

1. FUNDAMENTOS DO PROCESSO DE SOLDAGEM A RESISTÊNCIA

1.1 Definição de Solda a Ponto e Seus Parâmetros.

A soldagem dos metais é produzida nas superfícies de contato pelo calor gerado por uma resistência para a passagem de corrente elétrica

A solda a ponto, é a junção de duas ou mais peças de metal pela aplicação de calor e pressão. O calor necessário para a fusão é gerado por uma baixa voltagem, alto pulso de amperagem de energia elétrica. Conforme a corrente flui, o metal é aquecido e as peças caldeadas. Quando a corrente é desligada, a pressão é mantida enquanto o metal esfria.

A solda se forma no local da maior resistência elétrica. Este local se encontra entre as peças a serem soldadas e é chamada superfície de contato. A alta resistência elétrica na superfície de contato causa o calor a ser gerado durante a passagem da corrente. O calor gerado $\text{Calor} = I^2Rt$ onde I = corrente, R = resistência e t = duração da corrente. O calor deve ser o suficiente para o metal atingir o estado plástico (pouco antes de fundir), para que então a pressão possa caldear os metais juntos.

O controle bem-sucedido da solda ponto é feito com a regulagem das três principais variáveis:

- 1 – Corrente
- 2 – Tempo
- 3 – Pressão

Todas as três têm efeitos na quantidade de calor de solda desenvolvida ($\text{Calor} = I^2Rt$). A variação no calor de solda afetará diretamente o tamanho da lente de solda.

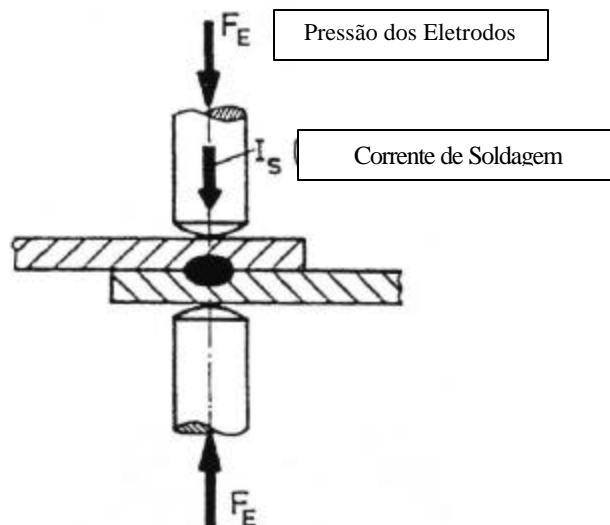
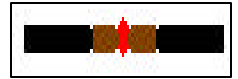


Figura 1) Soldagem a resistência



1.1.1 Corrente

As mudanças na corrente de solda têm a maior influência no desenvolvimento do calor. Esta é a variável mais crítica. Uma pequena mudança no total da corrente pode afetar bastante a solda. Por exemplo, se você baixar a corrente de solda em 10%, o calor é reduzido em aproximadamente 20%.

1.1.2 Tempo

O processo de solda ponto à resistência normalmente tem quatro diferentes etapas. O tempo de cada etapa deve ser precisamente controlado mesmo que cada um dure apenas uma fração de segundo. O tempo usado é medido em ciclos, sendo que o padrão americano de linha de frequência é de 60 ciclos por segundo (60 hertz). As etapas são as seguintes:

1.1.2.1 Tempo de Pré-Pressão

É a etapa do início do ciclo de solda, antes da corrente de solda se iniciar, na qual as pontas dos eletrodos se unem. Elas são mantidas sob pressão nas peças para assegurar a força adequada ao momento em que a corrente de solda se inicia.

1.1.2.2 Tempo de Subida

Esta etapa é quando a corrente de solda é liberada até o momento em que ela atinge o seu valor programado para a soldagem.

1.1.2.3 Tempo de Solda

Esta etapa é logo após o Tempo de Subida, quando a corrente elétrica flui através das peças durante a solda.

