

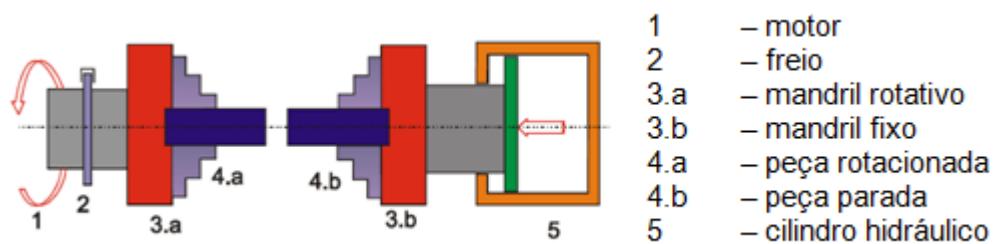
# Soldagem por fricção

Daniel Augusto Cabral - E-mail: [daniel\\_pirula@yahoo.com.br](mailto:daniel_pirula@yahoo.com.br)

## 1. Princípios do processo

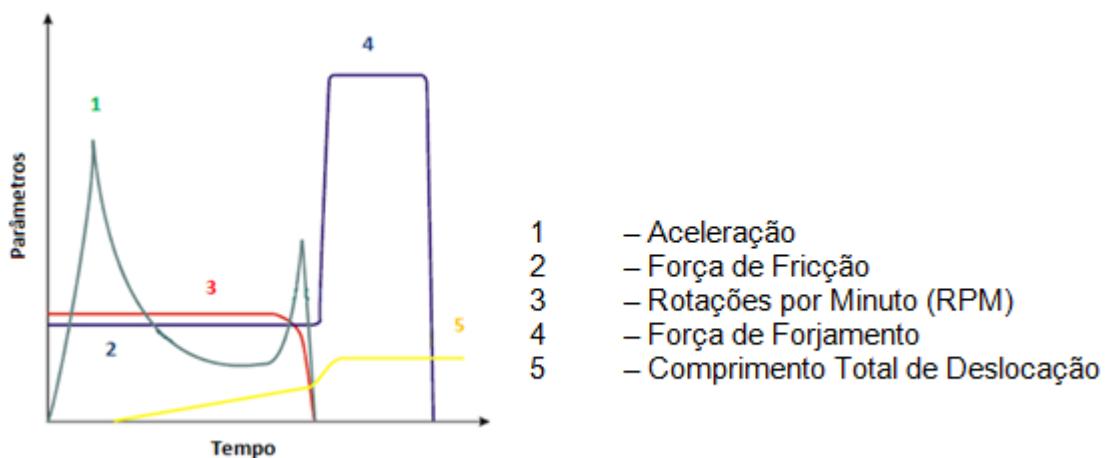
A norma DVS 2909 declara a soldagem de fricção um grupo de procedimentos de soldagem a pressão. Pelo menos uma das partes deve ser rotacionada simetricamente a outra parte. Devido à rotação (na maioria das aplicações apenas uma junta rotaciona) você tem um movimento relativo entre as juntas.

## 2. Variáveis da Solda por fricção



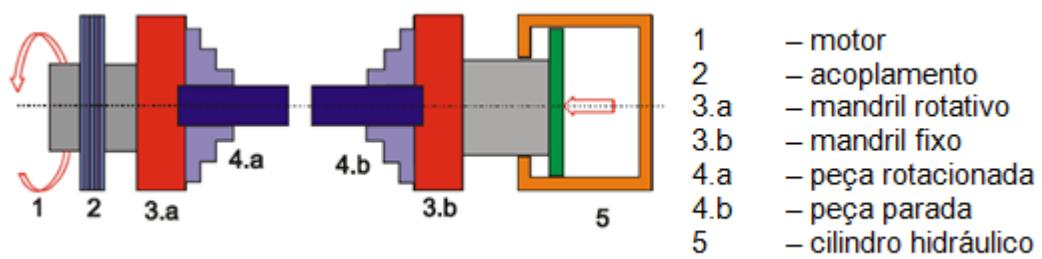
1	– motor
2	– freio
3.a	– mandril rotativo
3.b	– mandril fixo
4.a	– peça rotacionada
4.b	– peça parada
5	– cilindro hidráulico

**Figura 1:** Soldagem por Arraste (norma DVS 2909)

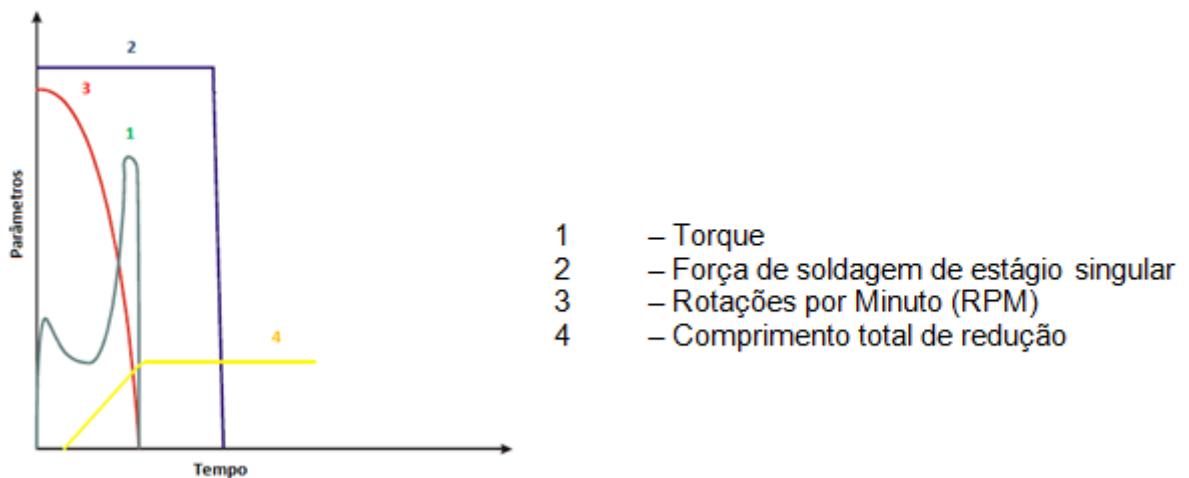


1	– Aceleração
2	– Força de Fricção
3	– Rotações por Minuto (RPM)
4	– Força de Forjamento
5	– Comprimento Total de Deslocação

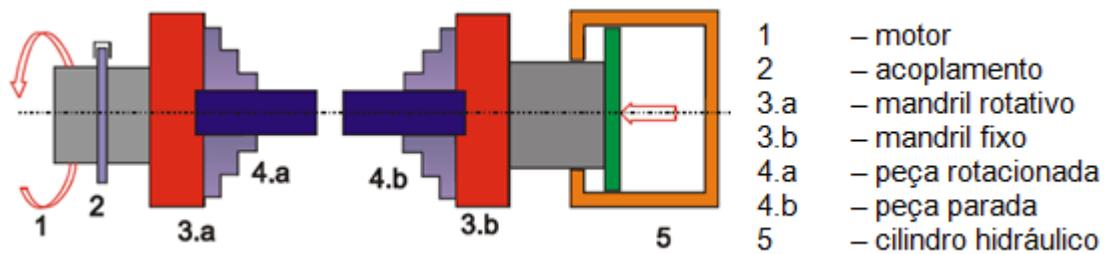
**Figura 2:** Diferentes parâmetros do processo em função do tempo, soldagem por arraste (norma DVS 2909)



