATIVAMENTE SIMPLES, EXIGINDO APENAS UM SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DO FIO POR MEIO DE UM MOTOR ELÉTRICO, OU POR MEIO DE AR COMPRIMIDO (NO CASO DO MATERIAL A SER DEPOSITADO ESTIVER NA FORMA DE Ó). TAMBÉM SÃO NECESSÁRIAS PISTOLAS ESPECIAIS NOS CASOS DE MATERIAIS PLÁSTICOS, OU EM FORMA DE VARETAS.

O CIRCUITO DO GÁS COMBUSTÍVEL E O SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO POR FIO ESTÁ APRESENTADO NA FIGURA ANTERIOR.

2.6 BRASAGEM - SOLDA BRASAGEM - BRASAGEM FRACA

2.6.1 BRASAGEM

A - GENERALIDADES

FAZ-SE NECESSÁRIO DISTINGUIR INICIALMENTE OS DIFERENTES PROCESSOS DE SOLDAGEM ONDE NÃO OCORRE A FUSÃO DO METAL BASE, MAS, APENAS DO METAL DE ADIÇÃO.

BRASAGEM OU SOLDAGEM FORTE É UM PROCESSO DE UNIÃO DE DUAS PARTES METÁLICAS EM QUE O METAL BASE NÃO SE FUNDE, E O METAL DE ADIÇÃO TEM UM PONTO DE FUSÃO ACIMA DE APROXIMADAMENTE 400°C.

SOLDA BRASAGEM DISTINGUE-SE DO PROCESSO ANTERIOR PELO TIPO DE CONFORMAÇÃO DAS EXTREMIDADES DO METAL BASE A SEREM UNIDAS, E DA FORMA DE MONTAGEM.

SOLDAGEM FRACA OU SOLDAGEM FRACA É UM PROCESSO DE UNIÃO DE DUAS PARTES METÁLICAS EM QUE O METAL BASE NÃO SE FUNDE, E O METAL DE ADIÇÃO TEM UM PONTO DE FUSÃO INFERIOR A APROXIMADAMENTE 400°C.

B - INTRODUÇÃO

A BRASAGEM E A SOLDA BRASAGEM SE DISTINGUEM DA SOLDAGEM PELO FATO QUE OS METAIS A SEREM UNIDOS, NÃO ATINGEM SUA TEMPERATURA DE FUSÃO. A DIFERENÇA ENTRE ESTES DOIS MÉTODOS RESIDE PRINCIPALMENTE NA CONCEPÇÃO DA JUNTA E NA TÉCNICA DE MONTAGEM.

AS PROPRIEDADES DA JUNTA DEPENDEM EM GRANDE PARTE, DA ESTREITA ZONA DE DIFUSÃO NA INTERFACE: METAL BASE - METAL DE ADIÇÃO, NO ESTADO FUNDIDO, ESSA JUNÇÃO SERÁ ESTREITA E SUA ESPESURA FUNÇÃO, ORA DOS METAIS A UNIR, ORA DO METAL DE ADIÇÃO.

EXISTE UMA VARIÉDADE DE METAIS DE ADIÇÃO, E PODEM SER CLASSIFICADOS EM TRÊS CATEGORIAS :

- LATÃO PARA SOLDA BRASAGEM
- LIGAS AO FÓSFORO COM OU SEM PRATA
- LIGAS DE PRATA
- LIGAS DE ALUMÍNIO - SILÍCIO

OS LATÕES SÃO LARGAMENTE UTILIZADOS PARA REALIZAR JUNÇÕES EM AÇO, E EM MENOR ESCALA PARA O COBRE E SUAS LIGAS, CUJOS PON

TOS DE FUSÃO NÃO SEJAM INFERIORES A 1050 C. EXISTEM AINDA OUTROS TIPOS DE LATÕES QUE COMPORTAM ADIÇÕES DE PRATA, PARA MELHORAR A FLUIDEZ, SEJA DE SILÍCIO PARA DESOXIDAR, SEJA DE NÍQUEL E MANGANÊS PARA MELHORAR A RESISTÊNCIA MECÂNICA. O PONTO DE FUSÃO DESSAS LIGAS SITUA-SE ENTRE 850°C - 950°C, DEPENDENDO DO TEOR DE ZINCO.

AS LIGAS DE COBRE COM FÓSFORO SÃO UTILIZADAS PARA BRASAGEM DAS LIGAS DE COBRE, NÃO SENDO INDICADAS PARA OS METAIS CONTENDO FERRO OU NÍQUEL, POIS ESTES METAIS FORMAM COMPOSTOS MUITO FRÁGEIS. UMA DAS MAIORES VANTAGENS DOS COBRES COM FÓSFORO CONSISTE NO FATO DE QUE A ELIMINAÇÃO DE PARTE DO FÓSFORO DURANTE A BRASAGEM, TEM POR EFEITO AUMENTAR A TEMPERATURA DE FUSÃO DA LIGA DEPOSITADA. OS METAIS DE ADIÇÃO EM FÓSFORO NÃO DEVEM SER EXPOSTOS À TEMPERATURAS ELEVADAS POR PERÍODOS PROLONGADOS EM ATMOSFERA DE GÁS DE RUJA OU EM ATMOSFERA QUE CONTENHA ENXOFRE, POIS EXISTE O PERIGO DE CORROSÃO. OUTRAS LIGAS DE COBRE SÃO TAMBÉM UTILIZADAS: COMO AS LIGAS DE PRATA COBRE, PRATA-COBRE-ZINCO, OS QUAIS APRESENTAM PONTOS DE FUSÃO BASTANTE DIVERSOS, PODENDO SER ESCOLHIDAS EM FUNÇÃO DOS DIFERENTES METAIS A SEREM BRASADOS E DAS JUNTAS POSSÍVEIS.

AS LIGAS DE OURO TAMBÉM SÃO UTILIZADAS NA BRASAGEM, DE PREFERÊNCIA NAS LIGAS CONTENDO ZINCO E CÁDMIO PARA A FABRICAÇÃO DE TUBOS DE VÁCUO PARA USO ELETRÔNICO, TENDO BAIXA PRESSÃO DE VAPOR EM TEMPERATURAS DE FUNCIONAMENTO. SÃO USADAS TAMBÉM AS LIGAS DE ALUMÍNIO - SILÍCIO, QUE SÃO AS MAIS INDICADAS PARA A BRASAGEM DE METAIS LEVES, DEVIDO AOS SEUS BAIXOS PONTOS DE FUSÃO.

C - FLUXO

O EMPREGO DE UM FLUXO É RECOMENDADO PARA A MAIORIA DOS CASOS DE BRASAGEM, PRINCIPALMENTE PARA A BRASAGEM COMUM OU COM PRATA. NO CASO DA BRASAGEM COM METAIS DE ADIÇÃO DE ALTO TEOR DE FÓSFOROS EMPREGADOS SOBRE COBRE, OS FLUXOS NÃO SÃO INDISPENSÁVEIS, COMO TAMBÉM NÃO O SÃO, QUANDO SE OPERA EM ATMOSFERA INERTE OU REDUTORA, POIS ESTAS CONDIÇÕES NÃO FAVORECEM A FORMAÇÃO DE ÓXIDOS, OS QUAIS PREJUDICAM A SOLDAGEM. PARA TEMPERATURAS MAIS ELEVADAS SÃO UTILIZADOS FLUXOS À BASE DE FLUOROPRATO E FLUORETOS, POIS ESTAS SUBSTÂNCIAS FAVORECEM A DISSOLUÇÃO DOS ÓXIDOS DE CRÔMO E NÍQUEL.

D - ÁREA DA JUNTA E RESISTÊNCIA MECÂNICA

A ÁREA OU PROFUNDIDADE DE UMA JUNTA PODE SER CALCULADA ES COLHENDO-SE COMO RESISTÊNCIA MECÂNICA DA JUNTA UM VALOR IGUAL À MENOR QUANTIDADE ENCONTRADA NAS DUAS PEÇAS A SEREM UNIDAS.

A RESISTÊNCIA DA JUNTA É CALCULADA COMO SENDO A SUPERFÍCIE DE RECOBRIMENTO MULTIPLICADA PELA RESISTÊNCIA À TRACÇÃO DO METAL DE ADIÇÃO EMPREGADO. ESTE ÚLTIMO FATOR É FUNÇÃO DO MATERIAL (METAL DE ADIÇÃO). FREQUENTEMENTE UTILIZA-SE COMO BASE PARA O CÁLCULO A RESISTÊNCIA À TRACÇÃO DE APROXIMADAMENTE 17KG/MM SENDO A RESISTÊNCIA DA MATÉRIA DAS JUNTAS BRASADAS MAIS ELEVADAS. DEVE-SE CONSIDERAR NO CÁLCULO SOMENTE 85 A 90% DA SUPERFÍCIE DE RECOBRIMENTO. O EXAME DAS JUNTAS BRASADAS CONFIRMA ESTA CONDIÇÃO, POIS EM CERTOS CASOS A LIGA PODE NÃO PREENCHER COMPLETAMENTE A JUNTA, SEJA DEVIDO A CONTRACÇÃO DURANTE A SOLIDIFICAÇÃO, OU A NÃO PREPARAÇÃO CORRETA DA JUNTA.

OUTRO FATOR A SER CONSIDERADO PARA A RESISTÊNCIA MECÂNICA É O JOGO DAS PEÇAS, PEQUENO MAS BEM DEFINIDO, QUE É UMA DAS CARACTERÍSTICAS DA BRASAGEM; EMBORA OCORRENDO A FORMAÇÃO DE UMA LIGA ENTRE O METAL BASE E O METAL DE ADIÇÃO, O JOGO CONTINUA A EXISTIR.

A DETERMINAÇÃO DO JOGO DEPENDE DE UM CERTO NÚMERO DE FATORES :

- TOLERÂNCIA DAS PEÇAS À TEMPERATURA AMBIENTE ;
- DILATAÇÃO DAS PEÇAS ;

ESTES FATORES SÃO MUITO IMPORTANTES NO CASO DE OPERARMOS COM MATERIAIS COM DIFERENTES COEFICIENTES DE DILATAÇÃO. CERTOS CASOS NÃO POSSÍVEIS DE SE COMPENSAR POR UM AQUECIMENTO PROPOSTALMENTE DIFERENTE DAS PARTES ENVOLVIDAS. ESTE PROCEDIMENTO PERMITE QUE O JOGO SEJA BEM UNIFORME, POIS UMA VARIAÇÃO LOCAL PODE INTERROMPER A CONTINUIDADE DA AÇÃO CAPILAR, IMPEDINDO A PENETRAÇÃO MAIS PROFUNDA DO METAL DE ADIÇÃO.

E - MÉTODOS DE BRASAGEM

E.1 BRASAGEM COM MAÇARICO

A BRASAGEM COM MAÇARICO É UM PROCESSO APLICADO NOTADAMENTE PARA TRABALHOS ARTESANAIS, OU PEÇAS CUJA FORMA NÃO PERMITA:

A APLICAÇÃO DE OUTRAS TÉCNICAS.

O AQUECIMENTO DA BRASAGEM CORRESPONDE AO AQUECIMENTO PRÉVIO FEITO NA SOLDAGEM OXI-ACETILÊNICA, AQUECENDO UMA GRANDE SUPERFÍCIE COM O MOVIMENTO DA CHAMA, QUE DEVE SER NEUTRA (EXCESSÃO FEITA AOS MATERIAIS CONTENDO MUITO ZINCO, QUE DEVEM UTILIZAR CHAMA OXIDANTE, PARA VOLATIZAR O ZINCO), E MAIS FRACA QUE A OXIACETILÊNICA.

O PROCEDIMENTO NORMAL É AQUECER AS SUPERFÍCIES A SEREM BRASADAS À UMA TEMPERATURA LOGO ACIMA DO PONTO DE FUSÃO DA LIGA. NO CASO DE BRASARMOS PEÇAS DE MATERIAIS OU ESPESSURAS DIFERENTES, DEVEMOS PRIMEIRAMENTE AQUECER AS PEÇAS DE MAIOR CONDUTIBILIDADE TÉRMICA, POIS SE AS SUPERFÍCIES ATINGIREM TEMPERATURAS MUITO DIFERENTES, O METAL DE ADIÇÃO PODE ESCORRER, FORMANDO UMA LIGA COM UMA DAS SUPERFÍCIES, SEM UNIR A OUTRA PARTE.

NA MAIORIA DAS VEZES, ALÉM DA LIMPEZA HABITUAL DAS JUNTAS ANTES DA BRASAGEM, TORNA-SE NECESSÁRIA A UTILIZAÇÃO DE UM FLUXO EM PÓ UNTADO AO FIO DO METAL DE ADIÇÃO, PARA GARANTIR A LIMPEZA DAS JUNTAS E AO MESMO TEMPO INDICAR QUANDO AS PEÇAS ESTÃO QUASE NA TEMPERATURA DE BRASAGEM. NO INICIO DO AQUECIMENTO, O FLUXO TRABALHA EVAPORANDO SUA ÁGUA, FORMANDO EM SEGUIDA UMA FINELA PELÍCULA LÍQUIDA. NESTE PONTO É NECESSÁRIO DESLOCAR A CHAMA E CONTATAR O FIO DO METAL DE ADIÇÃO COM O PONTO MAIS QUENTE DO CONJUNTO. CASO A FUSÃO NÃO OCORRER, SERÁ NECESSÁRIO PROSSEGUIR O AQUECIMENTO DAS SUPERFÍCIES.

A FUSÃO DO METAL DE ADIÇÃO NUNCA DEVE ACONTECER SOB A CHAMA POIS ESTE PODERÁ ESCORRER SOBRE UM PONTO NÃO SUFICIENTEMENTE AQUECIDO. QUANDO O AQUECIMENTO FOR DEMASIADO, ESTRIAS NEGRAS PODERÃO SER PERCEBIDAS SOBRE A PELÍCULA DE FLUXO. NESTE CASO, A CHAMA DEVERÁ SER AFASTADA E PROCEDE-SE UMA NOVA ADIÇÃO DE FLUXO. O AQUECIMENTO EXCESSIVO TAMBÉM PROVOCA JUNTAS FRACAS.

OUTRO CUIDADO A SER OBSERVADO É O TEMPO QUE O METAL DE ADIÇÃO PERMANECE EM ESTADO DE FUSÃO NO CONTATO COM A JUNTA, PARA QUE HAJA CONDIÇÕES DE UMA PERFEITA DEPOSIÇÃO DO MATERIAL, NÃO ESQUECENDO QUE AS JUNTAS BRASADAS CONTRAEM-SE DURANTE A SOLIDIFICAÇÃO, SENDO CONSEQUENTEMENTE NECESSÁRIO ASSEGURAR O EXCESSO DE DEPOSIÇÃO DO METAL DE ADIÇÃO, FORMANDO ASSIM UM COR-DÃO.

TODAS AS OPERAÇÕES DE BRASAGEM COM PRATA EM METAIS FERROSOS E LIGAS DE COBRE, SÃO NORMALMENTE EXECUTADOS EMPREGANDO-SE

FLUXO GASOSO, AO INVÉS DE PASTOSO (PÓ+ÁGUA), INCORPORADO À CHAMA (PROCESSO GÁS-FLUXO). A LIMPEZA DO FLUXO APÓS A BRASAGEM TORNA-SE ASSIM DESNECESSÁRIA.

E.2 BRASAGEM EM FÔRNO

A BRASAGEM EM FÔRNO É UTILIZADA PRINCIPALMENTE PARA PEÇAS DE DIMENSÕES MÉDIAS, SENDO UM PROCESSO ECONÔMICO PARA GRANDES SÉRIES.

A CARACTERÍSTICA PRINCIPAL DESTES PROCESSOS É A COLOCAÇÃO DO METAL DE ADIÇÃO ANTES DO AQUECIMENTO, SENDO COLOCADO ENTÃO EM UM FÔRNO, COM CONTROLE PRECISO DE TEMPERATURA, E INTRODUZINDO TAMBÉM UMA ATMOSFERA PROTETORA, O QUE EVITA A OXIDAÇÃO. ESTE PROCEDIMENTO TORNA POSSÍVEL A ELIMINAÇÃO DO FLUXO.

EXISTEM VÁRIOS TIPOS DE FÔRNOS QUE PODEM SER UTILIZADOS NA BRASAGEM. O FÔRNO DE ESTEIRA, CONSTRUÍDA COM MATERIAL RESISTENTE AO CALOR, E COM VELOCIDADE CONTROLADA, PARA EVITAR PROBLEMAS COMO AQUECIMENTO INSUFICIENTE OU CRESCIMENTO DEMASIADO DO GRÃO. FÔRNOS COM DISPOSITIVOS DE PRANCHA, QUE SÃO COLOCADAS NO FÔRNO E APÓS CERTO TEMPO RETIRADAS, EM UM LOCAL ONDE É POSSÍVEL CONTROLAR O RESFRIAMENTO GARANTEM UMA MENOR POSSIBILIDADE DE DEFEITO QUE O PROCESSO POR ESTEIRA.

A ATMOSFERA PROTETORA NORMALMENTE EMPREGADA É FORMADA POR AMONÍACO CRACKEADO (25% AZOTO, 75% HIDROGÊNIO POR VOLUME) OU GÁS DE RUA (10% DE HIDROGÊNIO, CO₂ E CO EM BAIXA QUANTIDADE), NÃO COMPLETAMENTE QUEIMADOS. NO CASO DO GÁS DE RUA, O VAPOR DE ÁGUA É ELIMINADO COM UM DISPOSITIVO DE SECAGEM INTEGRADO AO CIRCUITO, COMPREENDENDO TAMBÉM UM DISPOSITIVO DE DESULFURAÇÃO. AS ATMOSFERAS PROTETORAS SÃO ESPECIALMENTE INDICADAS PARA OS FÔRNOS DE MUFLA DE AQUECIMENTO INDIRETO, ONDE A MISTURA DOS GASES DE COMBUSTÃO COM OS GASES REDUTORES NÃO PODE SER EFETUADA.

O MAIOR CUIDADO NO MÉTODO DE BRASAGEM EM FÔRNO ESTÁ LIGADO À MANEIRA DE FIXAÇÃO E SUPORTE DAS PEÇAS, POIS ESTES SÃO IGUALMENTE LEVADOS À TEMPERATURA DA BRASAGEM, TORNANDO-SE FRÁGEIS APÓS SEREM AQUECIDOS SUCESSIVAMENTE. OS MÉTODOS RECOMENDADOS PARA A FIXAÇÃO DOS CONJUNTOS SÃO: Prensas de aperto, parafusamento, rebitemento, etc.

E.3 BRASAGEM POR INDUÇÃO

A BRASAGEM POR INDUÇÃO BASEIA-SE NO PRINCÍPIO DE GERAÇÃO DE CORRENTES DE FOUCAULT NA SUPERFÍCIE DAS PEÇAS A SEREM UNIDAS. ESSAS CORRENTES, GERADORAS DE CALOR (CONSEQUENTE DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA DO CONJUNTO E DAS PERDAS POR HISTERESE, NO CASO DAS PEÇAS SEREM COMPOSTOS POR MATERIAIS MAGNÉTICOS), SÃO ORIGINADAS DO CAMPO MAGNÉTICO DE POLARIDADE INVERSA QUE É PRODUZIDO PELO CONJUNTO COMO RESPOSTA AO CAMPO PRODUZIDO PELA BOBINA, COLOCADA NAS PROXIMIDADES DO CONJUNTO, ALIMENTADA POR UMA TENSÃO ALTERNADA.

COMO ESSE EFEITO É UMA CARACTERÍSTICA DOS METAIS FERRO - MAGNÉTICOS APLICAMOS, CONSEQUENTEMENTE, ESTE PROCESSO PARA OS METAIS FERROSOS, EM ESPECIAL O AÇO CARBONO E SUAS LIGAS. NO CASO DE MATERIAIS NÃO FERRO-MAGNÉTICOS (ALUMÍNIO, COBRE, ETC) O PROCESSO PODE SER INVIÁVEL ECONOMICAMENTE, POIS ESTES REQUEREM INTENSIDADES DE CAMPO MUITO MAIORES.

ESTE PROCESSO OBEDECE AOS MESMOS CUIDADOS OBSERVADOS NA PREPARAÇÃO DA JUNTA PARA A BRASAGEM EM FÔRNO, COM A VANTAGEM DE NÃO NECESSITAR DE ATMOSFERA PROTETORA (O PROCESSO É BASTANTE RÁPIDO, NÃO OCORRENDO OXIDAÇÃO). DESSE FORMA A PRINCIPAL VARIÁVEL DO PROCESSO É O TEMPO (BASTANTE CURTO) NECESSÁRIO PARA O CALOR PENETRAR PROFUNDAMENTE NA PEÇA (NA BRASAGEM NECESSITAMOS DE UMA BOA PENETRAÇÃO DO CALOR, GARANTINDO, ASSIM, QUE AS PARTES INTERNAS ATINJAM A TEMPERATURA INDICADA PARA A BRASAGEM). ESTE TEMPO É CONTROLADO ATRAVÉS DA FREQUÊNCIA INDUZIDA NA BOBINA, POIS ESTA É INVERSAMENTE PROPORCIONAL A PROFUNDIDADE DE PENETRAÇÃO DAS CORRENTES DE FOUCAULT, E PORTANTO, DO CALOR.

E.4 BRASAGEM POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA

ESTE PROCESSO CARACTERIZA-SE PELA PASSAGEM DE UMA CORRENTE ELÉTRICA ATRAVÉS DAS PEÇAS, EMPREGANDO-SE ELÉTRODOS DE LIGAS DE COBRE OU CARBONO. NESTES CASOS O MATERIAL DE INDUÇÃO É COLOCADO PRÉVIAMENTE. NORMALMENTE É UTILIZADO UM FLUXO OU ATÉ MESMO UMA CORRENTE DE HIDROGÊNIO DURANTE A PASSAGEM DE CORRENTE, PARA EVITAR A OXIDAÇÃO.

OS METAIS DE ADIÇÃO UTILIZADOS SÃO DE BAIXO PONTO DE FU -

SÃO. OS MATERIAIS MAIS FREQUENTEMENTE EMPREGADOS SÃO: PRATA, COBRE-FÓSFORO, COBRE-ZINCO, ETC.

O MÉTODO DE BRASAGEM POR RESISTÊNCIA COM ELÉTRODOS DE CARBONO É PRINCIPALMENTE INDICADO PARA METAIS DE ALTA CONDUTIBILIDADE ELÉTRICA, POIS ESTES NÃO PODEM SER AQUECIDOS ELETRICAMENTE (BAIXA RESISTÊNCIA E ALTA CONDUTIBILIDADE TÉRMICA). O CALOR NESTE CASO, É GERADO PELA RESISTÊNCIA ELÉTRICA OFERECIDA À PASSAGEM DE CORRENTE PELOS ELÉTRODOS DE CARBONO E NÃO DAS PEÇAS A SEREM BRASADAS.

E.5 BRASAGEM POR BANHOS DE SAL

NESTE PROCESSO O CONJUNTO DE PEÇAS SÃO MERGULHADAS NUM BANHO, APÓS A PROTEÇÃO COM UMA CAMADA DE FLUXO, MANTIDO À UMA TEMPERATURA APROPRIADA PARA AQUECER AS JUNTAS E FUNDIR O METAL DE ADIÇÃO. O EXCESSO DO METAL DE ADIÇÃO ESCORRE NA JUNTA POR CAPILARIDADE, GOTEJANDO QUANDO A PEÇA É RETIRADA DO BANHO.

OS METAIS DE ADIÇÃO EMPREGADOS SÃO COMPOSTOS POR ZN (45,0 A 50,0) E CU (50,0 A 55,0), UTILIZANDO-SE NA BRASAGEM UM FLUXO DE BÓRAX.

O BANHO DE SAL DEVE POSSUIR PROPRIEDADES DECAPANTES COM O OBJETIVO DE RETIRAR O METAL DE ADIÇÃO EXCEDENTE. UMA OUTRA POSSIBILIDADE É UTILIZARMOS UMA SOLUÇÃO AQUOSA DE SODA CÁUSTICA OU CIANURETO DE SÓDIO. ESTE BANHO NÃO ALTERA OS METAIS FERROSOS.

2.6.2 SOLDABRASAGEM

A - INTRODUÇÃO

NESTE PROCESSO, AS LIGAS DE ADIÇÃO CARACTERIZAM-SE POR POSSUIREM ALTO TEOR DE COBRE E FUNDIREM ENTRE 650°C E 920°C. GERALMENTE, O AQUECIMENTO É FEITO PELO EMPREGO DE MAÇARICO OXIACETILÊNICO.

A LIGA MAIS EMPREGADA PARA O METAL DE ADIÇÃO É UM LATÃO ESPECIAL, CONTENDO CÉRCOA DE 59,0 DE COBRE, 39,0 DE ZINCO, E PEQUENOS TEORES DE ESTANHO, SILÍCIO E MANGANÊS. O NÍQUEL ATÉ 2,0 PODE ESTAR PRESENTE. ESSA LIGA FUNDE EM TORNO DE 900°C, TEMPERATURA PRÓXIMA DA DE EBULIÇÃO DO ZINCO. A EVAPORAÇÃO DESSA LIGA É, ENTRETANTO, EVITADA PELA PRESENÇA DO MANGANÊS E DO SILÍCIO.

B - FLUXOS

OS FLUXOS APLICADOS NESTE PROCESSO APRESENTAM MISTURAS DE HIDRATADAS DE ÁCIDO BÓRICO AO QUAL ADICIONA-SE ÀS VEZES FOSFATOS E HALOGENETOS DIVERSOS. O FLUXO DEPOSITADO DEVE FUNDIR SE ABAIXO DO PONTO DE FUSÃO DA LIGA DEPOSITADA, DEVENDO TAMBÉM CONSERVAR-SE LÍQUIDO DENTRO DOS INTERVALOS DE TEMPERATURA DE ADERÊNCIA.

ESSE FLUXO APRESENTA PROPRIEDADES CARACTERÍSTICAS À DISSOLUÇÃO DOS ÓXIDOS DOS METAIS CORRENTES (FERRO, PRATA, ZINCO, COBRE, ETC), NÃO OBTENDO O MESMO RESULTADO QUANDO OS METAIS POSSUEM EM SUAS COMPOSIÇÕES QUÍMICAS ELEMENTOS COMO O ALUMÍNIO, CROMO, ETC; OS QUAIS IMPEDEM A ADERÊNCIA DO METAL DE ADIÇÃO. NESTE CASO É NECESSÁRIO A ADIÇÃO DE OUTRAS SUBSTÂNCIAS ÀS MISTURAS (COMPOSTOS DE FLUOR) QUE FACILITEM A ADERÊNCIA.

O FLUXO PODE SER APLICADO SOB A FORMA DE PÓ, PASTAS (NORMALMENTE A BASE DE ALCÓOL) OU VARETAS DE METAL DE ADIÇÃO ENVOLTAS EM FLUXO (FIOS REVESTIDOS).

C - RESISTÊNCIA MECÂNICA

AS SOLDABRASAGENS NÃO QUEBRAM NORMALMENTE NO LUGAR DA JUNÇÃO, PODENDO, PORTANTO, ESTABELECE-SE A RESISTÊNCIA DO CONJUNTO CALCULANDO SEPARADAMENTE A RESISTÊNCIA DO CORDÃO DE METAL DE ADIÇÃO E DAS PEÇAS ADJACENTES. AS CONTRAÇÕES QUE OCORREM COM AS VARIAÇÕES DE TEMPERATURA SÃO FÁCEIS DE SEREM DETERMINADAS, SENDO CONHECIDOS OS COEFICIENTES DE DILATAÇÃO DOS MATERIAIS DO CONJUNTO.

O MAIOR DEFEITO DA SOLDABRASAGEM RESIDE NA BAIXA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO, DEVIDO AO BAIXO COEFICIENTE DE ELASTICIDADE DAS JUNTAS BRASADAS.

D - SOLDABRASAGEM DE LIGAS DE COBRE

O COBRE DESOXIDADO, OU NÃO, PODE SER SOLDABRASADO. O COBRE NÃO DESOXIDADO, CUJA SOLDAGEM OBTACETILÊNICA DÁ LUGAR A INCONVENIENTES, PODE SER SOLDABRASADO MAIS FACILMENTE. COMO O METAL BASE NÃO ATINGE O PONTO DE FUSÃO, HÁ MENOS RISCOS DE POROSIDA-

DES CAUSADAS PELA PRODUÇÃO DE VAPOR. O RISCO DE INCLUSÕES DE GÁS É FACILMENTE EVITADO COM A REGULAGEM DA CHAMA OXIDANTE, PARA LIMITAR A VOLATIZAÇÃO DO ZINCO NA VARETA DE ADIÇÃO.

2.6.3 SOLDAGEM FRACA

A - INTRODUÇÃO

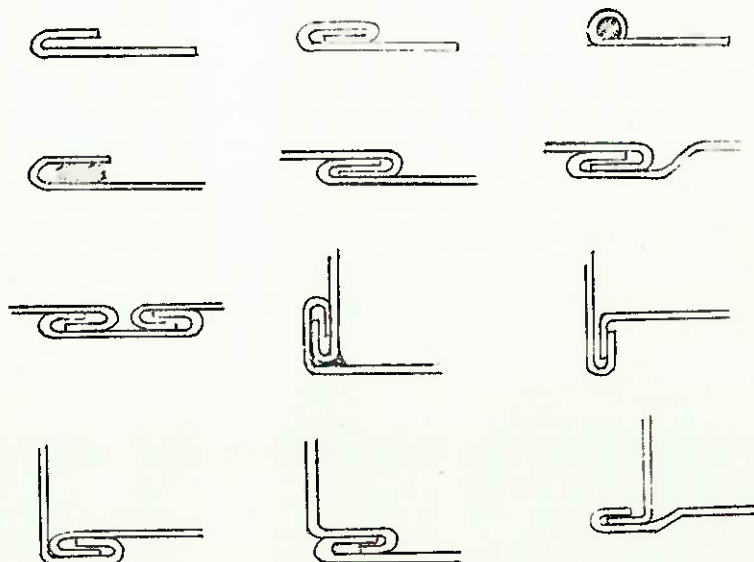
NA SOLDAGEM FRACA A MONTAGEM É OBTIDA POR ATRAÇÃO CAPILAR DE UMA LIGA LÍQUIDA, QUE ESCORRE ENTRE DUAS SUPERFÍCIES BASTANTE PRÓXIMAS; O PONTO DE FUSÃO DA LIGA NÃO ULTRAPASSA 300°C.

COMO NA BRASAGEM (SOLDAGEM FORTE), O METAL DE BASE NÃO SE FUNDE, FORMANDO-SE NO LOCAL UMA LIGA ENTRE O METAL DE ADIÇÃO E O METAL BASE.

B - MONTAGEM

NA BRASAGEM FRACA, A UNIÃO TRABALHA POR COMPRESSÃO OU CIZALHAMENTO. UM RECOBRIMENTO SIMPLES É O SUFICIENTE NA MAIORIA DOS CASOS.

A SOLDAGEM FRACA APRESENTA UMA BAIXA RESISTÊNCIA, SENDO NECESSÁRIO EVITAR QUE ELA FIQUE SOB TENSÃO. UM DOS RECURSOS UTILIZADOS PARA AUMENTARMOS A RESISTÊNCIA É O USO DE DOBRAS ANTES DA SOLDAGEM. A RIGIDEZ DA DOBRA REFORÇA A MONTAGEM, MAS DEVE SER RESERVADO UM ESPAÇO CAPILAR ONDE O METAL DE ADIÇÃO LÍQUIDO PODERÁ PENETRAR (FIGURA ABAIXO).



C - PREPARAÇÃO DAS JUNTAS

É NECESSÁRIO QUE AS SUPERFÍCIES A SEREM UNIDAS POR SOLDAGEM FRACA ESTEJAM BEM LIMPAS E ISENTAS DE PARTÍCULAS ESTRANHAS (CASO DE ESMERILHAMENTO). AS PEÇAS ENGRAXADAS DEVEM SER DESNGORDURADOS QUÍMICAMENTE. A DECAPAGEM PODE SER EFETUADA COM ÁCIDO, SEGUINDO-SE UMA LAVAGEM COM ÁGUA E SECAGEM DA ZONA A SER SOLDADA.

D - FLUXOS E MÉTODOS DE SOLDAGEM FRACA

A ESCOLHA DO FLUXO PARA SOLDAGEM FRACA DEVE SER FEITA DE ACÓRDO COM AS INDICAÇÕES DOS FABRICANTES. UM BOM FLUXO DEVE SER UM SOLVENTE ATIVO, MAS NÃO DEVE SER CORROSIVO. O MAIS UTILIZADO É COMPOSTO DE CLORETO DE ZINCO; ENTRETANTO, SUA UTILIZAÇÃO EXIGE ALGUNS CUIDADOS, POIS PODE PROVOCAR CORROSÕES APÓS A SOLDAGEM. DEVE SER LAVADO COM ÁGUA QUENTE, EM UMA SOLUÇÃO DE ÁCIDO CLORÍDRICO (± UMA GOTTA POR LITRO); NEUTRALIZA-SE EM SEGUIDA COM ÁGUA QUENTE CONTENDO UM POUCO DE SODA (NaOH, HIDRÓXIDO DE SÓDIO).

OUTROS FLUXOS UTILIZADOS SÃO: O CLORETO DE AMÔNIO, O ÁCIDO ORTOFOSFÓRICO (EM SOLUÇÃO 40% EM VOLUME), O ÁCIDO LÁCTICO (EM SOLUÇÃO 25% POR VOLUME); ESTE ÚLTIMO MAIS CARO E CORROSIVO.

NO CASO DE NÃO SER POSSÍVEL PROCEDERMOS A REMOÇÃO DO FLUXO APÓS A SOLDAGEM, RECOMENDA-SE A UTILIZAÇÃO DOS FLUXOS DE RESINA (MENOS CORROSIVOS). A RESINA É UM ÁCIDO ORGÂNICO SÓ ATIVO QUANDO FUNDIDO, SENDO SEU MELHOR DISSOLVENTE O ÁCIDO METÁLICO.

OS MÉTODOS DE SOLDAGEM FRACA APRESENTAM UMA GRANDE SEMELHANÇA COM OS DE BRASAGEM (MAÇARICO, FURNOS ELÉTRICOS, INDUÇÃO POR RESISTÊNCIA, ETC), CONSIDERANDO-SE EVENTUALMENTE AS DIFERENÇAS DE TEMPERATURA EXISTENTES E OS FLUXOS A SEREM UTILIZADOS.

UM DOS MÉTODOS DE AQUECIMENTO MAIS COMUNS, NA SOLDAGEM FRACA É A UTILIZAÇÃO DO CHAMADO FERRO DE SOLDAGEM, O QUAL ENTRETANTO, É FREQUENTEMENTE DE COBRE, DEVIDO A SUA EXCELENTE CONDUTIBILIDADE. ESSA FERRAMENTA É AQUECIDA ELETRICAMENTE, OU POR OUTRO MEIO QUALQUER, A UMA TEMPERATURA MUITO ABAIXA DA TEMPERATURA DE SOLDAGEM FRACA E EM SEGUIDA MANTIDA DE ENCONTRO À PEÇA PARA AQUECER A JUNTA POR CONDUÇÃO. A LIGA DE ADIÇÃO É ENTÃO APLICADA NAS SUPERFÍCIES A SOLDAR E, EM ALGUNS CASOS, NO PRÓPRIO

FERRO DE SOLDAR, DE MODO A QUE O METAL DE ADIÇÃO FLUA NAS JUNTAS.

F - RESISTÊNCIA DOS CONJUNTOS SOLDADOS

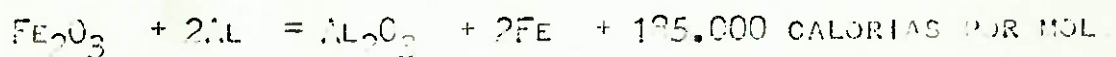
A RESISTÊNCIA DE UMA JUNTA SOLDADA DEPENDE DE UM CERTO NÚMERO DE FATORES, MUITOS DOS QUAIS JÁ CONSIDERADOS DURANTE NOSSO ESTUDO (TEMPERATURA DE SOLDAGEM, DURAÇÃO DA OPERAÇÃO, PREPARAÇÃO DA JUNTA).

A RESISTÊNCIA DA JUNTA NÃO SERÁ A DO METAL DE ADIÇÃO NA ESTRUTURA FUNDIDA, POIS SÃO FORMADOS NA INTERDIFUSÃO DA LIGA E DO METAL DE BASE, COMPOSTOS QUÍMICOS QUE MODIFICAM COMPLETAMENTE A ESTRUTURA DA JUNTA. OS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA PERMITIRAM DEMONSTRAR QUE OS METAIS DE ADIÇÃO CONTENDO CHUMBO E ESTANHO APRESENTAM UMA RESISTÊNCIA MAIOR AOS DEJAIS (ANTIMÔNIO, PRATA, ETC).

A LIGA MAIS COMUM, PARA SERVIÇOS GERAIS DE SOLDAGEM, APRESENTA 50% DE CHUMBO E 50% DE ESTANHO.

4 - SOLDAGEM ALUMÍNIO - TÉRMICA

ESTE PROCESSO BASEIA-SE NA UTILIZAÇÃO DO CALOR GERADO PELA REAÇÃO QUE ENVOLVE A COMBUSTÃO EM QUE UMA MISTURA DE ALUMÍNIO EM PÓ (20 A 22%) E ÓXIDO DE FERRO, NA FORMA DE CASCA DE LAMINAÇÃO (80 A 78%) QUEIMA:



A COMBUSTÃO DA MISTURA ALUMÍNIO-TÉRMICA PODE DESENVOLVER TEMPERATURAS DA ORDEM DE 2500°C A 2750°C.

NO PROCESSO DE SOLDAGEM ALUMÍNIO-TÉRMICA, UM MOLDE REFRACTÁRIO É COLOCADO SOBRE A JUNTA, CUJAS SUPERFÍCIES SOBREPOSTAS FORAM PRELIMINARMENTE LIMPAS. EM UM CADINHO ESPECIAL, FAZ-SE CORRER A REAÇÃO QUÍMICA: O FERRO LÍQUIDO PRODUZIDO É DEIXADO VAZAR NO MOLDE, FUNDINDO QUANTIDADE APRECIÁVEL DO METAL-BASE E PRODUZINDO A SOLDA.

ESTE PROCESSO É EMPREGADO NA UNIÃO DE TRILHOS, TUCOS E NO REPARO DE PEÇAS PESADAS, PRINCIPALMENTE.

5 - SOLDAGEM A ARCO

5.1 INTRODUÇÃO

ESTE É O PROCESSO MAIS EXTENSAMENTE USADO. É DO TIPO CHAMADO SOLDAGEM AUTÓGENA OU SEJA, NO PROCESSO O MATERIAL BASE PARTICIPA POR FUSÃO NA CONSTITUIÇÃO DA SOLDA. NELE A FONTE DE CALOR É UM ARCO ELÉTRICO.

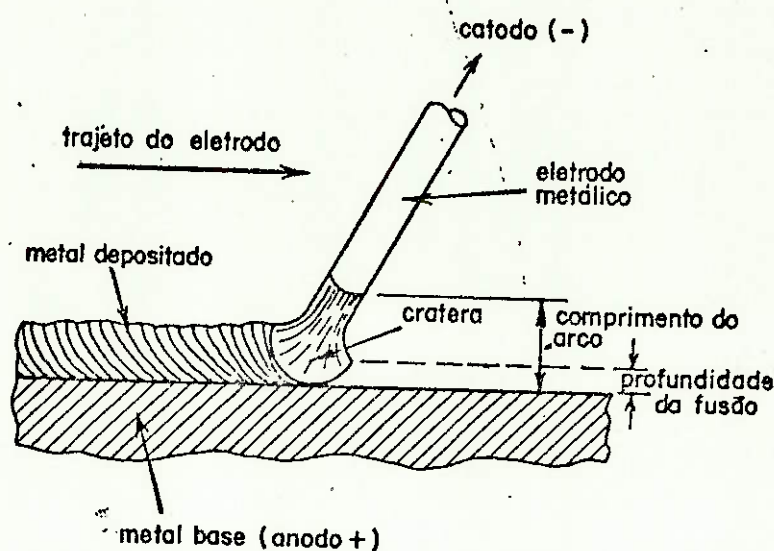


FIG. 5.1 - SOLDAGEM A ARCO ELÉTRICO

A FIGURA 1 MOSTRA O PROCESSO DE SOLDAGEM POR ARCO ELÉTRICO: O ARCO DE SOLDAGEM É FORMADO AO PASSAR UMA CORRENTE ENTRE UMA BARRA DE METAL, QUE CONSTITUI O ELÉTRODO E CORRESPONDE AO POLO NEGATIVO OU CÁTODO E O METAL ORIGINAL (BASE), QUE CORRESPONDE AO POLO POSITIVO OU ANODO. O CHAMA DO ARCO TEM A FORMA DE UMA COLUNA QUE SE ALARGA EM DIREÇÃO À SUPERFÍCIE DA PEÇA. NO PÉ DA COLUNA, FORMA-SE A CRATERA DO ARCO OU A BACIA DA SOLDA. PARA DAR ORIGEM AO ARCO É NECESSÁRIO QUE O ELÉTRODO SEJA BAIXADO ATÉ A PEÇA, DE MODO QUE A CORRENTE COMECE A FLUIR.

O INTERVALO ENTRE A EXTREMIDADE FUNDIDA DA BARRA OU ELÉTRODO E A SUPERFÍCIE DA BACIA FORMADA SÃO OCUPADOS POR UM ME

TO INCANDESCENTE, QUE É UMA MISTURA DE AR PARCIALMENTE IONIZADO E AS SUBSTÂNCIAS GASOSAS QUE APARECEM A TEMPERATURAS ELEVADAS, DEVIDO À INTERAÇÃO ENTRE O MATERIAL DO ELÉTRODO E SER REVESTIMENTO QUÍMICO E AR.

NORMALMENTE, ATÉ 90% DO METAL TOTAL DE UM ELÉTRODO CONSUMÍVEL FLUI COMO GOTAS DO ELÉTRODO À BACIA DA SOLDA. OS OUTROS 10% NÃO ATINGEM A BACIA DEVIDO AO ESBORRIFAMENTO, VAPORIZAÇÃO E OXIDAÇÃO.

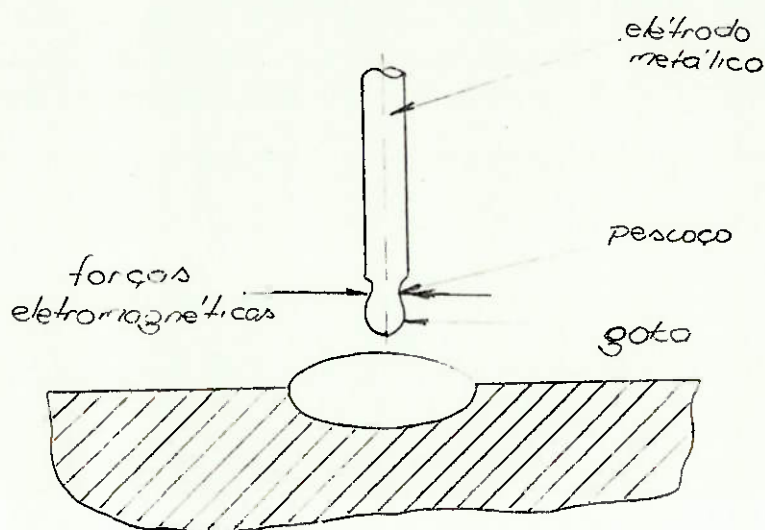


FIG. 5.2 - FORMAÇÃO DE 'GOTA' DO METAL LÍQUIDO A PARTIR DO ELÉTRODO.