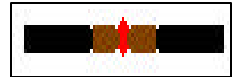
1.1.2.4 Tempo de Pós-Pressão

Nesta etapa os eletrodos estão ainda em contato com as peças sob pressão, depois que a corrente de solda já parou. Isto permite que o caldeamento da solda seja completo e que esta se resfrie ou solidifique sob pressão.

1.1.2.5 Intervalo

É uma etapa de intervalo antes que comece o próximo ciclo, durante a qual os eletrodos não estão em contato com as peças. Isto permite que os braços dos eletrodos se posicionem para a próxima solda.

O tempo tem o segundo maior efeito sobre o desenvolvimento da solda. Por exemplo, se você diminuir o tem em 10% você baixou o calor entre 8% e 10%.



1.1.2.6 Tabela de tempo de solda

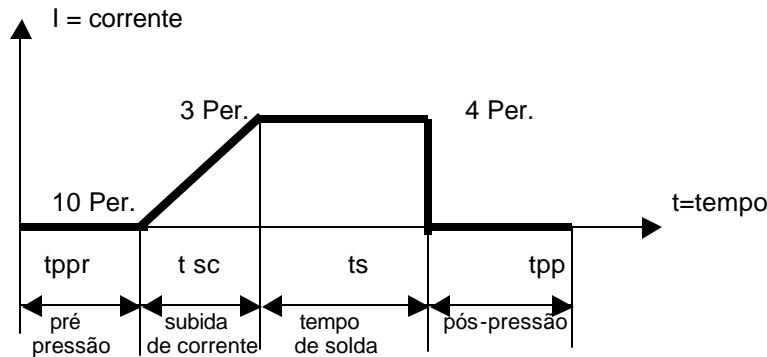


Figura 2) Tempos de soldagem

- Até 1,0 mm de espessura da chapa cerca de 10 até 12 períodos.
- Até 1,5 mm de espessura da chapa cerca de 12 até 15 períodos.
- Até 2,0 mm de espessura da chapa cerca de 14 até 18 períodos.
- Chapa grossa ou enquanto tem diferentes tolerâncias de aceitação de chapa, subida de corrente de até 12 períodos. Chapa fina 0,5 até 0,6 cerca de 15 períodos.

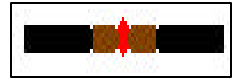
50 Hz → 1 período tem 20 ms.
60 Hz → 1 período tem 16,67 ms.

1.1.3 Pressão

A pressão é também uma importante variável no processo de solda ponto à resistência. Quando a pressão é diminuída, mais calor é produzido. Isto porque a resistência elétrica aumenta nas superfícies de contato quando a pressão é diminuída. Quando a corrente passa através desta área, a maior resistência gera mais calor. Por exemplo, se a pressão é reduzida em 10% o calor é aumentado em aproximadamente 5% devido à maior resistência.

Existem alguns limites na redução de pressão para conseguir mais calor. A redução da pressão pode causar uma excessiva formação de fendas (rachaduras) na superfície, respingamento do metal da solda ou desgaste excessivo do eletrodo. Baixar a pressão causa mais calor a ser gerado entre a capa do eletrodo e a peça em si. Pressões excessivas, entretanto, causam menos problemas à qualidade da solda que as outras três variáveis. Porém existem alguns problemas relacionados com altas pressões: necessidade de alta corrente (devido à baixa resistência), tempo de solda mais longos, grandes fissuras no metal ou deformação das peças.

Pressão e força são sempre confundidas. Quando a pressão (a ar ou hidráulica) é aplicada a uma área (superfície cilíndrica), uma força é desenvolvida. A força é um produto do tempo de pressão que a área recebe: Força (kN) = Pressão (bar) x Área (mm²). A força é transmitida do cilindro, baixando o adaptador, para as faces dos eletrodos. A força aplicada na área de contato da face de solda e das peças gera uma pressão na área de solda.



2. ELETRODOS, MATERIAIS DOS ELETRODOS E REFRIGERAÇÃO

Eletrodos são elementos condutores de eletricidade. A eles cabe uma importância de destaque na realização de tarefas de soldagem. Eles transferem a pressão (força do eletrodo) e a corrente de soldagem, devendo ser prolongada vida útil. São peças que desgastam e, portanto, são recambiáveis.