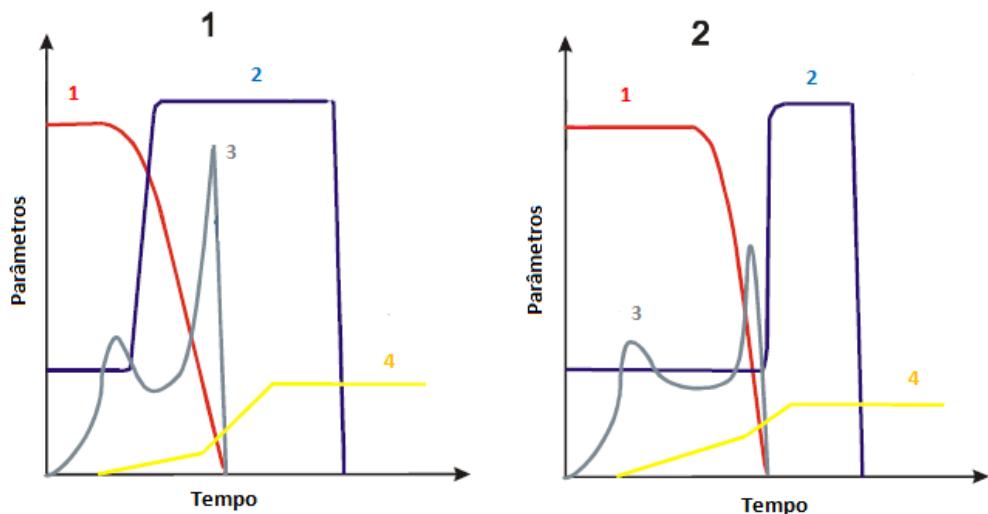
**Figura 3:** Soldagem por Inércia



**Figura 4:** Diferentes parâmetros do processo em função do tempo, soldagem por inércia (norma DVS 2909)



**Figura 5:** Combinação da soldagem por arraste e soldagem por inércia (norma DVS 2909)



1 – Rotações por Minuto (RPM)

2 – Forjação

3 – Torque

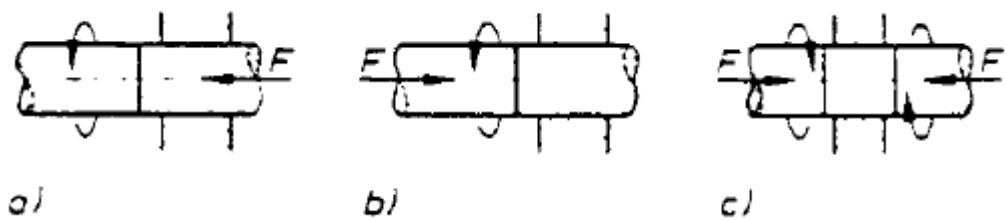
4 – Comprimento total de redução

1 – Forjação durante a rotação

2 – Forjação quando a peça em rotação parou

**Figura 6:** Diferentes parâmetros do processo em função do tempo, a soldagem de fricção combinada com os dois métodos.

### 3. Tipos e métodos de solda por fricção



**Figura 7:**

a) Soldagem por fricção com uma peça girando e outra sofre força axial.

b) Soldagem por fricção com uma peça girando e sofre força axial, simultaneamente, e outra fixa.

c) Soldagem por Fricção com três peças. Uma é fixa e as outras giram e sofrem força axial contra a peça do centro.

## 4. Parâmetros

### Parâmetros importantes

- Números de rotações ou velocidade periférica
- Força de atrito, o tempo de fricção, redução do comprimento axial durante o processo de atrito
- Força de forjamento axial, o tempo de forjamento, redução do comprimento axial durante o processo de forjamento

Dependendo do método de soldagem de atrito que você obtém parâmetros adicionais:

- Inércia de massa, momento de freio, momento de contato

Material	Diâmetro mm	Força de Fricção N/mm <sup>2</sup>	Força de Forjamento N/mm <sup>2</sup>	Tempo de Fricção s	Tempo de Forjamento s	Velocidade Periférica m/s
<b>Não ligado e baixa liga de aço</b>						
steel		20 ... 80	80 ... 200	1 ... 100	2 ... 10	0.5 ... 5.0
C60	20	50 ... 80	150 ... 250	3 ... 6	2 ... 3	1.5 ... 3.0
42 CrMo 4	20	50 ... 80	150 ... 250	3 ... 6	2 ... 3	1.5 ... 3.0
<b>Alta liga de aço</b>						
		40 ... 100	120 ... 400	3 ... 120	2 ... 10	0.5 ... 5.0
X 5 CrNi 18 8	20	60 ... 80	250 ... 300	6 ... 10	2 ... 3	1.5 ... 3.0
S 6-5-3	20	60 ... 100	190 ... 250	10 ... 15	2 ... 3	1.5 ... 3.0
<b>Liga de Alta-Temperatura</b>						
		60 ... 180	180 ... 600	5 ... 150	2 ... 15	0.5 ... 5.0
Nimonic 80	20	60 ... 100	180 ... 400	5 ... 10	2 ... 3	2.0 ... 3.0
Inconel 713 C	20	60 ... 100	400 ... 500	5 ... 10	2 ... 3	1.5 ... 3.0
<b>Ligas leves e Metais Duros</b>						
		10 ... 80	20 ... 150	1 ... 8	2 ... 5	0.5 ... 4.0
E-Cu	20	< 10	20 ... 60	1 ... 6	2 ... 5	> 4.0
TiAl 6 V 4	20	20 ... 30	60 ... 80	2 ... 8	2 ... 5	1.0 ... 4.0
Al 99,5	20	10 ... 30	30 ... 80	0.1 ... 4	2 ... 5	2.0 ... 4.0
AlMgSi 0,5	20	30 ... 80	50 ... 150	0.1 ... 6	2 ... 5	0.5 ... 2.0
PB	20	50 ... 70	70 ... 100	2 ... 4	2 ... 3	1.5 ... 2.0

**Figura 8:** Valores de referência dos parâmetros de soldagem, mesmos materiais, mesmas secções, direção convencional.

Material	Energia de Soldagem J/mm <sup>2</sup>	Força Axial N/mm <sup>2</sup>	Velocidade Periférica m/s
Não ou baixa liga de aço	50 ... 180	100 ... 200	2.5 ... 15.0
Alta liga de aço	70 ... 220	150 ... 300	2.5 ... 15.0
Liga de alta temperatura	100 ... 300	200 ... 700	1.5 ... 7.5
Não ou baixa liga de aço	25 ... 300 150 ... 350 100 ... 180	40 ... 100 50 ... 70 10 ... 70	1.0 ... 15.0 3.0 ... 5.0 2.0 ... 3.5