A FIGURA 5.2 MOSTRA ESQUEMATICAMENTE A FORMAÇÃO DE UMA GOTA DE METAL LÍQUIDO A PARTIR DO ELÉTRODO. AS GOTAS SÃO TRANSPORTADAS DO ELÉTRODO À BACIA POR FORÇAS DE GRAVIDADE, TENSÃO / SUPERFICIAL, PRESSÃO DOS GASES EVOLUIDO DO METAL E POR FORÇAS ELETROMAGNÉTICAS QUE PROMOVEM O EFEITO DE ESTRANGULAMENTO. A FORMA ESFÉRICA DAS GOTAS É CONFERIDA PELA TENSÃO SUPERFICIAL.

PARA FORMAR O ARCO BASTA UMA DIFERENÇA DE POTENCIAL RELATIVAMENTE BAIXA ENTRE OS ELÉTODOS; PARA CORRENTE CONTÍNUA DE 40 A 50 VOLTS, E PARA CORRENTE ALTERNADA, DE 50 A 60 VOLTS. DEPOIS QUE O ARCO ESTIVER ESTABELECIDO, A VOLTAGEM CAI. ASSIM / SENDO, UM ARCO ESTÁVEL PODE SER MANTIDO ENTRE UM ELÉTRODO METÁLICO E A PEÇA COM UMA VOLTAGEM ENTRE 15 E 30 VOLTS, AO PASSO / QUE SÃO NECESSÁRIOS DE 30 A 35 VOLTS PARA MANTER O ARCO ENTRE UM ELÉTRODO DE CARBONO OU GRAFITA E O METAL BASE.

A MAIOR VANTAGEM DA CORRENTE CONTÍNUA EM RELAÇÃO A CORRENTE ALTERNADA É A MAIOR ESTABILIDADE DE ARCO.

5.2 PROCESSOS ATUAIS DE SOLDAGEM A ARCO VOLTAICO

5.2.1 SOLDAGEM COM ELÉTODOS REVESTIDOS

A - INTRODUÇÃO

OS PRIMEIROS ELÉTODOS PARA SOLDAGEM ERAM DE CARBONO, INVENÇÃO DE NIKOLAUS BENARDOS, COM O METAL SENDO ADICIONADO POR MEIO DE UMA VARINHA À PARTE, COMO NA SOLDAGEM A CHAMA. O ELÉTRODO DE AÇO NÚ (SEM REVESTIMENTO), APÓS FUSÃO NO AR PERDE POR OXIDAÇÃO GRANDE PARTE DE SEU CARBONO, MANGANÊS E SILÍCIO, ENQUANTO QUE O NITROGÊNIO DO AR FORMA NITRETO. OS ÓXIDOS E NITRETO, ASSIM FORMADOS, FICAM ENCERRADOS NA SOLDA REDUZINDO SUA RESISTÊNCIA E DUTILIDADE.

A TÉCNICA MODERNA EVITA TAL INCÔNVENIENTE POR MEIO DE CRIAÇÃO, EM TORNO DO ARCO, DE UM AMBIENTE GASOSO ADQUADO À DEPOSIÇÃO DO MATERIAL DE ADIÇÃO, BEM COMO À ESTABILIDADE E ORIENTAÇÃO DO ARCO. ESSES GASES SÃO PRODUZIDOS PELA QUEIMA DE UM DETERMINADA SUBSTÂNCIA COLOCADA EM TORNO DO ELÉTRODO QUANDO DE SUA FABRICAÇÃO. ESSAS SUBSTÂNCIAS, QUE CONSTITUEM O REVESTIMENTO DO ELÉTRODO, ASSUMEM IMPORTÂNCIA FUNDAMENTAL NA SOLDAGEM, INFLUINDO TANTO SUA COMPOSIÇÃO QUÍMICA COMO SUA ESPESURA.

ASSIM, OS ELÉTODOS REVESTIDOS COMPÕES-SE DE DUAS PARTES: O NÚCLEO METÁLICO CONDUTOR DE CORRENTE, O QUE SE CHAMA COMUMENTE DE ALMA DO ELÉTRODO, E O REVESTIMENTO.



Fig. 5.3 - SOLDAGEM COM ELÉTRODO REVESTIDO

B - DIMENSÕES DOS ELÉTRÓDOS

O DIÂMETRO INDICADO PARA OS ELÉTRÓDOS REFEREM-SE SOMENTE À ALMA. OS DIÂMETROS COMERCIAIS MAIS COMUNS VARIAM ENTRE 2 E 6MM, PARA COMPRIMENTOS DE 350 MM E 450 MM.

PODE-SE DISTINGUIR, SEGUNDO A ESPESURA DO REVESTIMENTO / OS SEGUINTE TIPOS :

1. ELÉTRÓDOS DE REVESTIMENTO TÊNUE (PECULIAR): POUCO CO - MUNS, COM ESPESURA MENOR QUE 10% DO DIÂMETRO DA ALMA.

2. ELÉTRÓDOS DE REVESTIMENTO FINO: ESPESURA DO REVESTI - MENTO ENTRE 10 E 20% DO DIÂMETRO DA ALMA.

3. ELÉTRÓDOS DE REVESTIMENTO SEMI-ESPESO: REVESTIMENTO / COM ESPESURA ENTRE 20 E 40% DO DIÂMETRO DA ALMA.

4. ELÉTRÓDOS DE REVESTIMENTO ESPESO: REVESTIMENTO COM ES - PESSURA MAIOR QUE 40% DO DIÂMETRO DA ALMA.

PARA UMA DADA COMPOSIÇÃO DO REVESTIMENTO, A QUALIDADE DO METAL DEPOSITADO É TANTO MELHOR QUANTO MAIOR FOR A SUA ESPESU - RA. ATUALMENTE, PARA TRABALHOS DE QUALIDADE, EMPREGAM-SE SOMEN - TE ELÉTRÓDOS DE REVESTIMENTO SEMI-ESPESOS OU ESPESOS.

PARA A ESCOLHA DA INTENSIDADE DE CORRENTE DE SOLDAGEM IN - FLUI TANTO O DIÂMETRO DO ELÉTRÓDO, COMO O TIPO DE REVESTIMENTO, ALÉM DE OUTROS TANTOS FATORES. TODAVIA, PARA CADA TIPO DE RE - VESTIMENTO HÁ UM LIMITE MÍNIMO DE CORRENTE, ABAIXO DO QUAL O / ARCO SERIA INSTÁVEL, E UM LIMITE MÁXIMO, ACIMA DO QUAL O ELÉ - TRODO CREPITA, OU O REVESTIMENTO SE DANIFICA. OS ELÉTRÓDOS DE REVESTIMENTO MAIS ESPESOS SÃOOS QUE NECESSITAM DE CORRENTES / MAIS ALTAS, DESDE QUE AS DENAIS CONDIÇÕES SEJAM AS MESMAS.

A ESPESURA DA PEÇA INFLUI NA ESCOLHA DO DIÂMETRO DO ELÉ - TRODO. PRATICAMENTE, EXISTE UMA ESPESURA ABAIXO DA QUAL É IM - POSSÍVEL SOLDAR COM UM ELÉTRÓDO DE DETERMINADO DIÂMETRO, PORQUE SERIA PRECISO, PARA EVITAR FURROS NA CHAPA OU ENTALHES NO PÉ DA SELDA, DESER A VALORES DE CORRENTE ABAIXO DA INTENSIDADE MÍN - MA CORRESPONDENTE ÀQUELE DIÂMETRO, OU ENTÃO AVANÇAR A UMA VELO - CIDADE QUE SERIA IMPRATICÁVEL PARA CONDIÇÕES MANUAIS.

9 - FUNÇÕES DO REVESTIMENTO

OS REVESTIMENTOS SÃO CONSTITUÍDOS DE PRODUTOS COMPLEXOS / QUE EXERCEM DURANTE AS SOLDAGENS, INÚMERAS FUNÇÕES.

A) ISOLAMENTO ELÉTRICO.

O REVESTIMENTO É MAU CONDUTOR DE ELETRICIDADE ; ELE ISOLA O ELÉTRODO EVITANDO ABERTURAS LATERAIS DE ARCO.

B) ISOLAMENTO TÉRMICO

O ELÉTRODO É PERCORRIDO POR CORRENTES ALTAS E DEVIDO AO / SEU COMPRIMENTO HÁ INTENSA GERAÇÃO DE CALOR; EM PARTE, O REVESTIMENTO ABRIGA ESTE CALOR E EVITA SUA PERDA.

C) DIRECIONAMENTO DO ARCO

EM CERTOS CASOS, O REVESTIMENTO FUNDE-SE COM ATRASO EM RE LAÇÃO À ALMA E EM CONSEQUÊNCIA, FORMA-SE NA EXTREMIDADE DO MES MO, UMA CRATERA QUE GUIA O METAL FUNDIDO PARA A POÇA DE FUSÃO, ESTABILIZANDO O ARCO E PROTEGENDO O METAL FUNDIDO. CHAMA-SE A ISTO "EFEITO DE CANHÃO". EM CERTOS CASOS, A CRATERA FORMADA / PERMITE A SOLDAGEM APOIANDO-SE O ELÉTRODO NA PEÇA, TORNADO-A / MAIS FÁCIL.

D) FUNÇÃO METALÚRGICA

EM ALGUNS CASOS, O REVESTIMENTO PODE CONTER ELEMENTOS DE LIGA QUE, QUANDO DE SUA FUSÃO, FICAM INSERIDOS NA JUNTA. MUI TOS POSSUEM PÓ DE FERRO, QUE PROPICIAM UMA MAIOR PRODUÇÃO DE MATERIAL DE ADIÇÃO E UM BOM ACABAMENTO DA SOLDA. A PRESENÇA DE SILÍCIO TAMBÉM É UMA CONSTATANTE DOS REVESTIMENTOS E ATUA COMO A GENTE DESOXIDANTE, POIS A POÇA DE FUSÃO CONTÉM OXIGÊNIO, PROVE NIENTE DA DISSOCIAÇÃO DO CO_2 (ORIGUNDO DA QUEIMA DOS REVESTI MENTOS COM CARBONATOS) OU PROVENIENTE DO VAPOR D'ÁGUA (CONSE QUENTE DA UNIDADE DO REVESTIMENTO OU DE SUA PRÓPRIA ÁGUA DE / CONSTITUIÇÃO). TAMBÉM DA QUEIMA DO REVESTIME TO, SURGEM GASES REDUTORES (CO E H_2) E, DESSE MODO, O CONJUNTO RESULTANTE, COM POSTO DESSER GASES, ESCÓRIA FUNDIDA E APOÇA METÁLICA, SE ACSE MELHA A UM FORNO EM MINIATURA DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO . APÓS A SOLIDIFICAÇÃO DA POÇA METÁLICA, A ESCÓRIA SOLIDIFICADA ACIMA DO METAL, TRATA TERMICAMENTE A SOLDA, EVITANDO UM RESFRI

AMENTO DEMASTIADO RÁPIDO DAS CAMADAS SUPERFICIAIS.

E) PROTEÇÃO DO METAL FUNDIDO

O REVESTIMENTO FUNDE FORMANDO UMA PELÍCULA DE ESCÓRIA QUE RECUBRE CADA GOTA DO METAL EM FUSÃO E TAMBÉM A POÇA LÍQUIDA, EVITANDO O CONTATO COM O AR. A ESCÓRIA FUNDIDA MODIFICA O COMPORTAMENTO SUPERFICIAL (TENSÃO SUPERFICIAL) DO BANHO DE FUSÃO, O QUE PODE FACILITAR A SOLDAGEM EM POSIÇÕES DIFERENTES DA PLANA. ALGUNS REVESTIMENTOS, DURANTE A FUSÃO, DÃO ORIGEM A GRANDE QUANTIDADE DE GASES QUE, EM TEMPERATURA ELEVADA, SOFREM GRANDE EXPANSÃO, COMO É O CASO DOS ELÉTODOS CELULÓSICOS (ORGÂNICOS). NESSE CASO, A PROTEÇÃO DO METAL FUNDIDO PROCESSA-SE MENOS PELA AÇÃO DA ESCÓRIA E MAIS PELA AÇÃO DE UMA CORTINA GASOSA. ESTES GASES E MAIS OS CONSTITUINTES, EXPANDEM-SE VIOLENTAMENTE, PROVOCANDO MICRO-EXPLOSÕES NA CRATERA DO MESMO, QUE, SE O ELÉTOD FOR DOTADO DE "EFEITO DE CANHÃO", BENEFICIAM A TRANSFERÊNCIA DO METAL PARA A PEÇA. QUANDO NA ATMOSFERA DO ARCO (PLASMA) EXISTIR HIDROGÊNIO, UMA CERTA QUANTIDADE, SOB A FORMA DE HIDROGÊNIO ATÔMICO, SERÁ DISSOLVIDA NO BANHO DE FUSÃO, PODENDO OCASIONAR INCÔVENIENTES. A PRESENÇA DO HIDROGÊNIO PODERÁ SER VISUALIZADA NA SEÇÃO DE RUPTURA DOS CORPOS DE PROVA DO ENSAIO DE TRAÇÃO. CERTOS ELÉTODOS NÃO POSSUEM QUALQUER TIPO DE SUBSTÂNCIA HIDROGENADA E SOFREM TRATAMENTO DE DESIDRATAÇÃO ESPECIAL. SÃO OS ELÉTODOS BÁSICOS, TAMBÉM CHAMADOS DE 'BAIXO TEOR DE H₂ DROGÊNIO'.

F) FUNÇÃO IONIZANTE

OS GASES EMANADOS DO REVESTIMENTO, QUANDO DE SUA QUEIMA, SÃO MUITO MAIS FACILMENTE IONIZÁVEIS DO QUE O AR E, POR ISSO, PROPICIAM UMA ABERTURA E MANUTENÇÃO MAIS FÁCIL DO ARCO, MINIMIZANDO INCLUSIVE O EFEITO DO SOPRO MAGNÉTICO.

D - REVESTIMENTOS E SUAS CARACTERÍSTICAS

1. - CONSTITUIÇÃO DO REVESTIMENTO

D - REVESTIMENTOS E SUAS CARACTERÍSTICAS

1. - CONSTITUIÇÃO DO REVESTIMENTO

OS REVESTIMENTOS SÃO CONSTITUÍDOS DE PRODUTOS COMPLEXOS / QUE, DE UMA MANEIRA GERAL, PODEM SER REUNIDOS EM TRÊS GRANDES GRUPOS :

- REVESTIMENTOS A BASE MINERAL;
- REVESTIMENTOS A BASE DE MATÉRIA ORGÂNICA; E
- OS CHAMADOS BÁSICOS, A BASE DE CARBONATO DE CÁLCIO.

OS PRIMEIROS, A BASE MINERAL, POSSIBILITAM A PROTEÇÃO DO METAL DE SOLDA, CONTRA OS EFEITOS NOCIVOS DO OXIGÊNIO E DO NITROGÊNIO DO AR, FUNDAMENTALMENTE POR MEIO DE UMA ESCÓRIA LÍQUIDA. OS ORGÂNICOS PROTEGEM, PRINCIPALMENTE, POR MEIO DE UMA CORTINA GASOSA, QUE É PRODUZIDA PELA COMBUSTÃO DO CO MATERIAL ORGÂNICO DO REVESTIMENTO. TRATA-SE DE UM GÁS REDUTOR OU NEUTRO, CONSTITUINDO SOBRETUDO POR CO E CO₂. OS TIPOS BÁSICOS PROTEGEM A SOLDA INDISTINTAMENTE POR AMBOS OS PRINCÍPIOS, EMBORA NELES, A CORTINA DE GÁS REDUTOR (CO) NÃO SEJA PRODUZIDA PELA COMBUSTÃO DE UM MATERIAL ORGÂNICO, MAS PELA DECOMPOSIÇÃO DO CARBONATO DE CÁLCIO E SUA REAÇÃO COM O FERRO, MANGANÊS E SILÍCIO, ELEMENTOS PRESENTES NESTES ELÉTRODOS. ESSES REVESTIMENTOS GERAM / ESCÓRIA DE REAÇÃO BÁSICA. NOS OUTROS TIPOS, A REAÇÃO É ACIDA / OU NEUTRA. DENTRO DE CADA UM DESSES GRUPOS, TEM-SE AINDA TIPOS PARTICULARES INDICADOS A SEGUIR :

A) OXIDANTE : REVESTIMENTO NORMALMENTE ESPESSE, COMPACTO PRINCIPALMENTE DE ÓXIDO DE FERRO E MANGANÊS. PRODUZ ESCÓRIA ESPESSA, COMPACTA E FACILMENTE DESTACÁVEL. POSSIBILITA A INCLUSÃO DE ÓXIDOS MAS PRODUZ CORDÕES DE BELO ASPECTO. É UTILIZADO APENAS PARA SOLDAS SEM RESPONSABILIDADE. RECOMENDA-SE UTILIZAR CO- OU CÂ. OBTÉM-SE PEQUENA PENETRAÇÃO.

B) ACIDA : REVESTIMENTO MÉDIO OU ESPESSE; PRODUZ UMA ESCÓRIA ABUNDANTE E DE MUITO FÁCIL REMOÇÃO, À BASE DE ÓXIDO DE FERRO, ÓXIDO DE MANGANÊS E SÍLICA. É INDICADO SOMENTE PARA A POSIÇÃO PLANA. RECOMENDA-SE UTILIZAR CO- OU CÂ. OBTÉM-SE MÉDIA PENETRAÇÃO. QUANDO SE UTILIZA DESTE TIPO DE ELÉTRODO É NECESSÁRIO QUE O METAL DE BASE TENHA UMA BOA SOLDABILIDADE, SOB O RISCO

CO DE OCORREREM TRINCAS À QUENTE.

c) RUTÍLICO : REVESTIMENTO COM GRANDE QUANTIDADE DE RUTÍLO (TiO_2). PODE-SE SOLDAR EM TODAS AS POSIÇÕES. DELA SUA VERSATILIDADE É CHAMADO DE ELÉTRODO UNIVERSAL. PRODUZ ESCÓRIA ESPessa, COMPACTA, FACILMENTE DESCARTÁVEL E CORDÕES DE BOM ASPECTO. PODE-SE UTILIZAR QUALQUER TIPO DE CORRENTE E POLARIDADE. OBTÉM-SE MÉDIA OU PEQUENA PENETRAÇÃO, CONFORME O TIPO.

d) TITÂNICO : REVESTIMENTO DERIVADO DO TIPO RUTÍLICO, PORÉM COM MAIS ALTO TEOR EM ÓXIDO DE TITÂNIO E COM ESCÓRIA MAIS FLUIDA. USA-SE COM QUALQUER TIPO DE CORRENTE E POLARIDADE. OBTÉM-SE MÉDIA PENETRAÇÃO.

e) BÁSICO : REVESTIMENTO ESPESSE, CONTENDO GRANDE QUANTIDADE DE CARBONATO DE CÁLCIO. PRODUZ POUCA ESCÓRIA E COM ASPECTO VÍTREO. O METAL DEPOSITADO POSSUI MUITO BOAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS. É APLICADO EM SOLDAGENS DE GRANDE RESPONSABILIDADE, DE GRANDES ESPESURAS E EM ESTRUTURAS RÍGIDAS, POR POSSUIR MÍNIMO RISCO DE FISSURAÇÃO A FRIO E A QUENTE. É UM REVESTIMENTO DE BAIXO TEOR DE HIDROGÊNIO E POR ISTO ALTAMENTE HIGROSCÓPICO. TRABALHA-SE COM $CC+$ OU CA . OBTÉM-SE MÉDIA PENETRAÇÃO.

f) CELULÓSICO : REVESTIMENTO CONTENDO GRANDES QUANTIDADES DE SUBSTÂNCIAS ORGÂNICAS COMBUSTÍVEIS; PRODUZ GRANDES QUANTIDADES DE GASES PROTETORES E POUCA ESCÓRIA. EM VIRTUDE DOS GASES FORMADOS NÃO SEREM DE FÁCIL IONIZAÇÃO, É DIFÍCIL A SOLDAGEM, PRODUZ-SE MUITO SALPICO (PEQUENOS FRAGMENTOS DE METAL, QUE DEPOSITAM EM REDOR DO CORDÃO DE SOLDA) E A SOLDA RESULTA DE MAU ASPECTO. RECOMENDA-SE TRABALHAR COM $CC+$ SENDO QUE, EM ALGUNS TIPOS, POSE-SE USAR CA . OBTÉM-SE GRANDE PENETRAÇÃO.

2. - IMPORTÂNCIA DO REVESTIMENTO

EXISTEM ELÉTODOS DE BAIXA PRODUÇÃO DE MATERIAL DE ADIÇÃO (PARA A SOLDA) E OUTROS DE ALTA PRODUÇÃO. OS PRIMEIROS CARACTERIZAM-SE POR PRODUZIREM PROFUNDA FUSÃO DO MATERIAL DE BASE, PRODUZINDO UMA SOLDA COM PEQUENA ADIÇÃO DE MATERIAL. OS SEGUNDOS, AO CONTRÁRIO, GERAM A SOLDA PRINCIPALMENTE COM A ADIÇÃO DE MATERIAL. APRESENTAM-SE, A SEGUIR, AS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

TICAS DE CADA UM DESTES TIPOS PARA DEPOIS, POR EXCLUSÃO, COM-
CEITUAR OS CHAMADOS 'ELÉTRODOS NORMAIS'.

A - ELÉTRODOS DE ALTA PENETRAÇÃO

ALGUNS ELÉTRODOS NOTABILIZAM-SE POR CONSEQUIREM ALTAS PE-
NETRAÇÕES DENTRO DOS LIMETES RECOMENDÁVEIS DE CORRENTE. EM F /
FRESTAS MUITO PEQUENAS, MENORES QUE UM QUARTO (1/4) DE MILÍMETRO,
TAIS ELÉTRODOS SÃO CAPAZES DE ALCANÇAR PENETRAÇÕES MAIORES
QUE SEU DIÂMETRO MAIS UM (1) MILÍMETRO SOLDANDO CHAPAS DE AÇO
COM ESPESSURA E SENDO IGUAL A : $E = 2D + 2$ (MM).

OS ELÉTRODOS CELULÓSICOS SÃO DE ALTA PENETRAÇÃO. CREDI-
TA-SE QUE ISTO SE DEVA AO BAIXO RENDIMENTO DE DEPOSIÇÃO (CERCA
DE 50%) QUE TAIS ELÉTRODOS APRESENTAM, PERMITINDO QUE O ARCO /
INCIDA MAIS DIRETAMENTE SOBRE O MATERIAL DE BASE. EM CONSEQUÊN-
CIA, A SOLDA SERÁ CONSTITUÍDA PRINCIPALMENTE PELO PRÓPRIO MATE-
RIAL DE BASE. NÃO SE UTILIZAM ESTES ELÉTRODOS PARA ENCHIMENTO,
DE CHANFORS, POIS A PRODUÇÃO DE MATERIAL DE ADIÇÃO É RELATIVA-
MENTE BAIXA.

B - ELÉTRODOS DE ALTO RENDIMENTO DE DEPOSIÇÃO

UM ELÉTRODO É DITO DE 'ALTO RENDIMENTO' (EM RELAÇÃO À AL-
MA) QUANDO A MASSA DO METAL DEPOSITADO É IGUAL OU SUPERIOR À
QUELA DA ALMA FUNDIDA, O QUE OCORRE COM A CONTRIBUIÇÃO DE ELE-
MENTOS METÁLICOS EM PÓ (PÓ DE FERRO, FERRO-LIGAS, ETC.) INSERI-
DOS NO REVESTIMENTO.

NO CASO DOS ELÉTRODOS COM PÓ DE FERRO NO REVESTIMENTO. NO
CASO DOS ELÉTRODOS SINTÉTICOS, TAMBÉM DE ALTO RENDIMENTO, ESSE
AUMENTO É CONSEGUIDO NA SUA MAIOR PARTE PELA ADIÇÃO DE FERRO-
LIGAS NO REVESTIMENTO. CHAMAM-SE DE 'ELÉTRODOS SINTÉTICOS' A-
QUELES QUE GERAM UMA SOLDA DE COMPOSIÇÃO MUITO DIFERENTE DA AL-
MA DO ELÉTRODO. POR EXEMPLO, GERAM UMA SOLDA DE AÇO INOXIDÁVEL
A PARTIR DE UMA ALMA DE AÇO COMUM.

ENQUANTO OS ELÉTRODOS NORMAIS APRESENTAM RENDIMENTOS DE
DEPOSIÇÃO MENORES QUE 50%, OS ELÉTRODOS COM PÓ DE FERRO DE A-
CORDO COM A QUANTIDADE DESSE MATERIAL NO REVESTIMENTO, PODEM
CHEGAR ATÉ 250%.

AS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DESSES ELÉTRODOS SÃO AS SE-
GUINTE:

- POSSUEM REVESTIMENTO BASTANTE ESPESSE, O QUE PROPICIA A
SOLDAGEM COM O REVESTIMENTO APOIANDO-SE NO METAL BASE.

- ADMITEM O USO DE CORRENTES MAIS ELEVADAS.

- O CONTEÚDO DE PÓ DE FERRO É TAL QUE NÃO CAUSA PROBLEMAS
DE ABERTURA DE ARCOS LATERAIS, MAS É SUFICIENTE PARA PROPICIAR
UMA ABERTURA DE ARCO POR SIMPLES ATRITO DO REVESTIMENTO NA PE-
ÇA. O CONTATO ELÉTRICO, ENTRE O REVESTIMENTO E A PEÇA, APENAS
PROVOCA UM CALOR ADICIONAL NA SOLDAGEM, NÃO ACARRETANDO NENHUM
OUTRO PREJUÍZO.

- PRODUZEM UM ARCO BASTANTE SUAVE, POUCA SALPICAGEM E GE-
RAM UMA SOLDA DE BOM ACABAMENTO.

- AS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS SÃO, DE UM MODO GERAL, BO-
AS, TODAVIA DEPENDEM PRIMORDIALMENTE DO REVESTIMENTO DE ORIGEM
(ÁCIDO, BÁSICO, RUTÍLICO, ETC.).

- AS VANTAGENS DESSES ELÉTRODOS, NO QUE CONCERNE À PRODU-
ÇÃO, SÃO PARTICULARMENTE OBTIDAS EM SOLDAGEM NA POSIÇÃO PLA-
NA. ISTO PORQUE PERMITEM QUE SE TENHA UM GRANDE VOLUME DE POÇA
DE FUSÃO, EM CONSEQUÊNCIA DO EMPREGO DE ELÉTRODOS DE GRANDE /
DIÂMETRO E DE ALTAS INTENSIDADES DE CORRENTE. DAI O INTERESSE
EM SE UTILIZAR DISPOSITIVOS QUE AUMENTEM A PRODUÇÃO, COMO OS /
VIRADORES E POSICIONADORES.

C - ELÉTRODOS NORMAIS

TODOS OS ELÉTRODOS QUE NÃO SE INCLUEM NOS ÍTEMS ANTERIO-
RES SÃO DITOS ELÉTRODOS NORMAIS. POSSUEM RENDIMENTOS DE DEPOSI-
ÇÃO MENORES QUE 90% E NÃO ALCANÇAM A ALTA PENETRAÇÃO INDICADA,
ISTO É, SENDO $D = e/2 - 1$ OU MENOR.

E - CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS DE ARCO DE ELÉTRODOS REVESTIDOS

AS CARACTERÍSTICAS DE ARCO NAJ SÃO INFLUENCIADAS PELA FON-
TE DE ENERGIA. NO CASO DE SOLDAGEM COM ELÉTRODOS REVESTIDOS, É

LAS DEPENDERÃO DA CONSTITUIÇÃO DO REVESTIMENTO, DA COMPOSIÇÃO E DIÂMETRO DA ALMA E DO TIPO DE CORRENTE.

COM O CONHECIMENTO DESTAS CARACTERÍSTICAS PODE-SE EXPLICAR ASPECTOS REFERENTES AS PROPRIEDADES DA SOLDA E DAS CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DA SOLDAGEM.

NA FIGURA E.1 APRESENTAM-SE OS RESULTADOS EXPERIMENTAIS OBTIDOS COM ELÉTRÓDOS ALIMENTADOS COM CORRENTE ALTERNADA (CA), UTILIZANDO A TÉCNICA DE SOLDAGEM COM REVESTIMENTO ARRASTANDO NA PEÇA. NOTA-SE QUE COM DIFERENTES DIÂMETROS A CARACTERÍSTICA ESTÁTICA SE MODIFICA.

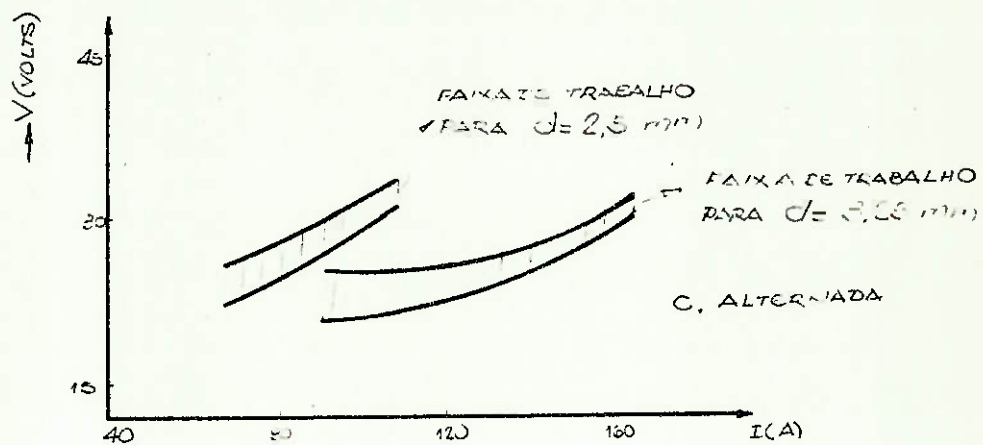


FIG. E.1 -- VARIAÇÃO DA FAIXA DE TRABALHO, DELIMITADO POR CARACTERÍSTICAS DE ARCO, EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO DO ELÉTRODO.

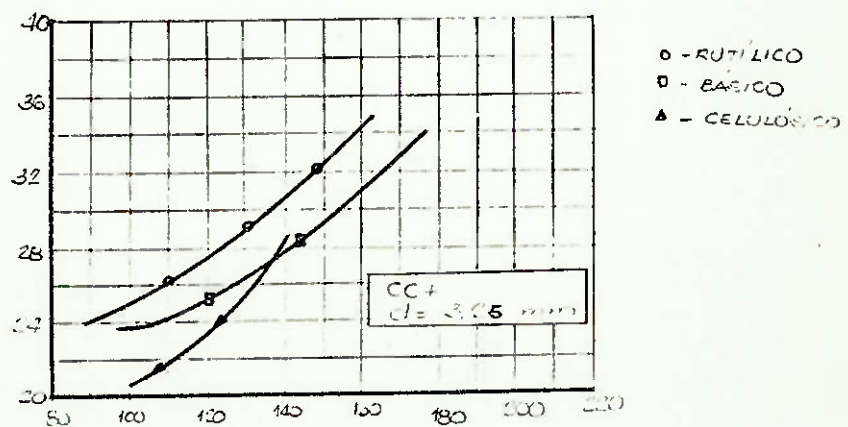


FIG. E.2 -- CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS DE ARCO PARA ELÉTRÓDOS RUTÍLICO, BÁSICO E CELULÓSICO.

NA FIGURA E.2 APRESENTAM-SE OS RESULTADOS EXPERIMENTAIS OBTIDOS PELOS TESTES REALIZADOS COM ELÉTRÓDOS RUTÍLICOS, BÁSICOS E CELULÓSICOS. TODOS OS RESULTADOS REFEREM-SE A ARCOS DE 3,0 MM DE COMPRIMENTO, MANTIDOS ELETRÔNICAMENTE, E UM COMPRIMENTO DE CERCA DE 1,0 MM NO CASO DOS ELÉTRÓDOS RUTÍLICO E BÁSICO, QUE ESCONDEM PARCIALMENTE O ARCO NA CRATERA FORMADA PELO REVESTIMENTO. NO CASO DO ELÉTRODO CELULÓSICO NÃO SE FORMA TAL CRATERA. VERIFICA-SE QUE TODAS AS CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS SÃO ASCENDENTES E QUE O ELÉTRODO CELULÓSICO É AQUELE QUE MAIS AUMENTA A TENSÃO COM ACRÉSCIMO DA CORRENTE.

NA FIGURA E.3 MOSTRA-SE O EFEITO DO COMPRIMENTO DO ARCO NO CASO DE ELÉTRODO CELULÓSICO. OBSERVA-SE QUE, A MEDIDA QUE AUMENTA O COMPRIMENTO DO ARCO, A TENSÃO SE TORNA MAIS SENSÍVEL À CORRENTE.

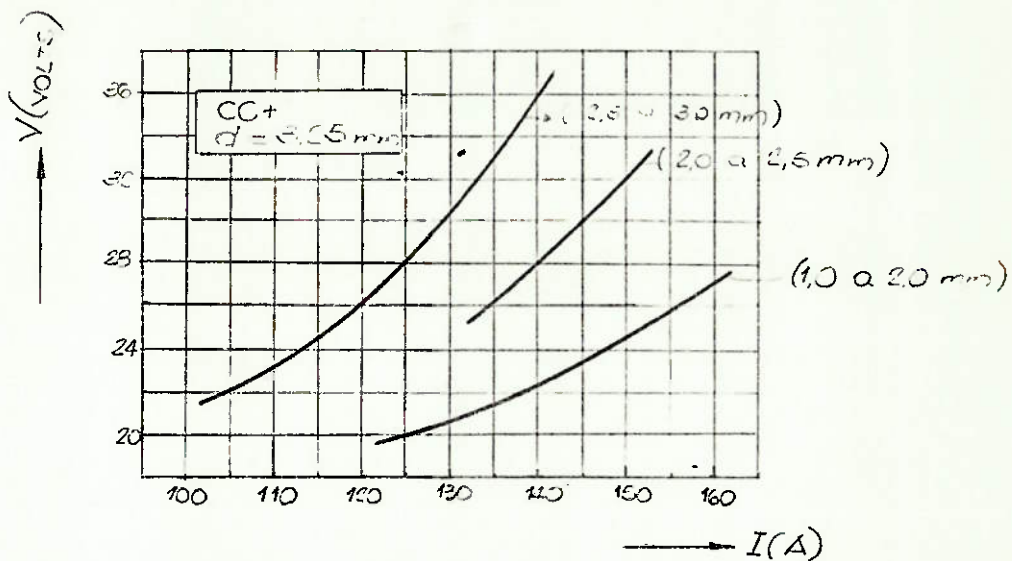


FIG. E.3 -- CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS PARA ELÉTRODO CELULÓSICO EM DIVERSOS COMPRIMENTOS DE ARCO.

F - IMPORTÂNCIA DE ADEQUADA ESCOLHA DO REVESTIMENTO E DO TIPO DE CORRENTE

INDEPENDENTE DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ALMA DO ELÉTRODO, A ESCOLHA DO REVESTIMENTO E DO TIPO DE CORRENTE TEM FUNDAMENTAL IMPORTÂNCIA SOBRE A OPERAÇÃO DE SOLDAGEM.

O REVESTIMENTO CERA ATMOSFERAS DE ARCO COM DIFERENTES GRAUS DE IONIZAÇÃO, AS QUAIS INFLUECIAM NO MODO DE TRANSFERÊNCIA DO METAL DE ADIÇÃO. ALÉM DISSO, A PRÓPRIA CONEXÃO DO ARCO COM O ELÉTRODO FICA MODIFICADA, DEVIDO ÀS SUBSTÂNCIAS DO REVESTIMENTO QUE SE INCLUEM NAS GOTAS OU AS REVESTEM. DESSA MANEIRA É POSSÍVEL VERIFICAR QUE TANTO O CONSUMO DOS ELÉTODOS COMO A PRODUÇÃO DE MATERIAL DE ADIÇÃO SÃO MUITO DEPENDENTES DO TIPO DE REVESTIMENTO. EXPERIÊNCIAS REALIZADAS MOSTRAM QUE QUANDO OS ELÉTODOS TRABALHAM NA MESMA FAIXA DE CORRENTE, O RUTÍLICO APRESENTA MAIOR PRODUÇÃO; TODAVIA, O ELÉTRODO BÁSICO COM PÓ DE FERRO ALCANÇA PRODUÇÕES MAIORES POIS PERMITE A UTILIZAÇÃO DE CORRENTES MAIS ELEVADAS. POR SUA VEZ, O ELÉTRODO CELULÓSICO APRESENTA MINDRES PRODUÇÕES, EMDORA O CONSUMO SEJA INTERMEDIÁRIO EN RELÇÃO AOS OUTROS DOIS ELÉTODOS. ISTO PORQUE SEU RENDIMENTO DE DEPOSIÇÃO É MUITO BAIXO, E CAI MUITO COM O AUMENTO DA CORRENTE.

OUTRO FATOR QUE DEVE SER CONSIDERADO É A PRÓPRIA CORRENTE, QUE COM JÁ ABORDADO, APRESENTA DIFERENÇAS DE COMPORTAMENTO, QUANDO USAMOS ORA CORRENTE ALTERNADA, ORA CORRENTE CONTÍNUA.

QUANDO UTILIZAMOS CORRENTE ALTERNADA O ARCO TENDE A SE EXTINGUIR, NO INTERVALO DE TEMPO EM QUE A TENSÃO SE APROXIMA-SE DE ZERO. POR ISTO, OS REVESTIMENTOS DOS ELÉTODOS DEVENCONTER SUBSTÂNCIAS QUE PRODUZAM GASES FACILMENTE IONIZADOS NAQUELES INTERVALOS DE TEMPO.

QUANDO SE UTILIZA A CORRENTE CONTÍNUA, A EXCLOLHA DA POLARIDADE DEVE SER ADEQUADA AO TIPO DE REVESTIMENTO E SUA FINALIDADE. A POLARIDADE TEM INFLUÊNCIA SOBRE A GEOMETRIA DA SOLDA E O EFEITO DE LIMPEZA DOS ÓXIDOS. QUANDO ESSA ELIMINAÇÃO DE ÓXIDOS É NECESSÁRIA (SOLDAGEM DO ALUMÍNIO) UTILIZAMOS A POLARIDADE INVERSA (CC+), POIS ESTA TEM A VANTAGEM DE ATUAR EFICAZMENTE NA ELIMINAÇÃO DE ÓXIDOS DA SUPERFÍCIE DO METAL BASE, ALÉM DE CONSEGUIRMOS MAIOR PENETRAÇÃO DO CORDÃO.

G - SELEÇÃO DE ELÉTODOS SEGUIDO AS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS.

UM ERRO FREQUENTE É ESCOLHER, ENTRE VÁRIOS ELÉTODOS, A -

QUELE CUJA RESISTÊNCIA DO MATERIAL DEPOSITADO É A MAIS ELEVA - DA. O ELÉTRODO DEVE SER ESCOLHIDO DE MODO QUE O METAL DEPOSITADO POSSUA PROPRIEDADES QUE MAIS SE APROXIMEM DAS DO METAL BASE. PARA A SOLDAGEM DE AÇO NÃO LIGADO DE BAIXO CARBONO (A MAIS FREQUENTE), CUJA RESISTÊNCIA À TRACÃO É DE 37 A 44 KG/MM^2 , É ACONSELHÁVEL NÃO ULTRAPASSAR, PARA O METAL DEPOSITADO, UMA RESISTÊNCIA DE 43 KG/MM^2 , ESPECIALMENTE PARA JUNTAS RÍGIDAS, ISTO É, CUJA DILATAÇÃO OU CONTRAÇÃO NÃO É LIVRE. ALÉM DISSO, OS RISCOS DE TEMPERA DO METAL DEPOSITADO SE ACENTUAM E AS TRIN - CAS SE AGRAVAM POR CAUSA DAS TENSÕES SECUNDÁRIAS QUE SURTEM QUANDO DA SOLIDIFICAÇÃO E RESFRIAMENTO DO METAL.

ALGUMAS INDICAÇÕES PRÁTICAS QUE AUXILIAM NA ESCOLHA DE UM TIPO DE ELÉTRODO SÃO EXPOSTAS A SEGUIR:

- ELÉTRODO BÁSICO:

PARA AÇOS CUJO TEOR DE CARBONO É MAIOR QUE 0,25%, OU QUE CONTÉM MAIS DE 0,05 DE ENXOFRE OU DE FÓSFORO.

PARA PEÇAS ESPESAS, INDEFORMÁVEIS, OU FIXAS EM ESTRUTU - RAS MUITO RÍGIDAS, COMO TAMBÉM PARA PEÇAS FORA DE POSIÇÃO PLA - NA QUE SERÃO SUBMETIDAS A GRANDES ESFORÇOS.

- ELÉTRODO CELULÓSICO:

PARA SOLDAS DESCONTÍNUAS E TRABALHOS DE PONTAMENTO, QUE SE FAZEM COM BAIXO FATOR DE CARGA. PARA PASSOS NO FUNDO DE CHANFROS EXECUTADOS POR UM SÓ LADO, ONDE É ESSENCIAL GARANTIR UMA BOA PENETRAÇÃO.

- ELÉTRODO RUTÍLICO:

É UTILIZADO PARA AÇOS DE BAIXO CARBONO SEM LIGA, E PARA SOLDAGENS FORA DA POSIÇÃO PLANA.

- ELÉTODOS COM PÓ DE FERRO:

É UTILIZADO PARA SOLDAS EM POSIÇÃO PLANA, COM GRANDES CHANFROS. RECOMENDAM-SE ELÉTODOS DE GRANDE PRODUÇÃO DE MATE - RIAL DE ADIÇÃO, COM REVESTIMENTO TIPO ÁCIDO, RUTÍLICO OU BÁSICO, NESTA ORDEM, CONFORME A QUALIDADE DA JUNTA DESEJADA.

H - CONSIDERAÇÕES SOBRE A ESCOLHA DO TIPO DE JUNTA E FORMA DO CORDÃO

H.1 ESTRUTURAÇÃO DA SOLDA

A UTILIZAÇÃO DE TODOS OS PARÂMETROS DE SOLDAGEM É UMA TAREFA DIFÍCIL, E NÃO OBSTANTE É POUCO ESTUDADA. NOTAM-SE, SEMPR, SOLUÇÕES DE COMPROMISSO, POIS NUNCA UMA SOLUÇÃO É A IDEAL PARA TODAS AS CONDIÇÕES DE SOLDAGEM. A ESTRUTURAÇÃO DA SOLDA, OU SEJA, A ESCOLHA DA FORMA DA JUNTA, DO NÚMERO E DA FORMA DOS PASSES QUE SERÃO NECESSÁRIOS, É UM DOS PROBLEMAS QUE SE SÓ NECESSÁRIOS, É UM DOS PROBLEMAS QUE POSSUI MÚLTIPLAS SOLUÇÕES, COM UMA DELAS GERANDO SOLDAS COM GEOMETRIAS DIFERENTES E COM ISSO PROPRIEDADES MECÂNICAS E CONDIÇÕES DE TENSÃO E DEFORMAÇÃO TAMBÉM DIFERENTES. DE UM MODO GERAL, PARA SOLDAGEM DE PLACAS DE LARGURA DE ATÉ 4MM DE ESPESSURA, USA-SE A JUNTA EM I E UM ÚNICO PASSE. ESTA ESCOLHA, ENTRETANTO PODE NÃO SER A IDEAL PARA CHAPAS COM ESPESURAS PRÓXIMAS AO LIMITE CITADO, UMA VEZ QUE A SOLDA, SE FEITA EM UM ÚNICO PASSE, NECESSITA DE UM ELÉTRODO DE MAIOR PENETRAÇÃO OU DE UM CONSUMO DE ENERGIA MUITO GRANDE. O UZO DE UM ELÉTRODO DE MAIOR PENETRAÇÃO INFLUI NA VELOCIDADE DE SOLDAGEM, E PRODUZ UM CORDÃO DE PIOR ASPECTO. DEVE-SE TAMBÉM LEVAR EM CONTA, A POSSIBILIDADE DE SOLDAR DOS DOIS LADOS. DE ISSO ACONTECER, A FAIXA DE ESPESURAS COM POSSIBILIDADE DE SOLDAGEM EM JUNTA I AMPLIA-SE ATÉ CERCA DE 4MM. COM A SOLDAGEM DO LADO OPÓSTO, O OUTRO CORDÃO SOFRE, PELO EFEITO DE REAQUECIMENTO, UM REFINAMENTO DE GRÃO.

