



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PMR 3203 – INTRODUÇÃO À MANUFATURA MECÂNICA
LABORATÓRIOS DE MANUFATURA MECÂNICA

PROJETO Nº 5 - FABRICAÇÃO DE CANECA POR CONFORMAÇÃO
E SOLDAGEM (ou outro processo de união)

1. INTRODUÇÃO

O grupo deverá utilizar a chapa metálica do projeto anterior para a fabricação de uma pequena caneca com asa. Lembramos que com essa chapa metálica ainda se deverá desenvolver o último projeto, portanto, planejem a utilização do material de forma criteriosa. Basicamente, este quinto projeto constará da realização de estampagem profunda do corpo da caneca e da união de uma asa a esse corpo.. Para tanto, várias atividades deverão ser desenvolvidas

2. FUNDAMENTOS DA TRABALHABILIDADE EM PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

Basicamente,este projeto consiste da fabricação de uma caneca metálica, para tanto, as seguintes atividades deverão ser desenvolvidas.

- **FABRICAÇÃO DO CORPO DA CANECA POR ESTAMPAGEM PROFUNDA (SWIFT)**

- 1 – LEVANTAMENTO E ANÁLISE DA NORMA DO ENSAIO “SWIFT”;
- 2 – PREPARAÇÃO DOS “BLANKS” (RECORTE CIRCULAR DA CHAPA);
- 3 – REALIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DE ESTAMPAGEM PROFUNDA;
- 4 – INSPEÇÃO VISUAL E REGISTRO DE EVENTUAIS IRREGULARIDADES;
- 5 – OPERAÇÃO DE ACABAMENTO NA OFICINA;

- **OPERAÇÃO DE JUNÇÃO & SOLDAGEM DA ASA**

- 1 – LEVANTAMENTO E ANÁLISE DA NORMA;
- 2 – REALIZAÇÃO DO PROCESSO DE JUNÇÃO & SOLDAGEM: ARCO ELÉTRICO COM ELETRODO REVESTIDO – SOLDA MANUAL; MIG; TIG;
- 3 – ENSAIO NÃO DESTRUTIVO POR LIQUIDO PENETRANTE E ENSAIO DE DOBRAMENTO;
- 4 – INSPEÇÃO VISUAL E REGISTRO DE IRREGULARIDADES;
- 5 - PREPARAÇÃO DE UMA TIRA A PARTIR DA CHAPA METÁLICA;
- 5 – OPERAÇÃO DE UNIÃO DA ASA DA CANECA;

3. RELATÓRIO TÉCNICO

O relatório deverá seguir a orientação geral divulgada, devendo-se descrever cada uma das atividades da fabricação seguindo-se a seguinte subdivisão:

- a) Introdução: breve descrição, objetivo e resumo da normas;
- b) Materiais e Métodos: descrição dos equipamentos, materiais e procedimentos utilizados;
- c) Resultados obtidos.
- d) Discussão das dificuldades encontradas e Conclusões dos resultados obtidos. .
- e) Referências Bibliográficas.

ENSAIO DE FABRICAÇÃO: EMBUTIMENTO OU ESTAMPAGEM PROFUNDA

Prof. Gilmar Ferreira Batalha

Os ensaios de fabricação procuram avaliar as condições de conformação que evitem defeitos como rugas, trincas de bordas (no caso da estampagem de copos), entre outros. E também são úteis para determinar os esforços envolvidos entre a ferramenta de conformação e o material de trabalho nas diferentes situações existentes em um processo (vide figura 1). No caso de dobramento, ensaios são muito importantes na determinação do retorno de curvatura devido às deformações elásticas do material, permitindo obter valores físicos precisos sobre o ajuste necessário ao ângulo para o qual uma determinada curva seja obtida. Enfim, estes ensaios são amplamente aplicados na indústria de produtos que utilizam a conformação plástica como meio de processamento.

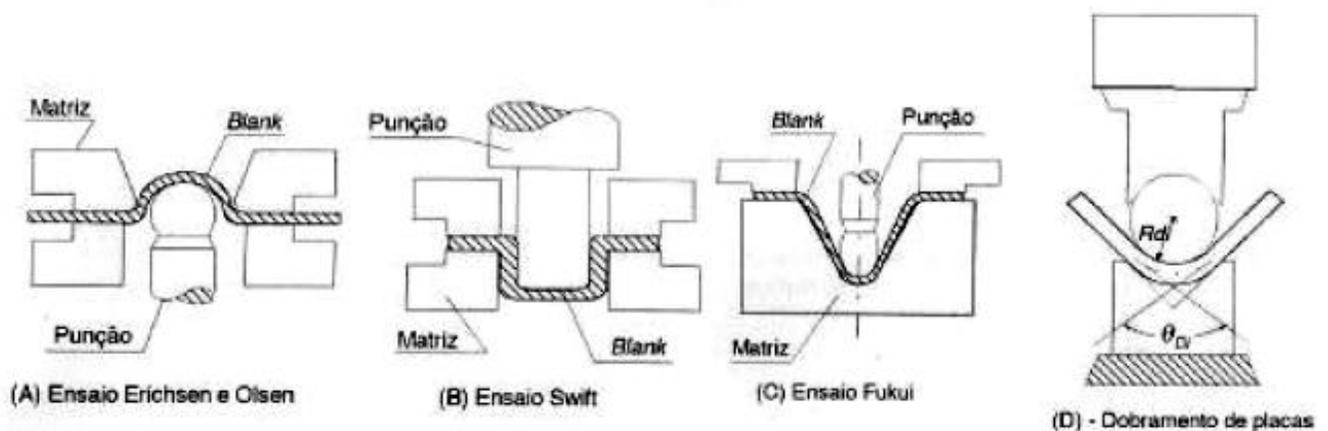


Figura 1: Esboço dos principais ensaios de fabricação, onde (A) a (C) são ensaios de embutimento, e (D) de dobramento.

Os processos de fabricação visam conferir à peça a forma e dimensões finais antes de sua aplicação direta nos fins para os quais foi projetada.

Ensaio de embutimento

O ensaio de embutimento tem como objetivo avaliar a estampabilidade de chapas e/ou tiras metálicas, relacionando características mecânicas e estruturais da peça com as máximas deformações possíveis de ser realizadas sem que ocorra ruptura [ASTM E643- 84]. Existem diversos tipos de ensaio para essa forma de avaliação, descritos em seguida e esquematizados na figura 2.

- Ensaio Erichsen: consiste na deformação de uma tira metálica (blank, corpo-de-prova) presa em uma matriz com um punção na forma esférica. Mede-se a máxima penetração do punção para a qual não tenha ocorrido a ruptura da tira;
- Ensaio Olsen: é semelhante ao ensaio Erichsen, com algumas alterações nas dimensões do equipamento;
- Ensaio Swift: consiste na deformação de um disco metálico (blank) preso em uma matriz com um punção na forma cilíndrica. Nesse caso, o resultado é obtido por meio da relação entre o diâmetro máximo do disco e o diâmetro do punção que provoca a ruptura da peça. Desse modo, esse método de ensaio exige a utilização de diversos corpos-de-prova, sendo muito utilizado para análise de casos de estampagem profunda (deep.drawing).

- Ensaio Fukui: este tipo de ensaio consiste em conformar um disco metálico como um cone com vértice esférico. Exige a utilização de diversos corpos-de-prova, e é usado também para análise de estampagem profunda.

Estampagem profunda ou Ensaio Swift

Na estampagem profunda, um disco metálico (blank) é colocado sobre uma matriz e é comprimido para o seu interior através de um punção, geralmente de forma cilíndrica.

O objetivo da análise da estampagem profunda é determinar as relações geométricas entre o máximo diâmetro do disco e o mínimo diâmetro do punção possível para se conformar um copo cilíndrico sem que ocorra ruptura ou falhas superficiais. A figura 2 mostra um esboço do ensaio Swift.