O desgaste é causado por alta solicitação térmica associada a altos esforços de soldagem / pressão do eletrodo (força de eletrodo). O desgaste depende da geometria dos eletrodos, dos materiais a serem soldados (resistência das chapas), bem como da seleção dos parâmetros “tempo” e “intensidade de corrente” (corrente de soldagem). Além disso, a refrigeração é fator de influência decisiva.

No caso de uma seleção desfavorável dos parâmetros (por exemplo, tempo de soldagem alto, corrente de soldagem muito alta associados a uma refrigeração errada), a vida útil dos eletrodos (quantidade de pontos) é pequena.

Em casos normais de mudança de superfície durante a aplicação de solda, as deformações dos eletrodos são compensadas pela elevação da corrente de soldagem. Modernos comandos permitem, através de dados colhidos de forma empírica, programar a elevação automática da corrente de soldagem (“Stepper Program”).

Se a área de contato dos eletrodos se deformar demasiadamente em condição normal de variação de superfície, tornando-se muito grande, não sendo possível ajustar a corrente (pontos deformados grandes demais), terá chegado o fim da vida útil; os eletrodos deverão ser substituídos.

2.1 Materiais dos Eletrodos

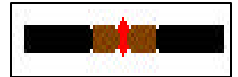
Os materiais para eletrodos devem apresentar as seguintes características:

- Bom condutor térmico e de eletricidade.
- Grande dureza em temperaturas elevadas.
- Alta resistência à temperatura e alto ponto de fusão.
- Boa usinabilidade.

2.1.1 Eletrodos de CuCrZr e CuZr

O material mais utilizado para eletrodos na indústria automobilística foi o CuCrZr (cerca de 99 % de Cu e o restante de Cr + Zr). Hoje, utilizamos o eletrodo de CuZr, pois as correntes nominais de soldagem e de fuga são menores que o CuCrZr e a condutividade elétrica deste eletrodo é maior que o CuCrZr.

Outro fator que temos para comparar entre CuCrZr e CuZr, é a formação de latão (CuZn) quando soldamos chapas galvanizadas (zinco) com eletrodos de CuCrZr. Com o latão formado durante o processo temos grandes problemas de soldagem, como um desgaste maior do eletrodo e começam os problemas de colagem do eletrodo com a chapa, causando desprendimento do eletrodo da haste, ocorrendo vazamentos da água de refrigeração e paradas não programadas na produção. Quando temos problemas com a formação de latão no eletrodo, temos problemas com a condutividade elétrica, acarretando principalmente em pontos de solda soltos. Para solucionar este problema precisamos elevar a corrente e o tempo de soldagem, com isso a vida do eletrodo também diminui. Usando-se eletrodos de CuZr, não temos a formação de latão uma vez que o zircônio não deixa o cobre reagir com o zinco formando latão.



2.1.2 Nitrode (Cu Al₂O₃)

Nitrode é uma liga por dispersão de cobre fortalecida por partículas de óxido de alumínio (Al₂O₃) e conformados a frio. Nitrode é o material com a maior rentabilidade que há no mercado, para a aplicação de soldas a resistência (Solda a Ponto).