QUANDO SE CONSIDERAM AS DIFERENTES POSSIBILIDADES DE CHAMFRAMENTO E DE ESTRUTURAÇÃO DA SOLDA EM PASSES, AS POSSIBILIDADES DE SOLUÇÕES AUMENTAM.

NA ESCOLHA DA ABERTURA DO CHAMFRADO, DEVE-SE LEVAR EM CONTA A DEFORMAÇÃO QUE A SOLDAGEM CAUSARÁ NAS PARTES A SEREM LIGADAS, POIS QUANTO MAIOR FOR O ÂNGULO DE ABERTURA, MAIOR SERÁ A DEFORMAÇÃO E, TAMBÉM, MAIOR QUANTIDADE DE DEPÓSITO QUE SE FARÁ NECESSÁRIO. A QUESTÃO DA DEFORMAÇÃO PODERÁ SER CONFORMADA SE A JUNTA FOR EM X, QUANDO, COM UMA ALTERNÂNCIA DE PASSOS DE UM LADO E DO OUTRO, AS TENDÊNCIAS ÀS DEFORMAÇÕES PODEM SER COMPENSADAS. QUANDO A JUNTA FOR EM V, CONVÉM POSICIONAR AS CHAPAS PARA SOLDAGEM JÁ PRÉ-DEFORMADAS, EM SENTIDO CONTRÁRIO AO QUE FICARIAM NO FINAL. A ESCOLHA DO NÚMERO DE PASSES TAMBÉM INFLUI NA

DEFORMAÇÃO; QUANTO MAIOR FOR O NÚMERO DESTES, MAIOR A DEFORMAÇÃO, AINDA QUE A FORMA DA JUNTA E A QUANTIDADE DE ENERGIA TOTAL ABSORVIDA SEJAM IGUAIS. POR OUTRO LADO, UMA SOLDA FEITA EM VÁRIAS PASSADAS, PRODUZ UM MAIOR REFINAMENTO DOS GRÃOS, MAS / TAMBÉM UM TEMPO DE EXECUÇÃO MAIOR. DE UM MODO GERAL, OPTA-SE / PELA SOLDAGEM MAIS RÁPIDA, E PARA ISSO, MUITAS VEZES, FAZ-SE U SO DOS ELÉTODOS COM PÓ DE FERRO NO REVESTIMENTO, QUE DÃO MAIOR PRODUÇÃO ESPECÍFICA DE MATERIAL DE ADIÇÃO.

A PENETRAÇÃO É ESSENCIAL PARA A EFICÁCIA DE UMA UNIÃO, SE JA QUAL FOR A POSIÇÃO DE SOLDAGEM. A RAIZ E OS FLANCOS DAS JUN TAS DEVEM SE FUNDIR UNIFORMEMENTE. NA RAIZ, A SOLDA DEVE SOB / SOBRESSAIR DE 1,5 A 2 MM DO OUTRO LADO, SE A MESMA É FEITA DE UM SÓ LADO. SE NÃO HOVER PENETRAÇÃO TOTAL NA RAIZ, HAVERÁ O / PERIGO DE RUPTURA POR EFEITO DE ENTALHE E A RESISTÊNCIA ESTÁTICA TAMBÉM DIMINUIRÁ GRANDEMENTE.

COM CORRENTE MUITO PEQUENA, DIÂMETRO DE ELÉTRODO MUITO / GRANDE, ELEVADA VELOCIDADE DE SOLDAGEM OU UMA CONDUÇÃO INADEQUANDA DO ELÉTRODO, PODE OCORRER QUE O MATERIAL DE ADIÇÃO SE / DEPOSITE EM AMBOS OS FLANCOS DA JUNTA E NÃO NA RAIZ, COM O QUE APARECE UMA CADEIA DE INCLUSÕES DE ESCÓRIA. TODAVIA, UMA PENE TRAÇÃO DE 1MM; MAIS DE 3MM SERIA EXCESSO.

DE OUTRA PARTE, A LIGAÇÃO ÍNTIMA ENTRE OS DIVERSOS PASSES DE UMA SOLDA, É UMA CONDIÇÃO INDISPENSÁVEL, TANTO QUANTO A LI GAÇÃO ENTRE O CORDÃO E A PEÇA, ALÉM DA AUSÊNCIA DE POROS E DE ESCÓRIA, PARA SE OBTER UMA PERFEITA UNIÃO POR SOLDAGEM.

SE, NA RAIZ DE UMA SOLDA, NÃO SE CONSEGUE PENETRAÇÃO COM PLETA, OU SE NAS FACES CHANFRADAS, EM EM AMBOS OS LADOS DO COR DÃO, O MATERIAL DE BASE NÃO SE FUNDE E NÃO SE SOLUBILIZA NO DE ADIÇÃO, PRODUZIR-SE-ÃO FALHAS (FIGURA H.1) QUE GERAM, DURANTE O EMPREGO DA PEÇA, TRINCAS OU RUPTURAS. AS RANHURAS NA RAIZ / SÃO EVITADAS COM UM APOIO COLOCADO SOB A JUNTA OU ENTÃO, DEVE

NÃO SER ELIMINADAS POSTERIORMENTE MEDIANTE UM PASSE PELO DORSO (FIGURA H.2). NA SOLDAGEM DE VÁRIAS CAMADAS (FIGURA H.3), A / SEGUNDA CAMADA DEVE ABRANGER TODA A LARGURA DA JUNTA E NÃO DEVE SER EXCESSIVAMENTE CONVEXA, PARA NÃO SE FORMAREM ESPAÇOS / VAZIOS ENTRE A SEGUNDA CAMADA E AS SEGUINTEs, OU INCLUSÕES DE ESCÓRIA. NAS CAMADAS SEGUINTEs FAZEM-SE SEMPRE, PRIMEIRAMENTE, OS DOIS PASSES LATERAIS, E EM SEGUIDA O CENTRAL, TAL COMO INDICA A FIGURA H.3. A CAMADA DE COBERTURA DEVE ABRANGER, SEMPRE QUE POSSÍVEL , TODA A LARGURA DO CORDÃO, A FIM DE EVITAR / RANHURAS ENTRE OS DISTINTOS PASSES PARALELOS.

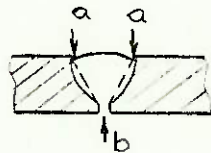


FIG. H.1 - FALHAS NOS EXTREMOS E NA RAIZ DO CORDÃO



FIG. H.2 - REPASSE NA RAIZ PARA EVITAR FALHAS NA PENETRAÇÃO

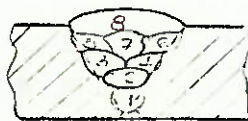


FIG. H.3 - ESTRUTURA DE UM CORDÃO EM VÁRIAS CAMADAS

NÃO SER ELIMINADAS POSTERIORMENTE MEDIANTE UM PASSE PELO DORSO (FIGURA H.2). NA SOLDAGEM DE VÁRIAS CAMADAS (FIGURA H.3), A SEGUNDA CAMADA DEVE ABRANGER TODA A LARGURA DA JUNTA E NÃO DEVE SER EXCESSIVAMENTE CONVEXA, PARA NÃO SE FORMAREM ESPAÇOS VAZIOS ENTRE A SEGUNDA CAMADA E AS SEGUINTE, OU INCLUSÕES DE ESCÓRIA. NAS CAMADAS SEGUINTE FAZEM-SE SEMPRE, PRIMEIRAMENTE, OS DOIS PASSES LATERAIS, E EM SEGUIDA O CENTRAL, TAL COMO INDICA A FIGURA H.3. A CAMADA DE COBERTURA DEVE ABRANGER, SEMPRE QUE POSSÍVEL, TODA A LARGURA DO CORDÃO, A FIM DE EVITAR RANHURAS ENTRE OS DISTINTOS PASSES PARALELOS.

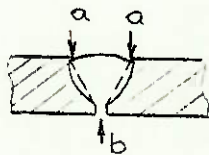


FIG. H.1 - FALHAS NOS EXTREMOS E NA RAIZ DO CORDÃO



FIG. H.2 - REPASSE NA RAIZ PARA EVITAR FALHAS NA PENETRAÇÃO



FIG. H.3 - ESTRUTURA DE UM CORDÃO EM VÁRIAS CAMADAS

H.2 EFEITO DA FORMA DO CORDÃO NO COMPORTAMENTO DA JUNTA

O CORDÃO CÔNCAVO DA FIGURA H.4 , OFERECE UMA INCLINAÇÃO / SUAVE E GRADUAL ENTRE AS SUPERFÍCIES DAS CHAPAS E DO PRÓPRIO / CORDÃO, ENQUANTO QUE A SUPERFÍCIE DO CORDÃO CONVEXO DA MESMA / FIGURA, INCIDE NA SUPERFÍCIE DA CHAPA FORMANDO UM ENTALHE BAS- TANTE PRONUNCIADO. CONVÉM CUIDAR PARA QUE A PENETRAÇÃO SEJA SU- FICIENTE TAMBÉM NO CANTO INTERNO DA JUNTA. TODAVIA, DEVE-SE E- VITAR UMA PENETRAÇÃO EXCESSIVA, A QUAL TENDE A OCORRER FACIL - MENTE, PORQUE NESTE CASO O SOLDADOR OPERA SEM TEMER PERFURAR A CHAPA. NOS CORDÕES MAIS VOLUMOSOS , PROCEDE-SE TAL COMO SE IN- DICA NA FIGURA H.5.

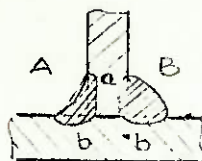


FIGURA H.4 - SOLDAS CONCAVAS (A) E CONVEXAS (B) COM PE - NETRAÇÃO CORRETA (A) E EXCESSIVA (B).

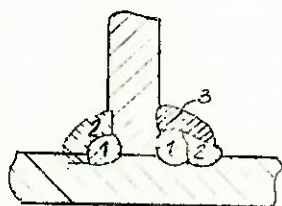


FIGURA H.5 - SOLDAGEM EM ÂNGULO EM VÁRIOS PASSES.

NA CONSTRUÇÃO DE MÁQUINA E NA S DE ESTRUTURA METÁLICAS EM PREGAM-SE MAIS AS JUNTAS DE ÂNGULO, APESAR DO CAMPO DE TENSÕES SER MAIS DESFAVORÁVEL DO QUE AS JUNTAS DE TOPO. AS JUNTAS DE / ÂNGULO, COM SOLDA DE UM SÓ LADO (FIGURA H.6-A), SÃO INADEQUA -

DAS, TANTO PARA RESISTIR TENSÕES DE TRAÇÃO E COMPRESSÃO COMO , ESPECIALMENTE, À FLEXÃO. POR EFEITO DA FORÇA P, A SOLDA FICA / SUJEITA AO ESFORÇO DE FLEXÃO, QUE CRIA TENSÕES DE TRAÇÃO NA / RAIZ DA SOLDA, ÀS QUAIS ELA É EXTREMAMENTE SENSÍVEL, A TENSÃO TRANSVERSAL TAMBÉM É DESFAVORÁVEL. POR ISSO, A SOLDA EM ÂNGULO UNILATERAL SÓ É APLICADA ONDE NÃO É POSSÍVEL A EXECUÇÃO DA SOLDA EM ÂNGULO PELOS DOIS LADOS. ESTA PODE SER EXECUTADA COMO / CORDÃO CONVEXO (VER FIGURA H.6-B), CORDÃO PLANO (FIG. H.6-C) / OU CORDÃO CÔNCAVO (FIG. H.6-D). O CORDÃO CONVEXO CAUSA EFEITO DE ENTALHE E É MENOS CONVENIENTE QUE O PLANO E CONSIDERAVELMENTE MENO ADEQUANDO QUE O CÔNCAVO.

CONSIDERANDO-SE APENAS O VOLUME DA SOLDA, O CORDÃO PLANO É PREFERÍVEL AO CORDÃO CONVEXO OU AO CÔNCAVO (A = ALTURA DO TRIÂNGULO EQUILÁTERO INSCRITO NA SEÇÃO DO CORDÃO). PARA AS UNIDADES SOLICITADAS DINAMICAMENTE PREFERE-SE CHANFRAR OS BORDOS, OBTENDO-SE JUNTAS EM SEMI-V , OU EM K.

O CORDÃO DE TOPO EM SEMI-V (FIG. H.6-E); POR SUA PREPARAÇÃO, É MUITO MAIS SIMPLES, PORÉM MAIS SENSÍVEL AO EFEITO DE ENTALHE NA PARTE INFERIOR DO MESMO. ESTE INCONVENIENTE PODE SER RESOLVIDO COM UM REPASSE PELO LADO DA RAIZ (FIG. H.6-F). A SOLDAGEM EM K (FIG. H.6-G), COM DOIS CORDÕES É MAIS VANTAJOSA QUANTO ÀS SOLICITAÇÕES DE FADIGA QUE A JUNTA EM SEMI-V (F). FORMA-SE UM CORDÃO EM Y, COMO SE FOSSE JUNTA DE TOPO (FIG. H.6 H), QUANDO OS ELEMENTOS A SOLDAR NÃO FICAM PERPENDICULARES, MAS EM ÂNGULO AGUDO. DA MESMA FORMA QUE NAS JUNTAS DE TOPO, TAMBÉM NAS EM ÂNGULO DEVE-SE TER CUIDADO PARA QUE A PENETRAÇÃO NA PARTE INFERIOR SEJA BOA. O CASO EM QUE OS ELEMENTOS A SOLDAR FORMAM UM ÂNGULO DE JUNTA MENOR QUE 70º RESULTA MUITO DUBIOSO.

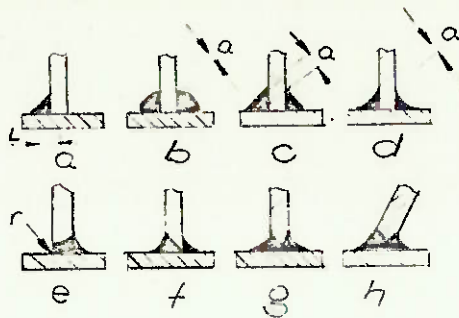


FIG. H.6 - CORDÕES EM JUNTAS EM ÂNGULOS

1 - A TÉCNICA DE SOLDAGEM MANUAL

1.1 - DETALHES DO ACENDIMENTO E MANUTENÇÃO DO ARCO

PARA ELÉTRODOS REVESTIDOS, O ARCO ACENDE-SE MEDIANTE TOQUES DA PONTA DO ELÉTRODO SOBRE A PEÇA. PARA TANTO, A PONTA DO ELÉTRODO DEVE ESTAR ISENTA DE MATERIAL DO REVESTIMENTO. QUANDO SE PRETENDE INICIAR NOVAMENTE O ARCO, DEPOIS DE O HAVER EXTINGUIDO, QUEBRA-SE O REVESTIMENTO QUE FICA ALÉM DA PONTA DO ELÉTRODO MEDIANTE GOLPES SOBRE A PEÇA. PARA UM ACENDIMENTO MAIS FÁCIL, A TENSÃO EM VAZIO DA FONTE DEVE SER TÃO ALTA QUANTO POSSÍVEL, PORÉM DENTRO DOS LIMITES DE SEGURANÇA.

DEPOIS DE ACESO, DEVE-SE MANTER O COMPRIMENTO DO ARCO O MAIS CURTO POSSÍVEL, POIS ASSIM APROVEITA-SE MELHOR O CALOR DESENVOLVIDO E, EM VIRTUDE DISSO, O CONSUMO DO ELÉTRODO SE ELEVA AÉ MAIS DE 20%. ENTRETANTO, ESTE COMPRIMENTO DEPENDE DO TIPO E ESPESSURA DO REVESTIMENTO E DA DENSIDADE DE ENERGIA UTILIZADA. COM ELÉTRODOS DE REVESTIMENTO FINO, SOLDA-SE COM ARCO MAIS CURTO QUE OS DE REVESTIMENTO ESPESSE. OS ELÉTRODOS DE REVESTIMENTO À BASE MINERAL, COMO OS DE ÓXIDO DE TITÂNIO, APRESENTAM UM ARCO BEM CONTROLÁVEL NUMA RELATIVA GRANDE FAIXA DE COMPRIMENTO. ENTRETANTO, OS À BASE DE CELULOSE, APRESENTAM UM ARCO INSTÁVEL, GOTAS GRANDES E POR ISSO O CONTROLE DE SEU COMPRIMENTO É MAIS CRÍTICO, DEVENDO SER POUCO MAIOR QUE O DIÂMETRO DAS GOTAS.

NOS ELÉTRODOS DE REVESTIMENTO BÁSICO, O ARCO NÃO DEVE SER MUITO CURTO, INCLUSIVE EM CURTO TEMPO, POIS SE O FOR, APARECE-

RAO POROSIDADES NA SOLDA. ESTES ELÉTRÓDOS CONSOMEM-SE MUITO / LENTAMENTE.

DURANTE UMA MESMA SOLDAGEM, É ESSENCIAL QUE O COMPRIMENTO DO ARCO PERMANEÇA O MAIS CONSTANTE POSSÍVEL, POIS COM UM ARCO QUE ALTERNADAMENTE É MAIS CURTO E MAIS LOGO, A TENSÃO E A CORRENTE VARIAM NA MESMA CADÊNCIA E COM ELAS A PENETRAÇÃO DA SOLDA. QUANDO SE UTILIZAM ELÉTRÓDOS DE RECOBRIMENTO, ISTO É, DE / MENOR IMPORTÂNCIA, PORÉM COM ELÉTRÓDOS DE GRANDE PENETRAÇÃO É DE FUNDAMENTAL IMPORTÂNCIA, POIS GERALMENTE, ESSES ELÉTRÓDOS / SÃO USADOS NOS PASSES DE RAIZ, E ASSIM, É PRECISO MANTER O / COMPRIMENTO DO ARCO NUM VALOR CONSTANTE, PARA OBTER REGULARIDADE PARA A PENETRAÇÃO. ALÉM DISSO, RESSALTA-SE QUE, COM ARCOS / LONGOS DEMAIS, A PROTEÇÃO CONTRA A ENTRADA DE O_2 E N_2 É MENOR.

J - CUIDADOS NA ARMAZENAGEM E SECAGEM DE ELÉTRÓDOS

DE UM MODO GERAL, OS ELÉTRÓDOS DEVEM SER ESTOCADOS EM LOCAL SECO PREFERIVELMENTE EM SUAS EMBALAGENS DE ORIGEM. DEPOIS DE ABERTA ESTA EMBALAGEM, DEVE-SE GUARDÁ-LOS EM ESTUFA, AO ABRIGO DA UMIDADE ATMOSFÉRICA. TODAVIA, OS ELÉTRÓDOS RUTÍLICOS, ÁCIDOS E OXIDANTES, NÃO SOFREM GRANDES PREJUÍZOS PELA ABSORÇÃO DE UMIDADE. OS ELÉTRÓDOS BÁSICOS, NO ENTANTO, QUANDO ÚMIDOS / PREJUDICAM A SOLDAGEM, SOBRETUDO PELA FORMAÇÃO DE POROS. ISSO PORQUE DEVEM AS SUAS PROPRIEDADES MECÂNICAS SUPERIORES, EM PARTE, Á AUSÊNCIA, NO SEU REVESTIMENTO, DE INGREDIENTES PRODUTORES DE HIDROGÊNIO, CONTAMINANTE MUITO PREJUDICIAL AO METAL DE SOLDA. MAS, POR OUTRO LADO, SÃO ALTAMENTE HIGROSCÓPICOS, ABSORVENDO A UMIDADE DO AR COM FACILIDADE. ISSO PROVOCA ENTÃO, A INFILTRAÇÃO POSTERIOR DO HIDROGÊNIO NOCIVO, CUJA PRESENÇA NO REVESTIMENTO HAVIA SIDO CUIDADOSAMENTE EVITADA.

A FIGURA J.1 VÁLIDAS PARA ELÉTRÓDOS DO TIPO BÁSICO, APRESENTA RESULTADOS DE ENSAIOS PRÁTICOS, COMO ILUSTRAÇÃO, MOSTRANDO A UMIDADE ABSORVIDA EM FUNÇÃO DOS DIFERENTES GRAUS DE UMIDADE RELATIVA DA ATMOSFERA.

APÓS A ABERTURA DA EMBALAGEM, OS MESMOS DEVEM SER ESTOCADOS EM AMBIENTE COM MENOS DE 50% DE UMIDADE RELATIVA. ACONSELHA-SE O USO DE UMA ESTUFA À TEMPERATURA DE 30 A 40°C.

A UMIDADE ABSORVIDA PELO ELÉTRODO COMBINA-SE COM CERTAS /

MATÉRIAS DO REVESTIMENTO SOB FORMA DE ÁGUA CRISTALINA. PARA ELIMINAR ESSA ÁGUA, É PRECISO TEMPERATURAS BEM SUPERIORES AO PONTO DE EBULIÇÃO DA ÁGUA (100°C). NESTE CASO, A TEMPERATURA E O TEMPO SECAGEM SÃO DADOS EM FUNÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO REVESTIMENTO. RECOMENDA-SE NÃO ULTRAPASSAR OS 400°C COMO TEMPERATURA DE SECAGEM, PARA EVITAR O RISCO DE DETERIORAR O REVESTIMENTO BÁSICO. A FIGURA J.2 INDICA O TEMPO E A TEMPERATURA DE SECAGEM COMPLETA PARA ELÉTRODOS QUE FICARAM EXPOSTOS A UM TEOR DE UMIDADE ATMOSFÉRICA (SUPERIOR A 85%) DURANTE MUITOS DIAS, SENDO QUE A UMIDADE TRANSFORMOU-SE EM ÁGUA CRISTALINA NO REVESTIMENTO. RECOMENDA-SE USAR OS DADOS INDICADOS NA FIGURA PARA TODOS OS CASOS DE SECAGEM DE ELÉTRODOS.

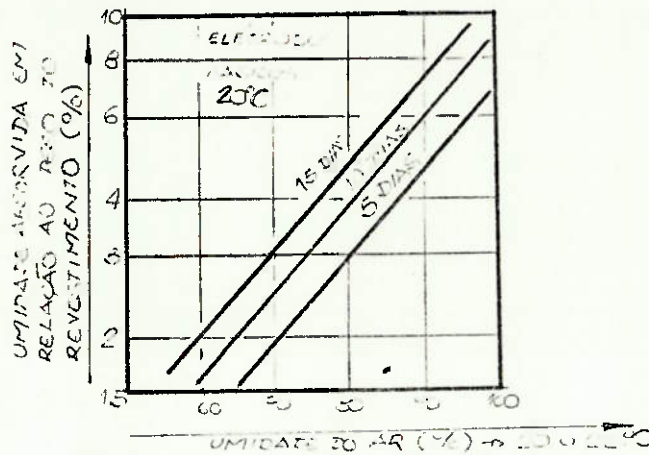


FIG. J.1 - TEOR DE UMIDADE ABSORVIDA POR ELÉTRODOS BÁSICOS

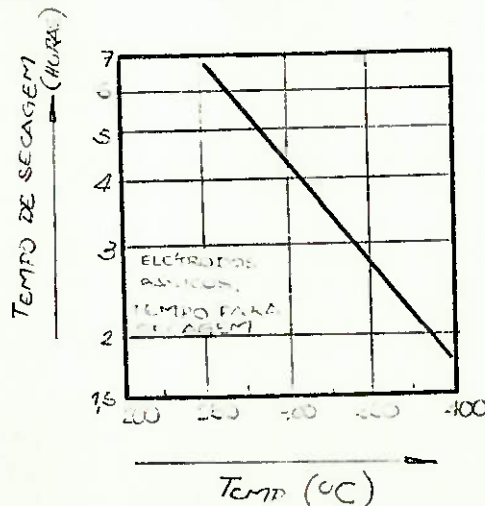


FIG. J.2 - TEMPO DE SECAGEM DE ELÉTRODOS BÁSICOS

5.2.2 SOLDAGEM COM ELÉTRODOS NUS PROTEGIDA POR GASES

A - INTRODUÇÃO

EM 1920 SURTIU UM NOVO PROCESSO DE SOLDAGEM. CONSISTIA EM UTILIZAR ELÉTRODOS NUS E PROTEGER A SOLDA POR IMERSÃO DO ARCO VOLTAICO EM UM FLUXO GASOSO INERTE. NA ÉPOCA, EMBORA SE CONSTATASSEM MELHORIAS NAS PROPRIEDADES DA SOLDA, O NOVO PROCESSO NÃO TEVE O MERECIDO DESENVOLVIMENTO. EM 1930, NO ENTANTO, MEDIANTE A UTILIZAÇÃO DE ELÉTRODOS PERMANENTES DE TUNGSTÊNIO, SURGIRIAM AS PRIMEIRAS APLICAÇÕES. ERA A INICIAÇÃO DO PROCESSO TIG (TUNGSTEN INERT GAS). TODAVIA, SOMENTE EM PRINCÍPIOS DE 1940 É QUE ESTE PROCESSO TORNO-SE COMERCIALMENTE DISPONÍVEL. OS GASES INERTES UTILIZADOS FORAM O HÉLIO E O ARGÔNIO, QUE SÃO OS GASES NOBRES DE MAIS FÁCIL OBTENÇÃO. A GRANDE APLICAÇÃO DESTES PROCESSO FOI NA SOLDAGEM DE ALUMÍNIO, MAGNÉSIO E AÇO INOXIDÁVEL. AINDA HOJE, ELE SE CONSTITUI NUM DOS PRINCIPAIS MEIOS PARA A SOLDAGEM DESSES METAIS. PORÉM, O PROCESSO TEM SUAS LIMITAÇÕES: O SOLDADOR INTRODUZ O METAL DE ADIÇÃO EM SEPARADO, POIS O ELÉTRODO É PERMANENTE, E O SEU RENDIMENTO TÉRMICO BAIXO, RESULTANDO EM BAIXAS VELOCIDADES DE SOLDAGEM. ISTO CONDUZIU AO DESENVOLVIMENTO, EM FINS DE 1940, DE UM OUTRO PROCESSO EM ATMOSFERA INERTE, MAS COM ELÉTRODO CONSUMÍVEL, QUE SE ROLAVA DE UMA BOBINA. ERA O INÍCIO DA SOLDAGEM MIG (METAL INERT GAS), CUJAS VANTAGENS DERIVAVAM DA UTILIZAÇÃO DE ARAMES-ELÉTRODO FINOS, QUE PROPICIAVAM UMA ALTA DENSIDADE DE CORRENTE E A POSSIBILIDADE DO USO DE SISTEMAS ELÉTRICOS QUE AUTOMATIZAVAM A SOLDAGEM. MAIS TARDE, EM VIRTUDE DO ALTO CUSTO DOS GASES ATÉ ENTÃO USADOS, HÉLIO E ARGÔNIO, PASSOU-SE A PESQUISAR A POSSIBILIDADE DE USO DO CO_2 COMO ATMOSFERA PROTETORA. NO ENTANTO, APESAR DO CO_2 SER UM GÁS INERTE, DECOMPÕE-SE NA REGIÃO DO ARCO GERANDO UMA ATMOSFERA ATIVA COMPOSTA DE CO E O_2 . DEVIDO A ISSO, INICIALMENTE NÃO SE TENDO ELEMENTOS DESOXIDANTES, CHEGOU-SE A BOM TERMO UTILIZANDO-SE ARAMES-ELÉTRODO CONTENDO ESTES ELEMENTOS. ASSIM, A PARTIR DE 1950, A SOLDAGEM COM ELÉTRODO NU EM ATMOSFERA DE CO_2 , QUE TOMOU O NOME DE PROCESSO MAG (METAL ACTIVE GAS), PASSOU A SER UTILIZADA EM ESCALA INDUSTRIAL.

A SOLDAGEM COM ELÉTRODOS NUS PROTEGIDA POR GASES ELIMINA

A NECESSIDADE DE FLUXOS, MUITOS DOS QUAIS CORROSIVOS, CAPAZES DE CAUSAR EFEITOS NOCIVOS POSTERIORES. EM CONSEQUÊNCIA, NÃO É NECESSÁRIA A LIMPEZA DA SOLDA DEPOIS DE PRONTA, OU APÓS A EXECUÇÃO DE CADA CAMADA. OUTRA VANTAGEM É A REDUÇÃO OU ELIMINAÇÃO TOTAL DE FUMAÇAS TÓXICAS OU IRRITANTES. NO CASO DE ELÉTRODOS / CONSUMÍVEIS, HÁ AINDA A CONSIDERAR A ECONOMIA APRECIÁVEL DE / TEMPO E MÃO DE OBRA.

B - PROCESSO T.I.G.

B.1 - CONCEITUAÇÕES

NESTE PROCESSO DE SOLDAGEM A ARCO VOLTAICO, A FUSÃO DOS METAIS É PRODUZIDA ATRAVÉS DE UM ARCO QUE ARDE NUMA ATMOSFERA DE UM GÁS INERTE ENTRE UM ELÉTRODO DE TUNGSTÊNIO, VIRTUALMENTE NÃO CONSUMÍVEL, E A PEÇA OBRA. ALÉM DO SEU VALOR IONIZANTE, O GÁS PROTEGE O ELÉTRODO, FORTEMENTE AQUECIDO, E O METAL DE SOLDA, CONTRA A OXIDAÇÃO DO AR. PORTANTO O GÁS DE PROTEÇÃO DEVE / SER PERFEITAMENTE INERTE, CONSISTINDO DE ARGÔNIO, HÉLIO OU UMA MISTURA ADEQUADA DOS DOIS.

O PROCESSO PODE SER EMPREGADO COM OU SEM ADIÇÃO DE MATERIAL. A FIGURA B.1 MOSTRA ESQUEMATICAMENTE AS POSIÇÕES RELATIVAS DO PORTA-ELÉTRODO, DO ARCO, DO ELÉTRODO DE TUNGSTÊNIO, DO GÁS DE PROTEÇÃO E DA GUIA DO ARME DE ADIÇÃO, QUE O CONDUZ AO / ARCO E À PEÇA DE FUSÃO. ESSA GUIA É USADA SOMENTE QUANDO A ALIMENTAÇÃO DO MATERIAL DE ADIÇÃO É AUTOMÁTICA. EM SOLDAGEM MANUAL, A CONDUÇÃO DESTES MATERIAIS É FEITA COM UMA DAS MÃOS DO SOLDADOR. AS PARTES PRINCIPAIS DO EQUIPAMENTO SÃO: A FONTE DE ENERGIA; O PORTA-ELÉTRODO DE TUNGSTÊNIO E O SISTEMA DE SUPRIMENTO DE GÁS. O CONJUNTO PODE AINDA TER VÁRIOS ACESSÓRIOS OPCIONAIS, DOS QUAIS CITA-SE: UM REOSTATO DE PÉ PARA O SOLDADOR AJUSTAR A CORRENTE DURANTE A SOLDAGEM E O SISTEMA DE CIRCULAÇÃO DE ÁGUA PARA REFRIGERAÇÃO DO PORTA-ELÉTRODO.

B.2 - PRINCÍPIOS DE OPERAÇÃO

O CALOR NECESSÁRIO É PRODUZIDO POR UM ARCO ELÉTRICO ENTRE O ELÉTRODO DE TUNGSTÊNIO E A PARTE A SER SOLDADA. O ELÉTRODO /

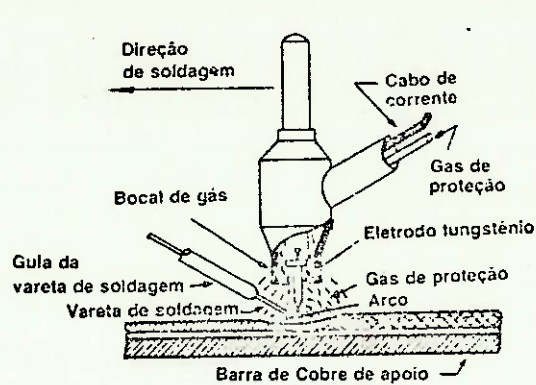


FIG. B.1 - SOLDAGEM TIG

PODE SER DE TUNGSTÊNIO PURO OU LIGADO. A ZONA DA SOLDA, O METAL FUNDIDO E O ELÉTRODO DE TUNGSTÊNIO SÃO PROTEGIDOS DO AR POR UMA CORTINA DE GÁS INERTE QUE FLUI DO PORTA-ELÉTRODO. A SOLDA É FEITA PELA APLICAÇÃO DO ARCO SOBRE A JUNTA, FUNDINDO-A JUNTAMENTE COM O METAL DE ADIÇÃO, QUANDO ESTE FOR NECESSÁRIO. A UNIÃO SE COMPLETA PELA POSTERIOR SOLIDIFICAÇÃO.

O ARCO PRODUZIDO É CALMO, ESTÁVEL E BASTANTE CONTROLÁVEL EM VIRTUDE DE NÃO EXISTIR TRANSPORTE DE METAL FUNDIDO POR ELE. BASICAMENTE, O ARCO SUBSISTE APENAS COM AS PARTÍCULAS DE CARGA PROVENIENTES DA MOLÉCULAS DO GÁS.

C - ABERTURA DO ARCO

A ESTABILIDADE DO ARCO DEPENDE FUNDAMENTALMENTE DA FORMA DA PONTA DO ELÉTRODO, QUE DEVE SER CÔNICA COM UM VÉRTICE BEM AFIADO. POR ISSO TANTO QUANTO POSSÍVEL, DEVE-SE EVITAR QUE O ACENDIMENTO DO ARCO SE FAÇA ATRAVÉS DO TOQUE DO ELÉTRODO NA PEÇA, POIS ISTO CAUSARIA IRREGULARIDADES NA EXTREMIDADE DO ELÉTRODO. NORMALMENTE, A IGNIÇÃO DO ARCO É CONSEGUIDA SEM CONTATO, ATRAVÉS DE UM SINAL ELÉTRICO DE ALTA FREQUÊNCIA SUPERPOSTO AO CIRCUITO DE SOLDAGEM. PARA SOLDAGEM COM CORRENTE CONTÍNUA, O SINAL DE ALTA FREQUÊNCIA É CORTADO LOGO APÓS O INÍCIO DO ARCO. ENTRETANTO, PARA SOLDAGEM COM CORRENTE ALTERNADA, ELE GERALMENTE PERMANECE, PARA MENTER O ARCO ESTÁVEL, PRINCIPALMENTE NA SOLDAGEM DO ALUMÍNIO.

ANTES DO INÍCIO DA SOLDAGEM, É INDISPENSÁVEL A REMOÇÃO DE

ÓLEO, GRAXA, TINTA, FERRUGEM, SUJEIRA, OU QUALQUER OUTRA CONTAMINAÇÃO, O QUE PODE SER FEITO POR VIA MECÂNICA OU ATRAVÉS DE DETERGENTES LÍQUIDOS OU GASOSOS.

APAGA-SE O ARCO ATRAVÉS DA INTERRUPTÃO DA CORRENTE COM COMUTADORES DE PÉ OU NO PRÓPRIO PUNHO DO PORTA-ELÉTRODO. DEPOIS DO ARCO EXTINTO HÁ AINDA FLUXO DE GÁS DURANTE UM CERTO INTERVALO DE TEMPO, PARA NÃO EXPOR O FINAL DA SOLDA PREMATURAMENTE AO AR. SE O ARCO FOSSE EXTINTO PELO AFASTAMENTO RÁPIDO DO ELÉTRODO EM RELAÇÃO A PEÇA-OBRA, ESTA PROTEÇÃO FICARIA PREJUDICADA.

D - TÉCNICA DE SOLDAGEM TIG

EM SOLDAGEM MANUAL, O PORTA-ELÉTRODO DEVE SER CONDUZIDO DE MODO A POSICIONAR O ELÉTRODO NUM ÂNGULO DE 15° EM RELAÇÃO À PERPENDICULAR À CHAPA. PARA SOLDAGEM AUTOMÁTICA, A POSIÇÃO DO ELÉTRODO DEVE SER PERPENDICULAR À PEÇA. PARA INICIAR A SOLDAGEM MANUAL, O ARCO É MOVIDO EM PEQUENOS CÍRCULOS ATÉ SE OBTIVER UMA POÇA DE METAL FUNDIDO DE TAMANHO ADEQUADO. A SEGUIR, A SOLDA É OBTIDA TRANSLADANDO O ELÉTRODO AO LONGO DA JUNTA, AO MESMO TEMPO EM QUE SE CONTINUA FAZENDO OS MOVIMENTOS CIRCULARES.

A ESPESSURA DAS CHAPAS A SEREM SOLDADAS E O PROJETO DA JUNTA DETERMINAM A NECESSIDADE OU NÃO DE MATERIAL DE ADIÇÃO. QUANDO NECESSÁRIO, EM SOLDAGEM MANUAL, FAZ-SE A ADIÇÃO INTRODUZINDO NO ARCO UMA VARETA DE METAL A DEPOSITAR. USUALMENTE MANTÉM-SE A VARETA EM UM ÂNGULO DE 15° EM RELAÇÃO À SUPERFÍCIE DAS CHAPAS, SENDO CONSUMIDA LENTAMENTE, NUM MOVIMENTO DE VAI E VEM EM DIREÇÃO À POÇA LÍQUIDA (FIGURA D.1). EM CONJUNTO, A VARETA E O PORTAELÉTRODO DEVEM SER MOVIDOS PROGRESSIVAMENTE E SUAVEMENTE, DE MODO QUE A POÇA DE FUSÃO, A EXTREMIDADE AQUECIDA DA VARETA E A SOLDA JÁ SOLIDIFICADA NÃO SEJAM EXPOSTAS AO AR PARA NÃO CONTAMINAR A SOLDA E A ZONA AFETADA PELO CALOR. POR ISSO, O DIÂMETRO DO BOCAL DO PORTA-ELÉTRODO E A VAZÃO DO GÁS, DEVEM SER PROPORCIONAIS AO TAMANHO DA POÇA DE FUSÃO.

UM SEGUNDO MÉTODO DE ADIÇÃO DE METAL CONSISTE EM COLOCAR A VARETA SOBRE A PEÇA-OBRA, AO LONGO DA JUNTA, E FUNDÍ-LA JUNTAMENTE COM AS BORDAS DAS CHAPAS. ESTE MÉTODO É USADO FREQUENTEMENTE EM PASSES MÚLTIPLOS EM JUNTA V.

UM TERCEIRO MÉTODO, USADO FREQUENTEMENTE EM SOLDAS DE ENCHIMENTO E EM SOLDAS DE GRANDE LARGURA, CONSISTE EM ALIMENTAR

CONTINUAMENTE A POÇA LÍQUIDA COM OSCILAÇÕES PENDULARES, DO ELÉ TRODO E DA VARETA, TRANSVERSAIS À JUNTA. A VARETA MOVE-SE EM U MA DIREÇÃO ENQUANTO O ARCO MOVE-SE EM DIREÇÃO OPOSTA, MAS SEMPRE PRÓXIMOS PARA EVITAR A CONTAMINAÇÃO DO AR.

QUANDO O METAL DE ADIÇÃO É NECESSÁRIO EM SOLDAGEM AUTOMÁTICA, O MESMO É ALIMENTADO MECANICAMENTE ATRAVÉS DE UMA GUIA ATÉ A POÇA DE FUSÃO COM MOVIMENTO UNIFORME, SENDO PROVENIENTE DE UM CARRETEL ONDE SE ENCONTRA BOBINADO.

A SELEÇÃO DA POSIÇÃO DE SOLDAGEM É DETERMINADA PELA MOBILIDADE DAS PEÇAS, A EFICÁCIA DO FERRAMENTAL E FIXADORES, E O CUSTO DA SOLDAGEM. MENOR TEMPO DE SOLDAGEM, E POR ISSO MENOR CUSTO, NORMALMENTE SE CONSEGUE NA POSIÇÃO PLANA. OBTÉM-SE, NESTA POSIÇÃO, MÁXIMA PENETRAÇÃO NA JUNTA, MÁXIMA PRODUÇÃO DE MATERIAL DE ADIÇÃO FUNDIDO (DEVIDO A NÃO POSSIBILIDADE DE ESCORRIMENTO) E UM REFORÇO DO CORDÃO DE MUITO BOM ASPECTO. TAMBÉM PODE-SE CONSEGUIR BOA PENETRAÇÃO NA POSIÇÃO VERTICAL, SOLDAGEM ASCENDENTE, MAS A ADIÇÃO DE MATERIAL TEM QUE SER LENTA DEVIDO AO EFEITO DA GRAVIDADE. NA SOLDAGEM VERTICAL DESCENDENTE A PENETRAÇÃO É ESCASSA, PORQUE O METAL LÍQUIDO TENDE A ESCORRER CONTRA O SENTIDO DE SOLDAGEM, E A INTERPOR-SE ENTRE O ARCO E O METAL DE BASE IMPEDINDO A SUA FUSÃO. NESTE CASO, RECOMENDA-SE UTILIZAR UMA MAIS ALTA VELOCIDADE DE ARCO, DEPOSITAR POUCO MATERIAL DE ADIÇÃO E PRODUIR CAMADAS FINAS DE SOLDA.

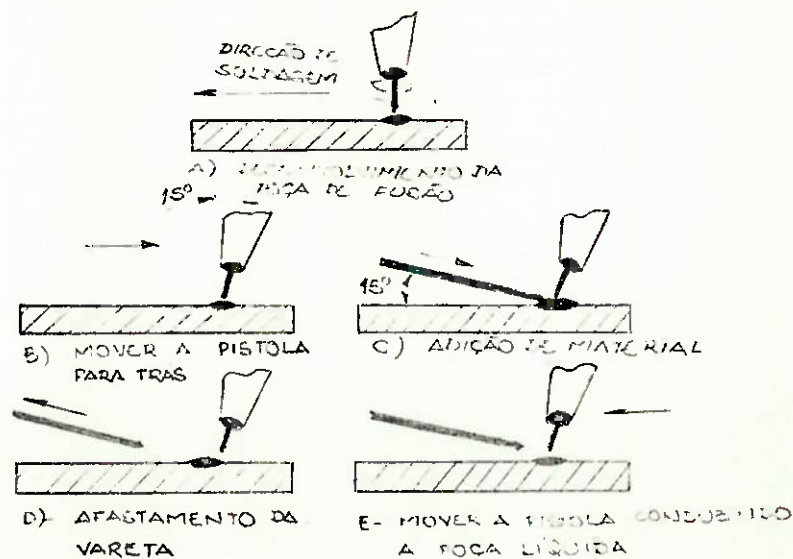


FIG. D.1 - TÉCNICA PARA SOLDAGEM TIG MANUAL

E - VANTAGENS E LIMITAÇÕES

O PROCESSO TIG É INDICADO PARA SOLDAR CHAPAS FINAS DEVIDO AO EXCELENTE CONTROLE DO CALOR IMPOSTO. COMO NA SOLDAGEM OXI-ACETILÊNICA, A FONTE DE CALOR E A ADIÇÃO DE METAL PODEM SER SEPARADAMENTE CONTROLADAS. EM VIRTUDE DO ELÉTRODO NÃO SER CONSUMÍVEL, O PROCESSO PODE SER USADO SEM SE ADICIONAR MATERIAL EXTRA. SOLDAM-SE QUASE TODOS OS METAIS, MAS GERALMENTE NÃO É USADO PARA OS DE BAIXO PONTO DE FUSÃO, TAIS COMO CHUMBO, ESTANHO E LIGAS DE ZINCO. É ESPECIALMENTE ÚTIL PARA A SOLDAGEM DO ALUMÍNIO E MAGNÉSIO, OS QUAIS FORMAM ÓXIDOS REFRACTÁRIOS, E TAMBÉM PARA METAIS COM TITÂNIO E ZIRCONIO, QUE DISSOLVEM OXIGÊNIO E / TORNAM-SE FRÁGEIS, SE EXPOSTOS AO AR ENQUANTO FUNDIDOS. O PROCESSO TIG PRODUZ UMA SOLDA DE ALTA QUALIDADE.