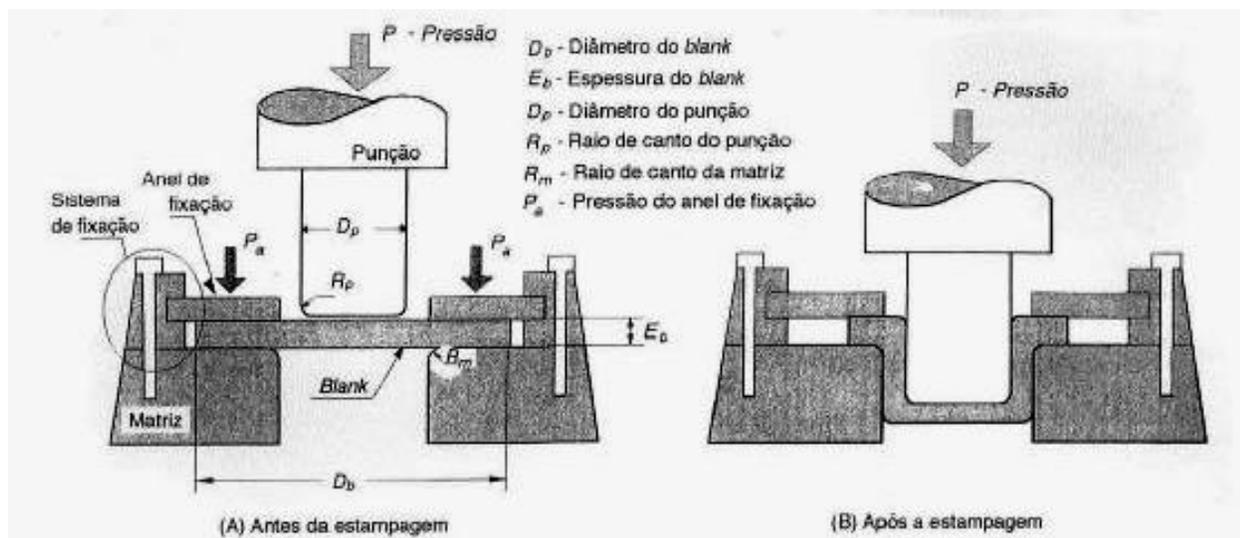


Figura 2: Ensaio de estampagem profunda (Swift).

Ao longo do processo de estampagem, o blank é submetido a diferentes tipos de deformação, até atingir a forma final, conforme pode ser observado na figura 3.

Na conformação, à medida que o punção avança sobre o blank, o metal em contato com o punção, acomoda-se em torno do seu perfil, reduzindo a espessura da chapa. Essa região, que será o fundo do copo após a conformação, estará sujeita a um estado biaxial (radial) de tensões de tração, conforme ilustra a figura 3E.

O metal situado ao redor da base do punção é deformado radialmente para o interior da matriz, reduzindo assim, seu diâmetro original D_b até o diâmetro de conformação, que corresponde ao do punção D_p . Assim, o metal sofre esforços de compressão na direção circunferencial, e tração na direção radial (vide figura 3A). Nesta região é necessário cuidado para que não haja enrugamento na borda da peça, o que é feito por um sistema de pressão no anel de fixação. Se ocorrer enrugamento, as rugas serão transmitidas da borda para o interior da matriz, o que pode formar e propagar trincas, rompendo a lateral do copo. À medida que o material caminha em direção à matriz, ele é dobrado e depois desdobrado devido ao esforço trativo que ocorre na lateral do copo (figura 3B). Nesta região ocorre deformação plana; além disso, em geral, essa região é responsável pela homogeneização da espessura da parede pelo estiramento uniforme, conforme ilustra a figura 3C. Além de todos os esforços representados na figura 3, deve se considerar ainda o efeito do atrito que ocorre entre o blank e o punção, ou e a matriz.

Na região de formação do copo no interior da matriz, empregam-se comumente folgas da ordem de 10 a 20% da espessura do blank, além da utilização de lubrificação especificada em norma. A força total do punção para a deformação completa do copo corresponde á somatória de todos os esforços envolvidos na deformação da peça, inclusive o atrito. O esforço para deformação ideal aumenta continuamente devido ao efeito do encruamento na conformação plástica. A força global de atrito é basicamente composta pelo atrito entre o blank e o anel fixador, na borda do copo, que parte de um pico de esforço (atrito estático para o atrito dinâmico) e diminui continuamente devido à diminuição da área de material sob o anel de fixação. Caso não exista folga entre punção/blank/matriz, o atrito deve se estabilizar em um valor mínimo diferente de zero. A uniformização da espessura da parede ocorre ao final de processo, após toda a área do blank estar contida no interior da matriz. A figura 4 ilustra um esboço dos esforços envolvidos na estampagem e a força global do punção.

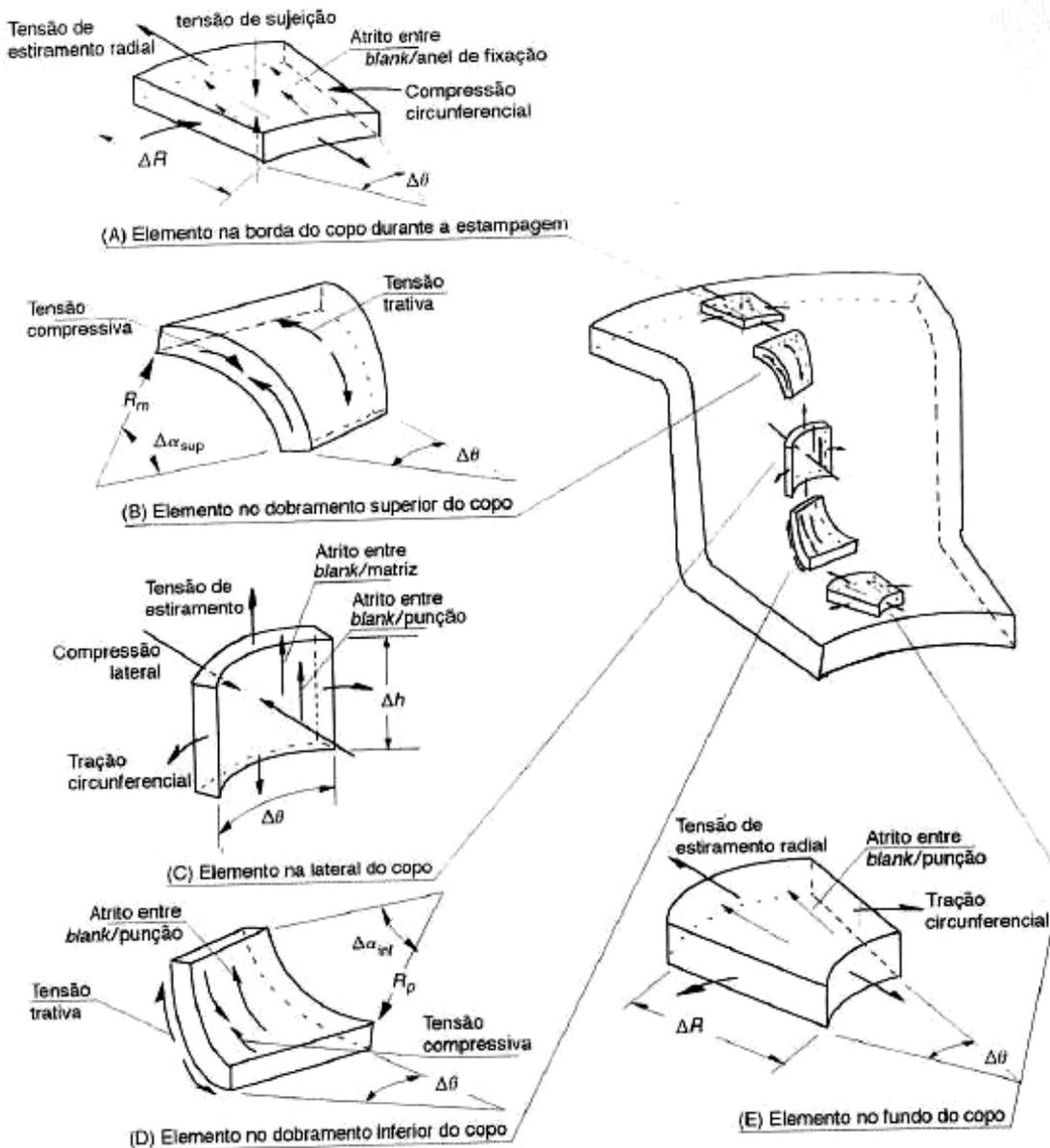


Figura 3: tipos de deformação que ocorrem na estampagem profunda.