2.1.2.1 Diagrama do Procedimento e Características do Nitrode (Cu Al₂O₃)

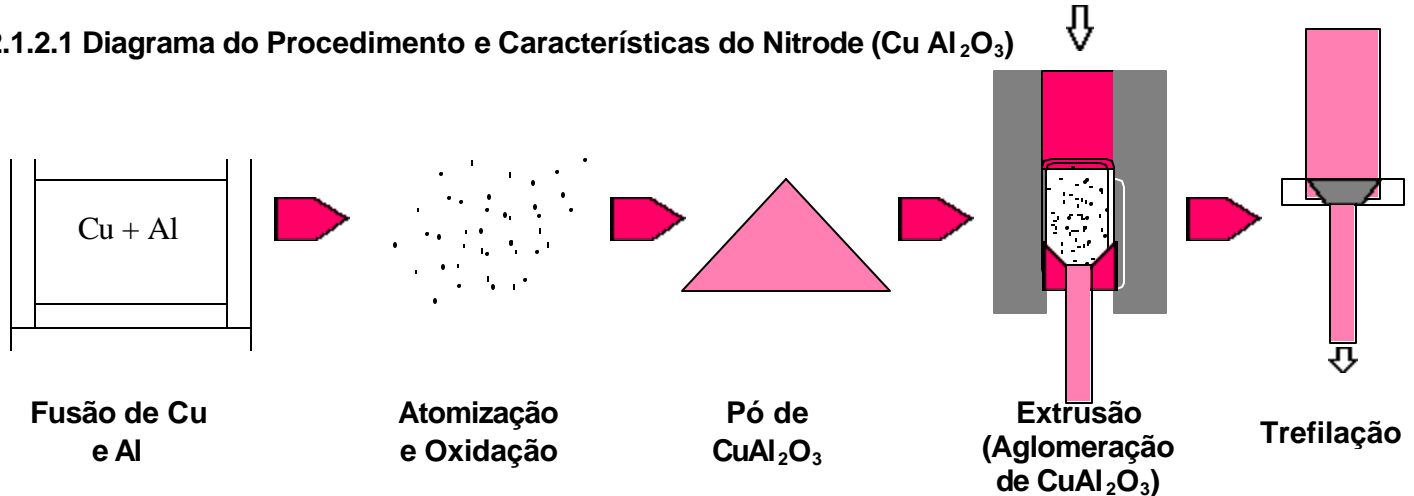


Figura 3) Processo de produção do Nitrode (CuAl₂O₃)

O princípio do Nitrode é substituir os elementos metálicos problemáticos. O Nitrode é uma liga de Cobre Puro com Cerâmica (Al₂O₃). A liga de Al₂O₃ apresenta uma estabilidade excepcional a altas temperaturas, pois o ponto de fusão do Al₂O₃ é 2300 °C. O Nitrode não apresenta elementos de liga metálica. Nenhuma reação catalizada por Cr entre o Cobre e o zinco. A liga refratária de Al₂O₃ repele os líquidos. Reduz a formação de latão e com isso o grudamento na chapa.

2.2 Propriedades Mecânicas e Processo de Fabricação dos Eletrodos:

As avançadas tecnologias em conformação a frio, convertem a estrutura granulada do cobre reforçado pela dispersão de dióxido de alumínio (Al₂O₃), em uma estrutura não fibrosa regularmente uniforme. O Resultado é uma liga de cobre de maior dureza, para um eletrodo que nos dará soldas de maior qualidade e grande regularidade.