ALGUMAS LIMITAÇÕES SÃO:

- PROCESSO É MAIS LENTO DO QUE OS COM ELÉTODOS CONSUMÍVEIS;
- OCORRE, ÀS VEZES, CONTAMINAÇÃO DA SOLDA POR TUNGSTÊNIO QUE SE TRANSFERIU DO ELÉTRODO (A INCLUSÃO DE TUNGSTÊNIO É DURA E FRÁGIL);
- A EXPOSIÇÃO AO AR DA EXTREMIDADE QUENTE DA VARETA DO METAL DE ADIÇÃO, QUANDO UTILIZA-SE TÉCNICAS IMPRÓPRIAS, / CAUSA CONTAMINAÇÃO DA SOLDA;
- O CUSTO DOS GASES INERTES E O CUSTO DO ELÉTRODO DE TUNGSTÊNIO ELEVAM MUITO O CUSTO DO PROCESSO, QUANDO COMPARADO COM OUTROS PROCESSOS;
- O CUSTO DO EQUIPAMENTO É RELATIVAMENTE ELEVADO.

POR ESSAS RAZÕES, O PROCESSO TIG NÃO É COMPETITIVO COMERCIALMENTE COM OUTROS PROCESSOS DE SOLDAGEM, TAIS COMO ELÉTRODO REVESTIDO MANUAL, MIG E ARCO SUBMERSO, SE FOR POSSÍVEL OBTER / COM ELES A QUALIDADE DESEJADA DA SOLDA.

F - ESCOLHA DO TIPO DE CORRENTE

A ESCOLHA DO TIPO DE CORRENTE, SE CONTÍNUA COM POLARIDADE DIRETA OU INVERSA, OU CORRENTE ALTERNADA, DEPENDE DO METAL A / SER SOLDADO, DO GÁS DE PROTEÇÃO, DA TÉCNICA DE SOLDAGEM EMPRE-

GADA E MAIS ALGUNS OUTROS FATORES DE MENOR IMPORTÂNCIA.

A CORRENTE CONTÍNUA DE POLARIDADE DIRETA (CC-) É O TIPO / DE CORRENTE MAIS AMPLAMENTE USADO PARA O PROCESSO TIG. PRODUZ SOLDAS EM CONDIÇÕES SATISFATORIAS EM QUASE TODOS OS METAIS E LI GAS SOLDÁVEIS

A CORRENTE CONTÍNUA COM POLARIDA DIRETA PRODUZ UMA SOLDA MAIS ESTREITA E COM MAIOR PENETRAÇÃO DO QUE AS OBTIDAS COM OS OUTROS DOIS TIPOS DE CORRENTE. CONTUDO , A CORRENTE CONTÍNUA / COM POLARIDADE INVERTIDA, TEM A PROPRIEDADE DE REMOVER A PELÍCULA DE ÓXIDO SOBRE QUASE TODOS OS METAIS, O QUE É INDISPENSÁVELNA SOLDAGEM DE METAIS QUE TENHAM ÓXIDOS REFRAATÓRIOS, COMO O ALUMÍNIO E O MAGNÉSIO. O ÓXIDO DE ALUMÍNIO (AL_2O_3 -- ALUMINA) POR EXEMPLO, FUNDE-SE A UMA TEMPERATURA PRÓXIMA A 2200°C ENQ / ENQUANTO QUE A TEMPERATURA DE FUSÃO DO ALUMÍNIO ESTÁ EM TORNO DE 660°C. ASSIM SE O ÓXIDO NÃO FOR REMOVIDO, NÃO SE EXECUTARÁ UMA SOLDAGEM, ADEQUANDO-SE ÀS CONDIÇÕES DO MATERIAL. PORTANTO, / PARA ESTES METAIS DEVER-SE-IA UTILIZAR CORRENTE CONTÍNUA COM / POLARIDADE INVERSA (CC+), MAS TAL PRODUZIRIA DESGASTE DO ELÉ - TRODO E, ENCLUSIVE, CONTAMINAÇÃO DE TUNGSTÊNIO NA SOLDA. A O - PÇÃO , ENTÃO ADOTADA, É A UTILIZAÇÃO DE CORRENTE ALTERNADA QUE, EM CADA MEIO CICLO, EM QUE A POLARIDADE TORNA-SE INVERTIDA, / PROCESSA A LIMPEZA DOS ÓXIDOS. O DESGASTE DO ELÉTRODO, EMBORA SENDO MAIOR QUE NO CASO DE CORRENTE CONTÍNUA COM POLARIDADE DI RETA , NÃO CHEGA A COMPROMETER O ELÉTRODO E A SOLDA.

TODAVIA, NA SOLDAGEM EM CORRENTE ALTERNADA DE METAIS QUE TENHAM ÓXIDOS REFRAATÓRIOS, SURGE O PROBLEMA DE UMA INSTABILIDADE INTENSA DO ARCO. TAL FATO, NESTE PARTICULAR, DEVE-SE AO E FEITO RETIFICADOR DE CORRENTE ELÉTRICA DO PAR ALUMÍNIO-ALUMI - NA. O FENÔMENO DA RETIFICAÇÃO É CARCTERIZADO PELO DESBALANCEAMENTO DA SENÓIDE DA CORRENTE, CAUSADO PELA DIFERENÇA DE RESIS TÊNCIA AO FLUXO DE CORRENTE ENTRE O MEIO CICLO POSITIVO E O NE GATIVO. ALÉM DISSO, A RETIFICAÇÃO É AFETADA PELA DIFERENÇA DE EMISSIVIDADE ELETRÔNICA DO ELÉTRODO E DA POÇA DE FUSÃO. POR IS SO, A DENSIDADE DE CORRENTE É IMPORTANTE, POIS CONTROLA A TEM PERATURA DO ELÉTRODO. TAMBÉM, O COMPRIMENTO DO ARCO E O GAS DE PROTEÇÃO TÊM SUAS INFLUÊN CIAS.

A RETIFICAÇÃO E SEUS EFEITOS ADVERSOS PODEM SER ELIMINA - DOS PELO USO DE UM TRANSFORMADOR DE ONDA BALANCEADA. QUANDO SE USA UM TRANSFORMADOR CONVENCIONAL, A SOLDAGEM SÓ É POSSÍVEL DE

VIDO A SUPERPOSIÇÃO DE UMA CORRENTE DE ALTA FREQUÊNCIA AO CIRCUITO PRINCIPAL DE SOLDAGEM.

RESUMINDO AS PROPRIEDADES APRESENTADAS PARA OS TRÊS TIPOS DE CORRENTE TEMOS:

- CORRENTE ALTERNADA — VISA OBTER LIMPEZA, E É APLICADO PARA / O AL, MG E SUAS LIGAS;
- CORRENTE CONTÍNUA DIRETA (CC-) — VISA OBTER PENETRAÇÃO, E É UTILIZADO / AÇOS AUSTENÍTICOS, CU, NI, AG, LIGAS / RESISTENTES AO CALOR;
- CORRENTE CONTÍNUA INVERSA (CC+) — SÓ É POSSÍVEL SUA UTILIZAÇÃO PARA CORRENTES PEQUENAS, POR SER ANTI-ECONÔMICA EM CORRENTES MAIS ALTAS, É APLICÁVEL PARA QUASE TODOS OS METAIS.

G - INFLUÊNCIA DOS GASES DE PROTEÇÃO E DO ÂNGULO DE PONTA DO ELÉTRODO SOBRE A GEOMETRIA DO PROCESSO

A FIGURA G.1 APRESENTA A REPRODUÇÃO, DE MANEIRA ESQUEMÁTICA, DA MACROGRAFIA DA ZONA FUNDIDA E AFETADA PELO CALOR. REPRESENTA-SE O CONTORNO DA ZONA FUNDIDA COM LINHA MAIS GROSSA E DA ZONA AFETADA COM LINHA MAIS FINA, SENDO QUE AS LINHAS TRACEJADAS CORRESPONDEM AO ELÉTRODO COM ÂNGULO DE PONTA DE 60º E AS / LINHAS CONTÍNUAS AO ELÉTRODO COM ÂNGULO DE PONTA DE 30º.

A FIGURA G.1-A REPRESENTA AS MACROGRAFIAS PARA OS ENSAIOS COM GÁS HÉLIO E A FIG. G.1-B PARA OS ENSAIOS COM ARGÔNIO. COMPARANDO-AS, CONSTATA-SE QUE A PENETRAÇÃO CONSEGUIDA COM O HÉLIO CHEGA A SER O DOBRO DA PENETRAÇÃO CONSEGUIDA COM O ARGÔNIO. ACREDITA-SE QUE ISTO ACONTEÇA PELO FATO DO ARGÔNIO SER / MAIS IONIZÁVEL QUE O HÉLIO E POR ISSO, HAVERÁ MAIOR CONCENTRAÇÃO DE ENERGIA COM O HÉLIO, POIS PARA O MESMO PAR'TENSÃO-CORRENTE', O MESMO PROPORCIONA MENOR COMPRIMENTO DE ARCO. TODAVIA, DEVE-SE RESSALTAR QUE ESTE GÁS É MUITO MAIS CARO QUE O ARGÔN / ARGÔNIO.

O ÂNGULO DE PONTA DO ELÉTRODO EXERCE TAMBÉM UMA INFLUÊNCIA MARCANTE SOBRE A PENETRAÇÃO; QUANTO MAIS APONTADO FOR O ELÉTRODO MAIS PENETRAÇÃO SE CONSEGUIRÁ.

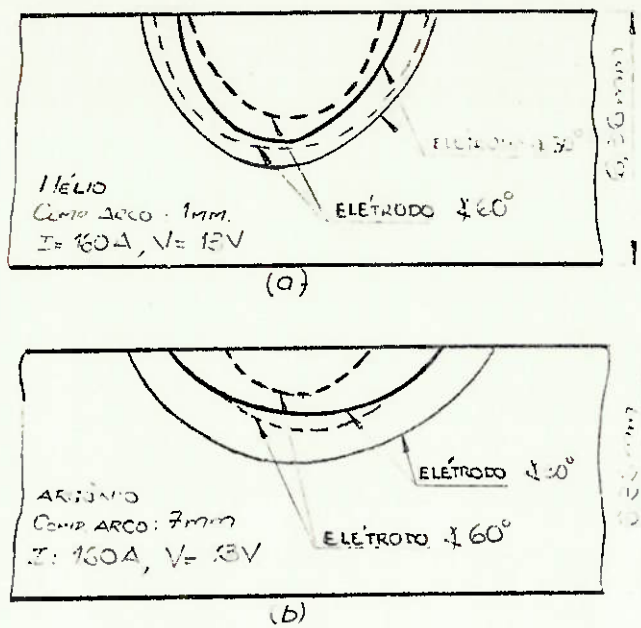


FIG. G.1 - REPRODUÇÃO ESQUEMÁTICA DAS MACROGRAFIAS DA ZONA FUNDIDA E AFETADA PELO CALOR CAUSADAS POR ARCOS TIG

H - PROCESSO MIG/MAG

H.1 - CONCEITUAÇÕES

A SOLDAGEM A ARCO COM ELÉTRODOS FUSÍVEIS, SOB PROTEÇÃO GÁSOSA, É CONHECIDA PELAS DENOMINAÇÕES MIG (METAL INERT GAS) QUANDO O GÁS UTILIZADO FOR UM GÁS NOBRE (ABSOLUTAMENTE INERTE) E MAG (METAL ACTIVE GAS) QUANDO O GÁS UTILIZADO FOR CO_2 , OU MISTURAS DO MESMO.

ESTES GASES, SEGUNDO SUA NATUREZA E COMPOSIÇÃO, TEM UMA INFLUÊNCIA PREPONDERANTE NAS CARACTERÍSTICAS DO ARCO, NO TIPO DE TRANSFERÊNCIA DO METAL DO ELÉTRODO À PEÇA, NA VELOCIDADE DE SOLDAGEM, NAS PERDAS POR PROJEÇÕES, NA PENETRAÇÃO E NA FORMA EXTERNA DA SOLDA. POR OUTRO LADO, O GÁS TAMBÉM TEM INFLUÊNCIA NAS PERDAS DE ELEMENTOS QUÍMICOS, NA TEMPERATURA DA POÇA DE FUSÃO, NA SENSIBILIDADE À FISSURAÇÃO E À POROSIDADES, BEM COMO NA FACILIDADE DE EXECUÇÃO DA SOLDAGEM NAS DIVERSAS POSIÇÕES. OS GASES NOBRES (PROCESSO MIG) SÃO PREFERIDOS POR RAZÕES METALÚRGICAS E O CO_2 PURO (PROCESSO MAG) POR RAZÕES ESTRITAMENTE

ECONÔMICAS. PARA AÇOS DE CONSTRUÇÃO, TAMBÉM TEM-SE USADO A SOLDAGEM SOB MISTURA DE ARGÔNIO E CO_2 , COM ARAMES DESOXIDANTES (CONTENDO SILÍCIO E MANGANÊS).

H.2 - EQUIPAMENTO

O EQUIPAMENTO PARA SOLDAGEM PELOS PROCESSOS MIG/MAG CONSISTE (FIG. H.1) DE UMA PISTOLA DE SOLDAGEM, UMA FONTE DE ENERGIA, UM SISTEMA DE SUPRIMENTO DE GÁS E UM SISTEMA ALIMENTADOR DO ARAME-ELÉTRODO. POR VEZES TAMBÉM É NECESSÁRIO UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO A ÁGUA.

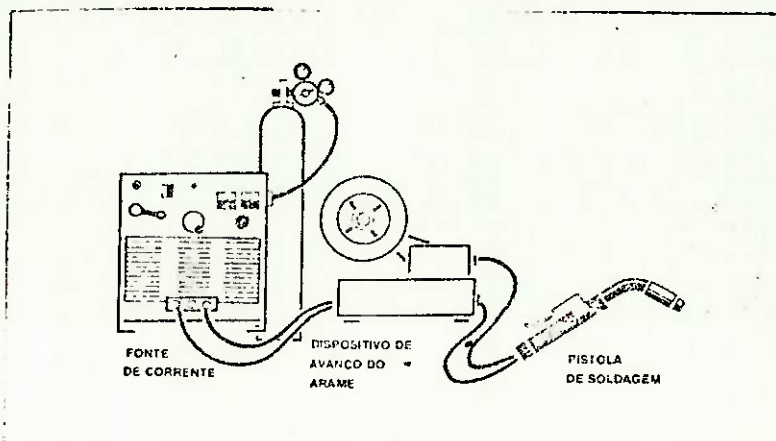


FIG. H.1 - EQUIPAMENTO PARA SOLDAGEM MIG/MAG

H.2.1 - PISTOLA DE SOLDAGEM

COMO, NESSE PROCESSO, O ELÉTRODO É ALIMENTADO CONTINUAMENTE, A PISTOLA DE SOLDAGEM (FIG. H.2) DEVE TER UM CONTATO ELÉTRICO DESLIZANTE (TUBO DE CONTATO) PARA PERMITIR UMA TRANSMISSÃO DE CORRENTE ELÉTRICA AO ARAME-ELÉTRODO. DEVE TAMBÉM TER UMA PASSAGEM DE GÁS E UM BOCAL PARA DIRIGI-LO ÀS REDONDEZAS DO ARCO E DA POÇA DE FUSÃO. ÀS VEZES HÁ AINDA, UM CIRCUÍTO FECHADO DE PASSAGEM DE ÁGUA PARA REFRIGERAÇÃO.

PODE-SE DISPOR DE PISTOLAS ADEQUADAMENTE CONSTRUÍDAS PARA MANIPULAÇÃO MANUAL (SOLDAGEM SEMI-AUTOMÁTICA) OU PARA SOLDAGEM TOTALMENTE MECANIZADA. A FIGURA H.3 MOSTRA UM CABEÇOTE PARA SOLDAGEM MIG/MAG AUTOMÁTICA.

NAS PISTOLAS PARA MANIPULAÇÃO MANUAL, UM INTERRUPTOR ELÉ-

TRICO DEVE SER ACOPLADO AO SISTEMA PARA INICIAR E FINDAR A PASSAGEM DE CORRENTE, A ALIMENTAÇÃO DO ARAME E O FLUXO DE GÁS DE PROTEÇÃO.

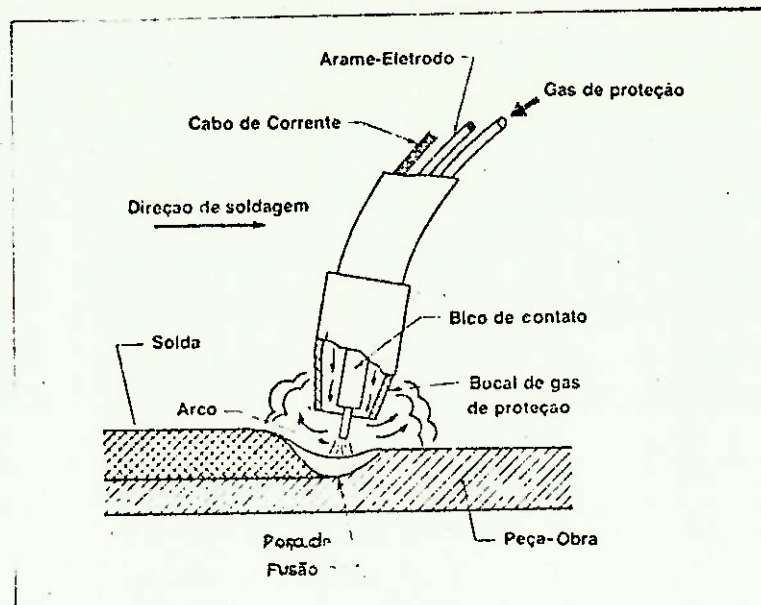


FIG. H.2 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO EXTREMO DE UMA PISTOLA DE SOLDAGEM MIG/MAG

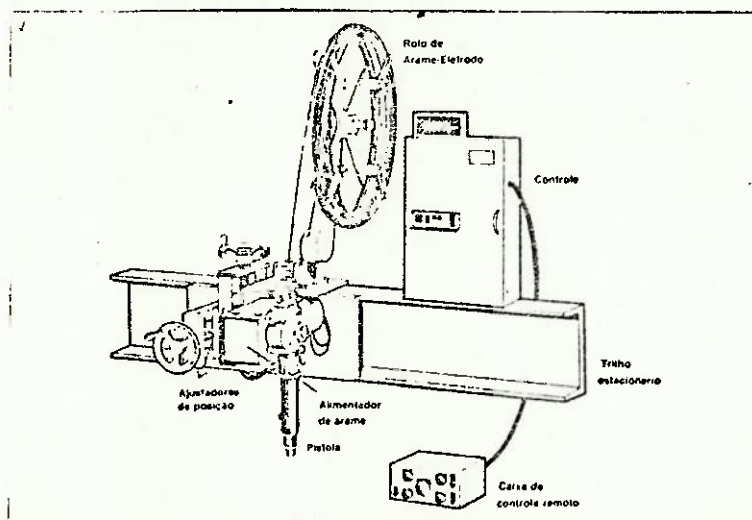


FIG. H.3 - CABEÇOTE PARA SOLDAGEM MIG/MAG AUTOMÁTICA

H.2.2 - FONTE DE ENERGIA

O PROCESSO USA CORRENTE CONTÍNUA, QUE PODE SER FORNECIDA POR UM CONJUNTO TRANSFORMADOR-RETIFICADOR OU POR UM CONVERSOR.

A FORMA DA CARACTERÍSTICA ESTÁTICA DA FONTE PODE SER DO TIPO 'CORRENTE CONSTANTE' OU DO TIPO 'TENSÃO CONSTANTE'. QUAN -

DO SE USA UMA FONTE DO TIPO 'TENSÃO CONSTANTE', A VELOCIDADE / DE ALIMENTAÇÃO DO ARAME-ELÉTRODO AMANTÉM-SE CONSTANTE DURANTE A SOLDAGEM. ESSE SISTEMA É MAIS SIMPLES E BARATO, TODAVIA SÓ / FUNCIONA BEM COM O USO DE ARAMES FINOS (ATÉ 1,2 MM).

COM A FONTE DE ENERGIA DO TIPO 'CORRENTE CONSTANTE', O / COMPRIMENTO DO ARCO É CONTROLADO PELO AJUSTE AUTOMÁTICO DA VELO / CIDADE DE ALIMENTAÇÃO DO ARAME. ESTE TIPO DE SISTEMA É MUITO A DEQUADO QUANDO SE UTILIZA ARAMES DE DIÂMETROS GRANDES (MAIORES QUE 1,2 MM).

EXISTEM FONTES DE ENERGIA PARA SOLDAGEM MIG/MAG QUE, AL / ALÉM DO SUPRIMENTO DE ENERGIA SOB A FORMA DE CORRENTE CONTÍNUA FORNECEM ADICIONALMENTE UMA CORRENTE PULSANTE. A FIGURA H.4 / MOSTRA QUE O FORNECIMENTO DE ENERGIA SE PROCESSA EM DOIS NÍV / NÍVEIS: UMA CORRENTE DE BASE RELATIVAMENTE BAIXA E UMA CORRENTE PULSANTE SUPERPOSTA DE FREQUÊNCIA AJUSTÁVEL. A CORRENTE DE BASE É DE INTENSIDADE MENOR QUE A DA CORRENTE DE TRANSIÇÃO CO - TEJAMENTO/AEROSSOL, ENQUANTO QUE A AMPLITUDE DOS PULSOS DEVE / SER AJUSTADA DE MODO A SOBREPUJAR AQUELA INTENSIDADE DE TRANSI / ÇÃO.

A COMBINAÇÃO DOS DOIS NÍVEIS DE CORRENTE PRODUZ UMA TRANS / FERÊNCIA POR AEROSSOL EM CORRENTE EFICAZ ABAIXO DAQUELAS RE - QUERIDAS PARA O AEROSSOL CONVENCIONAL. COMO O CALOR IMPOSTO É MENOR, ESSA OPÇÃO PERMITE A SOLDAGEM DE SEÇÕES MAIS FINAS COM AEROSSOL.

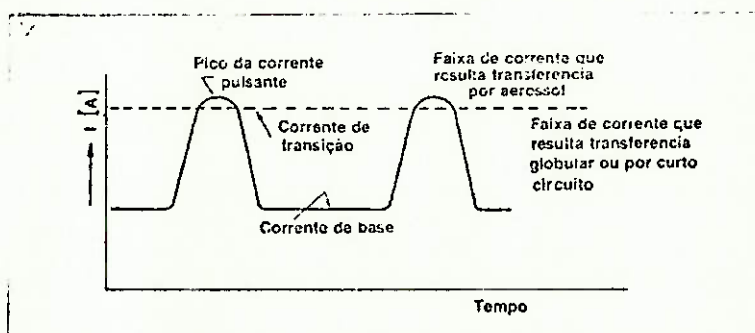


FIG. H.4 - REPRESENTAÇÃO DA CORRENTE PULSANTE

H.2 - VANTAGENS E LIMITAÇÕES DO PROCESSO MIG/MAG

EM VIRTUDE DO ELÉTRODO SER NU E DE MUITO PEQUENO COMPRI - MENTO, PODE-SE USAR ELEVADAS DENSIDADES DE CORRENTE, ATÉ / 300 A/ MM², CERCA DE DEZ VEZES MAIOR QUE É POSSÍVEL NA SOLDA -

GEM A ARCO CONVENCIONAL COM ELÉTRODOS REVESTIDOS.

COMO O ELÉTRODO É ALIMENTADO CONTINUAMENTE A PARTIR DE UM CARRETEL ONDE SE ACHA ENROLADO, NÃO HÁ PERDA DE TEMPO PARA TROCAS FREQUENTES DE ELÉTRODOS. DO EXPOSTO, RESULTA QUE SE PODE DEPOSITAR ATÉ 16 KG DE MATERIAL POR HORA E COM ISTO OBTÉM-SE ELEVADE VELOCIDADE DE SOLDAGEM. ALGUMAS LIMITAÇÕES SÃO: O CORDÃO DE SOLDA, POR NÃO FICAR ENCOBERTO COM ESCÓRIA, SOFRE UMA VELOCIDADE DE RESFRIAMENTO RELATIVAMENTE ALTA; O ARAME-ELÉTRODO, PARA ATENDER REQUISITOS DE FLEXIBILIDADE, NÃO PODE ATENDER INTEIRAMENTE A REQUISITOS METALÚRGICOS; NÃO EXISTE GRANDE VARIEDADE DE ARAMES-ELÉTRODOS NO MERCADO NACIONAL.

H.3 - ARAME - ELÉTRODO

OS ARAMES ELÉTRODO PARA A SOLDAGEM A MIG/MAG SÃO DE ALTA PUREZA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA BEM CONTROLADA. O USO DE ARAMES ORDINÁRIOS GERALMENTE CONDUZEM A DEFEITOS NA SOLDA. NÃO SOMENTE A COMPOSIÇÃO DEVE SER VERIFICADA, MAS TAMBÉM AS CONDIÇÕES SUPERFICIAIS, A DUREZA E AS VARIAÇÕES NO DIÂMETRO. A CONDIÇÃO SUPERFICIAL E PRECISÃO DIAMETRAL TEM AMBAS UMA ACENTUADA INFLUÊNCIA NAS CARACTERÍSTICAS DE ALIMENTAÇÃO.

H.4 - VARIÁVEIS DO PROCESSO

A SOLDAGEM MIG/MAG É UM PROCESSO QUE APRESENTA GRANDE NÚMERO DE VARIÁVEIS A SEREM CONTROLADAS.

OS FATORES DETERMINANTES DA GEOMETRIA DA SOLDA, DA ZONA AFETADA PELO CALOR, DAS DEMAIS PROPRIEDADES DA JUNÇÃO, SÃO OS SEGUINTE:

- AS CARACTERÍSTICAS DA FONTE DE ENERGIA E DO ARCO VOLTAICO, QUE DETERMINAM EM CONJUNTO A TENSÃO E A CORRENTE;
- O TIPO E A INTENSIDADE DA TRANSFERÊNCIA DO MATERIAL DO ELÉTRODO À PEÇA, ATRAVÉS DO ARCO;
- A VELOCIDADE DE SOLDAGEM;
- A POSIÇÃO DE SOLDAGEM;
- A PREPARAÇÃO DOS BORDOS A SOLDAR.

PARA OTIMIZAR O BINÔMIO QUALIDADE-RENTABILIDADE DO PROCESSO, É PRECISO QUE ESTES FATORES SEJAM BEM ESTUDADOS PARA ESCOLHER-SE O CONJUNTO ADEQUADO DE VALORES. PARA TANTO, APRESENTA-SE A SEGUIR UMA SÉRIE DE EXPERIÊNCIAS REALIZADAS PELOS AUTORES.

H.4.1 - CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS DE ARCO NO PROCESSO MIG/MAG

O CONHECIMENTO DAS CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS DE ARCO NESSES PROCESSOS TORNA-SE IMPORTANTE, POIS PODE-SE CORRELACIONÁ-LAS COM A EFICIÊNCIAS TÉRMICA DO PROCESSO, COM AS CURVAS DE IGUAL CONSUMO DO ARAME-ELETRODO, COM OS LIMITES DE REGULAGEM DE TENSÃO E COM A GEOMETRIA DA SOLDA.

ESTAS CARACTERÍSTICAS INDICAM O COMPORTAMENTO ELÉTRICO DO ARCO NUM DETERMINADO COMPRIMENTO. EXISTEM DIFICULDADES EM DETERMINÁ-LAS, NO CASO DO PROCESSO MIG/MAG, POR SE ESTAR TRATANDO COM UM PROCESSO DINÂMICO, ISTO É, O ELETRODO SE CONSUME À MEDIDA QUE PENETRA NO ARCO.

O ARGÔNIO, PELO SEU CARÁTER MAIS IONIZÁVEL, PRODUZ, PARA UMA MESMA TENSÃO, COMPRIMENTOS DE ARCO MAIORES. AS CURVAS DA MISTURA ARGÔNIO-CO₂ ASSUMEM VALORES INTERMEDIÁRIOS ENTRE AS CURVAS DOS GASES CONSTITUINTES. O ELEVADO COMPRIMENTO DE ARCO OBTIDO COM ARGÔNIO, RESULTA EM PERDAS POR RADIAÇÃO MAIORES DO QUE OS OUTROS GASES. ESTA, É A PRINCIPAL CAUSA DA SOLDA COM ARGÔNIO TER PENETRAÇÃO MENOR.

AS CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS, DETERMINADAS EXPERIMENTALMENTE, INDICAM A VARIAÇÃO DA TENSÃO TOTAL COM A CORRENTE E PORTANTO INCLUEM, ALÉM DA QUEDA DO ARCO E DE SUAS CONEXÕES (ÂNODO E CÁTODO), TODAS AS DEMAIS QUEDAS DE TENSÃO CITADAS.

A CARACTERÍSTICA ASSIM DETERMINADA SERÁ DENOMINADA DE 'CARACTERÍSTICA ESTÁTICA APARENTE DE ARCO VOLTAICO'. COM ESTA DENOMINAÇÃO PROCURA-SE DISTINGUIR, INEQUIVOCAMENTE, TAL CARACTERÍSTICA DAQUELA QUE SE REFERE À VARIAÇÃO APENAS DA QUEDA DE ARCO E DE SUAS CONEXÕES.

ESTA, QUE SERÁ DENOMINADA DE CARACTERÍSTICA ESTÁTICA REAL DEPENDERÁ SOMENTE DO GÁS DE PROTEÇÃO, DO DIÂMETRO DO ELETRODO, DA NATUREZA DO ELETRODO, DO METAL DE BASE E TAMBÉM DO COMPRIMENTO DO ARCO VOLTAICO. POR SUA VEZ, A CARACTERÍSTICA ESTÁTICA APARENTE DEPENDERÁ DE TODO O CIRCUITO EXTERNO E ESPECIALMEN

TE, DO COMPRIMENTO DO ELÉTRODO, ISTO SIGNIFICA QUE, NUM DIAGRAMA CARTESIANO, ORTOGONAL, ENTRE A TENSÃO E A CORRENTE, A CURVA DENOMINADA DE CARACTERÍSTICA APARENTE MUDA SUA POSIÇÃO QUANDO SE VARIA O COMPRIMENTO DO ELÉTRODO E, COM ISSO, ALTERA-SE TANTO A GEOMETRIA DA SOLDA COMO SUAS PROPRIEDADES, AINDA QUE AS / DEMAIS CONDIÇÕES PERMANEÇAM CONSTANTES.

A FIGURA H.5 MOSTRA DUAS CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS APARENTES PARA MESMO COMPRIMENTO DE ARCO E DIFERENTES COMPRIMENTOS / DE ELÉTRODO.

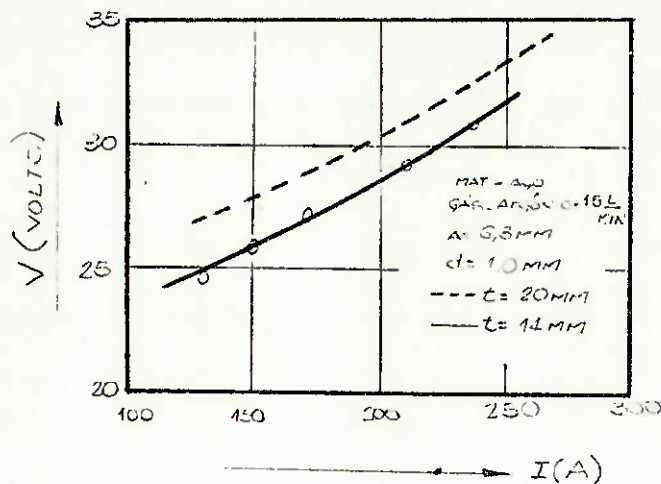


FIG. H.5 - CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS APARENTES PARA ARCO

H.4.2 - LINHAS DE IGUAL CONSUMO DE ELÉTRODO

QUANDO SE UTILIZAM FONTES DE ENERGIA DO TIPO 'TENSÃO CONSTANTE', A REGULAGEM DA CORRENTE DE SOLDAGEM SE EFETUA CONTINUAMENTE ATRAVÉS DA VELOCIDADE ALIMENTAÇÃO DO ARAME. PARA SE ESCOLHER A PRIORI O PAR 'TENSÃO CORRENTE', DEVE-SE TER SOBRE AS CURVAS CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS DA FONTE, AS LINHAS DE IGUAL CONSUMO DE ARAME PARA O GÁS EM QUESTÃO. ESTAS CURVAS INDEPENDEM DO PROJETO DA FONTE DE ENERGIA, SENDO PORÉM DEPENDENTES DO ELÉTRODO (METAL CONSTITUINTE E BITOLA), DO METAL DA PEÇA-OBRA E SOBRETUDO DO TIPO DA ATMOSFERA IONIZANTE.

AS FIGURAS H.6 E H.7 MOSTRAM OS RESULTADOS EXPERIMENTAIS / PARA ARGÔNIO PURO E PARA CO_2 PURO, VÁLIDOS PARA ARAME DE 1,0 mm DE DIÂMETRO. VERIFICA-SE QUE, PARA QUALQUER POTÊNCIA DA FONTE, O CO_2 APRESENTA UM MAIOR CONSUMO QUE O ARGÔNIO. ESTE FATO PORÉM VALE PARA QUALQUER POTÊNCIA DA FONTE, DESDE QUE O ELÉTRODO TENHA A COMPOSIÇÃO INDICADA, JÁ QUE A MESMA INFLUI NO CONSUMO.

COM ELÉTRODOS DE AÇO COM COMPOSIÇÃO DIFERENTE ENCONTRAM-SE CAMPOS NOS QUAIS O ARGÔNIO PODE APRESENTAR MAIOR CONSUMO QUE O CO_2 EMBORA A POTÊNCIA PERMANEÇA A MESMA.

A EXPLICAÇÃO DA FORMA DAS CURVAS É MUITO DIFÍCIL PORQUE ENVOLVE UMA SÉRIE DE VARIÁVEIS INTERDEPENDENTES. UMA EXPLICAÇÃO PODE SER TENTADA EM TERMOS QUALITATIVOS TENDO-SE EM VISTA QUE A VELOCIDADE DE FUSÃO SOBRE UMA MESMA CURVA É CONSTANTE. À MEDIDA QUE SE ABAIXA A CARACTERÍSTICA ESTÁTICA DA FONTE, O QUE CORRESPONDE A UM ABAIXAMENTO DA TENSÃO APLICADA NOS TERMINAIS DA MESMA, TEORICAMENTE A CORRENTE DEVERIA AUMENTAR PARA QUE A QUANTIDADE DE ENERGIA PERMANECESSE A MESMA, E ASSIM, A MESMA QUANTIDADE DE ELÉTRODO CONTINUASSE A SER CONSUMIDO. PORÉM A CORRENTE TAMBÉM DIMINUI, OCASIONANDO UM DECRESCIMO NA ENERGIA GERADA. SABE-SE, POR OUTRO LADO, QUE SENDO CONSTANTE O CONSUMO DE ELÉTRODO NUMA MESMA CURVA, TAMBÉM O É A ENERGIA DISPENSADA PARA FUNDÍ-LO EM QUALQUER PONTO. DESSA FORMA, FICA EVIDENCIADO QUE OUTRAS PARCELAS DE ENERGIA SÃO DIMINUÍDAS EM FAVOR DA MANUTENÇÃO DA ENERGIA PARA FUNDIR O ARAME. UMA DESTAS PARCELAS É A PERDIDA PARA O AMBIENTE E PARA O MATERIAL DE BASE, A QUAL VARIA DE ACORDO COM O COMPRIMENTO DE ARCO, QUE POR SUA VEZ É FUNÇÃO DA TENSÃO APLICADA. O CONSUMO DEPENDIA APENAS DO CALOR GERADO NO PRÓPRIO ELÉTRODO E NA SUA CONEXÃO COM O ARCO. O CALOR GERADO NO COMPRIMENTO DO ARCO E NA SUA CONEXÃO COM A PEÇA NÃO CONTRIBUEM PARA O CONSUMO DO ELÉTRODO.

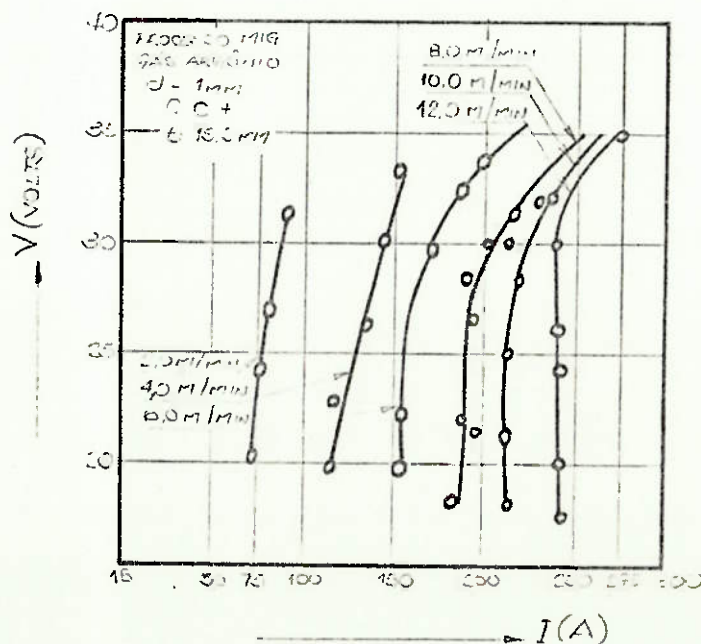


FIG. H.6 - CURVAS DE IGUAL CONSUMO DE ELÉTRODO EM M/MIN PARA ARCO REGADO A ARGÔNIO PURO

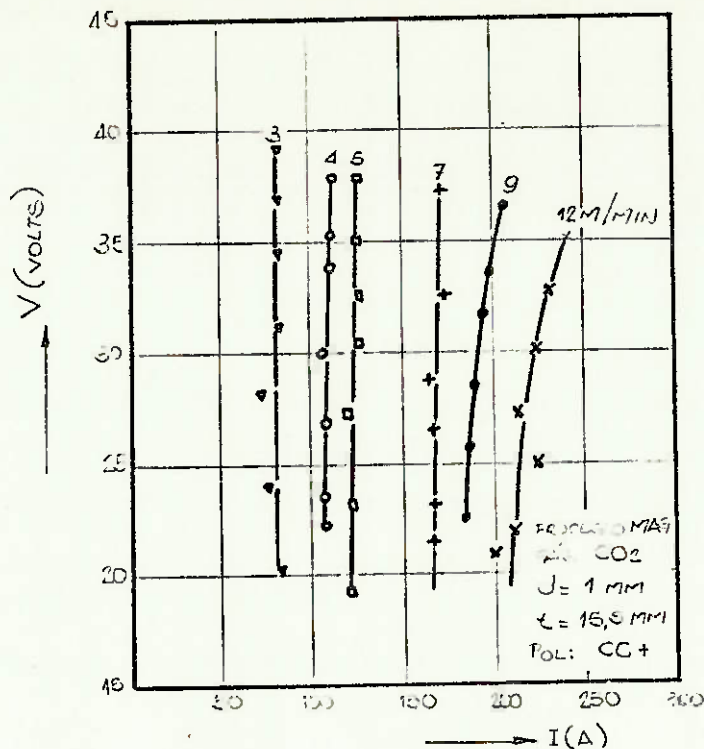


FIG. H.7 - CURVAS DE IGUAL CONSUMO DE ELÉTRODO EM M/MIN, PARA ARCO REGADO A CO_2 E POLARIDADE INVERSA

NAS ALTAS TENSÕES, O COMPRIMENTO DE ARCO É GRANDE E POR ISTO A EFICIÊNCIA TÉRMICA É PEQUENA. A INCLINAÇÃO MAIOR DAS CURVAS NO CASO DO ARGÔNIO DEVE-SE AO FATO DE QUE O MESMO ESTABELECE ARCOS MAIORES E, CONSEQUENTEMENTE, É MAIS SENSÍVEL À VARIÇÃO DESTE COMPRIMENTO DO QUE A VARIÇÃO DA TENSÃO.

PARA POLARIDADE DIRETA, AS CURVAS ASSUMEM INCLINAÇÃO CONTRÁRIA, ISTO É, HÁ AUMENTO NA CORRENTE PARA UMA DIMINUIÇÃO NA TENSÃO. NESTE CASO, O COMPRIMENTO DE ARCO É MUITO PEQUENO, E NÃO HÁ GRANDE AUMENTO DE EFICIÊNCIA TÉRMICA, PODENDO ATÉ DIMINUIR DEVIDO AO AUMENTO DE SALPICAGEM E, DESTE MODO PARA QUE HAJA CONTINUIDADE NO CONSUMO DO ELÉTRODO, A CORRENTE AUMENTA PARA EQUILIBRAR EM PARTE A ENERGIA GERADA.

OBSEVA-SE TAMBÉM QUE AS CURVAS PARA O ARGÔNIO PURO SITUAM-SE MAIS À DIREITA DO QUE AS DO CO_2 , PRINCIPALMENTE NAS TENSÕES ELEVADAS. ISTO SE DEVE AO MAIOR CARÁTER IONIZANTE DO ARGÔNIO, O QUE PERMITE, MESMO COM COMPRIMENTO DE ARCO MAIOR, UMA MAIOR INTENSIDADE DE CORRENTE. ENTRETANTO, NA REGIÃO AONDE COMEÇA HAVER CONTATO FÍSICO, AS MESMAS SE APROXIMAM DAS CURVAS ANTERIORES, POIS O EFEITO DA IONIZAÇÃO DEIXA DE SER IMPORTANTE.

H.4.3 - FATORES QUE AFETAM A GEOMETRIA DA SOLDA

OS FATORES QUE INFLUEM NAS CARACTERÍSTICAS DA SOLDA SÃO INÚMEROS. TODOS ESTES FATORES REFLETEM-SE NA SOLDA ATRAVÉS DO CONSUMO DO ELÉTRODO E DA FORMA E COMPORTAMENTO DO ARCO. A SELEÇÃO DAS CONDIÇÕES ÓTIMAS DE SOLDAGEM NÃO É FÁCIL, POIS TODAS AS VARIÁVEIS SÃO ACENTUADAMENTE INTERDEPENDENTES, COM EXCEÇÃO DA VELOCIDADE DE SOLDAGEM QUE GUARDA UM CERTO GRAU DE INDEPENDÊNCIA.

PARA MOSTRAR A INFLUÊNCIA DO GÁS DE PROTEÇÃO, APRESENTA-SE NA FIGURA H.8 A REPRODUÇÃO DAS MACROGRAFIAS DE SOLDAS DE POSIÇÃO EXECUTADAS COM ARGÔNIO, DIÓXIDO DE CARBONO E MISTURA / DE ARGÔNIO (75%) E DIÓXIDO DE CARBONO (25%). ESTAS SOLDAS SÃO EXECUTADAS PARA AS MESMAS CONDIÇÕES, PARA QUE SEJA POSSÍVEL UMA COMPARAÇÃO. PARA SE OBTER, COM CADA GÁS USADO, ESTA MESMA POTÊNCIA, FOI PRECISO UMA VELOCIDADE DE ARAME PARA O ARGÔNIO DE 11M/MIN, PARA A MISTURA 11,6M/MIN E PARA O CO₂ PURO 12M/MIN.