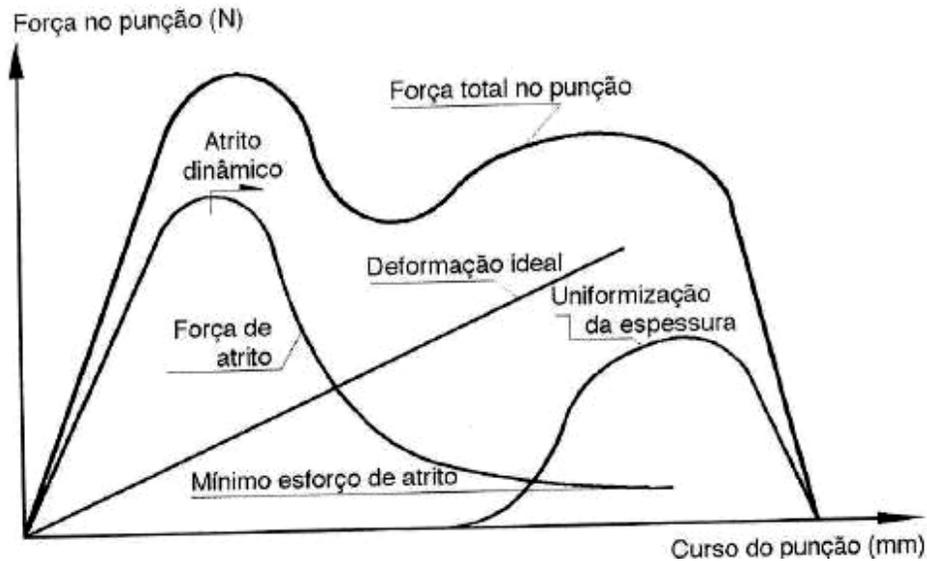


Figura 4 : tipos de esforços envolvidos na estampagem profunda.

Segundo estudos teóricos, a carga total do punção pode ser aproximada pela seguinte equação:

$$F_p = \left[\pi \cdot D_p \cdot t \cdot (1,1 \cdot \sigma_0) \cdot \ln \left(\frac{D_0}{D_p} \right) + \mu \cdot \left(2 \cdot F_a \cdot \left(\frac{D_0}{D_p} \right) \right) \right] \cdot \exp \left(\frac{\mu \cdot \pi}{2} \right) + B \quad (1)$$

onde:

- F_p = carga total no punção (N);
- D_p = diâmetro do punção (mm);
- t = espessura do blank (mm);
- σ_0 = Tensão de escoamento média do blank (MPa);
- D_0 = diâmetro inicial do blank (mm);
- μ = coeficiente de atrito;
- F_a = força do anel fixador (prensa chapas) (N);
- B = esforço gasto para dobrar e endireitar o blank (N).

A estampabilidade de um material corresponde à razão entre o diâmetro inicial do blank D_0 , e o diâmetro do copo estampado, ou D_p , Como se observa na figura 5.

Deve-se observar que existe um diâmetro mínimo de copo possível de ser conformado em uma etapa única, ou seja, sem nenhum processo de recozimento ou recuperação e sem que ocorra ruptura. Estudos teóricos mostram que o diâmetro mínimo possível de ser conformado, é dado aproximadamente por:

$$D_0 \cong D_p \cdot \exp(-\eta)$$

onde η corresponde à eficiência do processo, considerando as perdas por atrito, sendo $0 < \eta < 1$.

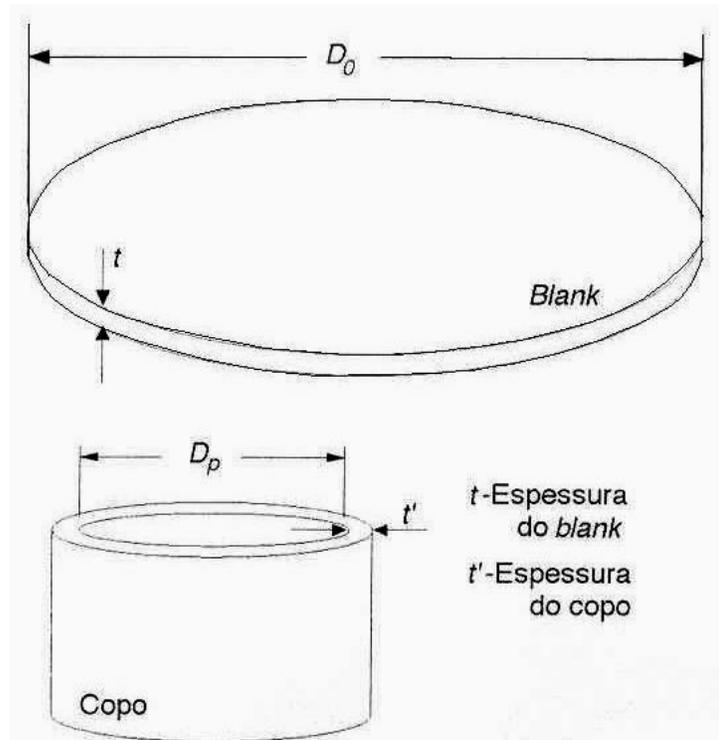


Figura 5. Blank e peça após a estampagem.

Exemplo 1:

Para um blank com 150 mm de diâmetro e $\eta = 0,84$, tem-se que o mínimo diâmetro do copo será de 67 mm, independente da ductilidade que o material apresentar. Dessa forma, caso deseje um copo com altura muito superior ao seu diâmetro, deve-se realizar diversas etapas de estampagem, sendo que entre elas será necessário recozer o material pré-conformado.