2.2.1 – Trefilado

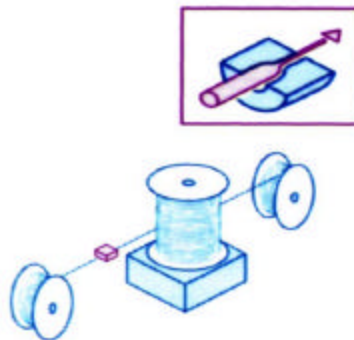


Figura 4) Trefilação da barra de cobre



2.2.2 Forjado a Frio

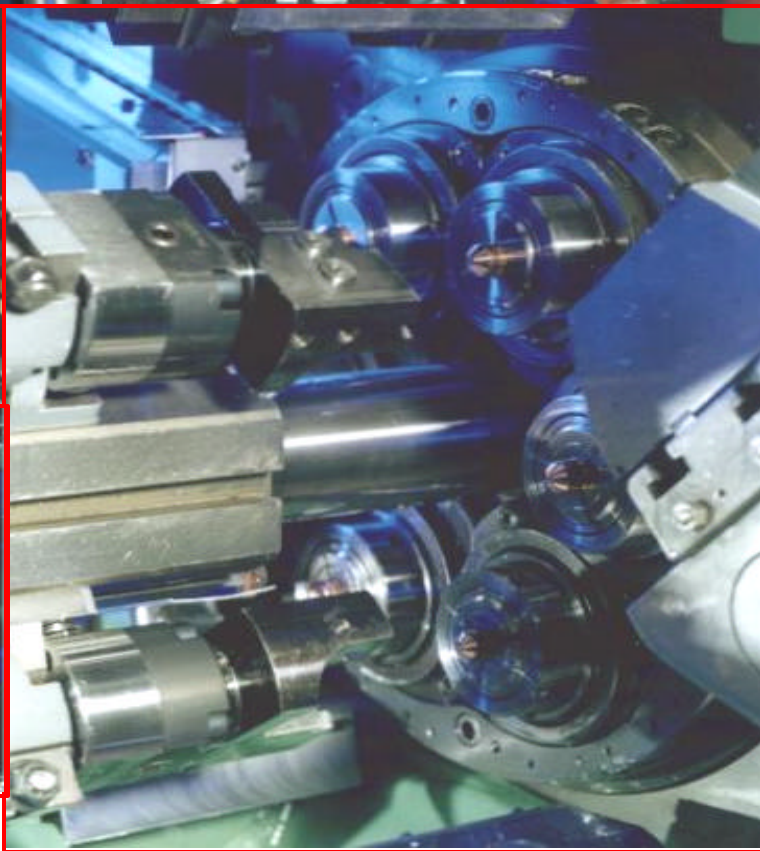