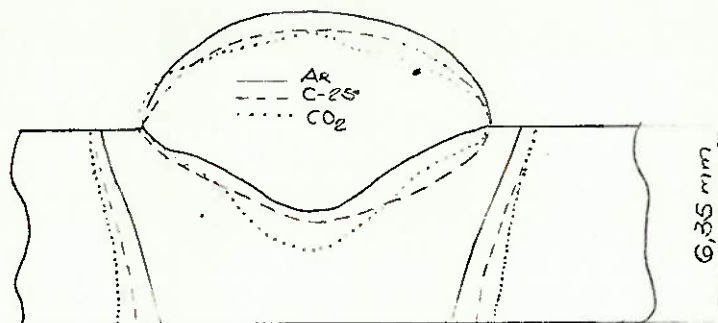


FIG. H.8 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS MACROGRAFIAS DE SOLDAGEM EM ATMOSFERAS DE ARGÔNIO, DIÓXIDO DE CARBONO E MISTURA DE ARGÔNIO E DIÓXIDO DE CARBONO

O CO₂ PURO, COMO PODE-SE OBSERVAR, PROPICIOU UM MAIOR CONSUMO DO ELÉTRODO NESTAS CONDIÇÕES PARTICULARES. NOTA-SE NA FIGURA QUE A SOLDA COM CO₂ PURO ALCANÇA UMA PENETRAÇÃO MAIOR EM RELAÇÃO ÀS OUTRAS DUAS E, APESAR DO MAIOR CONSUMO DO ELÉTRODO, A QUANTIDADE DE MATERIAL DEPOSITADO NA SOLDA É MENOR, COMO PODE SER OBSERVADO ATRAVÉS DA ÁREA DE SOLDA ACIMA DA SUPERFÍCIE DA CHAPA.

H.4.4 - SISTEMATIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS INFLUENTES NA GEOMETRIA DA SOLDA

ATÉ AQUI MOSTROU-SE OS VÁRIOS FATORES INFLUENTES NO COM -
PORTAMENTO DO ARCO VOLTAICO E ESTE, POR SUA VEZ SOBRE A GEOME-
TRIA DA SOLDA. AGORA DE MANEIRA SISTEMÁTICA, MOSTRAREMOS UM /
TRATAMENTO ADEQUADO DE TODOS OS FATORES.

- MATERIAL BASE: -AÇO SAE 1020 DE 1/4" DE ESPESSURA
- GÁS PROTETOR : -ARGÔNIO COM 25% DE CO₂
-VAZÃO DE 10 LITROS/MINUTO
- PROCESSO : -SOLDAGEM PLANA, DE TOPO, BORDOS RETOS,
FRESTAS F = 2MM, SEM COBRE JUNTA
-ELÉTRODO DE 1MM DE DIÂMETRO
-DISTÂNCIA DO BICO DE CONTATO À CHAPA
T = 12 MM
- ARAME : -CARBONO 0,00 - 0,12%
SILÍCIO 0,90 - 1,05%
MANGANÊS 1,30 - 1,55%
- FONTE : -RETIFICADOR TIPO TENSÃO CONSTANTE
- CORRENTE : -CORRENTE CONTÍNUA COM POLARIDADE INVERSA
(CC+)

A FIGURA H.9 ILUSTRA A VARIAÇÃO DA LARGURA (B), DA PENE -
TRAÇÃO (P) E DO REFORÇO (R) DA SOLDA COM A VELOCIDADE SOLDAGEM.
CADA PONTO DO GRÁFICO É OBTIDO COM IGUAL VELOCIDADE DO ARAME -
ELÉTRODO. A PEQUENA VARIAÇÃO DE CORRENTE É CAUSADA PELA ALTERA
ÇÃO DO COMPRIMENTO DO ELÉTRODO E DO ARCO EM CONSEQUÊNCIA DAS /
DIFERENTES ALTURAS DO (REFORÇO) DA POÇA METÁLICA, POR SUA VEZ,
DECORRENTES DAS DIFERENTES VELOCIDADES DE SOLDAGEM.

PARA ESTE ESTUDO TOMOU-SE COMO VARIÁVEIS INDEPENDENTES, A
TENSÃO, A CORRENTE E A VELOCIDADE DE SOLDAGEM. AS VARIÁVEIS DE
PENDENTES, DETERMINADAS EXPERIMENTALMENTE, FORAM: A PENETRAÇÃO
A LARGURA E O REFORÇO DA SOLDA, ALÉM DOS COMPRIMENTOS DO ELÉ -
TRODO E DO ARCO. TODAS AS DEMAIS CONDIÇÕES DEVEM SER INVARIÁ -
VEIS. APRESENTAM-SE NA TABELA ACIMA AS CONDIÇÕES.

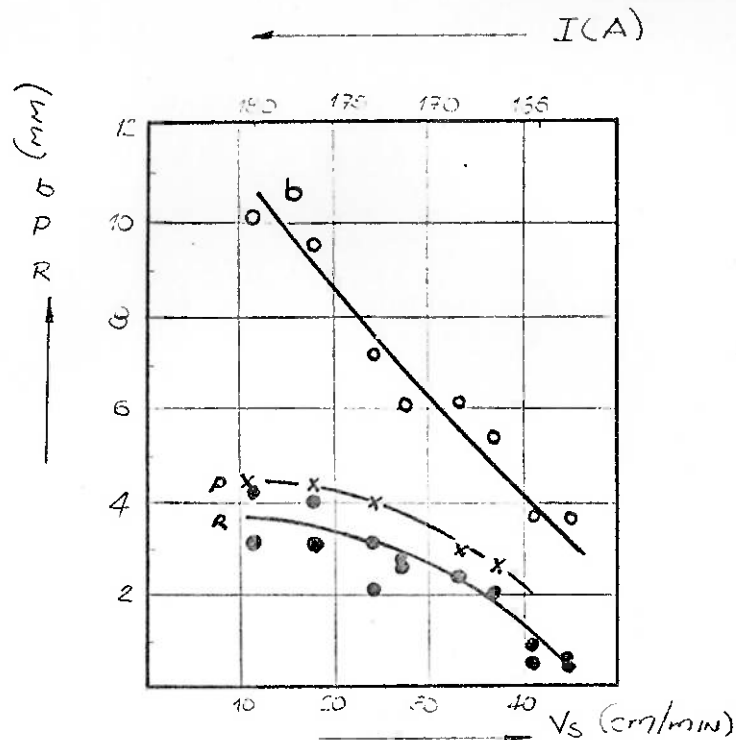


FIG. H.9 - VARIAÇÃO DA LARGURA (B), PENETRAÇÃO (P) E REFORÇO (R) COM A VELOCIDADE SOLDAGEM EM UMA CARACTERÍSTICA ESTÁTICA FIXA DA FONTE: TENSÃO EM VAZIO = 24V, TENSÃO A 200A=18,5V

1 - SOLDAGEM A ARCO SUBMERSO

1.1 - ASPECTOS GERAIS

"ARCO SUBMERSO" É UM PROCESSO DE SOLDAGEM POR FUSÃO, NO QUAL A ENERGIA NECESSÁRIA É FORNECIDA POR UM ARCO (OU ARCOS) / DESENVOLVIDO ENTRE A PEÇA-OBRA E UM ELÉTRODO (OU ELÉTODOS) / CONSUMÍVEL, CONTINUAMENTE ALIMENTADO À REGIÃO DA SOLDAGEM.

ESTE ARCO ARDE DENTRO DE UMA CAMADA DE FLUXO GRANULAR QUE SE FUNDE PARCIALMENTE, FORMANDO UMA ESCÓRIA LÍQUIDA QUE SOBRENADA NA POÇA METÁLICA FUNDIDA, PROTEGENDO-A DA AÇÃO CONTAMINADORA DA ATMOSFERA. IMEDIATAMENTE APÓS A SOLIDIFICAÇÃO METÁLICA, DA MESMA FORMA COMO OCORRE NA SOLDAGEM MANUAL COM ELÉTODOS REVESTIDOS, ESSA ESCÓRIA SOLIDIFICA-SE SOBRE O CORDÃO DE SOLDA, EVITANDO UMA CONDIÇÃO DE RESFRIAMENTO DEMASIADO RÁPIDO.

1.2 - DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

O EQUIPAMENTO PARA ESTE PROCESSO, BASICAMENTE CONSTA DAS /

SEGUINTE UNIDADES: FONTE DE ENERGIA, UNIDADE DE CONTROLE, / CONJUNTO DE ALIMENTAÇÃO DO ARAME-ELÉTRODO (COMPOSTO DA BOBINA DE ARAME E DO DISPOSITIVO TRACIONADOR), PISTOLA DE SOLDAGEM (OU PORTA-ELÉTRODO), ALIMENTADOR DE FLUXO, ASPIRADOR DE FLUXO (USADO OPCIONALMENTE). A FIGURA 1.1 APRESENTA DE MANEIRA ESQUEMÁTICA, ESSAS UNIDADES.

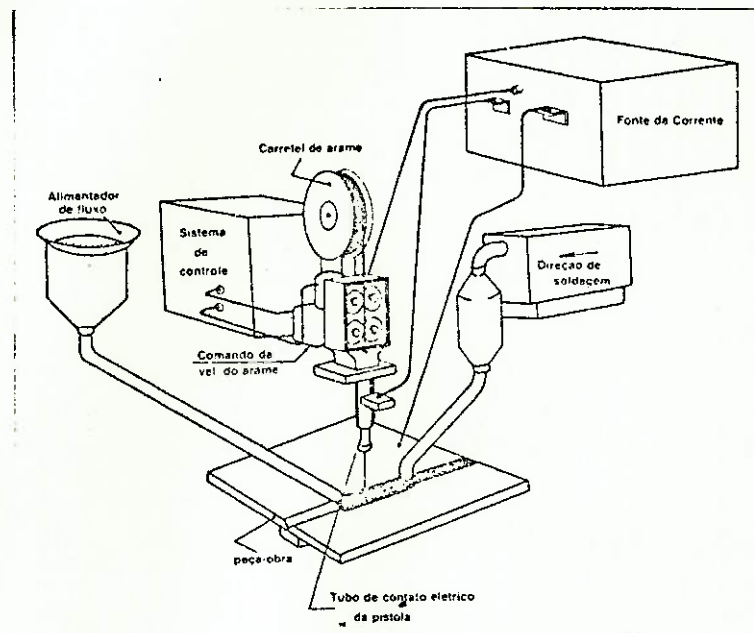


FIG. 1.1 - ILUSTRAÇÕES DAS UNIDADES COMPONENTES DO SISTEMA DE SOLDAGEM A ARCO SUBMERSO

1.2.1 - FONTE DE ENERGIA

COMO FONTE DE ENERGIA, PODEM SER USADOS :

- UM TRANSFORMADOR, QUANDO ENTÃO O ARCO SERÁ ALIMENTADO EM CORRENTE ALTERNADA;
- UM CONJUNTO TRANSFORMADOR-RETIFICADOR ;
- UM CONVERSOR.

NOS DOIS ÚLTIMOS CASOS, O ARCO SERÁ ALIMENTADO EM CORRENTE CONTÍNUA. PODEM SER UTILIZADAS FONTES DE TENSÃO CONSTANTE / OU FONTES DE CORRENTE CONSTANTE, CONFORME A UNIDADE DE CONTROLE DO CABEÇOTE. AS TENSÕES USUAIS REQUERIDAS SITUAM-SE NA FAIXA DOS 20 A 55 VOLTS. AS INTENSIDADES DE CORRENTE MAIS USUAIS VÃO DESDE AS UTILIZADAS NAS SOLDAS COM ELÉTODOS REVESTIDOS ATÉ 2.000 A. EM CASOS EXCEPCIONAIS, USAM-SE INTENSIDADES DE ATÉ

4000 A.

1.2.2 - UNIDADE DE CONTROLE

NESTA UNIDADE LOCALIZAM-SE AS CHAVES E CONTADORES QUE PODEM LIGAR E AS VEZES CONTROLAR À DISTÂNCIA A FONTE DE ENERGIA, CONTROLAR A ALIMENTAÇÃO DE ARAME E AJUSTAR A VELOCIDADE DE SOLDAGEM, NO CASO DE SOLDAGEM AUTOMÁTICA.

HÁ DOIS TIPOS DE UNIDADES DE CONTROLE, CADA UMA ADEQUADA PARA UM TIPO DE CARACTERÍSTICA DA FONTE DE ENERGIA: A) CONTROLE DE VELOCIDADE DE FUSÃO, PARA SER USADA COM FONTES DE TENSÃO / CONSTANTE E B) CONTROLE CONSTANTE DE VELOCIDADE DE ALIMENTAÇÃO DE ARAME, PARA FONTES COM CORRENTE CONTÍNUA.

A) CONTROLE DA VELOCIDADE DE FUSÃO

A TENSÃO É AJUSTADA NA FONTE DE ENERGIA, QUE A MANTÉM A PROXIMADAMENTE CONSTANTE AO LONGO DA SOLDAGEM, E A INTENSIDADE DE CORRENTE É AJUSTADA PELA VELOCIDADE DE ALIMENTAÇÃO DO ARAME NA UNIDADE DE CONTROLE. AO AUMENTAR-SE A VELOCIDADE DO ARAME, AUMENTA A INTENSIDADE DE CORRENTE, PORQUE DIMINUI A RESISTÊNCIA ELÉTRICA DO ARCO PELA DIMINUIÇÃO DE SEU COMPRIMENTO, E DE MODO CONTRÁRIO, CAI A INTENSIDADE DE CORRENTE, PORQUE AUMENTA A RESISTÊNCIA DO ARCO PELO AUMENTO DE SEU COMPRIMENTO.

B) CONTROLE DA VELOCIDADE DE ALIMENTAÇÃO

A VELOCIDADE DE ALIMENTAÇÃO DO ARAME É AGORA CONSTANTEMENTE AJUSTADA DURANTE A SOLDAGEM, DE FORMA A MANTER CONSTANTE UMA TENSÃO PREVIAMENTE REGULADA. NESTE CASO, A INTENSIDADE DE CORRENTE DEPENDE DA CARACTERÍSTICA ESTÁTICA SELECIONADA NA FONTE DE ENERGIA.

1.3 - VANTAGENS E LIMITAÇÕES DO PROCESSO

1.3.1 - VANTAGENS

EM VIRTUDE DO ARCO ENCONTRAR-SE CONFINADO DENTRO DA POÇA DE ESCÓRIA LÍQUIDA, EVITA-SE PERDAS DE CALOR POR RADIAÇÃO E, /

POR ISSO, RESULTA QUE:

- OBTÉM-SE, COM ESTE PROCESSO, O MAIOR RENDIMENTO TÉRMICO;
- ALCANÇA-SE UMA ELEVADA PRODUÇÃO ESPECÍFICA DE MATERIAL DE ADIÇÃO (KG/HÁ) QUE, EM CONSEQUÊNCIA, PROPICIA UMA GRANDE VELOCIDADE DE SOLDAGEM;
- CONSEGUE-SE ALCANÇAR MAIOR PENETRAÇÃO, QUE ALÉM DE PERMITIR AUMENTAR AINDA MAIS A VELOCIDADE DE SOLDAGEM, PODE EVITAR A OPERAÇÃO DE CHANFRAMENTO OU PERMITIR REDUZIR A ABERTURA DE CHANFRAMENTO;
- POSSIBILITA AO OPERADOR DISPENSAR O USO DE PROTETORES VISUAIS;
- PERMITIR A OBTENÇÃO DE MAIOR RENDIMENTO DE DEPOSIÇÃO QUE EM OUTROS PROCESSOS.

1.3.2 - LIMITAÇÕES

AS PRINCIPAIS LIMITAÇÕES DESTE PROCESSO SÃO AS SEGUINTE:

- A SOLDAGEM PODE SOMENTE SE REALIZAR NOS LIMITES DA POSIÇÃO / PLANA (OU NA POSIÇÃO HORIZONTAL, DESDE QUE HAJA UM SUPORTE PARA O PÓ) ;
- É PRATICAMENTE IMPOSSÍVEL SOLDAR JUNTAS DE DIFÍCIL ACESSO.

1.4 - ABERTURA DO ARCO

EM SOLDAGEM A ARCO SUBMERSO, TANTO AUTOMÁTICA COMO SEMI-AUTOMÁTICA, HÁ SEIS MÉTODOS DE ABERTURA DO ARCO: A) PELA APLICAÇÃO DE ALTA FREQUÊNCIA; B) POR RETRAÇÃO INSTANTÂNEA DO ARAME; C) POR INTERCALAÇÃO DE UMA PEQUENA ESFERA DE TELA OU PALHA DE AÇO; D) POR ARRASTE; E) PELO USO DE ARAME-ELÉTRODO DE PONTA AFILADA; E F) PELO USO DE ELÉTRODO DE CARBONO.

DESTES, OS TRÊS PRIMEIROS SÃO OS MAIS USUAIS QUANDO EMPREGAM-SE FONTES DO TIPO 'CORRENTE CONSTANTE', TANTO EM CORRENTE ALTERNADA COMO EM CORRENTE CONTÍNUA.

COM O USO DO MÉTODO DE ALTA FREQUÊNCIA, PODE-SE ABRIR O ARCO, MESMO SEM O CONTATO DO ELÉTRODO NA PEÇA. A FONTE DE ALTA FREQUÊNCIA, LIGADA EM PARALELO, PROVOCA A IONIZAÇÃO DO AR, INICIANDO O ARCO. ESTE MÉTODO, POR EXIGIR EQUIPAMENTO ESPECIAL, É

MUITO CARO. PORÉM, É TAMBÉM MUITO PRÁTICO, ESPECIALMENTE NO CASO DE SOLDAGENS INTERMITENTES OU EM REGIME DE ALTA PRODUÇÃO, / EM QUE É GRANDE A FREQUÊNCIA DE ABERTURAS DE ARCO.

NO MÉTODO DA RETRAÇÃO INSTANTÂNEA, O ELÉTRODO É POSTO EM CONTATO COM A PEÇA ANTES DE SER ENERGIZADO. QUANDO A CORRENTE DE SOLDAGEM É APLICADA, APÓS A COLOCAÇÃO DO FLUXO, O ELÉTRODO É RETRAÍDO PELA INVERSÃO AUTOMÁTICA DO SENTIDO DE GIRO DO MOTOR DE ALIMENTAÇÃO, DANDO-SE ASSIM A ABERTURA DO ARCO, SEM RISCO / DE SODAR O ELÉTRODO NA PEÇA. EM SEGUIDA, O MOTOR PASSA A ACIONAR O ARAME NORMALMENTE.

O TERCEIRO MÉTODO CITADO CONSISTE EM INTERCALAR UMA PEÇA NA ESFERA DE TELA DE AÇO ENTRE O ELÉTRODO E A PEÇA. ASSIM, O / CIRCUITO ELÉTRICO É FECHADO PRIMEIRAMENTE ATRAVÉS DESTA ESFERA. COM A PASSAGEM DE CORRENTE, A MESMA FUNDE-SE COM LIBERAÇÃO DE CALOR QUE PERMITE A IONIZAÇÃO DO AMBIENTE E CONSEQUENTE FORMAÇÃO DO ARCO VOLTAICO.

O MÉTODO DO ARRASTE CONSISTE EM ABRIR O ARCO DE MODO SEMELHANTE À SOLDAGEM MANUAL COM ELÉTODOS REVESTIDOS. ACIONA-SE O ELÉTRODO ATÉ TOCAR NA PEÇA DESLOCANDO-OS EM MOVIMENTO RELATIVO, APÓS A ENERGIZAÇÃO DO SISTEMA. ESTE MÉTODO É USADO QUANDO O PONTO DE INÍCIO DA SOLDAGEM NÃO É IMPORTANTE.

O MÉTODO DO ELÉTRODO DE PONTA AFILADA CONSISTE EM TOCAR O ELÉTRODO ENERGIZADO NA PEÇA. A PONTA AFILADA CONSISTE EM TOCAR O ELÉTRODO ENERGIZADO NA PEÇA. A PONTA AFILADA FUNDE-SE COM GERAÇÃO LOCALIZADA DE CALOR QUE PROPICIA A IONIZAÇÃO DO AMBIENTE. SURGE ASSIM O ARCO VOLTAICO. A PONTA PODE SER PREPARADA / COM UMA TESOURA ESPECIAL QUE CORTA A EXTREMIDADE DO ELÉTRODO DE MODO QUE ELA FIQUE AFILADA.

FINALMENTE, O ELÉTRODO DE CARBONO PODE SER USADO PARA ABRIR O ARCO, O QUAL SERÁ MANTIDO PELO ELÉTRODO CONSUMÍVEL, SUBMERSO NO PÓ (E NA ESCÓRIA LIQUEFEITA).

1.5 - MATERIAIS CONSUMÍVEIS

AS BITOLAS DE ARAMES-ELÉTODOS MAIS UTILIZADOS SITUAM-SE NA FAIXA ENTRE 1,6 E 6,4 MM. UTILIZAM-SE DENSIDADES DE CORRENTE DE 100 ATÉ 200 A/MM² NAS BITOLAS PRÓXIMAS A 1,6MM. A TABELA A SEGUIR MOSTRA A FAIXA DE CORRENTE UTILIZÁVEL PARA CADA BITOLA DE ELÉTRODO.

PARA AUMENTAR A VELOCIDADE DE SOLDAGEM E A DEPOSIÇÃO DE /

METAL, PODE-SE USAR DOIS OU MAIS ARAMES-ELÉTRODO. ELES PODEM / SITUAR-SE EM PARALELO OU EM LINHA EM RELAÇÃO À JUNTA, E ALIMENTADOS POR UMA OU MAIS FONTES DE ENERGIA.

OS ARAMES -ELÉTRODO SÃO PRODUZIDOS EM VÁRIAS COMPOSIÇÕES DE LIGAS-FERROSAS, CONFORME NORMAS PARA ELÉTRODOS E CLASSIFICAÇÃO AWS.

DIÂMETRO DO ARAME-ELÉTRODO (MM)	FAIXA DE CORRENTE (A)
1,59	115 - 500
1,98	125 - 600
2,38	150 - 700
3,18	220 -1000
3,97	340 -1100
4,76	400 -1300
5,56	500 -1400
6,35	600 -1600

1.5.1 - FLUXOS

OS FLUXOS USADOS NO PROCESSO À ARCO SUBMERSO SÃO GRANULARES E CONSTITUÍDOS DE SUBSTÂNCIAS FUSÍVEIS À BASE DE MATERIAIS CONTENDO ÓXIDOS DE MANGANÊS, SILÍCIO, TITÂNIO, ALUMÍNIO, CÁLCIO E OUTROS COMPONENTES. SÃO GERALMENTE QUIMICAMENTE NEUTROS, NÃO DEVEM PRODUZIR GRANDES QUANTIDADES DE GASES DURANTE A SOLDAGEM E DEVEM TER CARACTERÍSTICAS ELETRICAMENTE ESTÁVEIS.

OS FLUXOS SÃO CLASSIFICADOS COM BASE NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO MATERIAL DEPOSITADO POR UM DETERMINADO ARAME-ELÉTRODO EM COMBINAÇÃO COM O FLUXO. ASSIM, O FLUXO USADO EM COMBINAÇÃO COM ARAME-ELÉTRODO DE QUALQUER CLASSE DEVE PRODUZIR UM DEPÓSITO DE SOLDA, QUE TENHA PROPRIEDADES DEFINIDAS PELA AWS, / OS QUAIS CITAREMOS EM OUTRA OPORTUNIDADE.

1.6 - INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM

NESTE PROCESSO, CUJO GRANDE CAMPO DE APLICAÇÃO É A UNIÃO DE CHAPAS ESPESSAS, É ESPECIALMENTE IMPORTANTE CONHECER A INFLUÊNCIA E A INTERDEPENDÊNCIA DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM PARA OTIMIZAR O BINÔMIO EFICÁCIA-EFICIÊNCIA DA SOLDA.

OS PARÂMETROS MAIS IMPORTANTES DESTE PROCESSO SÃO: CORRENTE (TIPO, INTENSIDADE E POLARIDADE), TENSÃO, VELOCIDADE DE AVANÇO DO ELÉTRODO (CONSUMO), COMPRIMENTO DO ELÉTRODO, COMPOSIÇÃO DO FLUXO E VELOCIDADE DE SOLDAGEM.

A FIGURA 1.2 MOSTRA A VARIAÇÃO DO CONSUMO DO ELÉTRODO COM A CORRENTE NAS DUAS POLARIDADES MANTENDO-SE CONSTANTE A TENSÃO. OBSERVA-SE QUE COM A POLARIDADE DIRETA (CC-) OBTÉM-SE MAIOR CONSUMO, O QUE EQUIVALE DIZER, TENDO EM VISTA QUE O RENDIMENTO DE DEPOSIÇÃO É ALTO, MAIOR PRODUÇÃO DE MATERIAL DE ADIÇÃO PARA A SOLDA. TODAVIA, OBSERVA-SE UMA MAIOR INSTABILIDADE DO ARCO COM A POLARIDADE DIRETA QUE VAI DIMINUINDO A MEDIDA QUE A CORRENTE AUMENTA. ESTE FATO É DEVIDO A ERRATICIDADE DA MANCHA CÁTODICA E FORMAÇÃO DE GRANDES GOTAS METÁLICAS. NA POLARIDADE INVERSA A TRANSFERÊNCIA DE METAL SE EFETUA EM GOTAS MENORES, ATINGINDO-SE O AEROSSOL COM FACILIDADE.

A FIGURA 1.3 MOSTRA A VARIAÇÃO DO CONSUMO DO ELÉTRODO COM A TENSÃO EM DUAS INTENSIDADES DIFERENTES DE CORRENTE, MANTENDO-SE CONSTANTE A DISTÂNCIA DA TOMADA DE CORRENTE À PEÇA. É FÁCIL OBSERVAR QUE O CONSUMO CAI COM O AUMENTO DA TENSÃO, O QUE À PRIMEIRA VISTA PARECE INCOERENTE. ENTRETANTO DEVE-SE ATENTAR PARA O FATO DE QUE, SENDO 'T' (DISTÂNCIA DA TOMADA DE CORRENTE À PEÇA) CONSTANTE, O COMPRIMENTO DO ELÉTRODO DIMINUI, AO MESMO TEMPO EM QUE O COMPRIMENTO DO ARCO AUMENTA. DE ACORDO COM O JÁ EXPOSTO O CONSUMO DO ELÉTRODO DIMINUI A MEDIDA QUE A QUEDA DE TENSÃO EM SER COMPRIMENTO DIMINUI

PARA ESCLARECER ESTE FATO, APRESENTA-SE A SEGUIR A FIGURA 1.4, QUE MOSTRA A VARIAÇÃO DO CONSUMO DO ELÉTRODO COM A DISTÂNCIA DA TOMADA DE CORRENTE À PEÇA (T).

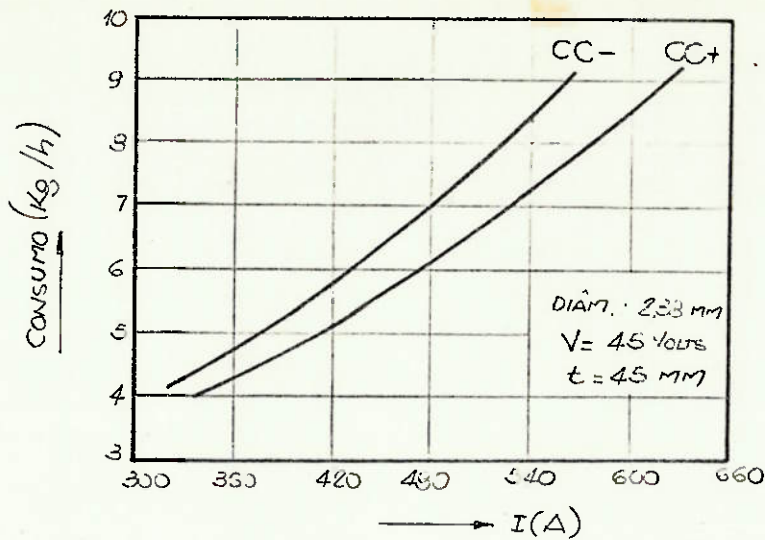


FIG. 1.2 - VARIAÇÃO DO CONSUMO DO ELÉTRODO COM A CORRENTE EM POLARIDADE DIRETA E INVERSA EM SOLDAGEM A ARCO SUBMERSO

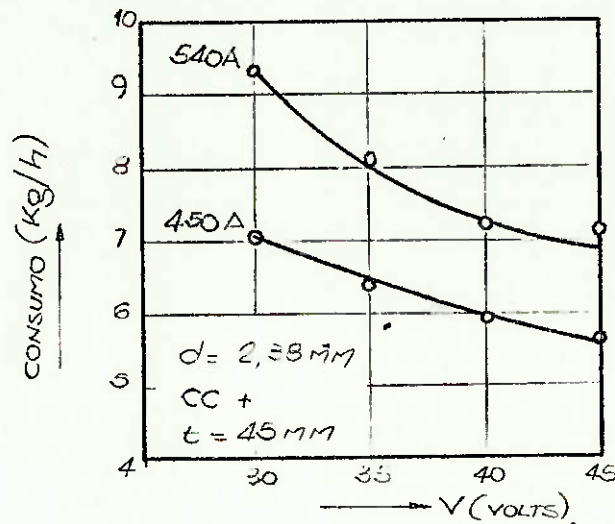


FIG. 1.3 - VARIAÇÃO DO CONSUMO DO ELÉTRODO COM A TENSÃO EM SOLDAGEM A ARCO SUBMERSO

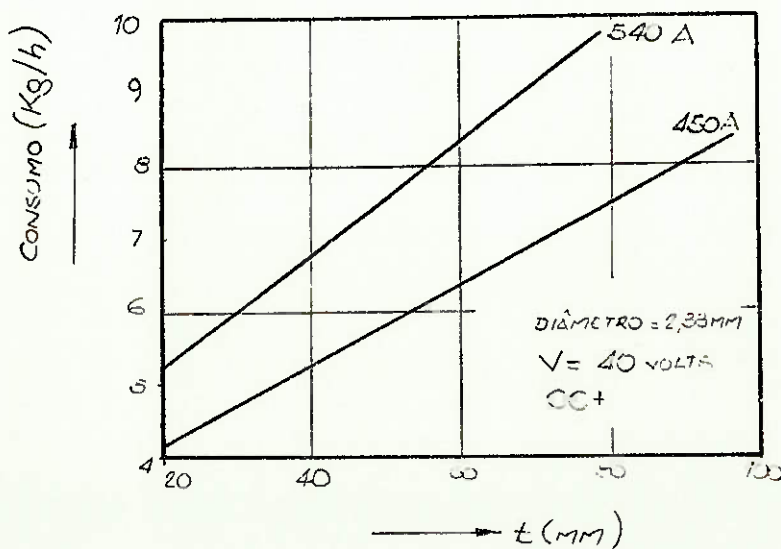


FIG. 1.4 - VARIAÇÃO DO CONSUMO DO ELÉTRODO COM A ALTURA DA TOMADA DE CORRENTE (T)

J - SOLDAGEM A ARCO DE ELÉTRODO TUBULAR

J.1 - ASPECTOS GERAIS

TRATA-SE AQUI DO PROCESSO NO QUAL O FLUXO ESTÁ INVESTIDO NO ARAME. A FORMA TUBULAR DO ATAME TORNA POSSÍVEL ALOJAR NO SEU INTERIOR, EM FORMA DE PÓ FINO, TODOS OS ELEMENTOS NECESSÁRIOS PARA SE CONSEGUIR:

- PROTEGER O ARCO VOLTAICO DA AÇÃO DO AR;
- CRIAR UMA ATMOSFERA MAIS IONIZÁVEL;
- DESOXIDAR O MATERIAL DE BASE E A SOLDA (AÇÃO DE FLUXO);
- INTRODUIZIR OS NECESSÁRIOS ELEMENTOS DE LIGA PARA CORRIGIR A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA SOLDA.

EXISTEM PARA ESTE PROCESSO DE SOLDAGEM DOIS PARÂMETROS BÁSICOS:

- A) COM FLUXO ADICIONAL DE GÁS, GERALMENTE CO_2 (FIG. J.1);
- B) COM ARCO AUTO-PROTEGIDO (ELÉTODOS AUTOS GERADORES DE GÁS).

NO PRIMEIRO CASO, O FLUXO NECESSÁRIO INVESTIDO TEM FUNDAMENTALMENTE A FUNÇÃO DE DESOXIDAR E DE INTRODUIZIR ELEMENTOS DE LIGA. AS FUNÇÕES DE PROTEÇÃO DO ARCO VOLTAICO E DE CRIAÇÃO DE ATMOSFERA IONIZÁVEL FICAM MAIS A CARGO DO GÁS INTRODUZIDA À PARTE. NO SEGUNDO CASO, O FLUXO INVESTIDO DEVE CUMPRIR TODAS ESTAS FUNÇÕES, POIS NÃO SE USA GÁS EXTERNO DE PROTEÇÃO.

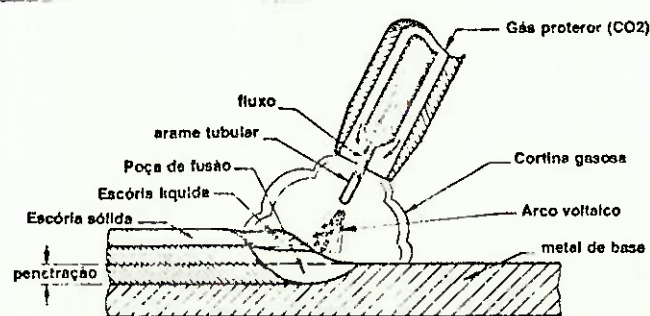


FIG. J.1 - ARCO DE ARAME TUBULAR PROTEGIDO POR GÁS

A FIGURA J.2 MOSTRA O DESENHO DO EXTREMO DO PORTA ELÉTRODO PARA OS DOIS CASOS CITADOS. NA FIGURA J.2-A, É APRESENTADO O CASO DO ARAME-ELÉTRODO QUE EMERGE DO INTERIOR DE UM TUBO QUE ESTABELECE O CONTATO ELÉTRICO E HÁ UM OUTRO TUBO QUE FORMA UMA OIFA (REGADOR) DE ONDE FLUI O GÁS DE PROTEÇÃO DO ARCO VOLTAICO -

CO. NA FIGURA J.2-B, APRESENTA-SE O CASO DO ARCO AUTO-PROTEGIDO. AGORA, NESTA CONDIÇÃO, O ARAME -ELÉTRODO EMERGE DO INTERIOR DE UM TUBO-GUIA ELETRICAMENTE ISOLADO E O CONTATO ELÉTRICO FICA MAIS DISTANTE DA EXTERMINIDADE DO ARAME. ASSIM, COM ESTA DISPOSIÇÃO, O COMPRIMENTO DO ELÉTRODO TORNA-SE MAIOR, O QUE É BASTANTE DESEJÁVEL PARA SE AUMENTAR A PRODUÇÃO DE MATERIAL DE ADIÇÃO.

O EQUIPAMENTO UTILIZADO NA SOLDAGEM COM ARAME TUBULAR É / MUITO SEMELHANTE AO UTILIZADO NO PROCESSO MIG/MAG, MORMENTE NO PRIMEIRO CASO EM QUE SE UTILIZA UM FLUXO ADICIONAL DE GÁS.

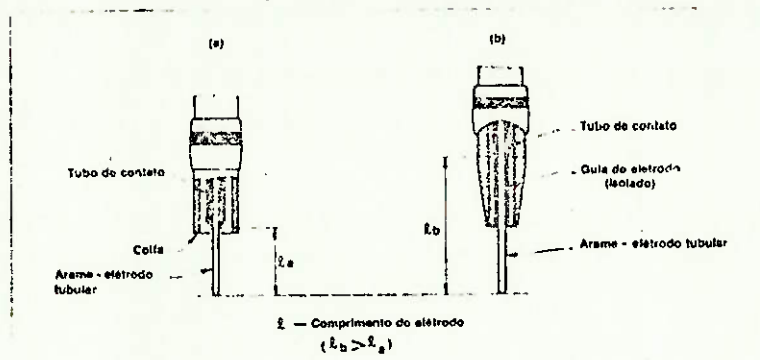


FIG. J.2 - (A) ARCO REGADO A GÁS; (B) ARCO GERADOR DE GÁS

J.2 - TÉCNICA DE SOLDAGEM

ESTE PROCESSO É ESPECIALMENTE INDICADO PARA SOLDAGEM NA / POSIÇÃO PLANA, OU HORIZONTAL EM JUNTAS DE CANTO. EM AMBOS OS / CASOS, O ELÉTRODO DEVE SER CONDUZIDO COM UMA INCLINAÇÃO DE 20 A 30° EM RELAÇÃO AO PLANO DA SEÇÃO RETA DA SOLDA, ÂNGULO ESTE MEDIDO NO SENTIDO DO AVANÇO DA SOLDAGEM (FIG. J.3 E J.4). COM ESTA INCLINAÇÃO EVITA-SE QUE HAJA INCLUSÕES DE ESCÓRIA NA SOLDA. ALÉM DISSO, NO CASO DE SOLDAGEM HORIZONTAL EM JUNTA DE CANTO (SOLDA DE FILETE), DESLOCA-SE O ARAME EM UM ÂNGULO DE 40 A 45° , EM RELAÇÃO À HORIZONTAL, PARA SE CONSEGUIR UMA IGUAL PENE TRACÃO EM FACE E UMA SOLDA DE CATETOS IGUAIS. O COMPRIMENTO DO ELÉTRODO DEVERÁ SER MANTIDO ENTRE 15 E 20 MM, PARA O ARCO REGADO A CO₂ , E MAIOR QUE 30MM PARA ARCO AUTO-PROTEGIDO.

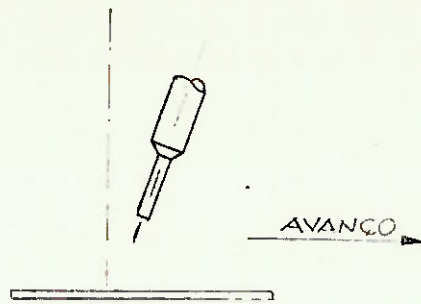


FIG. J.3 - POSIÇÃO DO ELÉTRODO NA SOLDAGEM PLANA

A) VISTA DE PERFIL

B) VISTA DE FRENTE

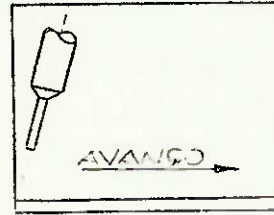
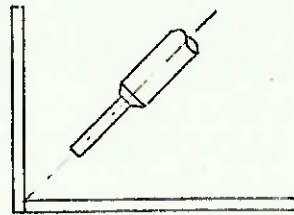


FIG. J.4 - POSIÇÃO DO ELÉTRODO NA SOLDAGEM HORIZONTAL EM JUNTA DE CANTO

J.3 - CONSUMO DE MATERIAL DE ADIÇÃO COM ELÉTRODO TUBULAR SEM PROTEÇÃO GASOSA

NO CASO DO ARCO AUTO-PROTEGIDO, SÃO POSSÍVEIS CONSIDERÁVEIS VARIAÇÕES NO COMPRIMENTO DE ELÉTRODO, O QUE MODIFICA A TENSÃO E CORRENTE, E PORTANTO A PENETRAÇÃO E O CONSUMO. EM TERMOS PRÁTICOS, ISTO PERMITE AO OPERADOR UM MELHOR CONTROLE DE PENETRAÇÃO E CONSUMO DEANTE A SOLDAGEM. A ANÁLISE DESTE PROCESSO DEMOSTROU QUE, ANÁLOGAMENTE AO QUE OCORRE NO PROCESSO MIG/MAG PARA UMA MESMA CORRENTE, OBTÉM-SE CONSUMOS MAIORES COM MAIORES COMPRIMENTOS DE ELÉTODOS, E, PARA IGUAL CONSUMO, PRECISA-SE DE MAIORES CORRENTES. LOGO, É PRECISO ANALISAR E REGULAR ESTES PARÂMETROS PARA SE OBTER OS RESULTADOS DESEJADOS DA SOLDAGEM. ASSIM, PARA AUMENTARMOS O REFORÇO DO CORDÃO, AUMENTAMOS O COMPRIMENTO DO ELÉTRODO. COM COMPRIMENTOS DE ARCO ELEVADOS, SURTEM CORDÕES MAIS LARGOS E ACHATADOS E COM MENOR PROTEÇÃO DE ESCÓRIA.

J.4 - PREPARAÇÃO DAS JUNTAS

DEVIDO AO USO DE MAIS ALTAS CORRENTES, O PROCESSO DE SOL-

DAGEM COM ELÉTRODO TUBULAR PERMITE ALCANÇAR MAIORES PENETRAÇÕES DO QUE COM ELÉTODOS REVESTIDOS NORMAIS. POR ISSO, PODE-SE PREPARAR AS JUNTAS SEGUINDO AS RECOMENDAÇÕES REFERENTES AOS ELÉTODOS REVESTIDOS, PORÉM REDUZINDO OU ELIMNANDO A FRESTA NO CASO DE BORDOS RETOS.

NO CASO DE JUNTA EM V, REDUZ-SE A FRESTA E DIMINUI-SE DE 15° O ÂNGULO DE CHANFRO, OU, ALTERNATIVAMENTE, REDUZ-SE O ÂNGULO DE CHANFRO DE 30° .

NO CASO DE BORDOS RETOS COM SUPORTE DE COBRE NO VERSO, PODE-SE DEIXAR UMA FRESTA DE 1,0MM PARA ESPESSURAS DE GHAPA ATÉ 5,0MM. PARA ESPESSURAS MAIORES SERÁ PREFERÍVEL A PREPARAÇÃO EM V OU Y, COM SUPORTE DE COBRE NO VERSO E SEM FRESTA.

A FINALIDADE DESSAS PREPARAÇÕES É GARANTIR UMA PENETRAÇÃO COMPLETA NO CASO EM QUE A INACESSIBILIDADE DA RAIZ DA SOLDAGEM NÃO PERMITE UM REPASSE NO VERSO. É ESSENCIAL AJUSTAR BEM A PEÇA-SUPORTE E OS ELEMENTOS DA JUNTA, POIS UM AJUSTAMENTO RUIM / PODE PROVOCAR DESCONTINUIDADES E DEFEITOS.