Alem das instruções do primeiro texto, no relatório do experimento, deverão constar as seguintes informações :

- tipo de material
- espessura do blank
- método de determinação do fim do ensaio
- numero de elementos do ensaio
- tipo de lubrificação usado
- método de avanço do punção (constante ou proporcional)
- variação da força no punção (se for um parâmetro conhecido)

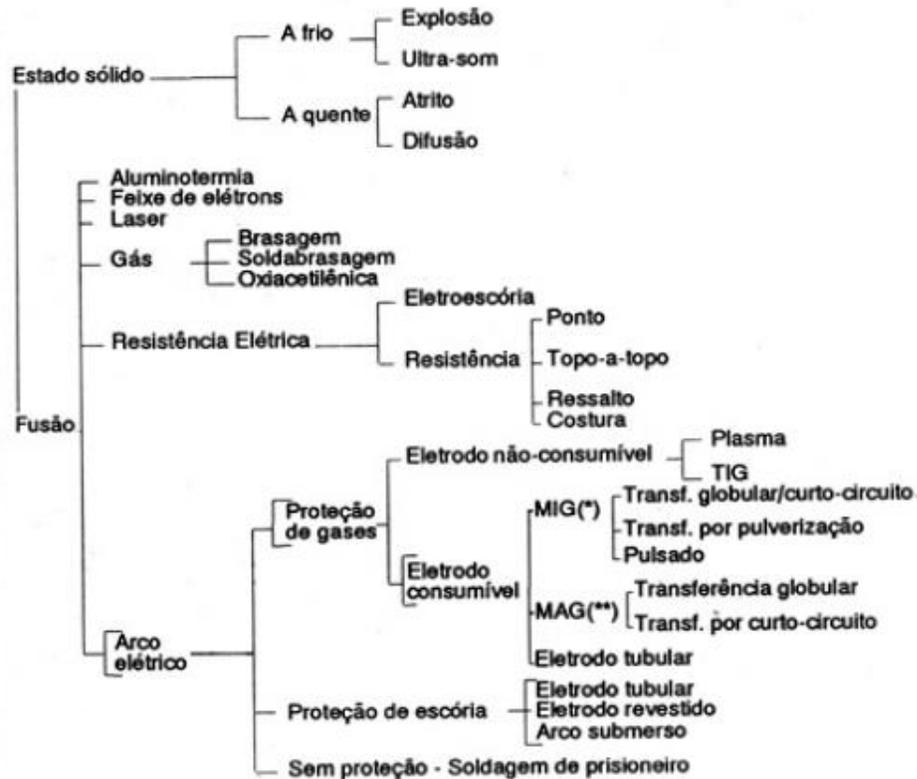
Para maiores detalhes ver livro texto.

Soldagem a Arco Elétrico com Eletrodo Revestido

Profa. Dra. Izabel Fernanda Machado

Soldagem. Soldagem é o processo de união de duas partes metálicas utilizando-se uma fonte de calor. A solda é o resultado desse processo.

Classificação dos processos de soldagem a partir da natureza da união



Observ.: (*) com argônio ou hélio.

(**) com argônio, oxigênio, CO2 ou misturas desses gases.

Na soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido a união entre as duas partes metálicas é propiciada pelo calor gerado entre o eletrodo revestido e a peça a ser soldada. A figura 1 mostra um esquema de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido. O processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido não é necessariamente o mais eficiente, mas é um dos mais baratos, sendo assim um dos mais utilizados. A figura 2 mostra um esquema em escala atômica dos fenômenos que ocorrem em um arco elétrico com eletrodo permanente.

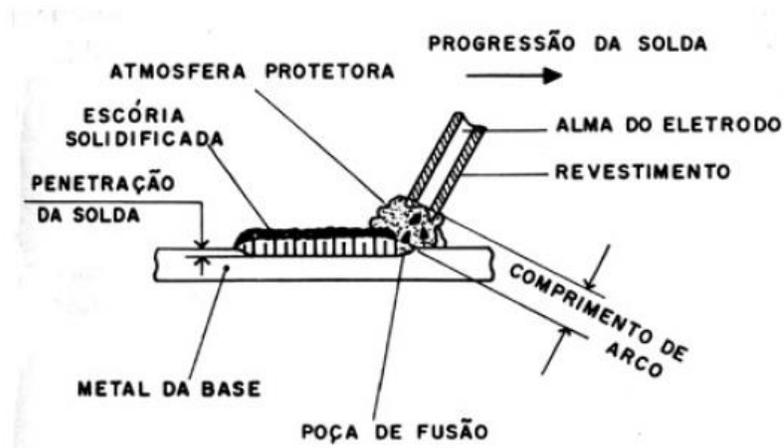


Figura 1. Esquema básico do funcionamento do processo de soldagem com eletrodo revestido.

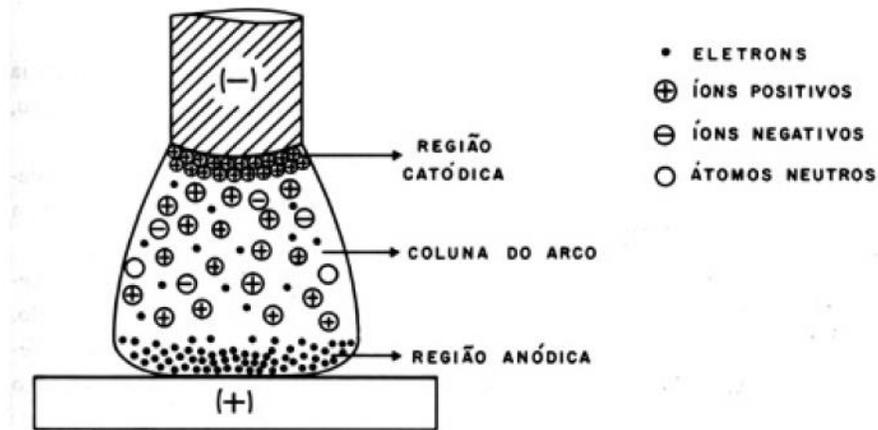


Figura 2. Esquema em escala atômica dos fenômenos que ocorrem em um arco elétrico com eletrodo permanente

A figura 3 mostra os tipos de transferência metálica que podem ocorrer no processo de soldagem.

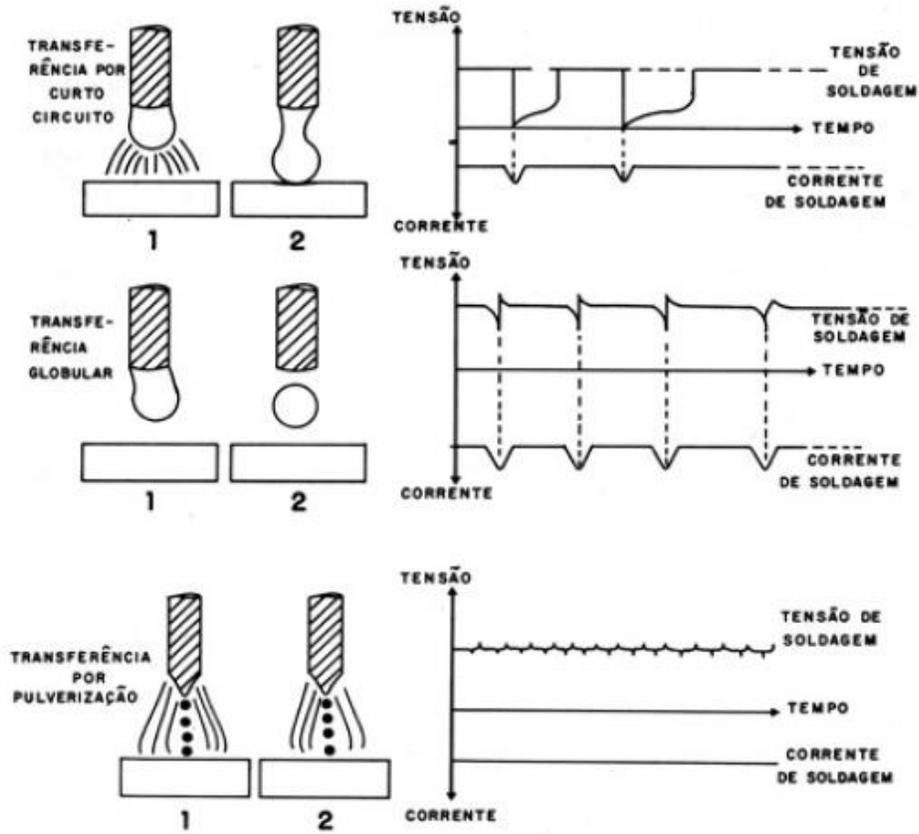


Figura 3. Tipos de transferência metálica com os respectivos oscilogramas.