**Figura 9**

## 5. Materiais Soldáveis

Combinação de muitas ligas diferentes para a soldagem por Fricção

	Alumínio e ligas	Latão	Bronze	Carbonetos Cementados	Ligas de Cobalto	Colômbio	Cobre	Níquel Cobre	Chumbo	Ligas de Magnésio	Molibdênio	Ligas de Níquel	Ligas de aço	Aço Carbono	Aço "free mach'g"	Aço Maraging	Aço Sinterizado	Aço Inoxidável	Aço Ferramenta	Tantálo	Ligas de Titânio	Tungstênio	Materiais de Válvula	Ligas de Zircônio
Alumínio e ligas	■																							
Latão		■																						
Bronze			■																					
Carbonetos Cementados				■																				
Ligas de Cobalto					■																			
Colômbio						■																		
Cobre	■						■																	
Níquel Cobre							■	■																
Chumbo								■	■															
Ligas de Magnésio										■														
Molibdênio											■													
Ligas de Níquel												■												
Ligas de aço	■												■											
Aço Carbono	■													■										
Aço "free mach'g"			■												■									
Aço Maraging															■									
Aço Sinterizado																■								
Aço Inoxidável				■													■							
Aço Ferramenta					■													■						
Tantálo																			■					
Ligas de Titânio																				■				
Tungstênio																					■			
Materiais de Válvula																						■		
Ligas de Zircônio																							■	

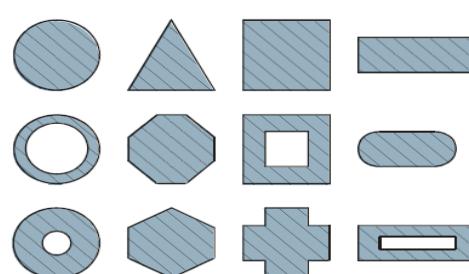
■ Completa ligação metalúrgica (Em alguns casos após a soldagem é necessário um tratamento adequado para realizar fusão completa).

▢ Pode ser soldado, mas alguns ou todos não realizarão uma fusão completa

**Figura 10:** Tabela de combinações de metais e sua capacidade para ser soldada

## 6. Secções Soldáveis

Não é necessário ter a mesma secção da área a combinar. É possível combinar uma peça retangular com uma peça circular.



**Figura 11:** Perfil das secções soldáveis

## 7. Vantagens e Desvantagens

Vantagens:

- 1) Pouco material desperdiçado
- 2) Curto tempo de soldagem
- 3) Sem emissões nocivas (fumaça, esguichos...)
- 4) Boa produtibilidade e controle do processo de soldagem
- 5) Não necessita de metal de adição
- 6) Fácil para integrar o processo de soldagem com uma linha de produção
- 7) Alta precisão na união das peças

Desvantagens:

- 1) Uma das peças deve estar alinhada simetricamente com a outra
- 2) Solda elétrica
- 3) Comprimento restrito
- 4) Alto custo de aquisição
- 5) As dimensões das juntas são limitadas

## 8. Exemplos de aplicações

Soldagem por Fricção é usado em diferentes peças da produção industrial

- Vasos de Pressão
- Cilindros Hidráulicos
- Válvulas (motor de carros)
- Pinos Roscados
- Ferramentas

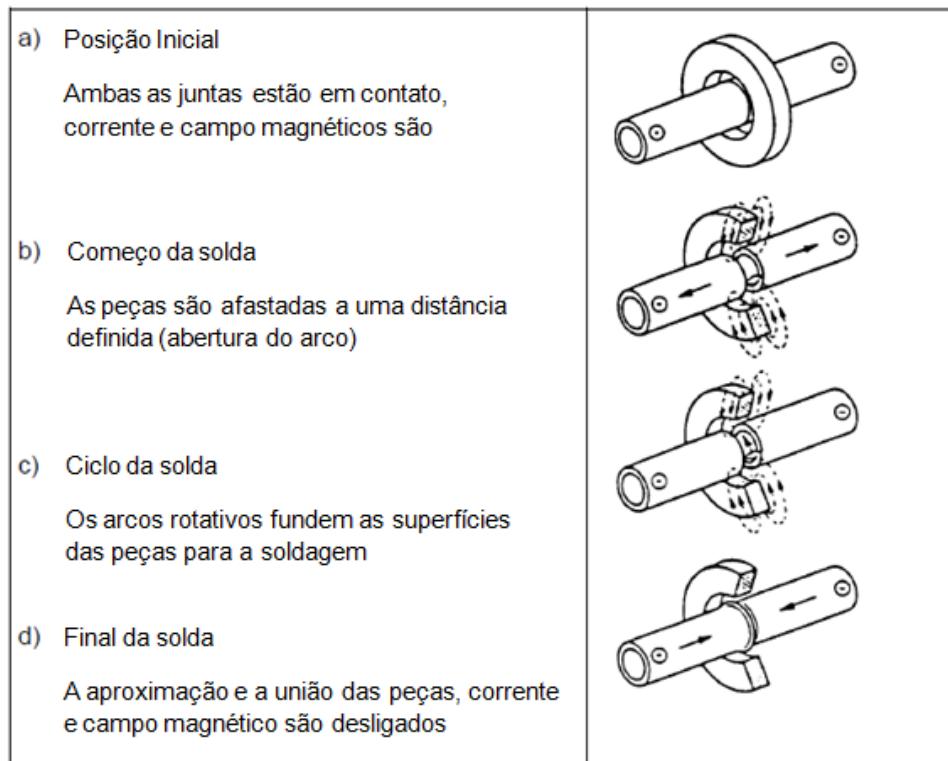
## 9. Literatura

- [1] DVS-Merkblatt 2909, DVS - Verlag Düsseldorf
- [2] Boß, H.: Vortrag "Widerstandsschweißen und Sonderverfahren"; 1990
- [3] Schaefer, R.: Beitrag zum Reibschweißen von Metallen unter besonderer Berücksichtigung der Energieumwandlung während des Schweißprozesses. Dissertation TH Aachen 1971.
- [4] DVS-Bericht 29: The Present State of the Applications of Electron Beam Welding and Friction Welding, P, Friction Welding, September 1973
- [5] Schober, D.: Entwicklungsrichtungen auf dem Gebiet des Reibschweißens. Mitteilungen aus dem Zentralinstitut für Schweißtechnik der DDR (1975)1, S. 88-94.
- [6] Wichelhaus, G. und H. Grünauer: Reibschweißen: Tips zur Produktionsüberwachung . Verbindungstechnik 8 (1976) 5, S.27-29
- [7] Voinev, V.P. und R.N. Boldyrev: The Role of the Mechanical Drive in the Friction Welding Process. Welding Production 21 (1974) 1, S. 58-61
- [8] Nicholas, B. D.: Process Friction Welding Report on Seminar. Metal Construction and British Welding Journal (1974) December, S. 394-395.

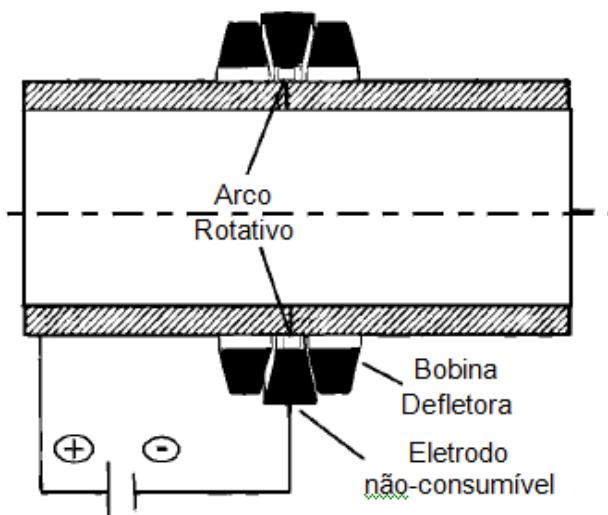
## Soldagem por Arco Magnético - Soldagem por Indução

### 1. Princípios do Processo

A soldagem por indução pertence ao método de soldagem com arco e pressão.