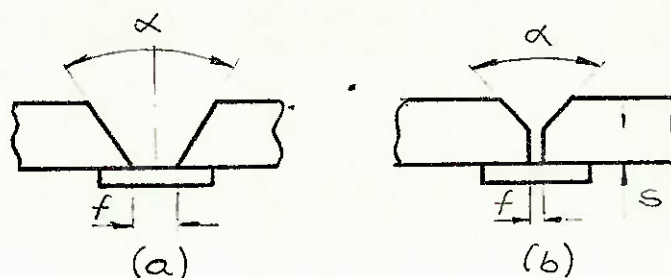


FIG. J.5 - JUNTAS EM V E EM Y COM SUPORTE NO VERSO

J.5 - COMPARAÇÃO COM OUTROS PROCESSOS

O ARAME TUBULAR TEM A VANTAGEM DE PODER SER BOBINADO E, / COMO ACONTECE COM OS PROCESSOS MIG/MAG E ARCO SUBMERSO, A SOLDAGEM PODE SER AUTOMÁTICA OU SEMI-AUTOMÁTICA. OBTÉM-SE, ASSIM, SUBSTANCIAL ECONOMIA, POIS FICAM ELIMINADAS AS PERDAS DE TEMPO E MATERIAL NAS TROCAS DE ELÉTODOS, COMO OCORRE COM OS ELÉTODOS REVESTIDOS. COM ARAME TUBULAR AUTO-PROTEGIDO HÁ AINDA A / VANTAGEM ADICIONAL DE SE DISPENSAR QUALQUER PROTEÇÃO CONTRA O VENTO, TAL COMO ACONTECE COM O USO DE ELÉTODOS REVESTIDOS, O QUE É VANTAJOSO EM RELAÇÃO AOS PROCESSOS QUE USAM ARCOS REGADOS A GÁS OU SOB FLUXO. TODAVIA, DEVIDO A GRANDE FORMAÇÃO DE /

FUMAÇAS, ACONSELHA-SE TRABALHAR SOB CONDIÇÕES DE BOA VENTILAÇÃO. EM SOLDAGENS EM AMBIENTE FECHADO CONVÉM UTILIZAR EXAUSTÃO LOCALIZADA PRÓXIMA DO ARCO.

ESTE PROCESSO APRESENTA UMA EXCELENTE QUALIDADE PARA O CORDÃO DEPOSITADO, COM ÓTIMA RESISTÊNCIA E BOAS PROPRIEDADES GERAIS. APRESENTA TAMBÉM UMA EXCELENTE APARÊNCIA, DEVIDO A ESTABILIDADE DO ARCO, ASSEGURANDO SOLDAS LISAS E COM MÍNIMOS RESPINGOS. SOLDA A MAIORIA DOS AÇOS SOBRE LARGA GAMA DE ESPESURAS, PODENDO SOLDAR AÇOS DESDE 1/8" ATÉ 2" OU MAIS. OS ARAMES TUBULARES FORAM DESENVOLVIDOS PARA AÇOS COMUNS (BAIXO CARBONO), AÇOS DE BAIXA LIGA E AÇOS MÉDIO-CARBONO.

A UTILIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO É BASTANTE FÁCIL, POIS DESDE QUE O ARCO É VISÍVEL A OPERADOR, ESTE TEM CONDIÇÕES DE EXERCER COMPLETO DONTROLE SOBRE A POÇA DE FUSÃO, PODENDO SEGUIR VISUALMENTE A JUNTA E ASSEGURAR O CORRETO CALDEAMENTO DAS BORDAS A SEREM SOLDADAS. O EQUIPAMENTO POR SI, GARANTE O COMPRIMENTO CONSTANTE DO ARCO FACILITANDO AO OPERADOR MATER MAIORES VELOCIDADES DE TRANSLAÇÃO DE SOLDA. ESTE PROCESSO É MENOS SENSÍVEL A ABERTURAS IRREGULARES DAS BORDAS DO METAL BASE.

6. SOLDA POR RESISTÊNCIA

6.1 - INTRODUÇÃO

NA SOLDA POR RESISTÊNCIA, AS PEÇAS A SEREM SOLDADAS SÃO PRESSIONADAS UMA CONTRA A OUTRA POR MEIO DE ELÉTODOS (NÃO CONSUMÍVEIS), FAZENDO-SE PASSAR POR ESTES UMA ALTA CORRENTE QUE OCASIONA SEGUNDO A LEI DE JOULE ($Q=KR I^2 T$) UMA QUANTIDADE DE CALOR GERADO, PROPORCIONAL AO TEMPO, RESISTÊNCIA ELÉTRICA E INTENSIDADE DE CORRENTE QUE DEVERÁ SER SUFICIENTE PARA QUE A REGIÃO DE CONTATO ENTRE AS PEÇAS A SEREM SOLDADAS ATINJAM O PONTO DE FUSÃO.

OS PRINCIPAIS SISTEMAS DE SOLDA POR RESISTÊNCIA SÃO :
SOLDA PONTO , SOLDA POR COSTURA , SOLDA TÔPO A TÔPO.

6.2 - MATERIAIS SOLDÁVEIS

QUASE TODAS AS ESPÉCIES DE AÇO, EM PARTE O AÇO FUNDIDO E A FUNDIÇÃO MALEÁVEL DE CERTAS COMPOSIÇÕES, ALÉM DISSO METAIS /

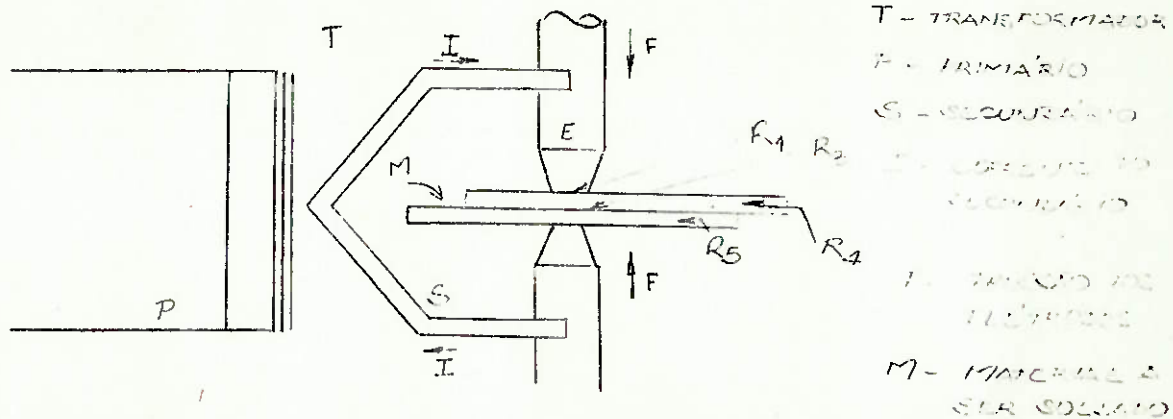
LEVES COMO ZINCO, COBRE, ETC; E ADAPTANDO-SE MEDIDAS CONVENIENTES UTILIZANDO ELÉTRÓDOS DE MATERIAIS ESPECIAIS, AINDA AS LIGAS DE COBRE, ETC.

É POSSÍVEL SOLDAR POR RESISTÊNCIA A MAIOR PARTE DAS CHAPAS COMO VOLHAS ZINCADAS A FOGO, GALVANIZADAS OU CHAPEADAS DESDE / QUE O MATERIAL DE RECOBRIMENTO SEJA MAIS FACILMENTE FUSÍVEL DO QUE A MATÉRIA DE BASE, PARA TAIS CHAPAS É A MATÉRIA DE BASE / QUE SE SOLDA ENQUANTO QUE A MATÉRIA DE RECOBRIMENTO EM FUSÃO / SE DESLOCA DURANTE O PROCESSO DE SOLDA.

MATERIAIS DE RECOBRIMENTO QUE VIRIAM PREJUDICAR A SOLDA : FERRUGEM, VERNIZ, ÓLEO, GORDURA, ETC, SÓ SE PODEM SOLDAR ENTRE SI METAIS DE NATUREZAS DIFERENTES QUANDO SÃO SUSCEPTÍVEIS DE / FORMAR UMA LIGA, OU QUANDO SE INTRODUZ ENTRE ELES UM MATERIAL INTERMEDIÁRIO QUE PODE LIGAR-SE COM OS METAIS DE BASE.

UMA DAS GRANDES VANTAGENS DA SOLDA POR RESISTÊNCIA EM RE- LAÇÃO AOS OUTROS SISTEMAS DE SOLDA RESIDE NO FATO DO RECOZIMEN- TO DO PONTO DE SOLDA SER REDUZIDO. O PROCESSO DE SOLDA POR RE- SISTÊNCIA É O QUE MELHOR CONVÉM PARA CHAPAS DELGADAS E SENSÍ- VEIS AO CALOR.

6.3 - RESISTÊNCIA DE CONTATO



OS CUIDADOS PRINCIPAIS COM ESTE PROCESSO DE SOLDAGEM SÃO EXPOSTOS A SEGUIR:

R-1 E R-2 - RESISTÊNCIA DE CONTATO ENTRE ELÉTRÓDOS E CHAPAS, / ESTAS DEVEM SER AS MAIS BAIXAS POSSÍVEIS, ISTO POR QUE A CORRENTE DE SOLDA NÃO DEVE ENCONTRAR RESIS- TÊNCIA À SUA PASSAGEM NESTES PONTOS, CAOS A RESIS- TÊNCIA ENTRE ELÉTRÓDOS E CHAPAS FOR MUITO ALTA PO- DERÁ OCORRER:

- OS ELÉTRODOS SE SOLDAM COM AS CHAPAS.
- DESGASTE E AMOLECIMENTO DOS ELÉTRODOS DEVIDO AO SUPER - AQUECIMENTO, PODE HAVER DEFORMAÇÃO NAS PONTAS DOS ELÉ - TRODOS.
- DEVIDO AO SUPERQUECIMENTO FICARÁ DEPOSITADO NA CHAPA (PONTO DE SOLDA), PARTÍCULAS DE COBRE DO ELÉTRODO.

AS RESISTÊNCIAS DE CONTATO PEÇA-ELÉTRODO DEPENDEM:

- PRESSÃO DOS ELÉTRODOS, SISTEMA DE APLICAÇÃO DESTA.
- NATUREZA DOS METAIS EM CONTATO E SUAS CARACTERÍSTICAS (DUREZA, RESISTÊNCIA MECÂNICA, CONDUTIBILIDADE TÉRMICA E ELÉTRICA).
- ESTADO DAS SUPERFÍCIES DOS METAIS (CAMADAS DE ÓXIDO, / VERNIZES, ÓLEOS, ETC).
- ÁREA DOS ELÉTRODOS EM CONTATO COM AS PEÇAS.

R-4 E R-5 - RESISTÊNCIA DAS PEÇAS A SEREM SOLDADAS, DEPENDEM:

- ESPESSURA E MATERIAL DE COMPOSIÇÃO.

NO CASO DAS LIGAS DE COBRE ONDE A CONDUTIBILIDADE ELÉTRI - CA E TÉRMICA SÃO ELEVADAS SURGE O PROBLEMA DA SOLDA, POIS A / MAIOR PARTE DO CALOR GERADO NA REGIÃO DE SOLDA É DISSIPADO POR TODA A PEÇA.

R-3 - RESISTÊNCIA DE CONTATO ENTRE CHAPAS, É NESTA REGIÃO QUE OCORRE A SOLDA DOS MATERIAIS, ISTO DEVIDO A UMA RESISTÊN - CIA OHMICA DE CONTATO ELEVADA NA UNIÃO DAS PEÇAS, DANDO / LUGAR A INTENSO CALOR POR EFEITO JOULE.

O CALOR NECESSÁRIO PARA A SOLDA PRODUZ-SE AJUSTANDO COM / PRECISÃO A CORRENTE, A PRESSÃO ENTRE ELÉTRODOS, TEMPO DE SOLDA E TAMBÉM A RESISTÊNCIA DE PASSAGEM ENTRE PEÇAS, COMO TAMBÉM / TODAS AS RESISTÊNCIAS DE CONTATO.

COM O TEMPO DE SOLDA CURTO E UMA INTENSIDADE DE CORRENTE SUFICIENTE PERMITE ALCANÇAR RAPIDAMENTE A TEMPERATURA DE FUSÃO NA ZONA DE CONTATO ENTRE CHAPAS. A RESISTÊNCIA DE CONTATO DI - MINUI COM O AUMENTO DA PRESSÃO.

6.4 - ESFRIAMENTO DO PONTO DE SOLDA

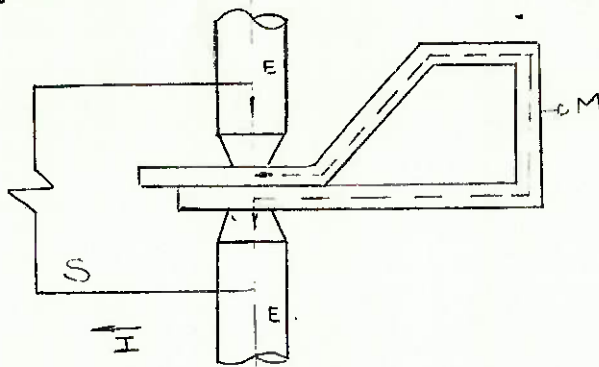
O PONTO DE SOLDA PODE RESFRIAR-SE LIVREMENTE CESSANDO O / ESFORÇO DE COMPRESSÃO NO ATO DE CORTE DA CORRENTE. O PONTO DE SOLDA PODE-SE TAMBÉM ESFRIAR-SE MANTENDO-SE A COMPRESSÃO APÓS O CORTE DA CORRENTE.

NA INTERRUPTÃO DA CORRENTE DE SOLDA A TEMPERATURA NA ZO - NA DE SOLDA DIMINUI PROGRESSIVAMENTE, O ESFRIAMENTO NÃO É LI - NEAR.

O ESFORÇO DE COMPRESSÃO DURANTE O RESFRIAMENTO FARÁ COM / QUE SE TENHA UMA SOLDA DE BOA QUALIDADE, IMPEDINDO A FORMAÇÃO DE BORBULHAS E RANHURAS, COM ISSO, EVITANDO QUE O ELÉTRODO A TUE COM DISSIPADOR.

6.5 - CORRENTE DE SOLDA

É PARTICULARMENTE IMPORTANTE CONHECER OS FATORES QUE PO - DEM INFLUIR NA CORRENTE DE SOLDA, ESTA DEPENDE DA TENSÃO SECUN DÁRIA E PRIMEIRAMENTE DO MATERIAL UTILIZADO NA CONSTRUÇÃO DOS ELEMENTOS DE SOLDA TAIS COMO BRAÇOS, PORTA-ELÉTODOS, ELÉTRO - DOS, ETC; DEPENDENDO TAMBÉM DO ALONGAMENTO E AFASTAMENTO DOS / BRAÇOS.



- S - SECUNDÁRIO
- M - PEÇA-OBRA
- E - ELÉTODOS
- I - CORRENTE DE SOLDA

NA INSTALAÇÃO DE UMA MÁQUINA DE SODA A PONTO, COSTURA OU QUALQUER OUTRO TIPO É NECESSÁRIO SABER QUE A CORRENTE DE SOLDA DEPENDE DAS CONDIÇÕES DA REDE DE ALIMENTAÇÃO.

A CORRENTE DE SOLDA TAMBÉM VARIA DEVIDO A FLUTUAÇÕES DA / REDE, DEVIDO A ESTE FATO AS SOLDAS DEVEM SER VERIFICADAS PERIO DICAMENTE E NO CASO VERIFICAR E CORRIGIR A CORRENTE PARA MAN - TER A QUALIDADE DE SOLDA

6.6 - PRESSÃO DO ELÉTODOS

A PRESSÃO ENTRE ELÉTODOS NA EXECUÇÃO DE UMA SOLDA É EM /

EM FUNÇÃO A VÁRIOS FATORES, COMO:

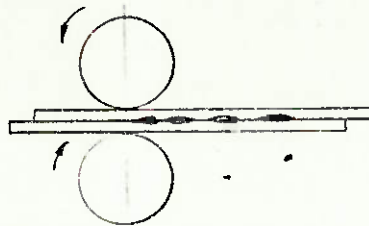
- MATERIAL A SER SOLDADO (COMPOSIÇÃO, TIPO, ESPESSURA, / ETC.)
- QUALIDADE DA SOLDA

A PRESSÃO ESERCIDA TEM UMA GRANDE INFLUÊNCIA SOBRE AS QUALIDADES DA SOLDA POR RESISTÊNCIA, ESTA PRESSÃO DEVE SER SUFICIENTE PARA EVITAR FAISCAMENTO DURANTE A PASSAGEM DA CORRENTE.

NO CASO DE BAIXA PRESSÃO NÃO SÓ A PEÇA FICARÁ DANIFICADA / COMO TAMBÉM OS ELÉTRODOS FICARÃO DEFORMADOS. AS RESISTÊNCIAS / DE CONTATO DIMNUEM À MEDIDA QUE A PRESSÃO AUMENTA.

6.7 - SOLDA POR COSTURA

A SOLDA POR COSTURA PODE SER CONSIDERADA COM SOLDA POR PONTOS EM LINHA, COM GRANDE FREQUÊNCIA DE PONTOS, ONDE OS ELÉTRODOS SÃO SUBSTITUIDOS POR DISCOS



REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO PROCESSO

PARA TIPOS DE SOLDA QUE SE TORNA NECESSÁRIO UMA SEQUÊNCIA DE PONTOS, ONDE OS ELÉTRODOS SÃO SUBSTITUIDOS POR DISCOS, QUE SE SOBREPÕES, SE TOCAM OU SE SEGUEM A UMA CERTA DISTÂNCIA É O CASO DA APLICAÇÃO DA SOLDA POR COSTURA.

COMO OS DISCOS GIRAM AUTOMATICAMENTE, E ESTES SENDO PERCORRIDOS PELA CORRENTE DE SOLDA, DEVEM ESTAR CONTINUAMENTE EM CONTATO COM A PEÇA A SER SOLDADA, ESTES SÓ DEVEM SER LEVANTADOS NO FIM DA SOLDA. DEVE-SE NOTAR QUE AS ESPESSURAS DOS MATERIAIS SOLDÁVEIS SÃO SENSIVELMENTE MAIS REDUZIDAS QUE NOS OUTROS PROCESSOS. MESMO COM MÁQUINAS DE GRANDE POTÊNCIA NÃO SE PODE SOLDAR POR ESTE SISTEMA CHAPAS DE AÇO COM UMA ESPESSURA INDIVIDUAL SUPERIOR A 3 MM.

6.8 - SOLDA TÔPO A TÔPO

AO CONTRÁRIO DE TODOS OS PROCESSOS DE SOLDA POR RESISTÊN-

CIA, TODA ÁREA DE CONTATO DAS PEÇAS A SOLDAR É PERCORRIDA PELA CORRENTE DE SOLDA, DEVIDO A RESISTÊNCIA DE CONTATO ENTRE AS PEÇAS, NESTE PONTO ALCANÇA A TEMPERATURA DE FUSÃO.

NESTE CASO, AS DUAS SUPERFÍCIES DE CONTATO DEVEM TER A MESMA ÁREA, PARA TORNAR POSSÍVEL EM TODA A SEÇÃO A MESMA DENSIDADE DE CORRENTE E O MESMO AQUECIMENTO. NESTE TIPO DE SOLDA OS ELÉTRODOS TÊM FORMAS DIFERENTES DAS CONHECIDAS, ESTAS ESTABELECEM-SE SOBRE A FORMA DE MAXILAS QUE ENCERRAM TOTAL OU PARCIALMENTE AS PEÇAS A SEREM SOLDADAS.

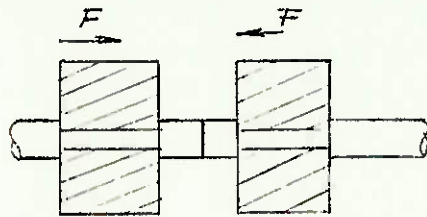


FIG. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO PROCESSO

6.8.1 - CLASSIFICAÇÃO

NO SISTEMA DE SOLDA TÔPO A TÔPO FAZ-SE DISTINÇÃO ENTRE DOIS GÊNEROS DE EXECUÇÃO :

- A) TÔPO A TÔPO POR RESISTÊNCIA
- B) TÔPO A TÔPO POR FAISCAMENTO

A) TÔPO A TÔPO POR RESISTÊNCIA

ESTE PROCESSO SE EMPREGA PARA MATERIAIS COM SEÇÕES DE FORMA GEOMÉTRICA SIMPLES COMO: MATERIAIS QUADRADOS, REDONDOS, SEXTAVADOS, PEÇAS COM ÂNGULOS ENTRE SI DE GERALMENTE 90°, ETC.

A PARTE DE SOLDA DO AÇO COM BAIXO TEOR DE CARBONO ATÉ SEÇÕES MÁXIMAS DE 200MM, ESTE SISTEMA É UTILIZADO IGUALMENTE PARA MATERIAIS NÃO-FERROSOS.

AS PEÇAS SÃO PENSADAS UMA CONTRA A OUTRA POR MEIO DE UM DISPOSITIVO DE COMPRESSÃO, DEPOIS É LIGADA A CORRENTE DE SOLDA, DESDE QUE O PONTO DE CONTATO TENHA ATINGIDO A TEMPERATURA DE FUSÃO A CORRENTE É INTERROMPIDA E DEPOIS A SOLDA É TERMINADA POR COMPRESSÃO.

NESTE SISTEMA É NECESSÁRIO QUE AS SUPERFÍCIES DE CONTATO SEJAM PLANAS.

A MAIOR PARTE DOS METAIS NÃO FERROSOS PODEM SER SOLDADOS

DESTA MANEIRA.

B) TÔPO A TÔPO POR FAISCAMENTO

AO CONTRÁRIO DA SOLDA TÔPO A TÔPO POR RESISTÊNCIA, ESTE / PROCESSO NÃO REQUER NENHUMA PREPARAÇÃO DAS SUPERFÍCIES DE CON- TATO. NESTE SISTEMA PRIMEIRAMENTE LIGA-SE A CORRENTE E DEPOIS AS SUPERFÍCIES DE CONTATO QUE PODEM APRESENTAR QUALQUER FORMA SÃO POSTAS LENTAMENTE EM CONTATO SOB UMA PRESSÃO DE COMPRESSÃO REDUZIDA.

COMO O INÍCIO DE CONTATO É PROVOCADO POR IRREGULARIDADES NA SUPERFÍCIE DOS MATERIAIS, O PROCESSO DE FUSÃO INTRODUZ-SE / NO PONTO DE SOLDA PELOS ARCOS FORMADOS PELAS IRREGULARIDADES / DA SUPERFÍCIE (FAISCAMENTO) ENTRE AS PEÇAS, ESTE SISTEMA ACE - LERA-SE E ESTENDE-SE PROGRESSIVAMENTE A TODA A SUPERFÍCIE.

PODE-SE SOLDAR POR FAISCAMENTO, CHAPAS PEÇAS MACIÇAS REDON DAS, QUADRADAS, SEXTAVADAS, ETC.

6.9 - TESTES DE SOLDAS

A MARCA EXTERIOR CARACTERÍSTICA DE UMA SOLDA POR PONTOS OU POR COSTURA, É SEMPRE A IMPRESSÃO DEIXADA SOBRE UM OU SOBRE / DOIS LADOS DOS MATERIAIS SOLDADOS; ESTAS MARCAS, APENAS EM POU- COS CASOS PERMITEM TIRAR CONCLUSÕES SEGURAS QUANTO A GRANDEZA E FORMAÇÃO DA LENTE DE SOLDA.

QUANDO A SUPERFÍCIE DE CONTATO DO ELÉTODOS É REDUZIDA E A PRESSÃO É ELEVADA, É POSSÍVEL FAZER MARCAS NAS PEÇAS MOLES / MESMO SEM SOLDAR; TORNA-SE NECESSÁRIO ANTES DE EFETUAR SOLDAS DEFINITIVAS EXECUTAR TESTES PARA DETERMINAR A QUALIDADE DA SOL DA, UTILIZANDO-SE ASSIM DESSA PROPRIEDADE.

COM O FIM DE TESTAR E VERIFICAR A SOLDA É PRECISO TORNAR A SOLDA VISÍVEL. QUANDO OS PONTOS DE SOLDA SÃO BONS, A ZONA / DE SOLDA VISÍVEL DEVE TER EM CORTE A FORMA DE UMA LENTE, CUJO DIÂMETRO DEVE CORRESPONDER À SUPERFÍCIE DE CONTATO DO ELÉTRO - DO.

O TESTE MAIS UTILIZADO PARA SE VERIFICAR A QUALIDADE DAS SOLDA É O TESTE MECÂNICO. ESTE TESTE CONSISTE EM VERGAR OU RAS GAR, OU AINDA DESTRUIR A JUNTA POR TORÇÃO DAS PEÇAS SOLDADAS ; AO SER RASGADO (O CORDÃO) É POSSÍVEL VERIFICAR A SOLDA.

7. - PROCESSO PLASMAC DE CORTE

E SOLDA

7.1 - INTRODUÇÃO

CONSIDEREMOS UM GÁS (ARGÔNIO, NITROGÊNIO, HÉLIO, OXIGÊNIO E ALGUMAS MISTURAS DESSES SÃO OS MAIS USADOS NAS APLICAÇÕES); POR UM PROCESSO QUALQUER COMO POR EXEMPLO UMA DESCARGA DE ALTA FREQUÊNCIA ENTRE DOIS CONDUTORES METÁLICOS IMERSOS NESSE GÁS, / IONIZEMOS PARTE DOS ATOMOS CONSTITUINTES E TEMOS ASSIM ESTABELECIDO UM MEIO CONDUTOR DE CORRENTE ELÉTRICA ENTRE OS DOIS / CONDUTORES METÁLICOS (O GÁS TORNA-SE UM CHAMADO CONDUTOR DE / TERCEIRA CLASSE). SE MANTIVERMOS UMA DIFERENÇA DE POTENCIAL / CONVENIENTE ENTRE ELÉTODOS CIRCULARÁ CORRENTE ELÉTRICA ATRÁ - VÉS DO GÁS. COM ISSO TEREMOS SIMULTÂNEAMENTE, PELA ENERGIA FORNECIDA AO GÁS, UMA MAIOR IONIZAÇÃO E AQUECIMENTO.

NO ARCO-PLASMA A TEMPERATURA É SOMENTE LIMITADA PELA QUANTIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA FORNECIDA E CONCENTRADA E É NESSA / PROPRIEDADE QUE SE BASEIAM AS APLICAÇÕES INDUSTRIAIS E A PROCURA DE NOVOS CAMPOS PARA USO PELA CIÊNCIA.

7.2 - APLICAÇÕES

EM LABORATÓRIO FORAM CONSTRUIDOS DISPOSITIVOS CONCENTRADORES DE ENERGIA, POR ONDE O É POSSÍVEL QUE O GÁS FLUA A UMA DETERMINADA PRESSÃO, PASSANDO PELA REGIÃO DE ARCO E SENDO SUPER AQUECIDO, POSSIBILITANDO A ELEVÇÃO DA TEMPERATURA E DA VELOCIDADE. COM ISSO PASSOU-SE A DESENVOLVER OS EQUIPAMENTOS HOJE EM USO:

- EQUIPAMENTOS DE CORTE
- EQUIPAMENTOS DE SOLDA
- EQUIPAMENTOS DE AQUECIMENTO (AQUECEDORES A PLASMA)

7.3 - EQUIPAMENTOS

PARA QUALQUER APLICAÇÃO UM CONJUNTO PLASMA CONSTARÁ ESSEN

CIALMENTE DE : TOCHA, UNIDADE DE CONTROLE, FONTE DE ENERGIA, / SUPRIMENTO DE GASES, SUPRIMENTODE ÁGUA PARA REFRIGERAÇÃO, DISPOSITIVOS PARA MECANIZAÇÃO.

TOCHAS

COMO CARACTERÍSTICAS COMUNS A TODAS AS TOCHAS TEMOS A ENTRADA E SAÍDA DE ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO, DISPOSITIVOS DE LIGAÇÃO AO CIRCUITO ELÉTRICO, DISPOSITIVOS DE RECEPÇÃO E EJEÇÃO DO GÁS E PARTES MECÂNICAS DAS QUAIS A PRINCIPAL É A DE FIXAÇÃO E AJUSTE DOS ELÉTRODOS.

A FUNÇÃO DA TOCHA É FORNECER ENERGIA AO GÁS PARA MUDÁ-LO DE ESTADO E QUANTO A ESSA CARACTERÍSTICA HÁ DOIS TIPOS DE TOCHA:

TOCHA DE ARCO TRANSFERIDO : O ARCO É INICIADO POR DESCARGA DE ALTA FREQUÊNCIA ENTRE O ELÉTRODO E O INTERIOR DA TOCHA (SUPERFÍCIE INTERNA DO BOCAL); ESTABELECE-SE O ARCO PILOTO, DE PEQUENA INTENSIDADE, QUE IONIZA O GÁS EM PEQUENA ESCALA E QUANDO ESTE SAI E ALCANÇA A PEÇA ESTABELECE-SE UM CAMINHO PARA A CORRENTE DO ARCO PRINCIPAL ENTRE ELÉTRODO E PEÇA.

TOCHA DE ARCO NÃO TRANSFERIDO : A DESCARGA DE ALTA-FREQUÊNCIA JÁ ESTABELECE O CAMINHO PARA O ARCO PRINCIPAL QUE SE DÁ ENTRE O ELÉTRODO E O INTERIOR DA TOCHA. O PLASMA É EJETADO SEM SER / CONDUTOR DE CORRENTE ENTRE ELÉTRODO E A PEÇA.

EM AMBOS OS CASOS OS ELÉTRODOS SÃO NÃO CONSUMÍVEIS OU DE TUNGSTÊNIO TORINADO (2% DE TÓRIO) OU PARTE DE COBRE E PARTE DE TUNGSTÊNIO, SENDO A MAIORIA DOS EQUIPAMENTOS A PARTE ORIGINADORA DE ARCO DE TUNGSTÊNIO.

QUANTO À MANEIRA DE MOVIMENTAR A TOCHA SOBRE A PEÇA ELAS SE CLASSIFICAM EM MANUAIS E MECANIZADAS. AS TOCHAS MANUAIS SÃO DE MENOR CAPACIDADE POIS DEVEM APRESENTAR PÊSO MENOR E POUCO / PERIGO PARA O OPERADOR. AS TOCHAS MECANIZADAS SÃO NORMALMENTE / DE GRANDE CAPACIDADE.

UNIDADES DE CONTROLE

TEM A FINALIDADE DE LIGAR O DISPOSITIVO DE ALTA-FREQUÊNCIA, ABRIR A PASSAGEM DE GÁS E ÁGUA, ACIONAR A FONTE DE ENERGIA E ACIONAR OS DISPOSITIVOS DE MOVIMENTO RELATIVO QUANDO O / ARCO SE ESTABELECE SE A TOCHA NÃO FOR MANUAL.

FONTES DE ENERGIA

É USADA CORRENTE CONTÍNUA, PORTANTO AS FONTES SÃO DO TIPO TRANSFORMADOR RETIFICADOR OU MOTOR-GERADOR.

AS VOLTAGENS NECESSÁRIAS PARA MANTER UM ARCO-PLASMA DE ALTA TEMPERATURA SÃO SUPERIORES ÀS CONVENCIONAIS DE SOLDA, PORTANTO, AS FONTES SERÃO ESPECIAIS PARA O CASO OU TERMOS QUE FAZER LIGAÇÕES EM SÉRIE DE MÁQUINAS CONVENCIONAIS PARA OBTERMOS VOLTAGENS MAIORES. DEVE-SE RESSALTAR A NECESSIDADE DE QUE A FONTE DE ENERGIA FORNEÇA A QUANTIDADE CERTA DE TENSÃO E CORRENTE PARA UM DADO TRABALHO. ESTES SERÃO RESPONSÁVEIS PELO CALOR ENTREGUE À PEÇA E TOMANDO COMO EXEMPLO UM CASO DE CORTE O EXCESSO OU FALTA DE CALOR PARA UMA DADA VELOCIDADE DE CORTE TERÃO EFEITOS NA QUALIDADE DA SOLDA.

SUPRIMENTOS DE GASES

O ARGÔNIO, NITROGÊNIO E HÉLIO SÃO USADOS POR SEREM INERTES E NÃO ATACAREM OS COMPONENTES DA TOCHA E AS PEÇAS DE TRABALHO NAS ALTAS TEMPERATURAS DESENVOLVIDAS.

O HIDROGÊNIO É USADO EM MISTURAS COM ESSES GASES EM ALGUNS CASOS POR SER FACILMENTE IONIZÁVEL E FUNCIONA COMO GÁS AUXILIAR NA ABERTURA DE ARCO. PODE-SE CORTAR O FORNECIMENTO DE HIDROGÊNIO APÓS ABERTO O ARCO PRINCIPAL.

O OXIGÊNIO É USADO SEMPRE EM MISTURAS COM NITROGÊNIO PARA CORTAR AQUELES MATERIAIS QUE EXIGEM OXIDAÇÃO PARA PODEREM SER CORTADOS EM BOA QUALIDADE, COMO É O CASO DOS AÇOS-CARBONO.

SUPRIMENTO DE ÁGUA

DEVIDO AS ALTAS TEMPERATURAS DESENVOLVIDAS, A TOCHA DEVE SER REFRIGERADA CONVENIENTEMENTE. USA-SE ÁGUA, COM PRESSÃO SUFICIENTE PARA COMPENSAR AS PERDAS DE CARGA NAS MANGUEIRAS E NA TOCHA DE FORMA A TERMOZ VAZÕES QUE DISSIPEM A QUANTIDADE DE CALOR POR SEGUNDO, QUE PODERIA PREJUDICAR A TOCHA.

DISPOSITIVOS PARA MECANIZAÇÃO

QUANDO O CONJUNTO FOR MECANIZADO OS DISPOSITIVOS PARA MOVIMENTO RELATIVO PODERÃO SER:

MÁQUINAS COPIADORAS, MOVIMENTADOR DA PEÇA, CARRO SOBRE TRILHO

OU CREMALHEIRA.

DEVE-SE SALIENTAR A NECESSIDADE DE LIGAR ESSES DISPOSITIVOS NA UNIDADE DE CONTROLE PARA SE INICIAR O MOVIMENTO RELATIVO NO MOMENTO EXATO.

AS VELOCIDADES SERÃO ESCOLHIDAS PARA CADA SITUAÇÃO.

7.4 - CORTE COM O ARCO-PLASMA

ESTE PROCESSO VEM A SER A SOLUÇÃO PARA A MAIORIA DOS PROBLEMAS DE CORTE, TANTO OS EQUIPAMENTOS MECANIZADOS COMO OS MANUAIS PRODUZEM CORTES ECONÔMICOS, EM ALTAS VELOCIDADES E SUBSTITUEM PROCESSOS MENOS EFICIENTES OU MAIS CAROS, COMO CORTE / COM CHAMA, SERRAS, PENSAS E TESOURAS ESPECIAIS.

ESTE PROCESSO É O MELHOR EXISTENTE PARA OS MATERIAIS NÃO-FERROSOS E AÇOS INOXIDÁVEIS. PODE-SE CORTAR AÇOS CARBONO ATÉ / 2" DE ESPESSURA EM VELOCIDADES VÁRIAS VEZES SUPERIORES À CHAMA, COM BOA QUALIDADE E A CUSTOS MENORES.

AS PROPRIEDADES APRESENTADAS PELAS PEÇAS APÓS TEREM SIDO SUBMETIDAS AO PROCESSO DE CORTE COM ARCO PLASMA SÃO : PEÇAS ISENTAS DE DISTORÇÃO, NÃO OCORREM VARIAÇÕES NA PERMEABILIDADE MAGNÉTICA , PEÇAS LIVRES DE CONTAMINAÇÃO, LIVRES DE PRECIPITAÇÃO DE CARBONO, GARANTIAS DE CORTE COM MEDIDAS EXATAS.

OS METAIS NÃO FERROSOS TAMBÉM SÃO GERALMENTE CORTADOS COM MISTURAS ARGÔNIO-HIDROGÊNIO OU NITROGÊNIO-HIDROGÊNIO E NO CASO O PLASMA NÃO TEM EQUIVALENTES.

EM TODOS OS CASOS DE CORTE A ZONA AFETADA PELO CALOR É MÍNIMA DEVIDO À CONCENTRAÇÃO DO JATO PLASMA QUE VAPORIZA A ZONA DE CORTE INSTANTANEAMENTE E EXPULSA O METAL CAUSANDO UM AQUECIMENTO MÍNIMO DA REGIÃO VIZINHA.

PRATICAMENTE NÃO HÁ QUALQUER DISTORÇÃO E NÃO CONSIDERANDO UMA CAMADA MICROSCÓPICA DA FACE CORTADA NÃO TEMOS QUALQUER ALTERAÇÃO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS MAGNÉTICA.

7.4.1 - PRECAUÇÕES

OS PRINCIPAIS CUIDADOS A SEREM TOMADOS SÃO REFERENTES AS VELOCIDADES DE CORTE (TAMBÉM EXATAS), POIS PODEM IMPEDIR O CORRETO AQUECIMENTO DA ZONA DE CORTE. OUTRO CUIDADO A SER TOMADO É QUANTO A CENTRALIZAÇÃO DO ELÉTRODO NO BOCAL PARA QUE O JATO PLASMA SEJA UNIFORME.

SEMPRE QUE O NITROGÊNIO ESTIVER PRESENTE COM GÁS DE CORTE, DEVE-SE PREPARAR UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO FORÇADA POR SUÇÃO PARA ELIMINAR AS FUMAÇAS VISÍVEIS NO AMBIENTE POIS O DÍÓXIDO DE NITROGÊNIO É TÓXICO E PODE SER INCLUSIVE LETAL, QUANDO RESPIRADO POR ALGUM TEMPO.

7.5 - SOLDA PELO PROCESSO PLASMARC

É UM PROCESSO DE ALTA VELOCIDADE QUE PRODUZ SOLDAS DE ALTA QUALIDADE A CUSTOS REDUZIDOS. O ARCO-PLASMA É DE MESMAS CARACTERÍSTICAS QUE OS CASOS JÁ DESCRITOS, HAVENDO A FRISAR O CASO DA SOLDA A BOLHA DE FUSÃO, PROTEGIDA POR UM JATO AUXILIAR DE GÁS INERTE.

A CARACTERÍSTICA PRINCIPAL DESSE PROCESSO DE SOLDA É QUE O JATO DE PLASMA PRODUZ UM PEQUENO ORIFÍCIO NO METAL DE BASE E ESTE É LEVADO ADIANTE PELO MOVIMENTO DA TOCHA.

OBTÉM-SE SOLDAS DE ALTÍSSIMA RESISTÊNCIA E QUALIDADE.

A SOLDA PELO PROCESSO PLASMA PODE SER USADA EM TÓDAS AS APLICAÇÕES AONDE SE UTILIZA O PROCESSO TIG, EXCETO EM ALUMÍNIO E MAGNÉSIO PARA OS QUAIS O PROCESSO AINDA ESTÁ SENDO DESENVOLVIDO. NAS ESPESSURAS ONDE SE CONSEGUE O EFEITO DE PERFURAÇÃO O PROCESSO PLASMA APRESENTA VANTAGENS DE VELOCIDADE BEM MAIOR, PENETRAÇÃO UNIFORME, REDUÇÃO NO PREPARO DAS JUNTAS, REDUÇÃO OU ELIMINAÇÃO DA NECESSIDADE DE ADICIONAR O METAL E MENOR SENSIBILIDADE À VARIAÇÃO NO COMPRIMENTO DE ARCO.

O EQUIPAMENTO UTILIZADO TEM AS MESMAS CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO DO PROCESSO PARA O CORTE, SENDO QUE SE PODE USAR POLARIDADE DIRETA (COM ELÉTRODO DE TUNGSTÊNIO) OU POLARIDADE REVERSA (COM ELÉTRODO DE COBRE REFRIGERADO A ÁGUA). EM MUITOS CASOS HÁ ADIÇÃO DE METAL AUTOMATICAMENTE À ZONA DE SOLDA POR DISPOSITIVO ACOPLADO À TOCHA.

7.6 - RECOBRIMENTO

O PROCESSO DE RECOBRIMENTO POR ARCO PLASMA OBEDECE AO MESMO PRINCÍPIO QUE O PROCESSO DE CORTE OU SOLDAGEM, APENAS COM MODIFICAÇÕES NO SISTEMA DE INJEÇÃO DE GÁS, QUE É PORTADOR DE PÓ METÁLICO, A SER DEPOSITADO, QUE VEM PELO INTERIOR DA TOCHA E É FUNDIDO JUNTO COM A PEÇA. A ADIÇÃO DE PÓ MODIFICA A INTENSIDADE DO ARCO-PLASMA, QUE É FEITO PARA FUNDIR A SUPERFÍCIE DA PEÇA.

8.- NOVOS PROCESSOS DE SOLDAGEM

8.1 - SOLDAGEM POR ULTRA-SOM

ESTE PROCESSO CONSISTE EM SOLDAR AS PEÇAS POR PRESSÃO E / SUBMETE-LAS A VIBRAÇÃO EM FREQUÊNCIAS MUITO ELEVADAS, QUE PROVOCAM A FUSÃO DAS SUPERFÍCIES. NÃO HÁ CRESCIMENTO DE GRÃO, NÃO HÁ ABSORÇÃO DE GASES, NEM POROSIDADES, COM A FRAGILIDADE SENDO REDUZIDA AO MÍNIMO.

O EQUIPAMENTO LEMBRA AS MÁQUINAS DE SOLDAGEM A PONTO POR RESISTÊNCIA, TRABALHANDO EM UMA FAIXA DE 5 A 100 QUILOCYCLOS / SEGUNDO, E O TEMPO DE SOLDAGEM É DE 0,5 A 1,5SEG. O SISTEMA DE PRODUÇÃO DAS ONDAS ULTRASSÔNICAS ESTÁ AINDA EM DESENVOLVIMENTO MAS JÁ EXISTE A POSSIBILIDADE DE SOLDARMOS LIGAS REFRAATÁRIAS / DE ESPESSURA ATÉ 2,5MM E ALUMÍNIO ATÉ 6MM.

8.2 - SOLDAGEM POR BOMBARDEAMENTO ELETRÔNICO

NESTE PROCESSO CONCENTRA-SE UM FEIXE DE LETRONS DE ALTA / ENERGIA SOBRA A JUNTA A SOLDAR, REALIZANDO A FUSÃO LOCALIZADA COM CARACTERÍSTICAS ÓTIMAS DE PENETRAÇÃO. A MAIOR LIMITAÇÃO DO PROCESSO, É A NECESSIDADE DA UTILIZAÇÃO DE UMA CÂMARA DE VÁCUO PARA A SOLDA DAS JUNTAS.

A MAIOR APLICAÇÃO É A SOLDAGEM DE LIGAS DE BERÍLIO, TITÂNIO, MOLIBDÊNIO E TUNGSTÊNIO. A APLICAÇÃO TEM-SE EXTENDIDO A / LIGAS MENOS SOFISTICADAS, EM ATMOSFERA GASOSA DE AR, HÉLIO E / MISTURA HÉLIO-ARGÔNIO.

A PROFUNDIDADE DE PENETRAÇÃO É CONTROLADA PELA DIFERENÇA DE POTENCIAL DE ACELERAÇÃO DO FEIXE. ESTA PROPRIEDADE DETERMINA A QUANTIDADE DE METAL FUNDIDO. AUMENTANDO-SE A VELOCIDADE / DE SOLDAGEM SEM QUE SE MUDE OUTRAS VARIÁVEIS DIMINUE-SE A PROFUNDIDADE DE PENETRAÇÃO.

A EXTENÇÃO DO EFEITO DE AQUECIMENTO É CONTROLADO USUALMENTE PELA REGULAGEM DA LARGURA E ESPESSURA DA SOLDA. EM GERAL, A EXTENÇÃO DA ZONA AFETADA PELO AQUECIMENTO É PROPORCIONAL A MÉDIA DA SOLDA, COM FORTES INFLUÊNCIAS DAS DISTORÇÕES.

8.3 - SOLDAGEM POR FRICÇÃO

O PROCESSO DE SOLDAGEM POR FRICÇÃO BASEIA-SE NA PRODUÇÃO DE CALOR POR ATRITO, APRESENTANDO EXCELENTES RESULTADOS PARA LIGAS DE ALUMÍNIO E COBRE, NÍQUEL E AÇO - SENDO SOLDADAS EM / BARRAS REDONDAS DE ATÉ 100MM DE DIÂMETRO.