A figura 4 mostra linhas isotérmicas obtidas durante a soldagem do alumínio. A figura 5 ilustra o que ocorre durante a formação do cordão de solda na poça de fusão. Já a figura 6 dá uma da estrutura de grãos de um cordão solda. A figura 7 mostra um esquema da zona afetada pelo calor.

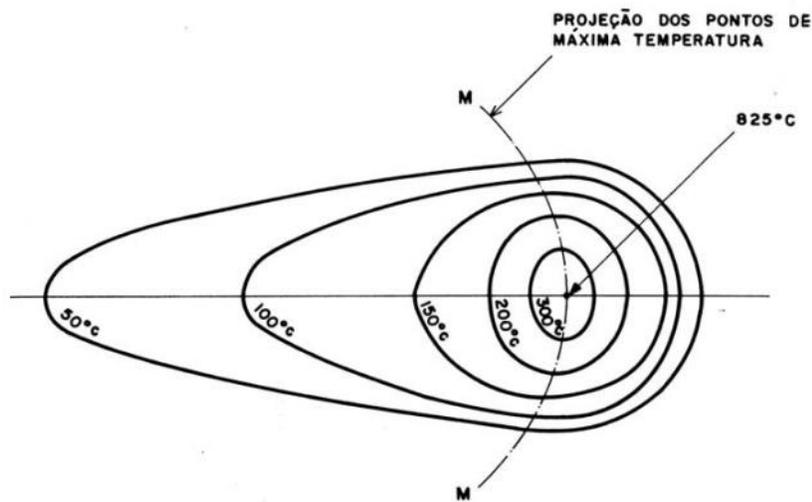


Figura 4. Linhas isotérmicas obtidas durante a soldagem do alumínio

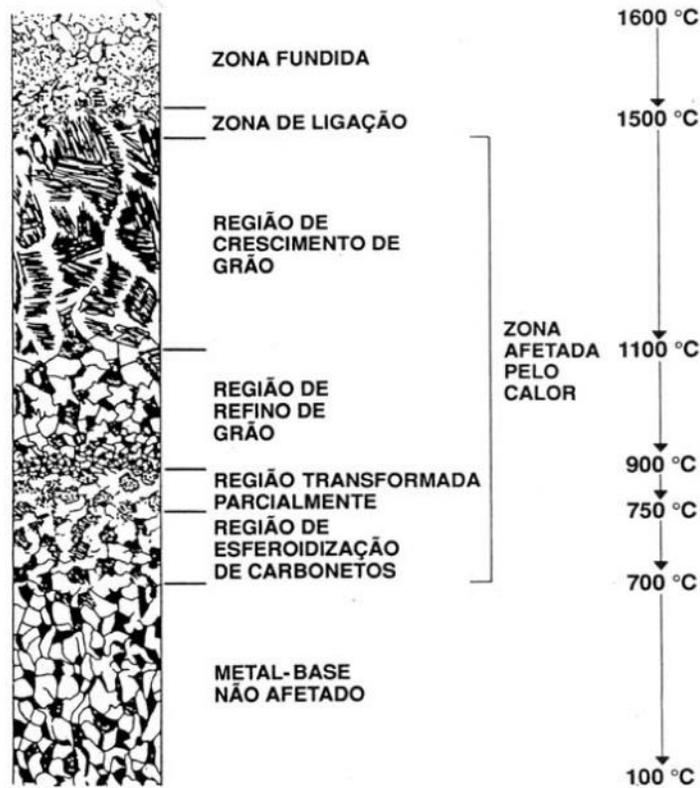


Figura 7 Esquema da zona afetada pelo calor.

Equipamentos.

O equipamento básico para soldagem com eletrodo revestido consiste em:

1. Fonte de energia
2. Alicates para fixação dos eletrodos
3. Cabos de interligação
4. Pinça para a ligação da peça
5. Equipamento de proteção individual

A figura 8 mostra o esquema básico de interligação do equipamento de soldagem a arco com eletrodo revestido.

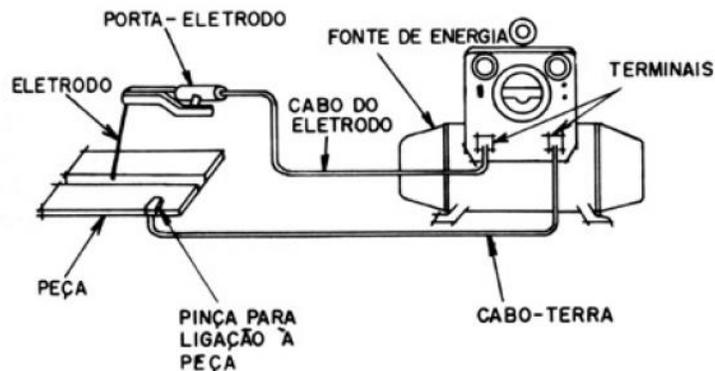


Figura 8. Esquema básico de interligação do equipamento de soldagem a arco com eletrodo revestido.

Variáveis Operacionais.

Dentre as variáveis operacionais estão:

1. Corrente de Soldagem.

A corrente de soldagem está diretamente ligada com as propriedades da junta soldada, pois a magnitude corrente de soldagem afeta a distribuição da energia térmica do arco de soldagem. A intensidade da corrente de soldagem é o que controla a penetração da solda, largura do cordão e a diluição.

A figura 9 mostra o efeito da corrente de soldagem na taxa de deposição e na geometria do cordão.

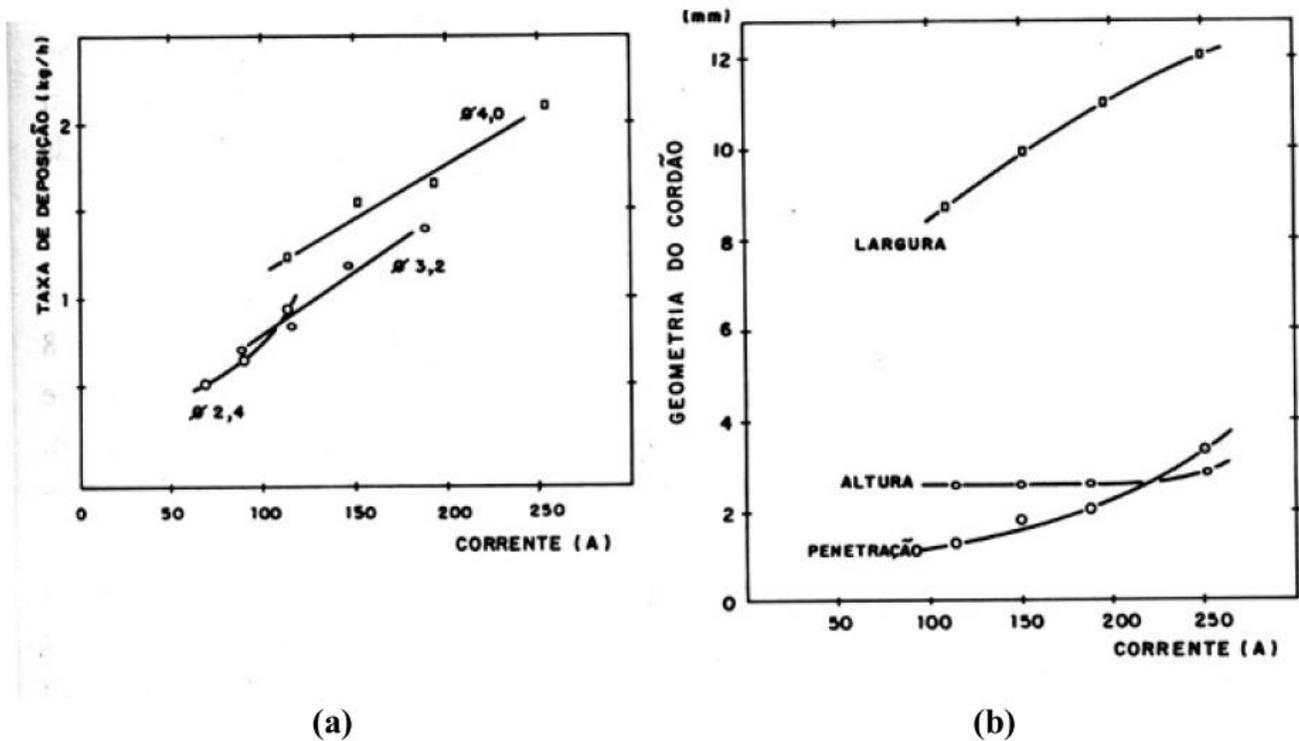


Figura 9. (a) Efeito da corrente de soldagem sobre a taxa de deposição para vários diâmetros de alma. (b) Efeito da corrente de soldagem sobre a geometria do cordão.