**Figura 1:** Representação esquemática da soldagem por indução (norma DVS 2934)



**Figura 2:** Representação esquemática do processo de soldagem por indução com um eletrodo auxiliar não-consumível.

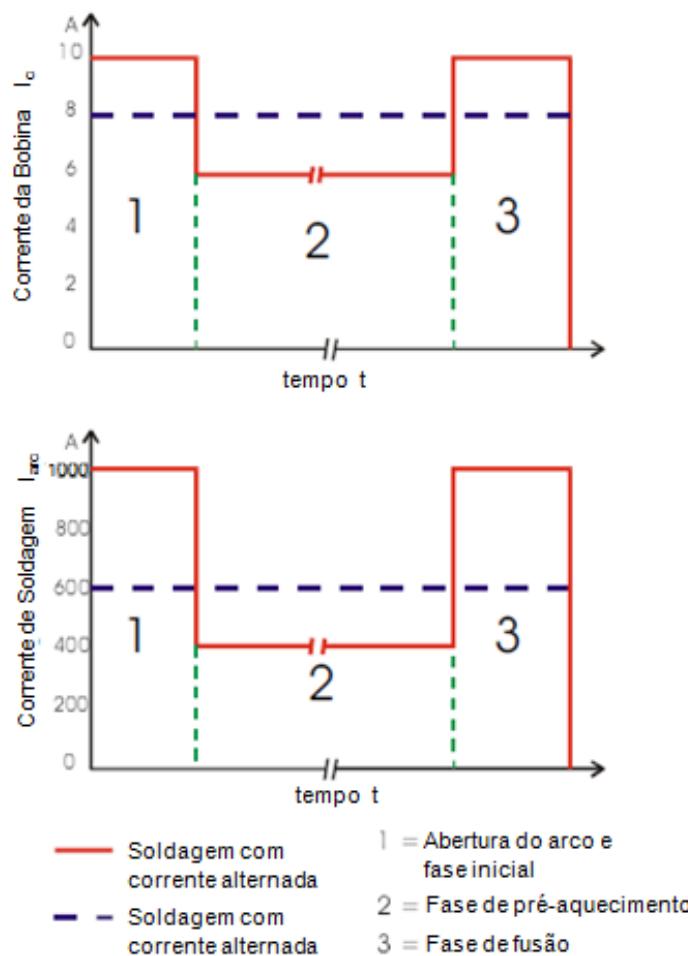
## 2. Parâmetros

Parâmetros Importantes:

- a) Corrente de soldagem
- b) Corrente da bobina magnética
- c) Tempo de soldagem
- d) Força de ajuste
- e) Quantidade de gás de proteção

Para a) e b)

Utiliza-se para aperfeiçoar a ignição e a temperatura do processo, isto é possível alterando a corrente de soldagem e a corrente da bobina magnética (corrente programada)



**Figura 3:** a soldagem e a corrente da bobina são em função do tempo (com ou sem corrente programada)

Para c) O tempo de soldagem começa no momento que se afastam e termina após o momento da fusão.

Para d) O momento da fusão deve ser feito com uma força definida. A força depende da área das peças a serem soldadas.

Um parâmetro importante é a velocidade da fusão.

Para e) A quantidade de gás de proteção dependem dos materiais utilizados

O tipo dos gases de proteção utilizados tem uma grande influência no(a):

- estabilidade do arco
- produtividade
- abertura do arco

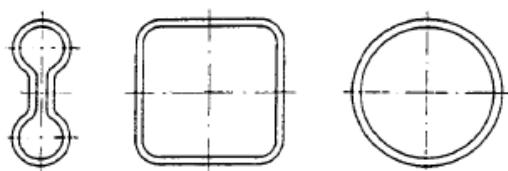
Parâmetros de Soldagem	Faixa
Afastamento	1.5... 3.0 mm
Corrente de Soldagem	50... 1500 A
Corrente da Bobina	1... 25 A
Tempo de Arco	0.4... 15 s
Tempo de Ajuste	0.5 s
Força Axial de Ajuste	15... 150 N/mm <sup>2</sup>
Quantidade de Gás de Proteção	0... 15 l/min

**Figura 4:** Parâmetros Importantes (norma DVS 2934)

### 3. Soldabilidade

Para uso da soldagem por indução três características devem ser verdadeiras.

- A secção transversal de soldagem deve ser de formato tubular para garantir um constante aquecimento.
- A secção transversal de soldagem deve estar em contato para ser possível a rotação do arco entre a superfície de trabalho.
- O material de soldagem deve ter condutividade elétrica e deve ser fundível.



**Figura 5:** Secções soldáveis (norma DVS 2934)

#### 4. Materiais Soldáveis

Seguindo as combinações de materiais é possível soldar:

materials	aço sem liga	aço ligado	Aço Cr Ni	aços de livre corte	ferro fundido	ferro fundido recozido	alumínio	ligas de alumínio
aço sem liga	●	●		●	●	●		
aço ligado	●	●						
Aço Cr Ni								
aços de livre corte	●			●				
ferro fundido					●			
ferro fundido recozido						●		
alumínio								
ligas de alumínio								
soldável		<input checked="" type="checkbox"/>	não investigado		<input type="checkbox"/>			

Figura 6:

Combinações de quais materiais são soldáveis por arco magnético

#### 5. Aplicações em Materiais

A técnica da soldagem por indução para juntas entre 0,7 e 5 mm de espessura de parede e diâmetro entre 5 e 300 mm.

#### 6. Vantagens e Desvantagens

Vantagens:

- 1) Soldas precisas de juntas de pequena espessura
- 2) Menor susceptibilidade contra trincas na área da solda
- 3) Uma grande quantidade de carbono e aços de usinagem rápida
- 4) Boa automatização
- 5) Curto tempo de soldagem
- 6) Não há necessidade de metal de adição

Desvantagens:

- 1) Possível somente em soldagem de tubos de secção transversal
- 2) Redução do comprimento por causa do processo de ajuste
- 3) Redução da dureza e resistência de aço duro e temperado na ZTA
- 4) A superfície de solda não deve ser revestida

## 7. Aplicações na Indústria

Eixo traseiro, virabrequim, corpo de filtros, lingüetas trefiladas, colunas de direção.