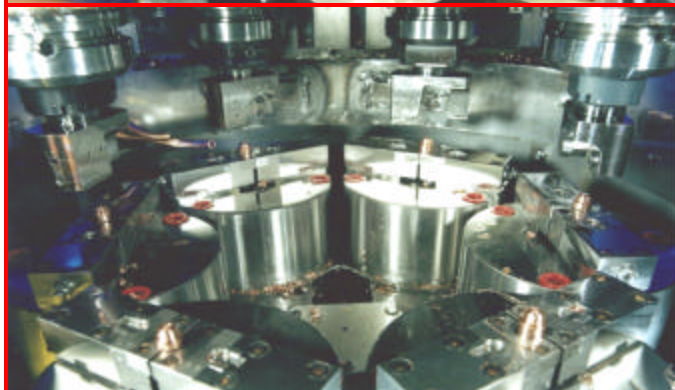
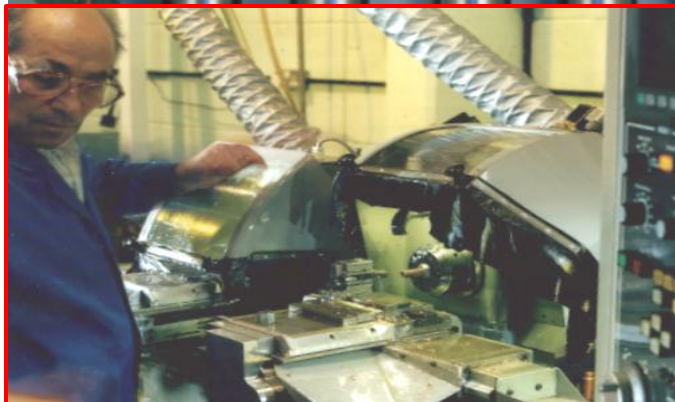
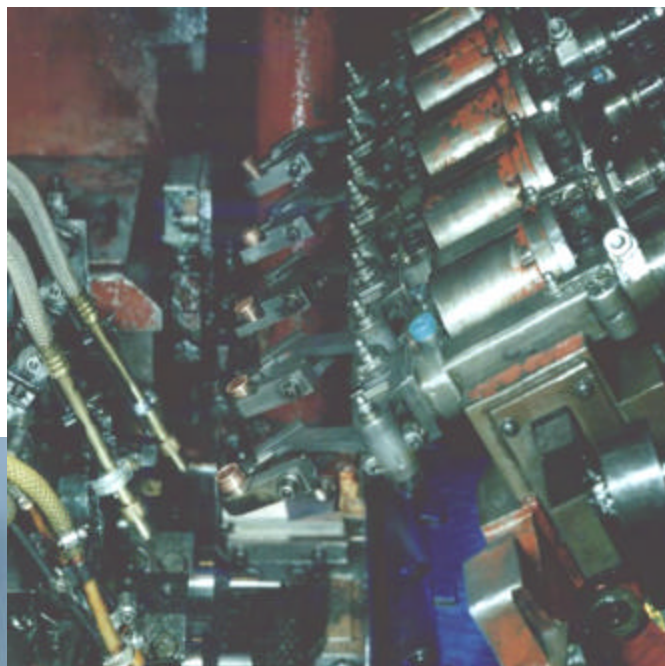
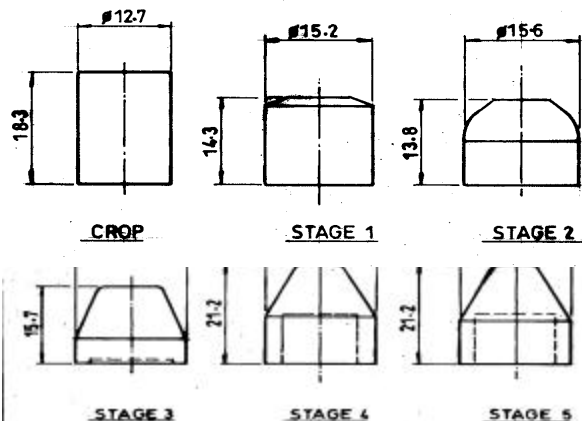
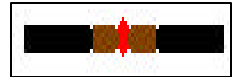