2. Velocidade de avanço.

A altura e a largura do cordão variam inversamente com a velocidade de avanço. Logo se forem utilizadas elevadas velocidades de avanço, mesmo com elevadas correntes a energia de soldagem pode ser reduzida.

3. Dimensões do eletrodo.

Os diâmetros de eletrodo disponíveis variam de 1 a 8 mm de diâmetro e de 350 a 470 mm de comprimento.

O diâmetro do eletrodo limita o uso da corrente.

Eletrodo Revestido.

A figura 10 mostra o esquema de um eletrodo revestido. Os eletrodos para soldagem são normalmente obtidos pela extrusão de um revestimento sobre uma alma de aço (arame). Os eletrodos passam, então, por um processo de secagem.

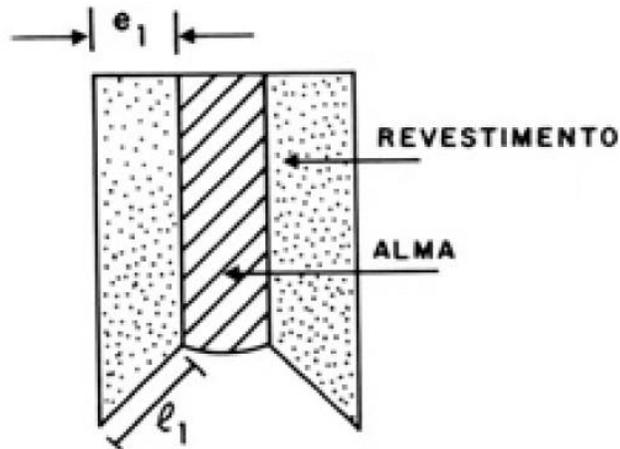


Figura 10. Esquema de eletrodo revestido

Os revestimentos consistem de misturas de compostos minerais ou orgânicos nos quais são adicionados aglomerantes. As principais funções do revestimento são:

1. Estabilizar o arco.
2. Formação de gases protetores na poça de fusão
3. Formação da escória e atuação como agentes fluxantes (desoxidantes).
4. Adição de elementos de liga ao metal depositado.

Existem quatro grupos principais de revestimentos para soldagem de aços de baixa e média liga:

1. Celulósico
2. Rutílico
3. Ácido e
4. Básico

1. Celulósico: possui cerca de 30% de material orgânico isso gera grande volume de gases para a poça de fusão. Produz uma escória fina e facilmente removível. Durante a soldagem com esse eletrodo é produzida grande quantidade de respingos. A taxa de deposição é baixa e a tensão de arco é elevada em comparação com outros tipos de eletrodos.

2. Rutílico: os revestimentos rutílicos possuem mais de 20% de óxido de titânio, obtido através da adição de areia de rutilo ou ilmenita. Estes revestimentos conferem alta estabilidade de arco, pequena quantidade de respingos e bom aspecto superficial do cordão.

3. Ácido: esses revestimentos de eletrodos são baseados em óxidos de ferro, manganês e silicatos. A escória formada é abundante.

4. Básicos: esses revestimentos são baseados no carbonato de cálcio. Esse tipo de revestimento leva a formação de depósitos com teores baixos de hidrogênio e poucas inclusões.

A seguir são apresentados alguns constituintes utilizados em revestimentos.

Matéria-prima	Função ⁽¹⁾	
	Principal	Secundária
Açúcar	Aglomeración	
Alumina	Form. escória	
Argilas (caolim, bentonita, "China Clay" etc.)	Form. escória	
Asbestos	Melh. extrud.	
Carbonato de bário	Form. escória	Estab. arco
Carbonato de cálcio	Estab. arco	
Carbonato de lítio	Geraç. gases	Form. escória
Carbonato de zircônio	Estab. arco	
Carboxi-metil-celulose	Aglomeración	
Celulose (pó de serragem, farinha etc.)	Geraç. gases	Desoxidação
Dextrina		Melh. revest.
Dióxido de manganês	Aglomeración	
Feldspato	Form. escória	Estab. arco
Ferro (em pó), ferro-ligas e outros elementos puros e ligas ⁽⁴⁾	Adição comp. Desoxidação ⁽²⁾ Form. escória ⁽³⁾	Estab. arco
Fluorita	Desoxidação	Estab. arco
Glicerina	Form. escória	
Goma arábica	Melh. extrud.	
Grafita	Aglomeración	Desoxidação
Ilmenita	Adição comp.	Melh. extrud.
Mica	Form. escória	
Oxalato de potássio	Melh. extrud.	
Óxidos de ferro	Estab. arco	Estab. arco
Sílica	Form. escória	
Silicato de potássio	Aglomeración	
	Estab. arco	
Silicato de sódio	Form. escória	Estab. arco
	Aglomeración	
Talco	Form. escória	
	Melh. extrud.	
Titanato de potássio, rutilo, dióxido de titânio, etc.	Estab. arco	
Wolastonita	Form. escória	
Zircônia	Form. escória	
	Estab. arco	Form. escória

- (1) Abreviaturas usadas:
 Adição (de) comp(ONENTES metálicos ou ligas)
 Estab(ILIDADE do) arco
 Form(AÇÃO de) escória
 Geraç(ÃO de) gases
 Melh(ORADOR da) extrud(ABILIDADE)
 Melh(ORADOR das propriedades do) revest(IMENTO)
- (2) Dependendo da composição
- (3) Principalmente pó de ferro
- (4) Ver também a Tabela 2.10

Classificação dos Eletrodos.

A classificação dos eletrodos revestidos no Brasil segue a norma ABNT-EB-79, no entanto a norma ISO 2560 é mais utilizada. O eletrodo é descrito como EXXYZ.

E = Eletrodo revestido

XX = Limite de resistência à tração do material depositado

Y = Posição na qual pode ser executada a soldagem (plana, horizontal, vertical, sobrecabeça)

Z = Tipo de revestimento e tipo de corrente que pode ser empregada na soldagem.

Juntas

A figura 11 mostra vários exemplos de juntas de soldagem.