## 8. Bibliografia

- DVS-Merkblatt 2934, DVS-Verlag, Düsseldorf
- Boß, H.: Vortrag "Widerstandsschweißen und Sonderverfahren"; 1990
- Burmeister, J.: Gradke, W.; Schweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen. 2TS-Mitt. 14 (1972) 337-347
- Ganowski, F.-J.: Preßschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen. Schweißen und Schneiden 26 (1974) 251-253

## Soldagem de Pinos

### 1. Princípios do processo

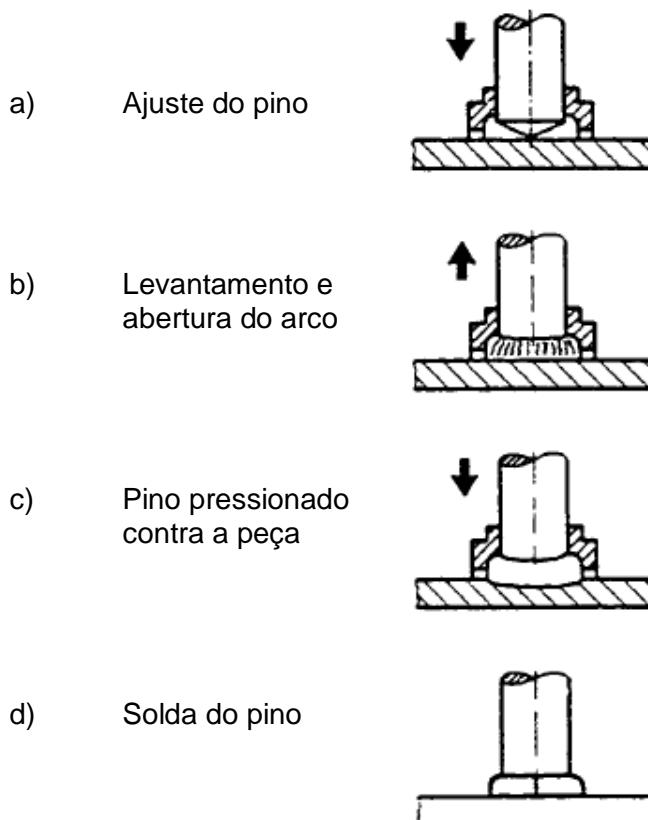
Soldagem de pinos pertence ao grupo de soldagem sob pressão, (Exceção: Soldagem de pino por fricção)

Existem dois tipos diferentes de métodos de soldagem de pino

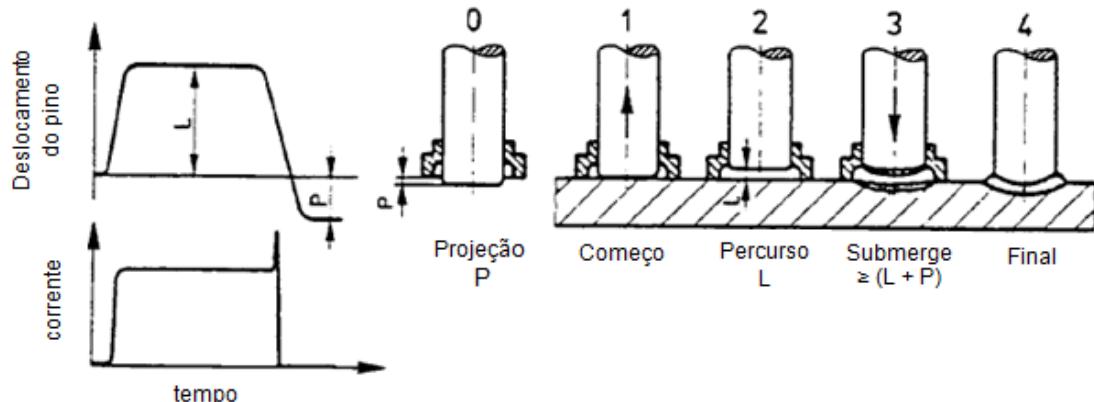
- Soldagem a arco de pinos sob pressão
- Soldagem de pinos por descargas de capacitores

### 2. Soldagem a arco de pinos sob pressão (BH)

A soldagem a arco de pinos sob pressão é principalmente utilizado para a soldagem em formato de pino, pinos metálicos para materiais de base metálica.



**Figura 1:** Fases da soldagem a arco de pinos sob pressão (norma DVS 0902).



**Figura 2:** Movimento do pino, na soldagem a arco de pinos sob pressão (norma DVS 0902)

Existem três diferentes faixas, dependendo do tempo de soldagem:

Tempo de soldagem  $> 100$  ms : soldagem de pino usual (BH 100)

Tempo de soldagem 10-100 ms : curto ciclo de soldagem de pino (BH 10)

Tempo de soldagem  $< 10$  ms : descarga de capacitor soldagem de pino (BH 5)

variante	tempo de soldagem	diâmetro do pino	corrente	proteção da solda	Menor espessura da chapa
BH 100	$> 100$	3 ... 25	200 ... 2500	KR (SG)	1/4 d
BH 10	10 ... 100	3 ... 12	up to 1200	OS, SG (KR)	1/8 d
BH 5	$< 10$	2 ... 6	up to 4000	OS (SG)	1/10 d

**Figura 3:** Faixas de operação de diferentes variáveis, soldagem a arco de pinos sob pressão (norma DVS 0902)

### 3. Parâmetros

Os parâmetros requeridos dependem do diâmetro do pino e o perfil ou cabeça do pino.

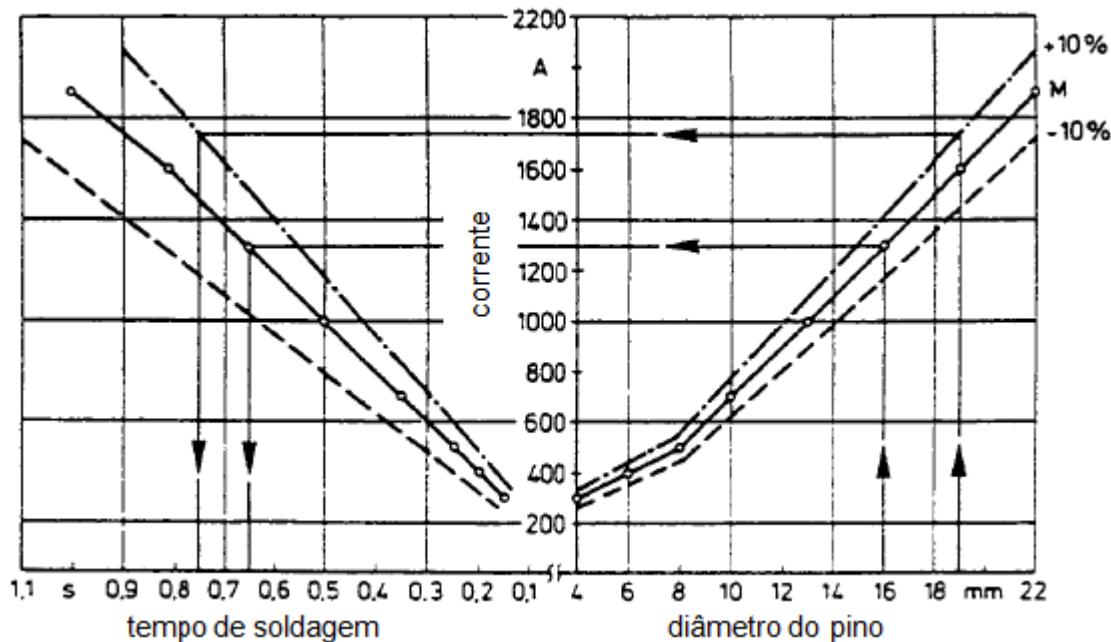
Valores orientadores para a corrente de soldagem e tempo de soldagem podem ser aproximadamente calculados pelas seguintes equações:

$$I (A) = 80 \times d (\text{mm}), \text{ diâmetro do pino até } 12 \text{ mm}$$

$$I (A) = 90 \times d (\text{mm}), \text{ diâmetro do pino de } 12 \text{ a } 25 \text{ mm}$$

$$T (s) = 0,04 \times d (\text{mm})$$

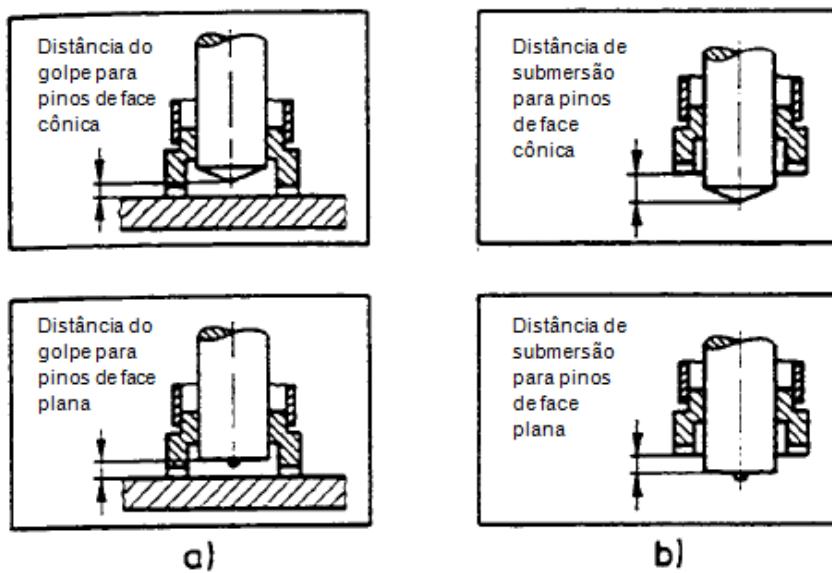
Os parâmetros exatos são mostrados nas figuras 4 e 5.



**Figura 4:** Corrente e tempo de soldagem dependem do diâmetro do pino, soldagem do pino usual (norma DVS 0902)

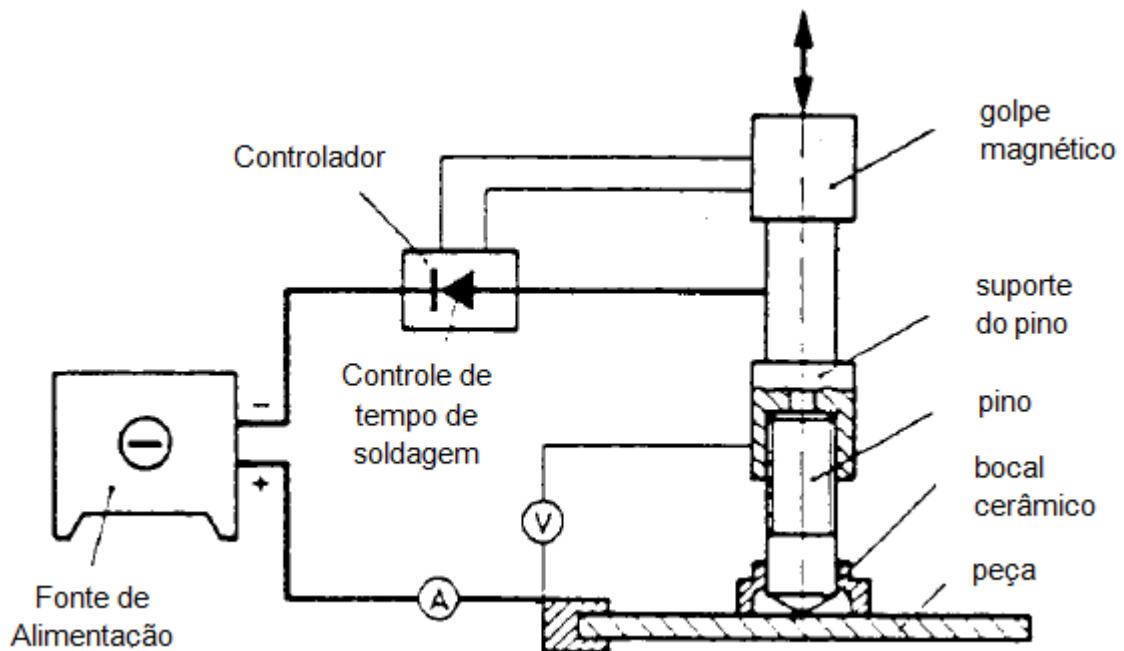
pino c/ face plana		165 a 180°	pino c/ face cônica	$\alpha = 130$ a 140°	
Diâmetro do pino mm	Distância do golpe mm	Distância da submersão mm	Distância do golpe mm	Distância da submersão mm	Velocidade de submersão mm/s
6	1.6	> 2.5	1.0	> 3.0	Aprox. 200
8	1.8	> 2.5	1.0	> 3.5	
10	2.0	> 2.5	1.5	> 4.0	
13	2.5	> 3.0	2.0	> 4.5	
16	3.0	3.0	2.0	5.0	Aprox. 100
19	3.5	4.0	2.5	5.5	
22	4.5	4.0	3.0	6.5	

**Figura 5:** Distância do golpe, velocidade submersa em função do diâmetro do pino e formato da face do pino. (norma DVS 0902)



**Figura 6:** Golpe e distância submersa em função da face do pino à distância submersa em função da face do pino (norma DVS 0902). A adaptação do golpe e a distância submersa devem ser feitos na pistola de soldagem.

#### 4. Equipamento de soldagem para a soldagem a arco de pinos sob pressão

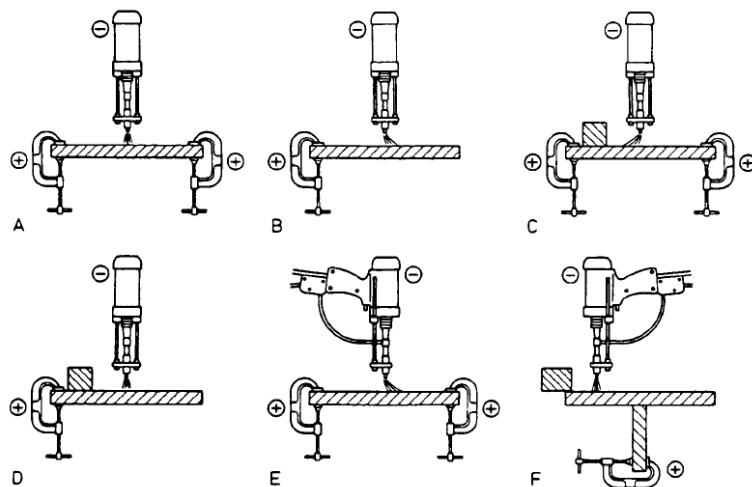


**Figura 7:** Representação esquemática de uma máquina de soldagem por arco de pinos sob pressão (norma DVS 0902).

O bocal cerâmico é utilizado para a solda de conformação e proteção e deve ser removido após a soldagem.