A FRICÇÃO ENTRE DUAS SUPERFÍCIES PODE SER OBTIDA POR DESLIZAMENTO, ROLAMENTO OU ROTAÇÃO. A SOLDAGEM POR FRICÇÃO UTILIZA ESTA ÚLTIMA: SE MANTIVERMOS UMA SUPERFÍCIE ESTACIONÁRIA E A OUTRA EM REVOLUÇÃO, O CONTATO DAS DUAS CRIARÁ UMA ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA QUE ASSOCIADA A UMA PRESSÃO PROMOVERÁ A SOLDA DE / TÔPO DAS DUAS SUPERFÍCIES. A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA CINÉTICA É OBTIDA COM AJUDA DE VOLANTES.

O PROCESSO É PARTICULARMENTE ADAPTADO A CORPOS COM EIXO / DE ROTAÇÃO (TUBOS, EIXOS, BARRAS, ETC) E A PRODUÇÕES EM SÉRIE.

O EQUIPAMENTO APRESENTA UMA SIMPLICIDADE MUITA ELEVADA, / COM GRANDE FACILIDADE PARA A AUTOMATIZAÇÃO E BAIXO CUSTO OPERACIONAL. AS MÁQUINAS ATUAIS ESTÃO NA FAIXA DE 1800 A 5000 RPM , COM CARGA AXIAL ATÉ 275 TON, COM UM CONSUMO DE 10HP/IN² A SOLDAR.

HOJE EM DIA SÃO POSSÍVEIS SOLDAGENS DE BARRAS DE 1/8" ATÉ 6" DE DIÂMETRO, COM ISSO, AUMENTANDO O INTERESSE DAS INDUSTRIAS DE MÁQUINAS E FERRAMENTAS.

8.4 - SOLDAGEM POR LASER

LASER SIGNIFICA 'LIGHT AMPLIFICATION THROUGH STIMULATED EMISSION OF RADIATION', OU AINDA, UMA EMISSÃO DE RAIOS DE FRE - QUÊNCIA CONSTANTE DE ALTA CONCENTRAÇÃO. PODE-SE OBTER O LASER INCIDINDO UMA LUZ BRILHANTE DE LÂMPADA DE XENÔNIO, DE QUEIMA / DE MAGNÉSIO OU ALUMÍNIO; OS ELÉTRONS DA ESTRUTURA CRISTALINA / SERÃO ESTIMULADOS AO VOLTAREM AO SEU NÍVEL DE ENERGIA NORMAL , EMITINDO RADIAÇÕES COERENTES, DE PEQUENA DISPERSÃO.

O FEIXE LASER E O ELETRÔNICO CONSTITUEM EMISSÕES DE ALTA INTENSIDADE ENERGÉTICA POR SUPERFÍCIE ESPECÍFICA, JUSTIFICANDO DESSA MANEIRA, O INTERESSE NA SOLDAGEM. A TÍTULO DE EXEMPLO, / EM UMA COMPARAÇÃO COM A SOLDAGEM OXI-ACETILÊNICA E A ARCO ELÉTRICO, PODEMOS AFIRMAR QUE O POTENCIAL ENERGÉTICO DO LASER ATINGE A VALORES SUPERIORES A 10⁹ WATT/CM² , ENQUANTO QUE OS /

PROCESSOS CONVENCIONAIS NÃO SUPERAM A CASA DE $1,5 \times 10^4 \frac{\text{WATT}}{\text{CM}^2}$.

PODE-SE SOLDAR PONTUALMENTE COM O LASER, COM A RELAÇÃO / PENETRAÇÃO - DIÂMETRO DO PONTO ATINGINDO VALORES 200/1.

SUA MELHOR APLICAÇÃO TEM SIDO PARA FINS AERO-ESPACIAIS, / NAS SOLDAGENS DE METAIS E LIGAS COMO: TITÂNIO, COLUMBIO, MOLIBDÊNIO.

8.5 - SOLDAGEM POR ELETROESCÓRIA

O PROCESSO DE SOLDA POR ELETROESCÓRIA FOI INCIADO NA UNIÃO SOVIÉTICA EM 1957/8, E, POSTERIORMENTE INTRODUZIDO EM OUTROS PAÍSES, REPRESENTADO A ALTERNATIVA MODERNA PARA A FABRICAÇÃO DE GRANDES PEÇAS DE AÇO, FUNDIDAS OU FORJADAS, A PARTIR DE PEÇAS MENORES CUJOS PESOS E DIMENSÕES POSSIBILITAM PRODUÇÃO E MANUSEIO POR EQUIPAMENTOS PRODUTIVOS DE MENOR CAPACIDADE.

NO PASSADO, A FABRICAÇÃO DE PEÇAS DE GRANDE PORTE REQUERIA, NECESSÁRIAMENTE PRODUTIVOS EM OPERAÇÃO, SIMULTANEAMENTE, A AMPLIAÇÃO DA ÁREA DE TRABALHO, FATOS QUE IMPLICAVEM EM INVESTIMENTOS SUBSTANCIAIS E REALIZADOS DENTRO DE UM SIGNIFICATIVO PERÍODO DE TEMPO. EM UMA ETAPA POSTERIOR, TAIS DIFICULDADES FORAM CONTORNADAS COM A DOÇÃO DA TÉCNICA DE SOLDAGEM, QUE PERMITE A OBTENÇÃO DE UMA PEÇA DE GRANDE PORTE PELA UNIÃO DE PARTES PRODUZIDAS INDIVIDUALMENTE. CONTUDO, ESTA TÉCNICA APRESENTA UMA SÉRIE DE DIFICULDADES QUANDO DA PRODUÇÃO DE UMA PEÇA DE GRANDES ESPESSURAS.

COM A INTRODUÇÃO DO PROCESSO DE ELETROESCÓRIA ESSE PROBLEMA FOI RESOLVIDO, GARANTINDO ASSIM UM AUMENTO NA PRODUTIVIDADE.

O PROCESSO DE SOLDA POR ESCÓRIA SE RESUME, BASICAMENTE, NA UTILIZAÇÃO DO CALOR GERADO PELA RESISTÊNCIA ORIGINADA DE UM FLUXO, OU ESCÓRIA, À PASSAGEM DE CORRENTE ELÉTRICA. O CALOR RESULTANTE É, NESSE CASO, SUFICIENTE PARA FUNDIR NÃO SÓ O FLUXO, COMO O ARAME OU TIRA DE SOLDAGEM E O METAL BASE.

A CAVIDADE DEIXADA PELAS PARTES A SEREM SOLDADAS E AS SAPATAS DE RETENÇÃO REFRIGERADAS CONTÉM TANTO O METAL DE SOLDA QUANTO A ESCÓRIA FUNDIDOS. A ESCÓRIA, UMA COMBINAÇÃO DE ÓXIDOS COMPLEXOS DE AL, SI, MN, TI, CA, MG, E, EM ALGUNS CASOS, FLUORETO DE CÁLCIO, PERMANECE SOBRE O METAL, COBRINDO-O COMO UMA CAPA PROTETORA E EVITANDO A SUA OXIDAÇÃO.

A SOLDAGEM É EXECUTADA NA POSIÇÃO VERTICAL E, ENQUANTO A SOLDA É REALIZADA, A CAVIDADE É PREENCHIDA COM METAL, AO MESMO TEMPO EM QUE O NÍVEL DO POÇO DE ESCÓRIA SE DESLOCA VERTICALMENTE. A SOLIDIFICAÇÃO OCORRE DE MANEIRA PROGRESSIVA, DA BASE PARA O TÔPO, COMPLEMENTANDO O PROCESSO QUE, UMA VEZ INICIADO, NÃO PODE SOFRER SOLUÇÃO DE CONTINUIDADE.

A TÉCNICA DE SOLDAGEM POR ELETROESCÓRIA REÚNE INÚMERAS / VANTAGENS ASSOCIADAS AOS FATORES SEGURANÇA, RAPIDEZ E CONFIABILIDADE DAS PEÇAS OBTIDAS. DENTRE ELAS, PODE-SE DESTACAR A ALTA VELOCIDADE DE DEPOSIÇÃO DO METAL; A ADEQUADA PENETRAÇÃO DO METAL BASE, EM RAZÃO DA GRANDE QUANTIDADE DE CALOR GERADO, MESMO EM MATERIAIS BASTANTE ESPESSOS; PEQUENA POSSIBILIDADE DE TRINCAS E EMPENAMENTOS, EM VIRTUDE DOS CICLOS DE AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO SEREM BASTANTE LENTOS; MENOR RETENÇÃO DE GASES E ESCÓRIA, EM RAZÃO DA POSIÇÃO VERTICAL DE SOLDAGEM E LENTA SOLIDIFICAÇÃO DO METAL DE SOLDAGEM; COM TAMBÉM A MAIOR HOMOGENEIDADE DO METAL DE SOLDAGEM COM O METAL BASE.

O EQUIPAMENTO É COMPOSTO POR DOIS CONJUNTOS COM UM DISPOSITIVO DE SOLDAGEM E CINCO ELÉTRODOS CADA UM. CADA ELÉTRODO / POSSUÍ SUA PRÓPRIA FONTE DE ENERGIA. OS CONJUNTOS DE SOLDAGEM PODEM SER DESLOCADOS INDIVIDUALMENTE, GRAÇAS À LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS EM QUE SE EFETUARÃO AS SOLDAS, O QUE SIGNIFICA QUE SÃO INDEPENDENTES UM DO OUTRO. COMO CADA ELÉTRODO PODE SER REGULADO PARA A CONDIÇÃO DE SOLDAGEM MAIS ADEQUADA, CONSEGUIE-SE UMA ALTA QUALIDADE E EFETIVIDADE. ALÉM DISSO, É POSSÍVEL ESCOLHER O NÚMERO MAIS CONVENIENTE DE ELÉTRODOS A SEREM USADOS PARA DETERMINADA ESPESSURA DA PEÇA, DE TAL FORMA QUE SE PODE OBTER UM ELEVADO ÍNDICE DE UTILIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO.

COM ESTE EQUIPAMENTO, É POSSÍVEL SOLDAR PEÇAS DE 15MM A / 750 MM DE ESPESSURA, EM CADA DISPOSITIVO. PARA A SOLDAGEM DE / PEÇAS MAIORES, ATÉ 1500MM, É NECESSÁRIO UTILIZAR DOIS CONJUNTOS COM ELÉTRODOS DISPOSTOS LADO A LADO.

O PROCESSO DE SOLDAGEM POR ELETROESCÓRIA PODE SER APLICADO A QUAISQUER PEÇAS, MAS, SOBRETUDO, APRESENTA VANTAGENS MAIORES QUANDO EMPREGADO PARA A PRODUÇÃO DE PEÇAS MAIS PESADAS E / COMPLEXAS. COMO EXEMPLOS TÍPICOS DE SUA APLICAÇÃO PODEMOS CITAR: MADRES DE LEME PARA NAVIOS, LATERAIS DE LAMINADORES, PÁS DIRETRIZES PARA USINAS HIDROELÉTRICAS, ETC. A TÉCNICA DE SOLDA POR ELETROESCÓRIA É AINDA POUCO DIVULGADA NO BRASIL, SENDO USA DA APENAS POR ALGUMAS EMPRESAS NA SOLDAGEM DE CHAPAS.

9 - TRINCAS A FRIO EM SOLDA DE AÇOS

9.1 - DESCRIÇÃO DO FENÔMENO

A - MORFOLOGIA DAS TRINCAS A FRIO

AS TRINCAS DITAS 'A FRIO' OU 'CAUSADAS PELO HIDROGÊNIO' PODEM SER CARACTERIZADAS, MACROSCÓPICAMENTE DAS SEGUINTE FORMAS:

- PELA REGIÃO ONDE ELAS APARECEM;
- PELA SUA ORIENTAÇÃO EM RELAÇÃO AO CORDÃO DE SOLDA;
- PELA SUA POSIÇÃO.

NA FIGURA 9.1, PODE-SE DISTINGUIR AS TRINCAS DA ZONA AFETADA TERMICAMENTE (A) E AS DA ZONA FUNDIDA (F); ALGUMAS SÃO LONGITUDINAIS (AL E FL), OUTRAS SÃO TRANSVERSAIS (AT E FT), EM RELAÇÃO AO CORDÃO DE SOLDA. AS TRINCAS LONGITUDINAIS DA ZONA TERMICAMENTE AFETADA SÃO DE MANEIRA GERAL PARALELAS A ZONA DE LIGAÇÃO (AL 1). SEM NECESSÁRIAMENTE AFLORAR À SUPERFÍCIE DAS PEÇAS UNIDAS, OU SE LOCALIZAM EM DESCONTINUIDADES DA SEÇÃO QUE FORMAM ENTALHES NA JUNÇÃO DO CORDÃO DE SOLDA (AL 2) OU NA RAIZ (AL 3). O TIPO DE TRINCA (AL 1), MAIS FREQUENTE NO CASO DE SOLDA DE AÇOS TEMPERADOS COM ELETRODOS NÃO BÁSICOS, RECEBEM O NOME DE "TRINCA SOB CORDÃO" QUE É ERRÔNEAMENTE GENERALIZADA COMO TRINCA LONGITUDINAL ASSOCIADA A INFLUÊNCIA DO HIDROGÊNIO. VEREMOS MAIS ADIANTE QUE AS CONDIÇÕES DO APARECIMENTO DE TRINCAS DO TIPO 'JUNÇÃO DO CORDÃO' OU DE 'RAIZ' DIFEREM DAS TRINCAS 'SOB CORDÃO', DEVIDO AO EFEITO DE ENTALHE QUE ORIENTA A SUA FORMAÇÃO.

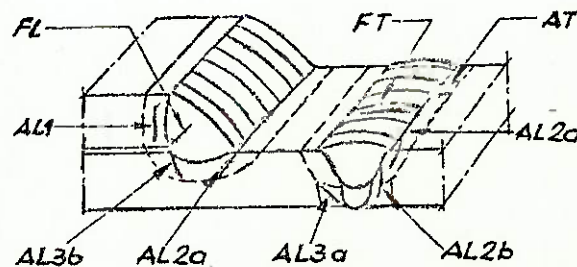


FIG. 9.1 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS ZONAS AFETADAS TERMICAMENTE

MESMO AS TRINCAS QUE SÃO INICIALMENTE DO TIPO 'UNIÃO DE / CORDÃO' OU 'RAIZ' AS TRINCAS A FRIO NÃO NECESSÁRIAMENTE AFLORAM A SUPERFÍCIE. É O CASO TÍPICO DE TRINCAS DE 'RAIZ' DE SOLDA EM ÂNGULO (AL 3B) OU PARA TRINCAS DE 'UNIÃO' QUE APARECEM APÓS UM PRIMEIRO PASSE QUE É RECOBERTO POR UM OUTRO PASSE (AL 2B). O FATO DE UMA TRINCA AFLORAR OU NÃO À SUPERFÍCIE É EXTREMAMENTE IMPORTANTE DO PONTO DE VISTA DE SUA DETECÇÃO E SUA INFLUÊNCIA SOBRE O COMPORTAMENTO MECÂNICO ESTÁTICO E DINÂMICO.

A PARTIR DESSAS CARACTERÍSTICAS PODE-SE FAZER ALGUMAS OBSERVAÇÕES MICROSCÓPICAS: - A TRINCA A FRIO É UMA VERDADEIRA FRATURA SEM RAMIFICAÇÕES. EXAMINADA MICROSCÓPICAMENTE, ELA REVELA UM CARÁTER INTER OU TRANSGRANULAR EM RELAÇÃO A MATRIZ; EM FUNÇÃO DO TIPO DE AÇO, SEJA MAIS OU MENOS TEMPERÁVEL.

QUANDO AS TRINCAS A FRIO NÃO PROVOCAREM DIRETA OU INDIRETAMENTE A RUPTURA COMPLETA DAS PEÇAS UNIDAS, ELAS PODEM SER DETECTADAS POR CERTOS MEIOS DE CONTROLE NÃO DESTRUTIVOS, TAIS COMO POR LÍQUIDO PENETRANTE PARA AS TRINCAS QUE AFLORAREM A SUPERFÍCIE, O CONTRÔLE POR MAGNETIZAÇÃO E O CONTRÔLE POR ULTRASSONS. CONVÉM SALIENTAR QUE A RADIOGRAFIA NÃO PERMITE UMA DETECÇÃO ABSOLUTA DAS TRINCAS A FRIO. DEVIDO AS CARACTERÍSTICAS ESPECIAIS DE CERTAS TRINCAS, É ANTES DE UM CERTO PRAZO, POR EXEMPLO: 48 HORAS APÓS A EXECUÇÃO DA ÚLTIMA SOLDA DE UMA JUNTA. QUANDO SE FOR EFETUAR UM TRATAMENTO DE ALÍVIO DE TENSÕES É CONVENIENTE FAZER O CONTRÔLE NÃO DESTRUTIVO SOMENTE APÓS ESTA ETAPA DEVIDO AO RISCO DE PROPAGAÇÃO DAS TRINCAS DURANTE O TRATAMENTO TÉRMICO.

B - CIRCUNSTÂNCIAS DO APARECIMENTO DE TRINCAS A FRIO

A TRINCA A FRIO TAL COMO É OBSERVADA NA PRÁTICA OU COMO É REPRODUZIDA EM LABORATÓRIO, RESULTA DA CONJUNÇÃO DE TRES FATORES NECESSÁRIOS, SENDO QUE NENHUM DESSES FATORES É SUFICIENTE PARA ISOLADAMENTE PROVOCAR O FENÔMENO;

SÃO OS FATORES:

- TEMPERA DO AÇO SOLDADO;
- HIDROGÊNIO;
- ESFORÇOS ASSOCIADO À OPERAÇÃO DE SOLDA.

POR OUTRO LADO, A TRINCA PODE SER ESTUDADA DO PONTO DE VISTA DO MOMENTO EM QUE ELA OCORRE APÓS A SOLDA.

EM PRIMEIRO LUGAR, CONSTAT-SE QUE A TRINCA A FRIO SE PRODUZ QUANDO, SOB AS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO (ESPESSURA, ENERGIA, TEMPERATURA DAS PEÇAS), O AÇO UTILIZADO É TEMPERÁVEL, QUER DIZER É O PATAMAR DE UMA TRANSFORMAÇÃO MARTENSÍTICA TOTAL OU PARCIAL NA ZONA TERMICAMENTE AFETADA E/OU NA ZONA FUNDIDA. OS AÇOS NÃO LIGADOS NÃO SÃO SENSÍVEIS NO FENÔMENO COM EXCESSÃO AOS CASOS DE ALTO TEOR DE CARBONO, OS AÇOS FRACAMENTE LIGADOS SÃO MAIS SENSÍVEIS DEVIDO À SUA TEMPERABILIDADE. A SENSIBILIDADE AUMENTA COM A ESPESSURA DOS ELEMENTOS SOLDADOS; ELA AUMENTA TAMBÉM COM A REDUÇÃO DA ENERGIA DE SOLDA (SOLDA A PONTO, SOLDAS DESCONTÍNUAS, PRIMEIROS PASSES DE SOLDA DE VÁRIOS PASSES, ETC.).

QUANTO AO HIDROGÊNIO, SEU EFEITO É CONHECIDO MAIS RECENTEMENTE, E DEU ORIGEM AO DESENVOLVIMENTO DOS ELÉTODOS COM REVESTIMENTO BÁSICOS. AS JUNTAS SOLDADAS COM ELÉTODOS RUTÍLIOS OU CELULÓSICOS SÃO MAIS SENSÍVEIS AO FENÔMENO. OS ELÉTODOS BÁSICOS PERMITEM REDUZIR O RISCO E OS PROCESSO DO TIPO MIG, AUMENTAM OS LIMITES DOS AÇOS SOLDÁVEIS SEM TRINCAS A FRIO. AS TRINCAS DA ZONA TERMICAMENTE AFETADA RESULTAM DA DIFUSÃO ATRAVÉS DESSA ZONA DO HIDROGÊNIO DISSÓLVIDO NA ZONA FUNDIDA.

SABE-SE TAMBÉM QUE A TRINCA A FRIO É CAUSADA POR CONTRAÇÃO: AS SOLDAS LIVRES DE DEFORMAÇÃO SÃO MENOS SENSÍVEIS À TRINCAS A FRIO QUE AQUELAS SUJEITAS A ESFORÇO. TODAVIA, PARA TEORES ELEVADOS DE HIDROGÊNIO E ESTRUTURAS FRANCAMENTE MARTENSÍTICAS A CONTRAÇÃO DESENVOLVIDA PELO SIMPLES DEPÓSITO DE UM CORDÃO DE SOLDA BASTA PARA PROVOCAR A TRINCA DITA 'SOB CORDÃO', ENQUANTO QUE, PARA UM MENOR TEOR DE HIDROGÊNIO NO METAL DEPOSITADA, NÃO SE CONSTATA A APARIÇÃO DE TRINCAS A NÃO SER DO TIPO UNIÃO OU RAIZ, E ISTO POR MEIO DE CONTRAÇÃO RELATIVAMENTE ELEVADA. AS TRINCAS TRANSVERSAIS DA ZONA TERMICAMENTE AFETADA ESTÃO LIGADAS AOS AÇOS FORTEMENTE TEMPERÁVEIS. AS TRINCAS TRANSVERSAIS DO METAL FUNDIDO REQUEREM CONTRAÇÕES ELEVADAS.

A TRINCA A FRIO É MUITAS VEZES DENOMINADA 'TRINCA DIFERENCIADA' PORQUE ELA SE MANIFESTA POR VEZES LENTAMENTE APÓS A SOLDA, PELO MENOS DE MANEIRA VISÍVEL. AS CONDIÇÕES NAS QUAIS A TRINCA PODE SER REALMENTE DIFERENCIADA SERÃO DISCUTIDAS MAIS A FRENTE, MAS CONVÉM OBSERVAR QUE O FATOR TEMPO INFLUI NO FENÔMENO. PODE-SE NOTAR AINDA, QUE, COMO O NOME INDICA, ESSE FENÔMENO ESTÁ SEMPRE LIGADO A UMA TEMPERATURA PRÓXIMA DA AMBIENTE.

C - MÉTODOS DE ESTUDO DA TRINCA A FRIO

A IMPORTÂNCIA PRÁTICA DO FENÔMENO DE TRINCA A FRIO É TAL QUE NUMEROSOS ENSAIOS, ENTRE AQUELES DITOS DE SOLDABILIDADE, SÃO REALIZADOS PARA ESTUDAR OS FATORES E DETERMINAR AS CONDIÇÕES DE SOLDAGEM ÓTIMAS PARA EVITAR TAL FENÔMENO.

ENTRE ESSES ENSAIOS, PODE-SE CITAR EM PRIMEIRO LUGAR AQUELES QUE SÃO MAIS ANTIGOS, APESAR DE SUA CARACTERÍSTICA EMPÍRICA, A SABER OS ENSAIOS SOBRE CONJUNTOS TENSIONADOS. O ESFORÇO É OBTIDO TANTO PELA DISPOSIÇÃO DAS PEÇAS A SOLDAR, ONDE O CONJUNTO ELETUA UM AUTO ESFORÇO, OU POR MEIO DE UMA MONTAGEM RÍGIDA ONDE AS PEÇAS A SOLDAR SÃO FIXADAS. COMO EXEMPLO DE ENSAIOS SOBRE SOLDAS AUTO ESFORÇADAS, PODE-SE CITAR OS ENSAIOS:

- EM H;
- LEHIGH;
- CTS;
- TEKKEK SOBRE UMA JUNTA EM Y.

O ENSAIO RD É REPRESENTATIVO DA 2ª CATEGORIA ONDE FAZ-SE UMA MONTAGEM DAS PEÇAS A SEREM SOLDADAS. O MESMO QUANDO PODE-SE TER UMA SEVERIDADE VARIÁVEL, O INCONVENIENTE DESTA CATEGORIA DE ENSAIO DE SOLDA TENSIONADA RESIDE NO DESCONHECIMENTO DA ORDEM DE GRANDEZA DOS ESFORÇOS SOFRIDOS PEÇA PEÇA ENSAIDA APÓS A SOLDA. OS ENSAIOS PERMITEM APENAS COMPARAÇÕES MAS NÃO DÁ POSSIBILIDADE PARA UMA CONSIDERAÇÃO QUANTITATIVA DO EFEITO DOS FATORES DA TRINCA A FRIO. TEM-SE TAMBÉM EXPERIMENTADO DESENVOLVER ENSAIOS DE SOLDA PARA PROVOCAR A TRINCA, E COM OS ESFORÇOS EXERCIDOS REGULADOS E MEDIDOS. É A ESSA CATEGORIA QUE PERTENCEM OS ENSAIOS DE CORPOS DE PROVA SOLDADOS E SUBMETIDOS A UM ESFORÇO DE TRAÇÃO TRANSVERSAL A JUNTA, APLICADO DURANTE A OPERAÇÃO DE SOLDA, OU AINDA OS ENSAIOS DITOS 'SOBRE IMPLANTES'.

ENFIM, OS FATORES DE TRINCA A FRIO, TÊMPERA, HIDROGÊNIO E CONTRAÇÃO, PODEM SER ESTUDADOS POR MÉTODOS DITOS 'SIMULADOS' / NOS QUAL UM CORPO DE PROVA É TRATADO TERMICAMENTE, ELEVA-SE / SEU TEOR EM HIDROGÊNIO E SUBMETE-O A UM ESFORÇO MECÂNICO, SOB CONDIÇÕES QUE IMITAM A SOLDAGEM.

9.2 - INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA DE TRANSFORMAÇÃO

1. - TRANSFORMAÇÃO E TRINCA NA ZONA TERMICAMENTE AFETADA

A --

SOB O EFEITO DO CICLO TÉRMICO DE SOLDAGEM, UM CERTO VOLUME DE AÇO DITO 'ZONA AFETADA TERMICAMENTE' (Z.A.T.) É AUSTENITIZADO APÓS O QUE SE TRANSFORMA SEGUNDO UM MODELO, DEPENDENDO DAS CONDIÇÕES DE RESFRIAMENTO, OU SEJA DAS CONDIÇÕES DE SOLDAGEM, ISTO É, DO EFEITO COMBINADO DA ENERGIA COLOCADA EM JOGO, DAS ESPESSURAS DAS PEÇAS A UNIR E DA TEMPERATURA INICIAL DAS PEÇAS. CONVÉM LEMBRAR QUE ISSO OCORRE DE TEMPOS EM TEMPOS AO LONGO DO CORDÃO DE SOLDA. PODE-SE OBSERVAR MELHOR PELO ESQUEMA DA FIGURA 9.2. PARA UMA DADA POSIÇÃO DO ARCO DE SOLDA A ZONA AFETADA TERMICAMENTE CORRESPONDE A REGIÃO 1, CONSTITUÍDA DE AUSTENITA NÃO TRANSFORMADA AINDA; A LINHA ISOTERMA T_b CORRESPONDE A TEMPERATURA DE TRANSFORMAÇÃO; A REGIÃO 2 É ONDE A TRANSFORMAÇÃO OCORRE; A REGIÃO 3 É A ZONA FUNDIDA RESULTANTE DO METAL SOLIDIFICADO SOB A FORMA AUSTENITA; A LINHA DE ISOTERMA T_f CORRESPONDE A TEMPERATURA DE TRANSFORMAÇÃO QUE NÃO É NECESSARIAMENTE IGUAL A T_b ; A REGIÃO 5 INDICA O METAL TRANSFORMADO OU EM FASE DE TRANSFORMAÇÃO. É IMPORTANTE OBSERVAR QUE T_b NÃO NECESSARIAMENTE IGUAL A T_f , PRINCIPALMENTE PARA SE ENTENDER A DIFUSÃO DE HIDROGÊNIO ATRAVÉS DO METAL FUNDIDO E DE BASE.

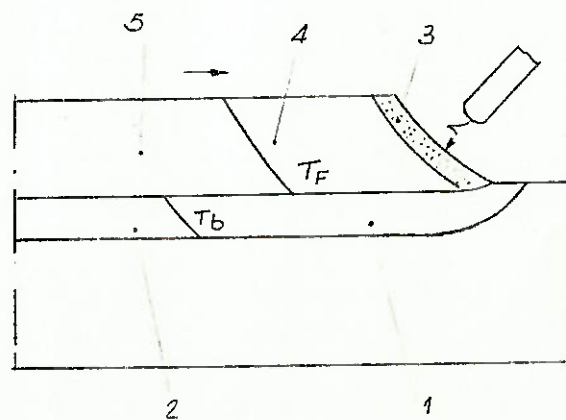


FIG. 9.2 ESQUEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURAS

AS CURVAS DE TRANSFORMAÇÃO DO RESFRIAMENTO DO AÇO, QUANDO SUBMETIDO AS CONDIÇÕES DE SOLDAGEM NOS FORNECE O COMPORTAMENTO

DO AÇO NESSAS CONDIÇÕES. PARA SIMPLIFICAR A DETERMINAÇÃO E EMPREGO DE TAIS CURVAS, ADMITE-SE QUE A VELOCIDADE DE RESFRIAMENTO NO CAMPO DAS TEMPERATURAS DE TRANSFORMAÇÃO DO AÇO SEJA CONSTANTE EM TODA A EXTENSÃO DA ZONA TERMICAMENTE AFETADA, O QUE PERMITE, CONHECENDO-SE A VELOCIDADE DE RESFRIAMENTO ASSOCIADA A CADA CONDIÇÃO DE SOLDAGEM, PREVER O DESENVOLVER DAS TRANSFORMAÇÕES NA ZONA TERMICAMENTE AFETADA. POR EXEMPLO, PODE-SE DETERMINAR AS CONDIÇÕES DE SOLDAGEM SUSCETÍVEIS DE PROVOCAR PARCIALMENTE OU TOTALMENTE UMA TRANSFORMAÇÃO MARTENSÍTICA NESSA ZONA. ADOTA-SE ENTÃO A REPRESENTAÇÃO GRÁFICA (FIGURA 3) DA TEMPERATURA DE TRANSFORMAÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO E RESFRIAMENTO. PARA DUAS TEMPERATURAS DETERMINADAS TEM-SE DOIS TEMPOS CRÍTICOS DE RESFRIAMENTO DETERMINADOS: $T_r 1$ ABAIXO DO QUAL APARECE A MARTENSÍTA E $T_r 2$ ABAIXO DO QUAL NÃO HÁ NADA ALÉM DE MARTENSÍTA. VÊ-SE TAMBÉM QUE O CAMPO DA TEMPERATURA DE TRANSFORMAÇÃO MARTENSÍTICA É O MAIS BAIXO, O QUE JUSTIFICA O CASO DE T_b NA FIGURA SER A ISOTERMA MAIS RETARDADA.

PODE-SE RELACIONAR A CURVA, TEMPERATURA X TEMPO, COM A QUAL RELACIONA DUREZA ATINGIDA PELO MATERIAL COMO TEMPO DE RESFRIAMENTO. ESTA RELAÇÃO ENTRE AS DUAS CURVAS (FIG. 3) PERMITE DETERMINAR O TEMPO DE RESFRIAMENTO CRÍTICO PARA VALORES ASSOCIADOS DE DUREZA MÁXIMA.

NA REALIDADE ESTA REPRESENTAÇÃO É APENAS UMA APROXIMAÇÃO CONVENCIONAL, POIS ELA NÃO CONSIDERA O EFEITO DA TEMPERATURA DE AUSTENITIZAÇÃO. PARA TEMPOS DE RESFRIAMENTOS IGUAIS, PERIFERIA DA ZONA AFETADA TERMICAMENTE, AUSTENITIZADA A TEMPERATURA POUCO ELEVADA, É MENOS TEMPERADA QUE A REGIÃO VIZINHA DA ZONA DE LIGAÇÃO, ONDE A AUSTENITIZAÇÃO OCORRE EM TEMPERATURA PRÓXIMA À QUELA DE FUSÃO.

DEVE-SE ENTÃO ACMITIR QUE, QUANDO DA EXECUÇÃO DE UM CORDÃO DE SOLDA SOBRE AÇO, A TRANSFORMAÇÃO NO RESFRIAMENTO COMEÇA PELA PERIFERIA DA ZONA AFETADA TERMICAMENTE E DIRIGE-SE ATRAVÉS DA ZONA FUNDIDA.

VEREMOS MAIS A FRENTE QUE O MOVIMENTO DESSA FRENTE DE TRANSFORMAÇÃO SE FAZ NO SENTIDO INVERSO ÀQUELE DA DIFUSÃO DO HIDROGÊNIO. DO PONTO DE VISTA MECÂNICO, PODE-SE DEDUZIR QUE A REGIÃO VIZINHA DA ZONA DE LIGAÇÃO QUE É A ÚLTIMA A SE TRANSFORMAR, O FAZ SOBRE UMA BASE JÁ RÍGIDA, SÓLIDA.

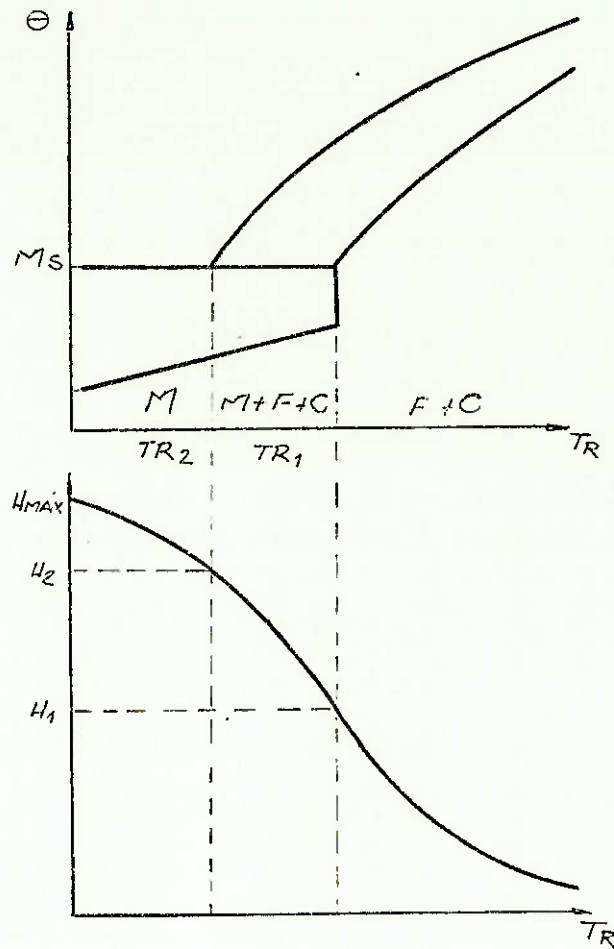


Fig. 9.3 - CURVA 'TEMPERATURA X TEMPO' (DUREZA ATINGIDA PELO MATERIAL COM O TEMPO DE RESFRIAMENTO)

B --

A INFLUÊNCIA DO TIPO DE AÇO SOBRE O FENÔMENO DE TRINCA A FRIO É OBSERVADA TANTO PELO DIAGRAMA DE TRANSFORMAÇÃO (POSIÇÃO DOS TEMPOS CRÍTICOS TR_1 E TR_2), COMO PELA SENSIBILIDADE DA MARTENSITA À FRAGILIZAÇÃO PELO HIDROGÊNIO.

O EFEITO DO TEOR DO CARBONO NO AÇO NÃO SE APRESENTA COMO IMPORTANTE PARA A TEMPERABILIDADE, ISÓ É AOS TEMPOS CRÍTICOS / TR_1 E TR_2 , MAS SE MANIFESTA DE MANEIRA MUITO IMPORTANTE EM / RELAÇÃO A TEMPERATURA M_s QUE REDUZ COM UM AUMENTO DO TEOR DE / CARBONO. ASSIM O INTERVALO DE TEMPERATURA ENTRE T_f E T_b (FIGURA 9.2) É AUMENTADO, E A POSSIBILIDADE DE DIFUSÃO DO HIDROGÊNIO APÓS A TRANSFORMAÇÃO DO METAL FUNDIDO TAMBÉM É MAIOR. MAS O EFEITO MAIS EVIDENTE É A FRAGILIZAÇÃO DA MARTENSITA PELO HIDROGÊNIO, QUE É CONSIDERAVELMENTE MAIOR COM O AUMENTO DO TEOR / DE CARBONO, DE TAL SORTE QUE OS AÇOS COM TEOR DE CARBONO ELEVADO, POR EXEMPLO : 0,30% E MAIS, SÃO SENSÍVEIS À TRINCA A FRIO

MESMO EM AÇOS COM NÍVEIS MENORES DE HIDROGÊNIO.

A MAIOR PARTE DOS ELEMENTOS DE LIGA UTILIZADOS TEM UM EFEITO DIRETO SOBRE A TEMPERABILIDADE, ALÉM DE ATUAR TAMBÉM SOBRE A FRAGILIZAÇÃO DA MARTENSITA PELO HIDROGÊNIO. É POR ISSO QUE A MARTENSITA AO NÍQUEL SÃO RELATIVAMENTE POUCO SENSÍVEIS À FRAGILIZAÇÃO.

OUTROS ELEMENTOS QUE APRESENTAM POUCA INFLUÊNCIA NA TEMPERABILIDADE DO AÇO PODEM TER UMA AÇÃO FORTE SOBRE A FRAGILIZAÇÃO É O CASO TÍPICO DO SILÍCIO.

A INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA SOBRE A TEMPERABILIDADE E A DUREZA DO AÇO NO ESTADO TEMPERADO É DADO SOB A FORMA DE CARBONO EQUIVALENTE. CONVÉM OBSERVAR QUE OS MUITOS FATORES DE TRINCA A FRIO NÃO DEPENDEM EXCLUSIVAMENTE DO 'CARBONO EQUIVALENTE', MAS TAMBÉM DO TEOR DE HIDROGÊNIO E DAS CONTRAÇÕES SÓFRIDAS NO CICLO TÉRMICO DE SOLDAGEM.

C --

O DIAGRAMA DE TRANSFORMAÇÃO COM RESFRIAMENTO CONTÍNUO PERMITE O ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE SOLDAGEM SOBRE OS RISCOS DA OCORRÊNCIA DE TRINÇAS A FRIO TENTANDO ENCONTRAR OU AS CONDIÇÕES QUE PERMITEM EVITAR A TRANSFORMAÇÃO MARTENSÍTICA, OU AS CONDIÇÕES QUE PERMITEM CONDUZIR A TRANSFORMAÇÃO MARTENSÍTICA EVITANDO-SE O PERIGO QUE ELA CONTÉM.

PARA EVITAR A TRANSFORMAÇÃO MARTENSÍTICA, QUER DIZER PARA OBTER UM TEMPO DE RESFRIAMENTO SUPERIOR A $T_r 1$, ELEVA-SE A ENERGIA, POIS A VELOCIDADE DE RESFRIAMENTO É INVERSAMENTE PROPORCIONAL AO QUADRADO DA RELAÇÃO ENERGIA ESPESSURA, PARA PEQUENAS ESPESSURAS, E A ENERGIA SOMENTE PARA GRANDES ESPESSURAS. PODE-SE TAMBÉM AUMENTAR A TEMPERATURA INICIAL T_0 DAS PEÇAS, POIS A VELOCIDADE DE RESFRIAMENTO AO PASSAR A UMA TEMPERATURA T É PROPORCIONAL A $(T - T_0)^3$, PARA PEQUENAS ESPESSURAS E A $(T - T_0)^2$, PARA GRANDES ESPESSURAS. MAS TEM-SE QUE LEVAR EM CONTA A DILATAÇÃO E CONTRAÇÃO QUE TEMOS.

ASSIM É POSSÍVEL PARA CERTOS TIPOS DE AÇO POUCO TEMPERÁVEIS GARANTIR POR MEIO DE CONDIÇÕES DE SOLDAGEM ADEQUADAS, UM TEMPO DE RESFRIAMENTO SUPERIOR A $T_r 1$, ISTO É, CAPAZ DE EVITAR A OCORRÊNCIA DA TRANSFORMAÇÃO MARTENSÍTICA, E O CONSEQUENTE RISCO DE TRINCA A FRIO. TENDO A RELAÇÃO ILUSTRADA NA FIGURA 9.3, ENTRE O TEMPO DE RESFRIAMENTO E A DUREZA MÁXIMA DO CORDÃO

COMPREENDE-SE A ORIGEM DOS CRITÉRIOS FUNDADOS SOBRE A LIMITAÇÃO DESTA DUREZA; POR EXEMPLO: O VALOR DE 350 VICKERS CORRESPONDE AO TEMPO CRÍTICO $T_r 1$ PARA AÇOS DE CONSTRUÇÃO CUJO TEOR DE CARBONO É DA ORDEM DE 0,16 A 0,18%. SE LIMITARMOS O MATERIAL A UMA DUREZA MÁXIMA ESTAREMOS EVITANDO A OCORRÊNCIAS DE TRINCAS A FRIO PELA ELIMINAÇÃO DE UMA CONDIÇÃO, ISTO É, A TEMPERA. MAIS A FRENTE VEREMOS QUE EM CERTOS CASOS PARA O MESMO TIPO DE AÇO PODERÍAMOS ATINGIR UMA DUREZA MÁXIMA DE 400 VC, EM FUNÇÃO DO BAIXO TEOR DE HIDROGÊNIO NO METAL BASE E DO PROCESSO A SER UTILIZADO.

É AINDA POSSÍVEL UTILIZAR-SE DE CONDIÇÕES DE SOLDAGEM QUE CONDUZEM A UMA TEMPERATURA INFERIOR A $T_r 1$ E $T_r 2$, SEM QUE OCORRA A TRINCA A FRIO; GRAÇAS A ESSE FATO É QUE SE PODE SOLDAR AÇOS TEMPERÁVEIS, ISSO SE O TEOR DE HIDROGÊNIO FOR BAIXO E/OU SE TOMARMOS OS CUIDADOS QUE PERMITAM CONDUZIR UMA TRANSFORMAÇÃO MARTENSÍTICA SEM QUE SEJA NECESSÁRIO SUPRIMI-LA, CUIDADOS COMO PRÉ OU PÓS AQUECIMENTO.

O PRÉ-AQUECIMENTO TEM A FUNÇÃO, QUANDO ELE NÃO SUPRIME A TRANSFORMAÇÃO MARTENSÍTICA, DE PROLONGAR O RESFRIAMENTO, O QUE PERMITE AO HIDROGÊNIO DIFUNDIR-SE MAIS RAPIDAMENTE, REDUZINDO A FRAGILIZAÇÃO.

O PÓS-AQUECIMENTO, QUANDO É PRATICADO ABAIXO DA TEMPERATURA M_f , PROVOCA O MESMO EFEITO, AINDA MAIS PRONUNCIADO, EVENTUALMENTE ASSOCIADO A UM REVENIDO AO QUAL ADICIONA-SE O BENEFÍCIO DA UNIFORMIZAÇÃO DAS TEMPERATURAS APÓS RESFRIAMENTO COMPLETO. SE FOR REALIZADO ENTRE M_f E M_s , ELE PROVOCA UMA MAIOR REDUÇÃO NA TRANSFORMAÇÃO MARTENSÍTICA, E PODE TAMBÉM REALIZAR UMA CERTA ESTABILIZAÇÃO DA AUSTENITA.

CONCLUINDO-SE :-

- SE TIVERMOS O DIAGRAMA DA TRANSFORMAÇÃO DO AÇO CONSIDERADO, PODE-SE EVITAR A TRINCA A FRIO, EVITANDO-SE A T_r / TRANSFORMAÇÃO MARTENSÍTICA;
- PODE-SE TAMBÉM SOLDAR NAS CONDIÇÕES QUE PROVOCARIAM O APARECIMENTO DA MARTENSITA/ AÇOS COM BAIXO TEOR DE HIDROGÊNIO ;
- PODE-SE AINDA UTILIZAR-SE DO PRÉ OU PÓS-AQUECIMENTO.