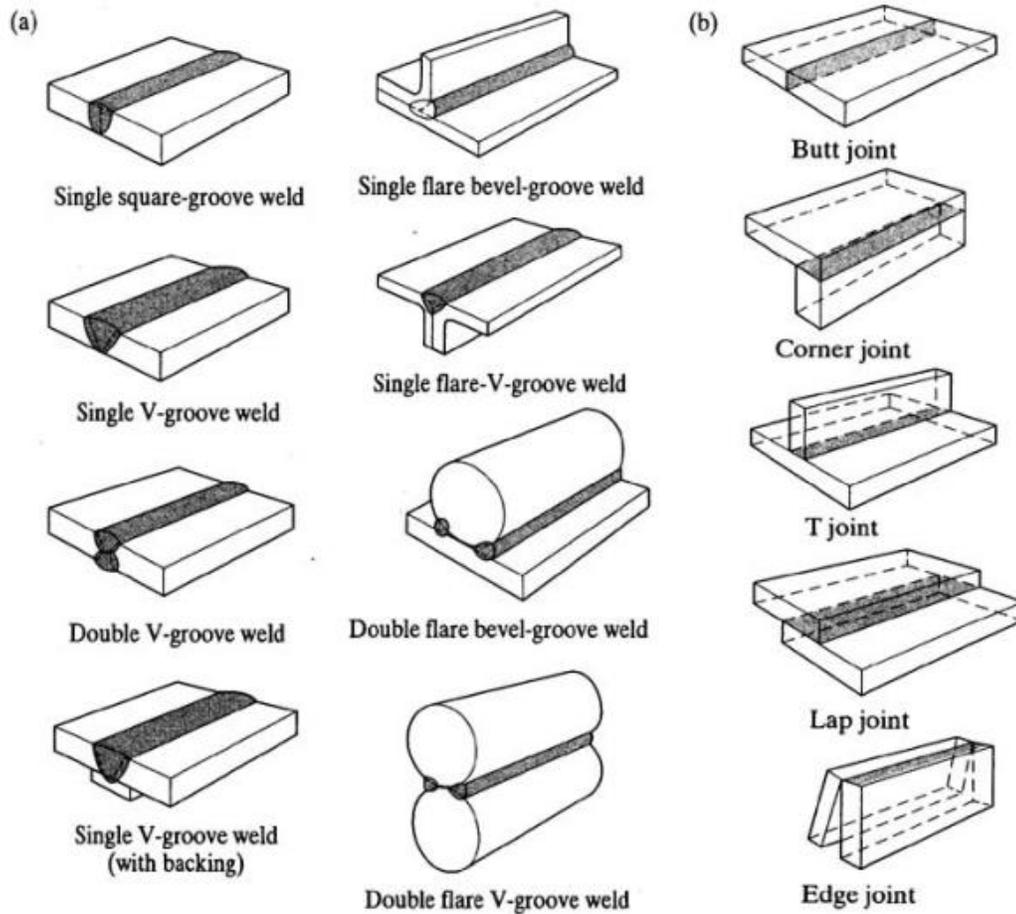


Figura 11. Vários exemplos de juntas de soldagem.

Defeitos de que podem ocorrer em um processo de soldagem (envolvendo fusão)

Defeitos no cordão de solda, ou decorrentes do processo de soldagem, podem ocorrer devido a realização do processo de soldagem de forma inadequada ou descuidada. Esses defeitos afetam a qualidade da solda.

Os tipos de defeitos decorrentes da realização do processo de soldagem de forma inadequada são:

1. Porosidade: gases presos durante a solidificação, reações químicas ou contaminantes.
2. Inclusões de escória.
3. Falta de penetração.
4. Perfil da solda: deposição insuficiente, mordedura, reforço excessivo, superposição.
5. Trincas. Trinca a quente: formada enquanto a solda ainda está em elevadas temperaturas. Trinca a frio: formada quando o cordão de solda já está solidificado.
6. Tensões residuais: tensões não uniformes no material ou componente.

A figura 12 seguinte ilustra defeitos que podem ocorrer no cordão de solda.

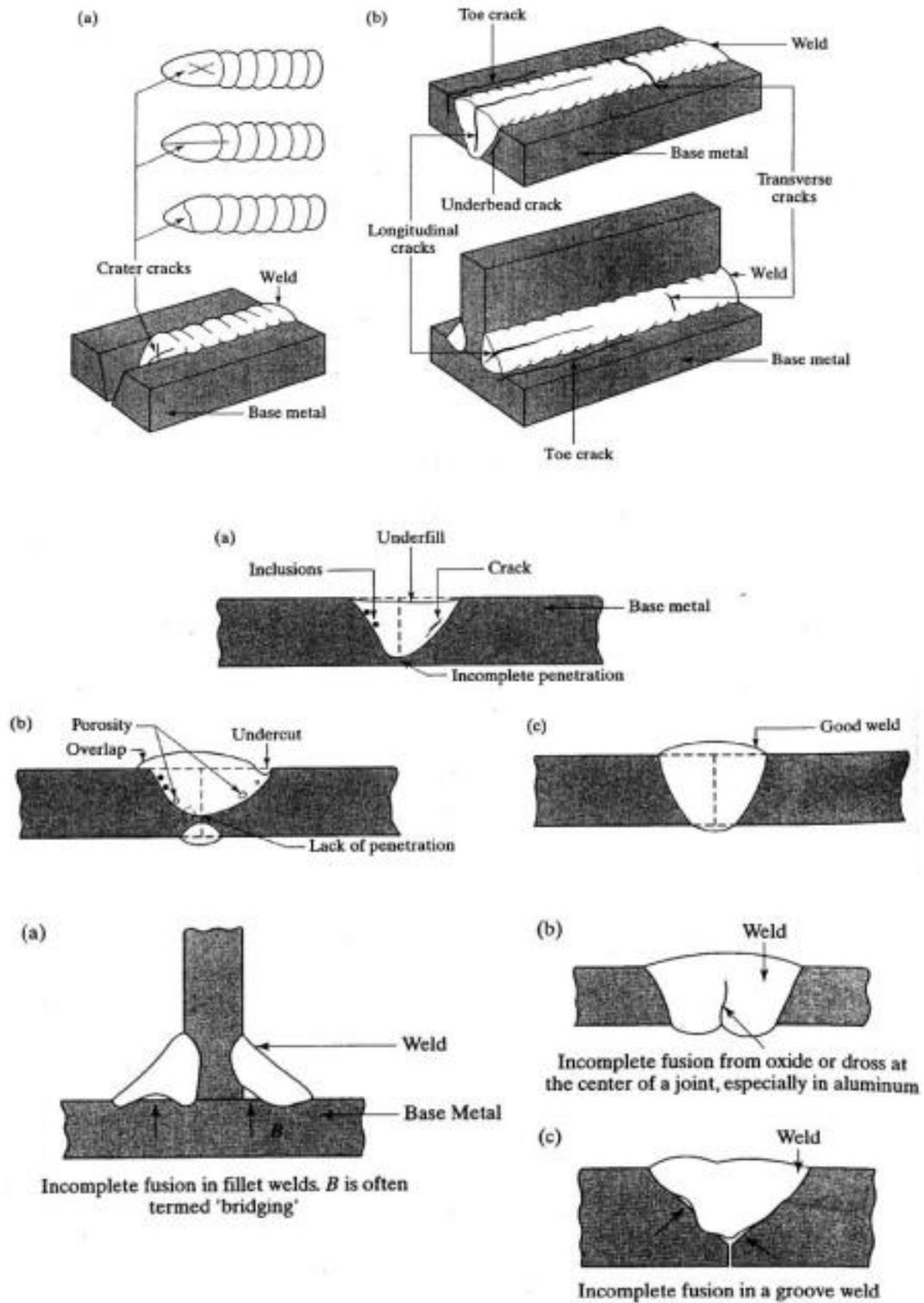


Figura 12. Defeitos que podem ocorrer no cordão de solda.

Testes de Juntas Soldadas - Ensaio destrutivos:

1. Ensaio de Tração na seção transversal e longitudinal da peça.
2. Ensaio de Tração-Cisalhamento.
3. Ensaio de dobramento.
4. Ensaio de Impacto
5. Ensaio de Corrosão e Fluência.

A figura 13 ilustra exemplos de podem ser testadas as juntas soldadas.