## 5. Peculiaridades

Se a massa do grampo é fixada de forma imprópria ou massas magnéticas estão em uma distância curta para a área de soldagem a arco é desviado para fora de sua direção vertical. O efeito é chamado de sopro magnético.



**Figura 8:** Ação de sopro magnético e métodos para evitar (norma DVS 0902).

## 6. Materiais Soldáveis

Soldagem a arco de pinos sob pressão permite a união de aço não ligado e ligado, aço inoxidável e aço resistente, alumínio e ligas de alumínio.

Material do pino Material de base	Aço sem chumbo e.g. S235, S355	Outros aços sem chumbo	Aço Inox	Aço resistente ao calor	Alumínio e suas Ligas
Aço sem chumbo e.g. S235, S355	1	2	3	2	0
Outros aços sem chumbo	2	2	3	2	0
Aço Inox	3	3	1	3	0
Aço resistente ao calor	2	2	2	2	0
Alumínio e suas Ligas	0	0	0	0	2

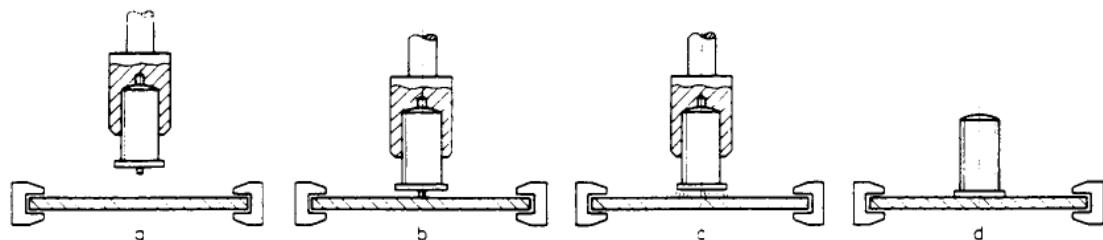
Explicação dos números de soldabilidade:

- 1 = Muito adequado (para transmissão de energia)
- 2 = Adequado (restrito para transmissão de energia)
- 3 = Aplicação limitada (não para a transmissão de energia)
- 0 = Não adequado

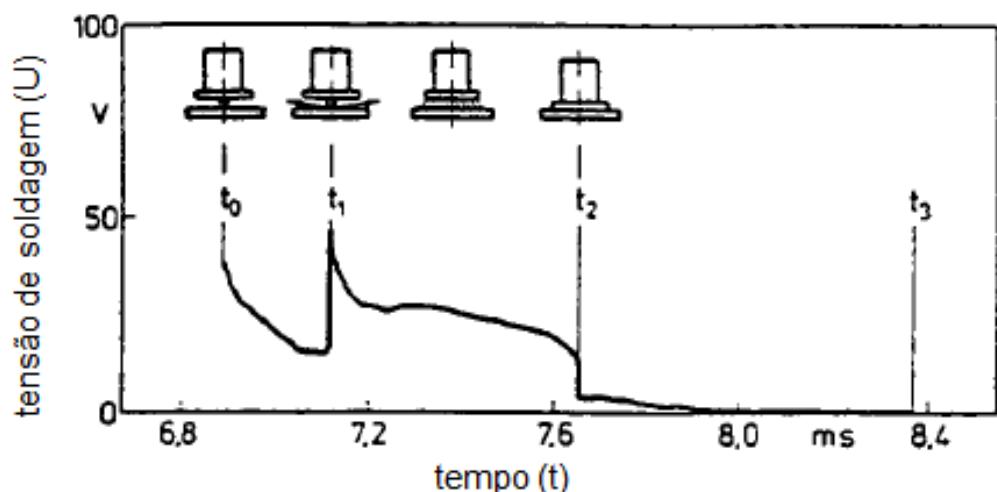
**Figura 9:** Soldabilidade de diferentes pinos e combinações de materiais de base (BH 100, norma DVS 0902)

## 7. Soldagem de pinos com ponta de ignição

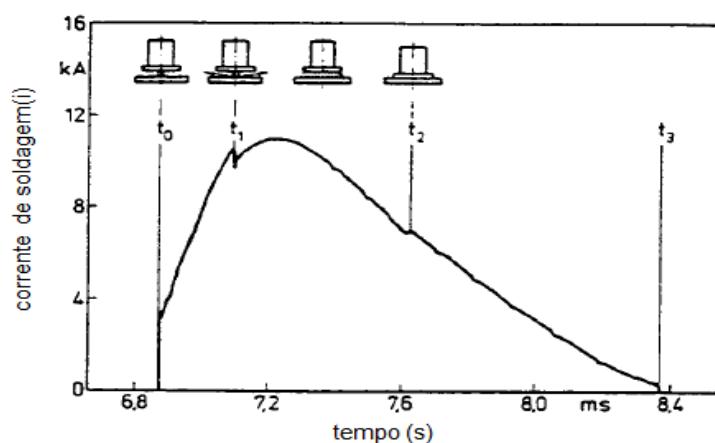
- A fixação do pino dentro do suporte de pino
- Ligar a tensão para a ignição do arco
- O arco se espalha ao longo da face do pino
- Recalcamento e solda final



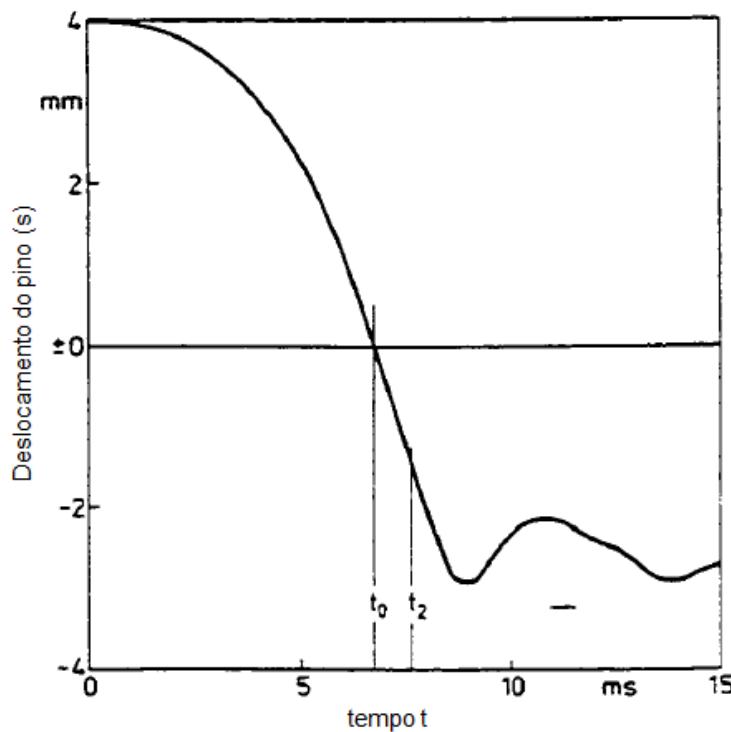
**Figura 10:** Fases da soldagem de pinos com ponta de ignição. (norma DVS 0903)