Figura 5) Processo fabricação dos eletrodos.



2.3 Resistência as Deformações

Uma boa resistência ao recozimento e excelentes propriedades mecânicas a alta temperatura, são conseqüência de uma maior número de pontos soldados com relação a outros eletrodos, antes da deformação das pontas, por excesso de diâmetro, produzido pelo achatamento.

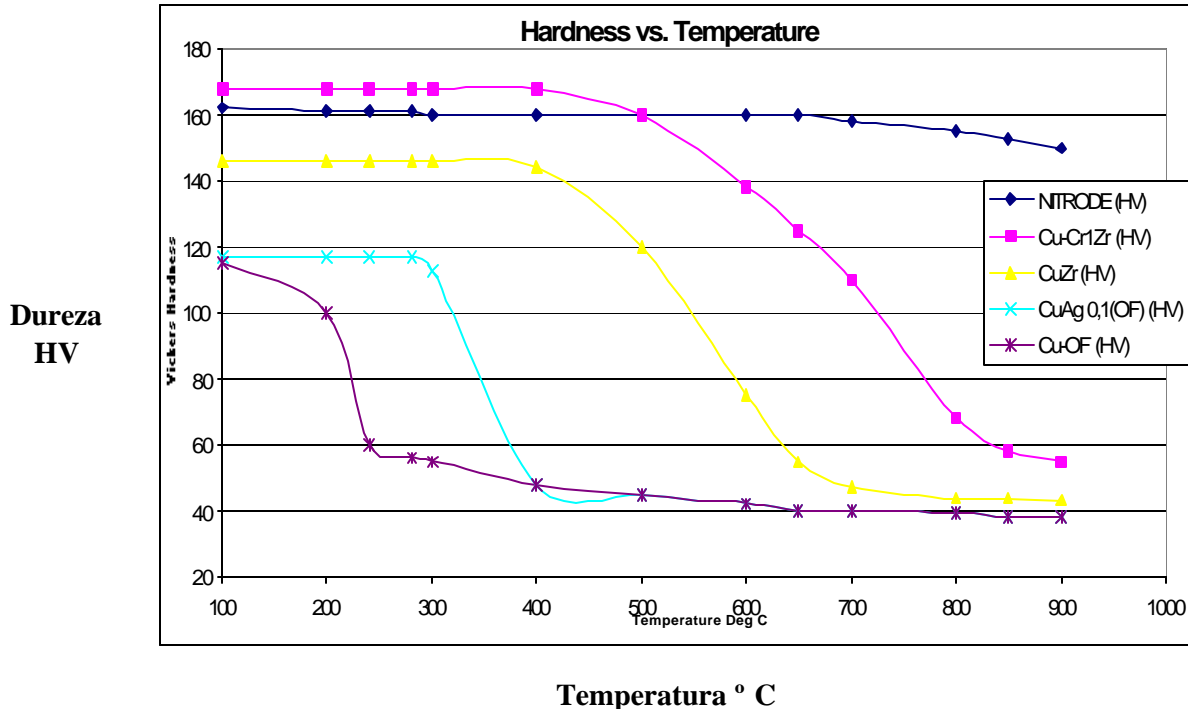


Figura 6) Gráfico Temperatura x Dureza

2.4 Resistência ao Grudamento

O Nitrode não gruda nas chapas de aço galvanizadas ou outros tratamentos. Pois as partículas de dióxido de alumínio (Al_2O_3) são refratárias, mantendo-se secas e por isso repelem o zinco e o cobre do eletrodo. Não necessita uma prévia preparação da superfície do eletrodo.

2.5 Resistência ao Recozimento

As partículas de dióxido de alumínio (Al_2O_3) permanecem estáveis dentro da sólida matriz de cobre até os + 900 °C, as partículas não se deslocam a altas temperaturas como ocorre nas ligas de elementos metálicos. O Nitrode não se recoze. O Resultado final é um eletrodo que conserva sua forma a temperaturas que outras ligas não podem alcançar.

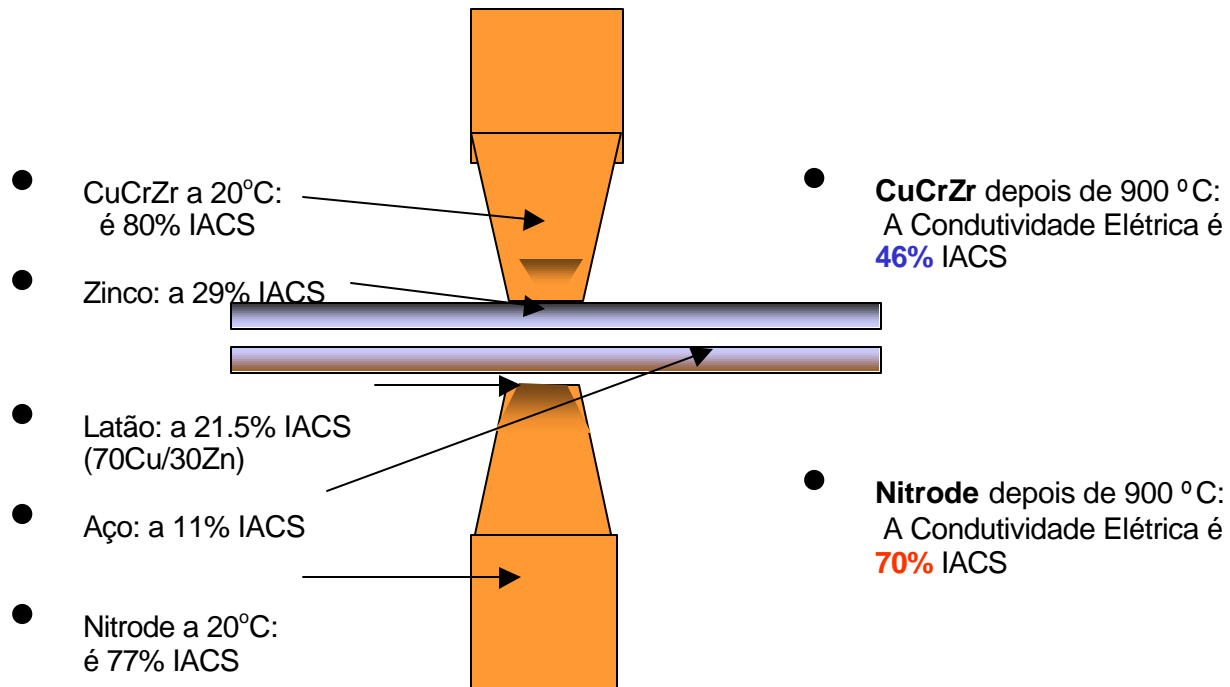


Figura 7) Condutividade elétrica dos materiais.