2. - COMPORTAMENTO DO METAL FUNDIDO : TRANSFORMAÇÃO E TRINCA

A PARTIR DE SUA SOLIFIFICAÇÃO ESTÁ O METAL FUNDIDO SOB O EFEITO DO RESFRIAMENTO SENDO O PONTO PRINCIPAL DAS TRANSFORMAÇÕES NO ESTÁ SÓLIDO. POR EXEMPLO : É POSSÍVEL ELE SE TRANSFORMAR NO CAMPO PERLÍTICO ENQUANTO O METAL DE BASE ESTÁ NO CAMPO MARTENSÍTICO; OU AINDA ELE PODE TAMBÉM SE TRANSFORMAR NO CAMPO MARTENSÍTICO.

O PRIMEIRO CASO, AQUELE EM QUE O METAL FUNDIDO É MENOS TEMPERÁVEL QUE O METAL DE BASE, É MUITO COMUM, POIS O TEOR DE CARBONO DO METAL DE ADIÇÃO É RARAMENTE TÃO ELEVADO QUANTO O METAL DE BASE. A ISOTERMA DE TRANSFORMAÇÃO T_F DO METAL FUNDIDO (FIG. 2) PRECEDE A ISOTERMA T_B DE TRANSFORMAÇÃO DO METAL DE BASE. ESTA SITUAÇÃO É FAVORÁVEL À TRANSFERÊNCIA DO HIDROGÊNIO ATRAVÉS DA ZONA AFETADA TERMICAMENTE. ELA CRIA UMA SITUAÇÃO PARTICULAR DO PONTO DE VISTA MECÂNICO. DE FATO, A ÚLTIMA REGIÃO DA ZONA TERMICAMENTE AFETADA QUE SE TRANSFORMA EM MARTENSITA SE ENCONTRA PRESA ENTRE DUAS ZONAS JÁ TRANSFORMADAS, PORTANTO RÍGIDAS, ABAIXO A ZONA AFETADA TERMICAMENTE E ACIMA A ZONA FUNDIDA. PORTANTO BASTA UM PEQUENO ESFORÇO PARA PROVOCAR A TRINCA SE O TEOR EM HIDROGÊNIO FOR SUFICIENTE. ESSE ESFORÇO SERÁ REDUZIDO SE O METAL FUNDIDO FOR MAIS DEFORMÁVEL.

NO SEGUNDO CASO, ISTO É, QUANDO O METAL FUNDIDO É TAMBÉM TEMPERÁVEL (OU AINDA MAIS TEMPERÁVEL) QUE O METAL DE BASE, A TRINCA SE LOCALIZARÁ NO METAL FUNDIDO. OCORRERÁ TRINCA LONGITUDINAL CRIADA SOB O EFEITO DE ENTALHE ORIGINADA PELA RAIZ DA SOLDA OU TRINCA TRANSVERSAL SEM ENTALHE, MAS EM CONSEQUÊNCIA DE UMA FALHA SOB UM ESFORÇO NECESSARIAMENTE MUITO ELEVADO.

ESSA DIFERENÇA DE COMPORTAMENTO SERÁ EXPLICADO MAIS ADIANTE, SEGUNDO O PODER DE TEMPERABILIDADE RELATIVO DO METAL FUNDIDO E DO METAL DE BASE, A TRINCA DA ZONA AFETADA TERMICAMENTE É EM GERAL, FAVORECIDA POR UM PODER DE TEMPERA MAIS ELEVADO DO METAL DE BASE.

3. - FUNÇÃO DO HIDROGÊNIO

1. FONTES DE HIDROGÊNIO EM SOLDAGEM DE AÇOS

O HIDROGÊNIO QUE É A PRINCIPAL CAUSA DAS TRINCAS A FRIO ORIGINAM-SE DO METAL FUNDIDO ONDE ELE SE FIXA DURANTE A OPERAÇÃO DE SOLDAGEM. NA MAIORIA DOS CASOS, PODE-SE AFASTAR A HIPÓTESE DE UMA INFLUÊNCIA DO HIDROGÊNIO RESIDUAL DO AÇO DE BASE.

O HIDROGÊNIO RESULTA DA DECOMPOSIÇÃO DO VAPOR DE ÁGUA NO ARCO DE SOLDA, ESTE VAPOR TEM VÁRIAS ORIGENS, DE ACORDO COM O / PROCESSO DE SOLDA UTILIZADO:

- SOLDA À ARCO COM ELÉTODOS REVESTIDOS :-
 - . ÁGUA DE CRISTALIZAÇÃO;
 - . VAPOR DE ÁGUA RESULTANTE DA COMBUSTÃO DE PRODUTOS ORGÂNICOS;
 - . UMIDADE ABSORVIDA POR MEIO HIGROSCÓPICO.

- SOLDA A ARCO SOB FLUXO SÓLIDO :-
 - . ÁGUA DE CRISTALIZAÇÃO DO FLUXO;
 - . UMIDADE ABSORVIDA POR MEIO HIGROSCÓPICO.

- SOLDA A ARCO SOB FLUXO GASOSO - ELÉTRODO CONTÍNUO - MIG :-
 - . NO CASO DA SOLDA COM FIO TUBULAR TEREMOS AS MESMAS / FONTES QUE PARA OS ELÉTODOS REVESTIDOS; NO CASO DA / SOLDA COM FIO CHEIO, UMIDADE ABSORVIDA PELO REVESTI - MENTO (CASCA) DO FIO. NOS DOIS CASOS, UMIDADE DO GÁS DE PROTEÇÃO OU DEFEITO NA ESTANQUEIDADE DO DISPOSITIVO DE RESFRIAMENTO.

- SOLDA A ARCO SOB FLUXO GASOSO - ELÉTRODO NÃO CONSUMÍVEL TIG :-
 - . UMIDADE ABSORVIDA PELA CASCA DO METAL DE ADIÇÃO;
 - . UMIDADE DO GÁS DE PROTEÇÃO;
 - . DEFEITO DE ESTANQUEIDADE DO DISPOSITIVO DE RESFRIAMEN TO.

É INTERESSANTE OBSERVAR QUE AS DIVERSAS FONTES DE HIDROGÊNIO NÃO APRESENTAM A MESMA IMPORTÂNCIA. MAS MESMO PARA PEQUENOS TEORES DE ORDEM DE 1 CC/ 100G DE HIDROGÊNIO NO METAL FUNDIDO, COMO NO CASO DE MIG FIO CHEIO OU TIG, A INFLUÊNCIA É GRANDE PARA AÇOS TEMPERÁVEIS.

ALÉM DAS FONTES DE HIDROGÊNIO DOS PRODUTOS DE ADIÇÃO TEM-SE AS FONTES EXTERIORES TAIS COMO A UMIDADE ATMOSFÉRICA, A UMIDADE DAS PEÇAS NA REGIÃO A SOLDAR (ABSORÇÃO OU CONDENSAÇÃO), OS HIDROCARBONETOS EVENTUALMENTE PRESENTES, ETC.

2. EVOLUÇÃO DO HIDROGÊNIO E PARTICIPAÇÃO NA TRINCA

A --

AS TEMPERATURAS ELEVADAS NAS QUAIS É LEVADO O METAL FUNDIDO NO ARCO ELÉTRICO, O HIDROGÊNIO DISSOCIA EM ÁTOMOS H OU MESMO TEMPO EM PRÓTONS H^+ QUE SE DISSOLVEM NO METAL, ONDE É RETIDO EM SUPERSATURAÇÃO PELO RESFRIAMENTO DA FASE LÍQUIDA DEPOIS DA DESCONTINUIDADE DA SOLUBILIDADE NA SOLIDIFICAÇÃO. A CURVA DE SOLUBILIDADE DO HIDROGÊNIO NO FERRO (FIG. 9.4) DÁ (QUALITATIVAMENTE POIS O ESTADO DE EQUILIBRIONÃO É RESPEITADO) UMA IDEIA DE SUA EVOLUÇÃO NO CASO DO FERRO. DURANTE O RESFRIAMENTO DA FASE SÓLIDA, JÁ SUPERSATURADA PELAS CONDIÇÕES DE SOLDIFICAÇÃO, SURGE UMA DESCONTINUIDADE DE SOLUBILIDADE NA PASSAGEM DA TRANSFORMAÇÃO AUSTENITA-FERRITA, ENTRETANTO UMA DESCONTINUIDADE ATUA NO SENTIDO INVERSO PARA O COEFICIENTE DE DIFUSÃO, MAIOR NA FERRITA QUE NA AUSTENITA NA TEMPERATURA DE TRANSFORMAÇÃO. ESTAS DUAS PARTICULARIDADES EXERCEM UM PAPEL IMPORTANTE NO PROCESSO DE MIGRAÇÃO DO HIDROGÊNIO ATRAVÉS DA ZONA AFETADA TERMINALMENTE.

QUANDO TEM-SE UM ELEVADO TEOR DE HIDROGÊNIO, NO METAL FUNDIDO, PELAS RAZÕES JÁ EXPOSTAS, O HIDROGÊNIO É CAPAZ DE CAUSAR A FRAGILIZAÇÃO, E, PORTANTO A TRINCA A FRIO, LONGITUDINAL OU TRANSVERSAL.

PELO MECANISMO DE FIXAÇÃO DE HIDROGÊNIO PODEMOS INDICAR / ALGUMAS PRECAUÇÕES A TOMAR PARA REDUZIR SEU TEOR NO METAL FUNDIDO :-

- SOLDA A ARCO COM ELÉTODOS REVESTIDO:- A ESCOLHA DE ELÉTODOS BÁSICOS SE FAZ NECESSÁRIA TODA VEZ QUE O AÇO DE BASE É SUSCETÍVEL A TÊMPERA DEVIDO À SUA NATUREZA OU AS

CONDIÇÕES DE SOLDAGEM, À MENOS QUE OUTRAS CONDIÇÕES FAÇAM PREVALECER UM OUTRO TIPO DE REVESTIMENTO (CASO DE OLEODUTOS), COM RISCOS E PRECAUÇÕES CORRESPONDENTES. O ELÉTRODO BÁSICO DEVE SER SECO OU SECADO PELO UTILIZADOR; O QUE IMPLICA NUM VERDADEIRO TRATAMENTO TÉRMICO, A UMA TEMPERATURA APROXIMADA DE 350°C, E MANTER NUM RECINTO / FECHADO EM TORNO DE 150°C. A SECAGEM DO ELÉTRODO POR / CURTO CIRCUÍTO É ILUSÓRIO E NÃO DEVE SER RECOMENDADA. CERTOS ELÉTODOS SÃO ESPECIFICADOS COMO NÃO HIGROSCÓPICOS E PARA ESTES CASOS, REQUER-SE MENOS PRECAUÇÕES.

É DE PROPÓSITO QUE EMPREGA-SE O TERMO 'BÁSICO' EM LUGAR / DE 'BAIXO HIDROGÊNIO'; É O TIPO B DA RECOMENDAÇÃO ISO R 635 .

- SOLDA SOB FLUXO SÓLIDO; AS DIFICULDADES DEVIDO A TRINCA A FRIO SÃO MAIS RARAS, EM RAZÃO DO BAIXO TEOR EM HIDROGÊNIO DO METAL FUNDIDO, E DAS ENERGIAS DE SOLDAGEM RELATIVAMENTE ELEVADAS QUE SÃO GERALMENTE COLOCADAS EM OPERAÇÃO. MAS CONHECE-SE O CASO DE TRINCAS DO METAL FUNDIDO EM AÇO DE BAIXA LIGA, ASSOCIADAS AO PODER HIGROSCÓPICO DE CERTOS FLUXOS, QUE DEVER SER TRATADOS COMO OS ELÉTODOS BÁSICOS.
- SOLDA SOB FLUXOS GASOSOS - MIG:- AS PRECAUÇÕES EM RELAÇÃO AOS PRODUTOS DE ADIÇÃO FICAM A CARGO SOBRETUDO DO / FABRICANTE QUE OS PREPARAM E OS ACONDICIONAM. OS FIOS / TUBULARES FORNECEM UM METAL FUNDIDO MAIS RICO EM HIDROGÊNIO QUE OS FIOS NÚS, MAS ESSE TEOR É MENOS ELEVADO / QUE EM SOLDAGEM COM ELÉTODOS REVESTIDOS.

B --

SE COMPARARMOS A FIGURA 9.4 RELATIVA AO DIAGRAMA DE SOLUBILIDADE E A VARIAÇÃO DO COEFICIENTE DE DIFUSÃO DO HIDROGÊNIO NO FERRO, COM A FIGURA 9.2, RELATIVO À SUCESSÃO DE TRANSFORMAÇÃO NO METAL FUNDIDO E NA ZONA AFETADA TERMICAMENTE, PODE-SE / EXPLICAR O MECANISMO DA DIFUSÃO DO HIDROGÊNIO, DO METAL FUNDIDO PARA O METAL DE BASE (FIGURA 9.5)

- ANTES DA ISOTERMA T_f , O METAL FUNDIDO ESTÁ NO ESTADO /

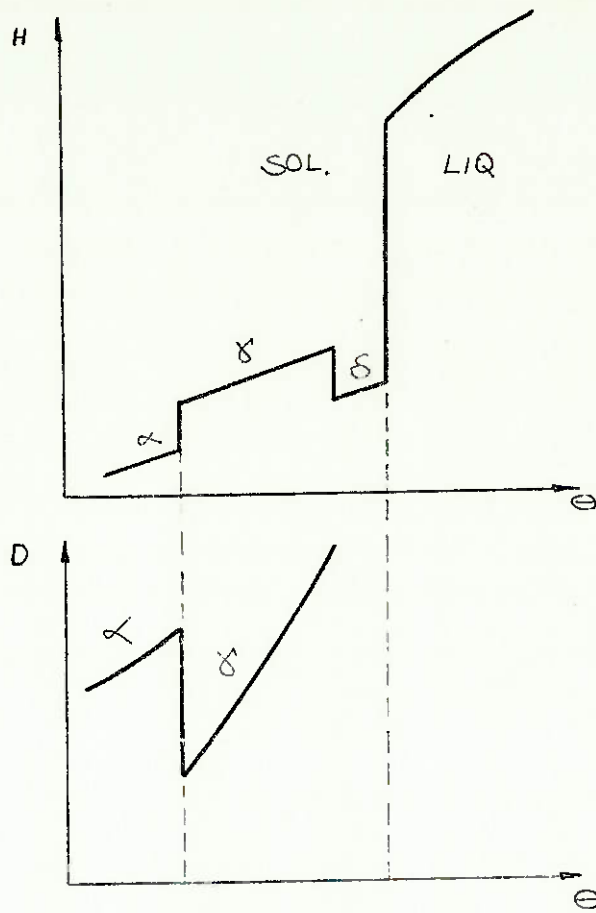


FIG. 9.4 - DIAGRAMA DE SOLUBILIDADE E VARIAÇÃO DO COE - FICIENTE DE DIFUSÃO DO HIDROGÊNIO NO FERRO

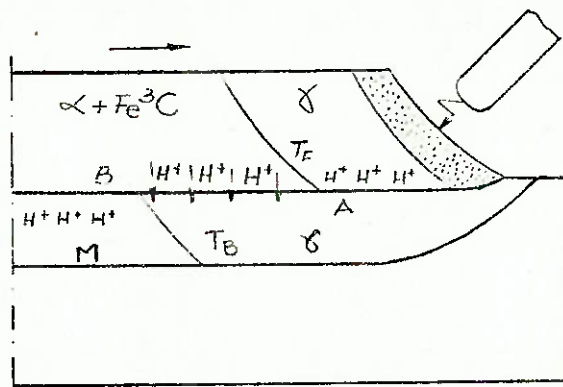


FIG. 9.5 - MECANISMO DE DIFUSÃO DO HIDROGÊNIO, DO METAL FUNDIDO PARA O METAL DE BASE

AUSTENÍTICO, CARREGADO EM HIDROGÊNIO, QUE TEM POUCO TEMPO PARA DIFUNDIR NO METAL DE BASE ADJACENTE, QUE É TAMBÉM AUSTENÍTICO.

- QUANDO ATUA A TRANSFORMAÇÃO DO METAL FUNDIDO, NO CAMPO PERLÍTICO OU BAINÍTICO, O HIDROGÊNIO TORNA-SE MUITO MENOS SOLÚVEL E, AO MESMO TEMPO MAIS DIFUSÍVEL; ELE TENDE ENTÃO ATRAVESSAR A ZONA DE LIGAÇÃO AO LONGO DE AB, PARA PENETRAR NA AUSTENITA AINDA NÃO TRANSFORMADA DA ZONA AFETADA TERMICAMENTE. MAS COMO ESTA AUSTENITA TEM UM COEFICIENTE DE DIFUSÃO MUITO PEQUENO, O HIDROGÊNIO NÃO CONSEGUE AFASTAR-SE MUITO DA ZONA DE LIGAÇÃO, PRÓXIMO DELA SE ESTABELECE UMA FRENTE CARREGADA DE HIDROGÊNIO.
- É ENTÃO QUE A PARTIR DO PONTO B AGE A TRANSFORMAÇÃO MARTENSÍTICA DA ZONA AFETADA TERMICAMENTE DO METAL DE BASE. COMO FOI VISTO, UMA FRENTE DE TRANSFORMAÇÃO, PROGREDINDO DO EXTERIOR PARA O INTERIOR VAI AO ENCONTRO DA FRENTE DE DIFUSÃO DO HIDROGÊNIO, SE BEM QUE A AUSTENITA QUE SE TRANSFORMA EM MARTENSITA NAS VIZINHANÇAS DA ZONA DE LIGAÇÃO JÁ ESTÁ CARREGADA EM HIDROGÊNIO. SE O TEOR EM HIDROGÊNIO É MUITO ELEVADO, OS ESFORÇOS PRODUZIDOS PELA SOLDAGEM E AS TRANSFORMAÇÕES SÃO SUFICIENTES PARA QUE SURJA A FRAGILIZAÇÃO. TEM-SE ENTÃO A TRINCA DENOMINADA 'SOB CORDÃO'. SE O TEOR DE HIDROGÊNIO NÃO FOR TÃO ALTO, A TRINCA OCORRERÁ EM REGIÕES DE ENTALHE E ESFORÇOS, SEGUNDO UM MECANISMO A SER DESCRITO ADIANTE, E TEREMOS A TRINCA DE 'RAIZ'.

COM BASE NESSE MECANISMO DE DIFUSÃO DA ZONA FUNDIDA ATÉ A ZONA AFETADA TERMICAMENTE PODE-SE PROVAR A VANTAGEM, DO PONTO DE VISTA DE TRINCA A FRIO, DE SE UTILIZAR COMO ADIÇÃO UM METAL AUSTENÍTICO AO CR-NI; NÃO POSSUINDO UM PONTO DE TRANSFORMAÇÃO, O METAL FUNDIDO CONSERVA SEU HIDROGÊNIO, SEM QUE HAJA DIFUSÃO ATRAVÉS DA ZONA DE LIGAÇÃO. ESTA NÃO É, ENTRETANTO, A ÚNICA EXPLICAÇÃO, POIS A GRANDE EXTENSÃO DO METAL FUNDIDO TAMBÉM ATUA.

C --

NÃO HÁ UM PROCESSO ESPECIAL DE SOLDAGEM PARA EVITAR A TRINCA A FRIO SEGUNDO O MECANISMO DE FRAGILIZAÇÃO PELO HIDROGÊNIO. UM PROBLEMA CONSISTE EM QUE A AUSTENITA QUE SE TRANSFORMA

EM MARTENSITA JÁ POSSUI UMA CARGA DE HIDROGÊNIO, O QUE NOS SERÁ MUITO VALIOSO EM NOSSO ESTUDO. POR OUTRO LADO, EXISTEM AQUELES AÇOS MUITO TEMPERÁVEIS QUE PODEM SOFRER TRINCA A FRIO SEM CONTER O HIDROGÊNIO; ESTES DEVEM SE COLOCAR NOS CASOS EM QUE O HIDROGÊNIO NÃO ATUA. ISTO PORQUE Nesses casos onde a trinca é intergranular pode-se tentar explicar pela seguinte forma: a trinca inicia-se no contorno de grão entre duas regiões austeníticas e plaquetas de martensita em desenvolvimento; sendo o hidrogênio expulso para o contorno de grão pela própria evolução da martensita.

QUANTO A TRINCA INTERGRANULAR DOS AÇOS MENOS TEMPERÁVEIS, PODE-SE PENSAR QUE ESTÁ ASSOCIADA A UMA TRANSFORMAÇÃO PARCIAL - MENTE BAINÍTICAS, POIS O SURGIMENTO DE CONSTITUINTES INTERGRANULARES PRECEDEM A MARTENSITA, E, SEUS EFEITOS LOCALIZAM-SE NO INTERIOR DOS GRÃOS.

AGORA PODEMOS ENTENDER MELHOR O QUE FOI ACONSELHADO FAZER PARA IMPEDIR A TRINCA A FRIO, OU SEJA UM PRÉ OU PÓS-AQUECIMENTO. TAL PROCEDIMENTO FAZ COM QUE HAJA UMA REDUÇÃO NO GRADIENTE DE TEOR DE HIDROGÊNIO, A UMA TEMPERATURA ONDE A FRAGILIZAÇÃO / AINDA NÃO SE MANIFESTA. QUANDO REDUZ-SE A TEMPERATURA A TRINCA NÃO SURGE POIS O HIDROGÊNIO DILUI-SE.

9.3. INFLUÊNCIA DOS ESFORÇOS

3.1 - ORIGEM DOS ESFORÇOS

OS ESFORÇOS PARA EFEITO DE ESTUDO DA TRINCA À FRIO PODEM SER CLASSIFICADOS EM TRÊS TIPOS :-

- OS ESFORÇOS DIRETOS SE EXERCEM LOCALMENTE NA REGIÃO DA JUNTA; SÃO ORIGINADOS POR UMA DISTRIBUIÇÃO NÃO UNIFORME DE TEMPERATURAS, A QUE JUNTA-SE O EFEITO CRONOLÓGICO / DAS TRANSFORMAÇÕES. OS ESFORÇOS DIRETOS SÃO INEVITÁVEIS.
- OS ESFORÇOS INDIRETOS OU DE AMARRAÇÃO RESULTAM DO IMPEDIMENTO DE DESLOCAMENTO DEVIDO À OPERAÇÃO DE SOLDAGEM / PARA EFETUAR A LIGAÇÃO EXTERIOR DA PEÇA.
- OS ESFORÇOS EXTERNOS SÃO AQUELES QUE ATUAM SOBRE UMA / JUNTA SOLDADA, DURANTE E APÓS SUA EXECUÇÃO, DEVIDO A / CIRCUNSTÂNCIAS DE FABRICAÇÃO: PESO PRÓPRIO DAS PEÇAS, REAÇÕES ELÁSTICAS DOS ELEMENTOS UNIDOS, CONTRAÇÃO DE OU- /

TRAS SOLDAS EM RESFRIAMENTOS. FIXAÇÃO DAS PEÇAS A UNIR, ETC. ASSIM UMA JUNTA POUCO 'ANCORADA' DURANTE SUA EXECUÇÃO, ONDE ATINGE UM PEQUENO ESFORÇO RESIDUAL, PODE SER POSTERIORMENTE SOLICITADA, NUM INSTANTE EM QUE AINDA É SENSÍVEL AO MOVIMENTO DE MIGRAÇÃO DO HIDROGÊNIO QUE SERÁ DESCRITO MAIS ADIANTE (ITEM 3.2)

QUALQUER QUE SEJA SUA ORIGEM, TEMOS DE ADMITIR O ESFORÇO QUE O MÁXIMO ATUANTE SOBRE O CORDÃO DE SOLDA É DA ORDEM DO LIMITE DE ELASTICIDADE DO METAL DE BASE OU DO METAL FUNDIDO, SE ESTE ÚLTIMO É MENOS RESISTENTE QUE O METAL DE BASE.

3.2 - PAPEL DO EFEITO DE ENTALHE

QUANDO O TEOR EM HIDROGÊNIO DO METAL DEPOSITADO É MUITO ALTO E O METAL MUITO TEMPERÁVEL, A TRINCA 'SOB CORDÃO' SURGE RAPIDAMENTE, ESPONTANEAMENTE, APENAS SOB O EFEITO DAS CONTRAÇÕES DIRETAS, SEM O EFEITO DE ENTALHE, APARENTEMENTE, AO MENOS NA ESCALA MACROSCÓPICA. PARA OS AÇOS NÃO LIGADOS, O FENÔMENO OCORRE A TEMPERATURAS ABAIXO DE 100°C; ESTA TERMINANDO GERALMENTE EM TORNO DE 50°C OU 30°C. POR EXEMPLO, O CASO DA SOLDAGEM DE UM OLEODUTO EM AÇO COM ELÉTRODOS CELULÓSICOS: - SE DEIXARMOS RESFRIAR TOTALMENTE APÓS O PRIMEIRO PASSE, PODEREMOS TER O SURGIMENTO DE UMA FISSURA NA ZONA AFETADA TERMICAMENTE; SE O 2º PASSE FOR DADO ANTES QUE A TEMPERATURA ATINJA 100°C A TRINCA SERÁ EVITADA PELA RE-AUSTENITIZAÇÃO.

ENTRETANTO, PARA AS MESMAS CONDIÇÕES TÉRMICAS DE SOLDAGEM, COM AÇOS DE UM MENOR TEOR DE HIDROGÊNIO A TRINCA SOB CORDÃO NÃO PRODUZ ESPONTANEAMENTE SOB O SIMPLES EFEITO DE ESFORÇOS DIRETOS, AO MENOS PARA AÇOS DE MÉDIA RESISTÊNCIA. POR EXEMPLO, O MESMO OLEODUTO SOLDADO COM ELÉTRODO BÁSICO, SECO OU PELO PROCESSO MIG A CO₂ NÃO TRINCARIA. ELE PODERÁ TRINCAR NA RAIZ SE UMA ANCORAGEM E/OU UM ESFORÇO ANTERIOR ATUAR POR UMA DAS RAZÕES CITADAS ANTERIORMENTE. ESTE COMPORTAMENTO RESULTA DO FATO DO HIDROGÊNIO QUE ESTÁ DIFUNDIDO NA ZONA AFETADA TERMICAMENTE, NÃO ESTÁ NO MOMENTO DA TRANSFORMAÇÃO MARTENSÍTICA, PRESENTE EM QUANTIDADE SUFICIENTE PARA PROVOCAR A FRAGILIZAÇÃO QUE CONDUZ À TRINCA SOB CORDÃO. MAS O MOVIMENTO DE DISCORDÂNCIAS PRODUZIDO PELO EFEITO DOS ESFORÇOS E A CONCENTRAÇÃO DA DEFORMAÇÃO NO FUNDO DO ENTALHE, PROVOCA UMA MIGRAÇÃO DO HIDROGÊNIO QUE VEM /

SE ACUMULAR NA REGIÃO DO ENTALHE. DÁ-SE O RESFRIAMENTO; O TEOR CRÍTICO DE HIDROGÊNIO É ATINGIDO E O MECANISMO DA TRINCA SE DESENCADENA SOB A FORMA DE TRINCAS DE RAIZ; DE QUALQUER MANEIRA, DEVIDO AO VALOR BAIXO DO TEOR DE HIDROGÊNIO INICIAL, AS TRINCAS FORMAM-SE APENAS NA REGIÃO DOS ENTALHES E POR UM ESFORÇO / RELATIVAMENTE ALTO.

3.3 - EVOLUÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO

TRINCA RETARDADA (ADIADA). AS EXPLICAÇÕES DADAS ATÉ AQUI, DO MECANISMO DE TRINCA À FRIO NÃO APRESENTOU NENHUMA CARACTERÍSTICA RETARDADA DO FENÔMENO, ISTO É, RETARDADA NO TEMPO. DE FATO, CONVÉM NOTAR QUE ESSA CARACTERÍSTICA NÃO É ESPECÍFICA. A MAIORIA DAS TRINCAS DITAS À FRIO, SÃO NA REALIDADE TRINCAS OCORRIDAS NO FIM DO RESFRIAMENTO, E NÃO PODEMOS CONFUNDIR TRINCAS RETARDADAS COM AQUELAS DE MANIFESTAÇÃO TARDIA, POR VEZES / CATASTRÓFICAS.

NO QUE DIZ RESPEITO A SUA MANIFESTAÇÃO NO TEMPO, A TRINCA À FRIO SE APRESENTA COMO UM FENÔMENO PROGRESSIVO MAS LIMITADO. DE FATO, O CORDÃO DE SOLDA SENDO DEPOSITADO, A QUANTIDADE DE HIDROGÊNIO DISPONÍVEL PARA ALIMENTAR O MECANISMO DE MIGRAÇÃO PARA AS DISCORDÂNCIAS, TAL COMO DITO ACIMA, 'É LIMITADO'. O FENÔMENO PODE ENTÃO SE INICIAR, OCORRER DURANTE UM CERTO TEMPO E / DEPOIS PARAR. ASSIM ENCONTRA-SE, QUANDO DO CONTRÔLE DE CERTAS CONSTRUÇÕES, TRINCAS COM DIMENSÕES LIMITADAS, QUE INICIAM-SE / NO FIM DO RESFRIAMENTO, SE DESENVOLVEM DURANTE ALGUMAS HORAS, DEPOIS PARAM. EM OUTROS CASOS ESSE DESENVOLVIMENTO PODE LEVAR, POR UM ESFORÇO A QUE A SECÇÃO FICA SUJEITA, A UMA DIMENSÃO CRÍTICA PARA A QUAL OCORRE A RUPTURA. É EM FUNÇÃO DESTE PROCESSO QUE PODE-SE DIZER QUE HÁ RUPTURA RETARDADA (E NÃO TRINCA).

UM OUTRO ASPECTO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO SE MANIFESTA QUANDO SE EXAMINA O EFEITO DO TEMPO, AO FIM DO QUAL A SOLDA É SOLICITADA APÓS SUA EXECUÇÃO. NORMALMENTE ESTA SOLICITAÇÃO SE DÁ ANTES DO RESFRIAMENTO COMPLETO, E, COMO JÁ FOR DITO, A TRINCA NÃO É RETARDADA. SE O ESTADO DE ESFORÇO FOR AGRAVADO APENAS POSTERIORMENTE (POR EXEMPLO, PELA EXECUÇÃO POSTERIOR DE UMA OUTRA JUNTA ONDE A CONTRAÇÃO FOR SOLICITADA A PRIMEIRA, OU AINDA, PELA SUPRESSÃO TARDIA DE UM REFÓRÇO), O HIDROGÊNIO PRESENTE NA ZONA AFETADA TERMICAMENTE (OU NA ZONA FUNDIDA SE TRATAR-SE DE TRINCA NO METAL FUNDIDO), PODE DIFUNDIR, O GRADIENTE DE TEOR /

DO NÍVEL DE ESFORÇO A QUE ESTÃO SUJEITAS, SEJA REALIZADA. ESSE TRABALHO ESTÁ SENDO REALIZADO NO INSTITUT INTERNATIONAL DE LA SOUDURE, E DEVERÁ CONDUIR AO ESTABELECIMENTO DE UMA LISTA DE TESTES PRÁTICOS DE TRINCA, CLASSIFICADOS EM FUNÇÃO DA SUA INTENSIDADE DE 'ANCORAGEM'.

PARA ASSIM CLASSIFICAR OS ENSAIOS É NECESSÁRIO CONHECER - SE QUAL O TIPO DE ANCORAGEM QUE ESTÁ SOLICITANDO A JUNTA.

PODE-SE RELACIONAR, COM BASE NO ENSAIO DE TRINCA, UMA OPERAÇÃO DE SOLDAGEM COM DUREZA MÁXIMA SOB CORDÃO, EXCLUINDO-SE A ZONA AFETADA TERMICAMENTE. ASSIM, O COTRÔLE DE DUREZA MÁXIMA / PODE SER EFETUADO COM BASE NAS CONDIÇÕES DE SOLDAGEM, PARA EVITAR-SE A TRINCA. MAS A CIFRA DE DUREZA APONTADA COMO REFERÊNCIA NÃO TEM VALOR E NÃO PODE SER CONSIDERADA INDEPENDENTEMENTE DO PROCESSO E DO MODO OPERATÓRIO DE SOLDAGEM.

APESAR DESSA RESERVA, A UTILIZAÇÃO DA DUREZA MÁXIMA SOB / CORDÃO É INTERESSANTE POIS PERMITE, PARA COMPOSIÇÕES IDENTICAS DE EXTRAPOLAR A OUTRAS ESPESSURAS, PARA UM MESMO TEMPO DE RESFRIAMENTO, OS RESULTADOS DE TESTES DE TRINCAS OBTIDO PARA UMA DADA ESPESSURA.

2. - PRECAUÇÕES À TOMAR CONTRA A TRINCA À FRIO

AS PRECAUÇÕES À TOMAR PARA EVITAR A TRINCA À FRIO PROVOCA DA PELA SOLDAGEM DE AÇOS, PODEM SER RESUMIDAS EM TRÊS GRUPOS:-

- ESCOLHA DO PROCESSO DE SOLDAGEM E DO ESTADO DOS PRODUTOS DE ADIÇÃO.
- CONDIÇÕES DE FABRICAÇÃO.
- MODO OPERATÓRIO DESOLDAGEM.

2.1 . NO QUE SE REFERE À ESCOLHA DO PROCESSO DE SOLDAGEM PODE-SE DIZER QUE A SENSIBILIDADE À TRINCA À FRIO É FUNÇÃO DIRETA DO TEOR DE HIDROGÊNIO DO METAL DEPOSITADO. ENTRETANTO, PARA MAIORES CONDIÇÕES DE / TEMPERABILIDADE DOS AÇOS, O RISCO PERMANECE, AO / MESMO TEMPO QUE OCORRE PARA VALORES BAIXOS DE HIDROGÊNIO, E APENAS PELA VARIAÇÃO DO MODO OPERATÓRIO PODE-SE REDUZIR O RISCO. É NECESSÁRIO ELIMINAR SE A UMIDADE DOS PRODUTOS DE ADIÇÃO, SEJA REVESTI-

DO NÍVEL DE ESFORÇO A QUE ESTÃO SUJEITAS, SEJA REALIZADA. ESSE TRABALHO ESTÁ SENDO REALIZADO NO INSTITUT INTERNETIONAL DE LA SOUDURE, E DEVERÁ CONDUIR AO ESTABELECIMENTO DE UMA LISTA DE TESTES PRÁTICOS DE TRINCA, CLASSIFICADOS EM FUNÇÃO DA SUA INTENSIDADE DE 'ANCORAGEM'.

PARA ASSIM CLASSIFICAR OS ENSAIOS É NECESSÁRIO CONHECER-SE QUAL O TIPO DE ANCORAGEM QUE ESTÁ SOLICITANDO A JUNTA.

PODE-SE RELACIONAR, COM BASE NO ENSAIO DE TRINCA, UMA OPERAÇÃO DE SOLDAGEM COM DUREZA MÁXIMA SOB CORDÃO, EXCLUINDO-SE A ZONA AFETADA TERMICAMENTE. ASSIM, O COTRÔLE DE DUREZA MÁXIMA / PODE SER EFETUADO COM BASE NAS CONDIÇÕES DE SOLDAGEM, PARA EVITAR-SE A TRINCA. MAS A CIFRA DE DUREZA APONTADA COMO REFERÊNCIA NÃO TEM VALOR E NÃO PODE SER CONSIDERADA INDEPENDENTEMENTE DO PROCESSO E DO MODO OPERATÓRIO DE SOLDAGEM.

APESAR DESSA RESERVA, A UTILIZAÇÃO DA DUREZA MÁXIMA SOB / CORDÃO É INTERESSANTE POIS PERMITE, PARA COMPOSIÇÕES IDENTICAS DE EXTRAPOLAR A OUTRAS ESPESSURAS, PARA UM MESMO TEMPO DE RESFRIAMENTO, OS RESULTADOS DE TESTES DE TRINCAS OBTIDO PARA UMA DADA ESPESSURA.

2. - PRECAUÇÕES À TOMAR CONTRA A TRINCA À FRIO

AS PRECAUÇÕES À TOMAR PARA EVITAR A TRINCA À FRIO PROVOCA DA PELA SOLDAGEM DE AÇOS, PODEM SER RESUMIDAS EM TRÊS GRUPOS:-

- ESCOLHA DO PROCESSO DE SOLDAGEM E DO ESTADO DOS PRODUTOS DE ADIÇÃO.
- CONDIÇÕES DE FABRICAÇÃO.
- MODO OPERATÓRIO DESOLDAGEM.

2.1 . NO QUE SE REFERE À ESCOLHA DO PROCESSO DE SOLDAGEM PODE-SE DIZER QUE A SENSIBILIDADE À TRINCA À FRIO É FUNÇÃO DIRETA DO TEOR DE HIDROGÊNIO DO METAL DEPOSITADO. ENTRETANTO, PARA MAIORES CONDIÇÕES DE / TEMPERABILIDADE DOS AÇOS, O RISCO PERMANECE, AO / MESMO TEMPO QUE OCORRE PARA VALORES BAIXOS DE HI - DROGÊNIO, E APENAS PELA VARIAÇÃO DO MODO OPERATÓRIO PODE-SE REDUZIR O RISCO. É NECESSÁRIO ELIMINAR SE A UMIDADE DOS PRODUTOS DE ADIÇÃO, SEJA REVESTI-

MENTOS, FLUXOS EM PÓ, GÁS DE PROTEÇÃO, OU MESMO / FIOS. DA MESMA MANEIRA É ANTES DE MAIS NADA, NECESÁRIO GARANTIR A PROTEÇÃO CONTRA AS FONTES EXTERNAS DE HIDROGÊNIO.

2.2 . AS CONDIÇÕES DE FABRICAÇÃO DETERMINAM OS ESFORÇOS QUE SOFREM AS JUNTAS SOLDADAS NO MOMENTO DE SUA EXECUÇÃO E NAS HORAS QUE SEGUEM. QUANTO MAIS O AÇO À SOLDAR FOR SENSÍVEL, MAIS DEVE-SE EVITAR AS 'ANCORAGENS', DURANTE A MONTAGEM, A FIM DE LIMITAR AS REAÇÕES DAS JUNTAS UMAS SOBRE AS OUTRAS, ASSIM COMO AS REAÇÕES ELÁSTICAS DAS PEÇAS À UNIR, SEM ESQUECER O EFEITO DO PESO PRÓPRIO DESSAS PEÇAS.

2.3 . PODEMOS ASSIM RESUMIR AS PRECAUÇÕES RELATIVAS AO MODO OPERATÓRIO:-

ENERGIA DE SOLDAGEM :-

PARA ESPESSURAS IGUAIS , UM AUMENTO NA ENERGIA, REPRESENTA UM AUMENTO NO TEMPO DE RESFRIAMENTO; PERMITE, PORTANTO, EVITAR UMA DIMINUIÇÃO DE TEMPERATURA.

TEMPERATURA INICIAL :-

ATUA DO MESMO MODO QUE A ENERGIA, E, PORTANTO, UM PRÉ-AQUECIMENTO CONTRIBUI PARA EVITAR OU DIMINUIR A TEMPERATURA. AO MESMO TEMPO ELA PROLONGA O RESFRIAMENTO E AUMENTA A DIFUSÃO DO HIDROGÊNIO. CONVÉM OBSERVAR QUE PRÉ-AQUECIMENTO MUITO LOCALIZADO PODE SER PERIGOSO DEVIDO A POSSIBILIDADE QUE HÁ DE AGRAVAR O ESTADO DE ESFORÇOS.

A TEMPERATURA ENTRE DOIS PASSES:-

A TRINCA À FRIO NÃO OCORRE A NÃO SER ABAIXO DE UMA DETERMINADA TEMPERATURA ENTRE OS PASSES, E SE MANTIVERMOS A TEMPERATURA ENTRE OS PASSES ACIMA DESTA, PODEMOS EVITAR A OCORRÊNCIA DA TRINCA À FRIO. PODE-SE OBTER TAL EFEITO ATUANDO-SE NA TEMPERATURA INICIAL (PRÉ-AQUECIMENTO), OU SOBRE O TEMPO ENTRE PASSES SUCESSIVOS, PARA TANTO TRABALHA-SE ÀS VEZES POR 'BLOCOS'.

PÓS-AQUECIMENTO:-

PODE INTERROMPER OU IMPEDIR A TRANSFORMAÇÃO MARTENSÍTICA, SEGUNDO A TEMPERATURA A QUE É APLICADO (MANTÉM A ISOTERMA DE U NIÃO DURANTE UM CERTO TEMPO APÓS A SOLDAGEM). EM TODOS OS CA - SOS, PERMITE UMA MELHOR DIFUSÃO DO HIDROGÊNIO E UM RESFRIAMEN - TO RETARDADO SEM TRINCAS.

TRATAMENTO TÉRMICO:-

UM REAQUECIMENTO IMEDIATAMENTE APÓS A SOLDAGEM (MAIS EXA - TAMENTE A PARTIR DE UMA TEMPERATURA SUPERIOR À TEMPERATURA DE TRINCA), PROVOCA UMA DIFUSÃO AINDA MAIS RÁPIDA DO HIDROGÊNIO , DEPOIS UM REVENIDO DA MARTENSITA. PORTANTO, SUPRIME O RISCO DE TRINCA.

ESCOLHA DO METAL DE ADIÇÃO:-

A TRINCA É EVITADA PELO EMPREGO DE UM METAL DE ADIÇÃO / AUSTENÍTICO AO CR - NO - OU CA - NI - MO. DE UM MODO GERAL, ON DE NÃO HOUVER PROIBIÇÃO POR RESISTÊNCIA DO CONJUNTO SOLDADO, / PODE-SE ESCOLHER O METAL DE ADIÇÃO 'MAIS DOCE POSSÍVEL' PARA A COMPANHAR A DEFORMAÇÃO DO METAL FUNDIDO.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - BUZZONI, H.A., SOLDA AUTÓGENA, EDITORA LEP S.A.
- 2 - CHIAVERINI, VICENTE, AÇOS E FERROS FUNDIDOS - ABM.
- 3 - CHIAVERINI, VICENTE, TECNOLOGIA MECÂNICA - EDUSP-MCGRAW-HILL.
- 4 - FLORES, O.A.M., SOLDAGEM A ARCO SUBMERSO, CURSO DE SOLDAGEM, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS.
- 5 - PERINI, L.A., SOLDAGEM EM ATMOSFERA GASOSA TIG, MIG, MAG, CURSO DE SOLDAGEM - ABM.
- 6 - SANTOS, W. DOS, SOLDAGEM À CHAMA E PROCESSOS AFINS, CURSO DE SOLDAGEM - ABM.
- 7 - REHDER, H., ELÉTRODOS PARA SOLDAS DE RESISTÊNCIA , ABM.
- 8 - WAINER, E., PROCESSOS RECENTES DE SOLDAGEM, CURSO DE SOLDAGEM - ABM.
- 9 - BRESCIANI, E., BRASAGEM, SOLDA BRASAGEM E SOLDAGEM FRACA, CURSO DE SOLDAGEM - ABM.
- 10 - METALS HANDBOOK, 8ª EDIÇÃO, VOLUME 6, - ASM COMMITTEE ON RESISTANCE WELDING OF STEEL - ASM
- 11 - GRANJON, H., LA FISSURATION À FROID EN SOUDAGE D'ACIERS, REVISTA 'SOUDAGE ET TECHNIQUES CONEXES' VOL. 26 DE 03/ 04 / 72.
- 12 - DEPTO. TÉCNICO DE AÇOS VILLARES S.A., PROCESSO DE SOLDA POR ELETROESCÓRIA, - REVISTA 'O MUNDO MECÂNICO' JULHO, 1981.
- 13 - EUTETIC, O MANUAL DO SOLDADOR.