**Figura 11:** Tensão de soldagem, em função do tempo (norma DVS 0903)



**Figura 12:** Corrente de soldagem em função do tempo (norma DVS 0903)



**Figura 13:** Movimentação do pino em função do tempo (norma DVS 0903)

## 8. Parâmetros

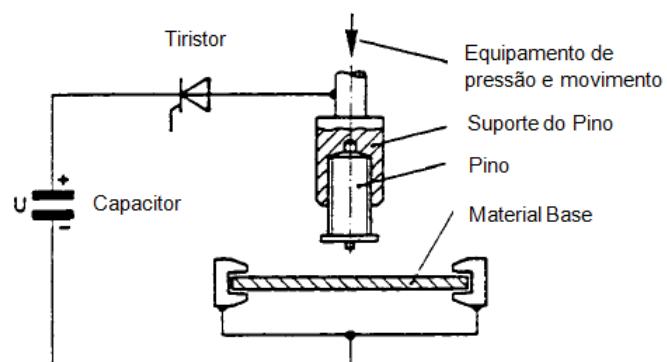
Potência conectada: até 1 KVA

Capacidade do capacitor: 0,05 - 0,2 F

Tempo de soldagem (arco): 0,4 - 0,6 ms

## 9. Máquinas de soldagem para a soldagem de pino com ponta de ignição

As máquinas de solda geralmente são portáteis, parciais ou totalmente mecanizadas.



**Figura 14:** Representação esquemática de uma máquina de solda para a soldagem de pinos com ponta de ignição.

## 10. Peculiaridade

A soldagem de pinos com ponta de ignição não precisa bocal cerâmico.

## 11. Materiais soldáveis

A soldagem de pinos com ponta de ignição permite a soldagem de ligas de ferro sem chumbo, alumínio, cobre e bronze.

O efeito do calor é muito baixo, de modo que geralmente mostra o lado oposto, sem marcas em sua superfície.

material do pino	material da chapa						
	aço brando ≤ 0.3 % C	chapa de aço, galvanizado	CrNi 1.4301 / 1.4303	CuZn 37 (Ms 63)	AlMg 3	Al 99.5	AlMgSi
St 37-3	1	2	1	1	0	0	0
CrNi- steel 1.4301/1.4303	1	2	1	2	0	0	0
CuZn 37 (Ms 63)	1	1	2	1	0	0	0
AlMg 2	0	0	0	0	1	2	1
Al 99.5	0	0	0	0	2	1	2
AlSi 12	0	0	0	0	1	2	1

Soldabilidade: 1 bem adequado, 2 bastante adequado, quando seguido procedimento, 0 não é possível

**Figura 15:** Soldabilidade de diferentes materiais e combinações de materiais (norma DVS 0903)

## 12. Folga inicial do capacitor na soldagem de pinos

A folga inicial do capacitor não é quase utilizada na prática na soldagem de pinos.

## 13. Vantagens e Desvantagens

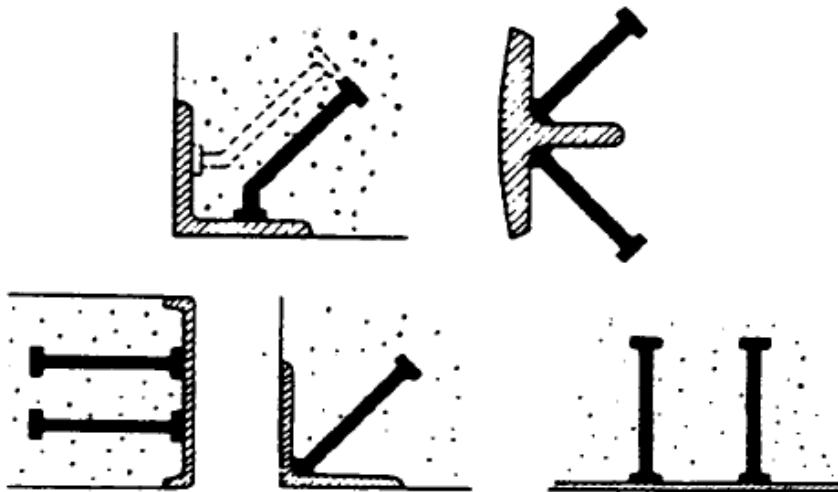
Vantagens:

- 1) soldabilidade de diferentes combinações de materiais
- 2) Tempo curto de soldagem
- 3) Adaptável a automação
- 4) Soldabilidade dos pinos em cantos (BH)

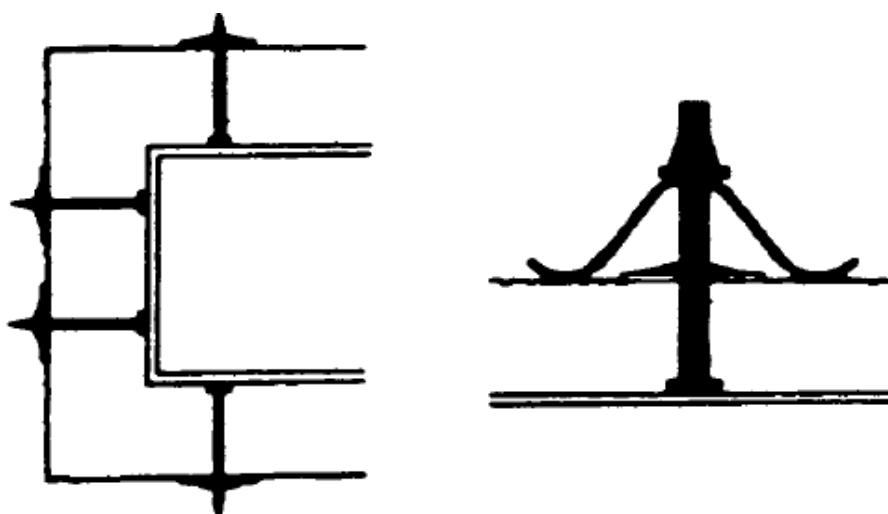
Desvantagens:

- 1) Falta de fusão, devido à ação de sopro
- 2) A preparação da superfície deve ser muito cuidadosa
- 3) Para evitar a cristalização o contato entre o suporte do pino e o pino deve estar limpo livre de óxidos.
- 4) Solda de bulbo

## 14. Aplicações



**Figure 16:** Blindagem de áreas e bordas de concreto (norma DVS 0902)



**Figure 17:** Fixação de tapetes de isolamento (norma DVS 0902)

Pinos para a combinação de construção em aço com concreto, pinos para fixação dos tapetes de isolamento, fichas, pinos roscados.

## 15. Bibliografia

- [1] Merkblatt 459: Bolzenschweißen im Bauwesen. Beratungsstelle für Stahlverwendung (Auflage 1984), Düsseldorf.
- [2] DIN 8563 Teil 10 (11.83): Sicherung der Güte von Schweißarbeiten; Bolzenschweißverbindungen an Stahl – Bolzenschweißen mit Hub- und Ringzündung.
- [3] DIN 32500 Teil 1 bis 4: Bolzen für Bolzenschweißen mit Hubzündung.
- [4] ANSI/AWS C 5.4-84: An American National Standard Recommended Practices for Stud Welding. American Welding Society, INC .
- [5] DVS-Merkblatt 0902: Lichtbogenbolzenschweißen mit Hubzündung; DVS-Verlag Düsseldorf.
- [6] DVS-Merkblatt 0903: Lichtbogenbolzenschweißen mit Spitzenzündung; DVS Verlag Düsseldorf.