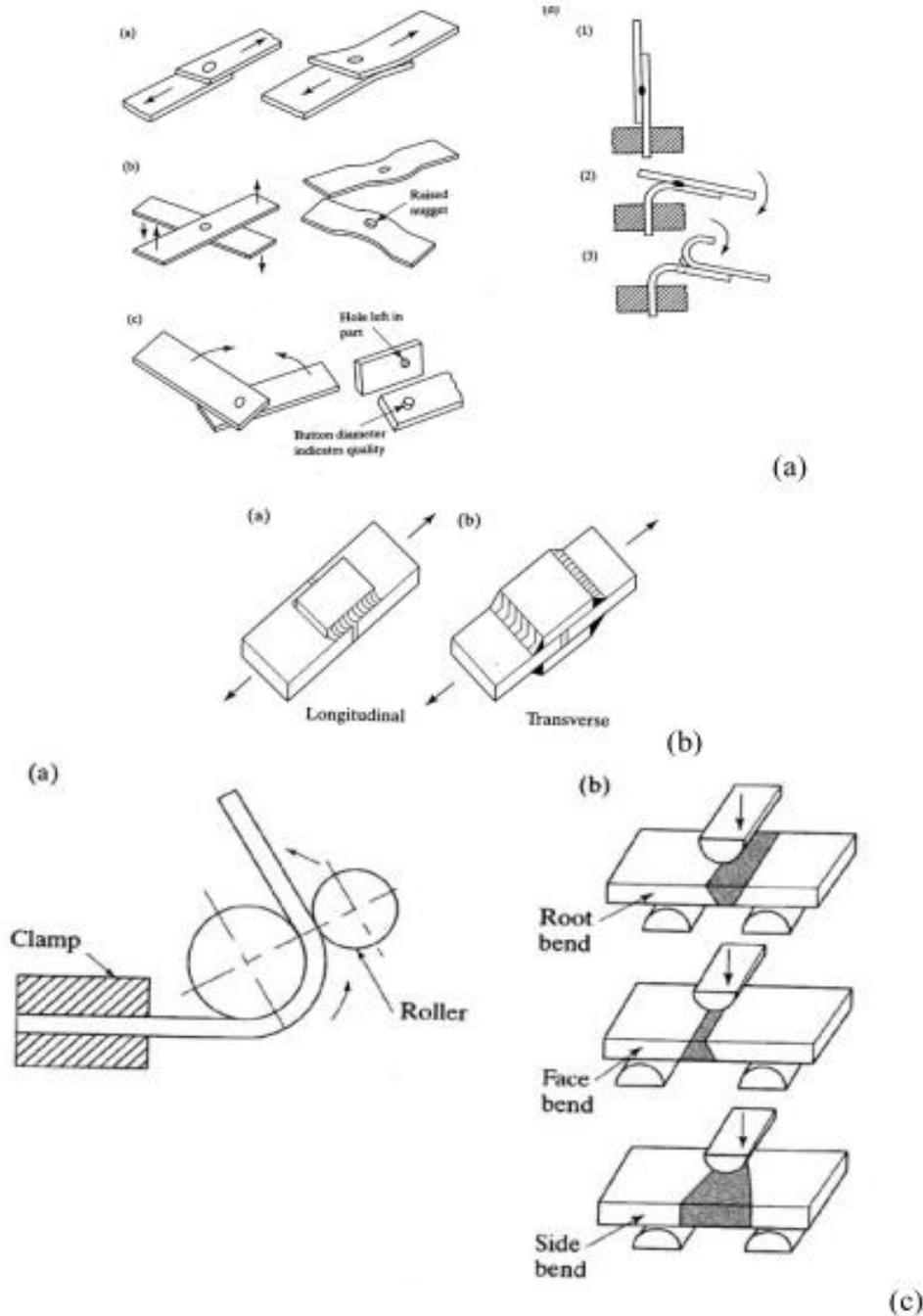


Figura 13. Exemplos de podem ser testadas as juntas soldadas. (a) Tensão-cisalhamento em soldas à ponto. (b) Teste de tração-cisalhamento e (c) ensaio de dobramento.

Testes de Juntas Soldadas - Ensaios não-destrutivos:

Existem vários tipos de ensaios não destrutivos dentre eles estão: inspeção visual, líquido penetrante, partículas magnéticas, raios X, ultra-som etc.

O ensaio de líquidos penetrante consiste em aplicar um líquido de cor forte (azul ou vermelhos) sobre a superfície limpa a ser analisada. O líquido penetra em pequenas fissuras na peça por capilaridade. Isso leva alguns minutos. O excesso de líquido é limpo, de forma que só reste o líquido que penetrou nas fissuras, as quais são muitas vezes imperceptíveis. É, então, aplicado um revelador. O líquido presente nas fissuras é absorvido pelo revelador, de forma semelhante que ocorre com óleo ou gordura por talco. Isso permite que sejam identificados defeitos que dificilmente seriam vistos. A limitação desse ensaio está em ser apenas superficial.

Descontinuidades internas são apenas detectadas com ensaios como raios X ou ultra-som. Por outro lado, o ensaio de líquidos penetrantes apresenta baixo custo, é rápido e facilmente realizado pelo operador.

Conceitos importantes:

Metal de solda. Mistura resultante da soldagem, região fundida na soldagem.

Metal de base. Metal ou liga que é soldado.

Zona de ligação. Limite entre a região fundida e a não fundida na soldagem.

Passo. Depósito de solda realizado. Um cordão de solda pode ser feito apenas em um passo ou em vários.

Falta de fusão. Fusão incompleta entre a zona fundida e o metal de base, ou entre os passos da zona fundida.

Falta de penetração. Insuficiência de metal na raiz da solda.

Mordedura. Depressão sob a forma de entalhe no metal de base acompanhando a margem da solda.

Porosidade. Conjunto de poros distribuídos de maneira uniforme, não havendo alinhamento.

Relativo ao Experimento de Soldagem:

Executar soldagem de duas chapas de aço carbono (ABNT 1020) utilizando o processo de arco elétrico com eletrodo revestido.

Corpo de prova: 100 mm de comprimento, 30 mm de largura e 2,5 mm de espessura.

Tipo de eletrodo: AWS E6013

Limite de resistência mínimo: 60000 psi (413 Mpa). O eletrodo é utilizável em todas as posições. A corrente pode ser contínua (CA) ou alternada (CC) e a polaridade pode ser polaridade inversa (eletrodo positivo) ou polaridade direta (eletrodo negativo).

Bitola do eletrodo: 2,5 mm

Comprimento do eletrodo: 350 mm

Serão utilizadas as seguintes correntes de soldagem:

___ A, ___ A e ___ A. Detectar qual a condição ideal de soldagem.

Inspeção após soldagem.

Detectar e localizar descontinuidades como trincas, fissuras e porosidade na solda utilizando-se líquidos penetrantes.

Realizar ensaio de dobramento sobre a solda para analisar preenchimento de solda, profundidade de penetração, falhas, etc.

Discutir e Analisar qual a melhor condição de soldagem (para constar no relatório).

BIBLIOGRAFIA: Livro texto:

- 1- KALPAKJIAN, S. & SCHMIDT – Manufacturing Engineering and Technology 4th ed. Ed. Prentice Hall – capítulo 16 – item 16-8 e 16.9 – pp. 416-420.
- 2- GARCIA, A. et al. – Ensaio de Materiais
3. Metals Handbook, 8th edition (azul), vol. 6, ASM, 1971.
4. Welding –Principles and Applications, Larry Jeffus and Harold V. Johnson, 2sd edition, Delmar Publishers Inc., 1988.
5. The Procedure Handbook of Arc Welding, 12th edition, Lincoln Electric Company, 1973.
6. Welding Handbook, 6th edition, vol. 2, American Welding Society, 1969.
7. Soldagem Processos e Metalurgia, Emílio Weiner et al., Editora Edgar Blücher Ltda, 1992.