2.6 Melhora a Condutividade

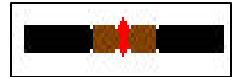
O Nitrode tem uma excelente condutividade na utilização. Por exemplo, as liças de CuCr, perdem sua condutividade quando o recozimento provoca uma precipitação na periferia da estrutura (Grão). A poluição por zinco da superfície ativa (Ponta do Eletrodo) diminui a condutividade, necessitando uma maior corrente de soldagem, o que provoca um maior recozimento e poluição da superfície do eletrodo por zinco.

- ◆ Nitrode não perde condutividade elétrica a alta temperatura.
- ◆ Nitrode impede a poluição por zinco.
- ◆ Nitrode requer aproximadamente 10% menos de energia.
- ◆ Nitrode permite uma grande variedade de parâmetros de solda.

3. PROBLEMAS NO PROCESSO DE SOLDAGEM A RESISTÊNCIA

3.1 Pontos de Solda Soltos

- ◆ Tempo de solda muito curto.
- ◆ Área de contato de eletrodos muito grande (pouco ou não fresado).
- ◆ Pequena corrente devido a:
 - a) Sobre-carga nos cabos de solda ou shunts.
 - b) Conexões dos cabos de soldagem estão com mau contato ou não estão com apertos suficientes.
 - c) Controle de solda com erros de programação nos parâmetros.
 - d) Diferentes tolerâncias de aceitação.



- e) Fuga de corrente na chapa, dispositivo, haste, braço ou ponto de solda.
- f) Impedância secundária.
- g) Diferentes áreas de contato dos eletrodos por diferentes espessuras da chapa, por causa de diferente fresagem ou resfriamento do eletrodo.
- h) Diferentes espessuras do zinco, exemplo: em peças que foram zincadas em banho.
- i) Chapas fosfatizadas, problema acontece após 40 a 80 pontos de solda.
- j) Força de eletrodos muito grande por defeito na válvula proporcional ou regulagem.

3.2 Eletrodos Grudados na Chapa por Causa

- ◆ Falta ou pouca refrigeração das capas de eletrodo.
- ◆ Área de contato muito pequena (não fresado ou tipos de eletrodos errados)
- ◆ Muita corrente de soldagem.
- ◆ Muito tempo de soldagem.
- ◆ Força de soldagem muito pequena (mau ajustado ou alicate não agüenta muita força ou válvula proporcional com defeito)

3.3 Faíscas por Causa

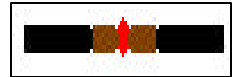
- ◆ Eletrodos que deslizam sobre as chapas.
- ◆ Força de eletrodos muito pequena.
- ◆ Corrente de soldagem muito alta.
- ◆ Muito tempo de soldagem.
- ◆ Pouco tempo da pré-pressão e pós-pressão.
- ◆ Resfriamento inadequado.
- ◆ Problemas de assentamento das chapas.
- ◆ Sujeira em cima ou entre chapas.

4. PROCEDIMENTO DE PARAMETRIZAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE MÁQUINAS DE SOLDA A PONTO

O procedimento de solda é introduzido no controle munindo-o dos parâmetros necessários para uma boa solda. Uma boa solda é aquela que atende as especificações da engenharia para um tamanho mínimo de lente de solda. Para se obter uma solda aceitável, os parâmetros devem ser determinados.

Como regra de ajuste, a ponta do eletrodo deve ser 1,5 mm maior do que o tamanho mínimo do ponto de solda necessário. Por exemplo, para um ponto de solda de tamanho mínimo de 5 mm, uma ponta de 6,5 mm seria a recomendada. O tamanho mínimo de solda necessário depende da espessura dos materiais que estão sendo soldados. No geral, os materiais mais finos (leves) requerem uma solda menor do que os materiais mais grossos (pesados).

Um bom começo no desenvolvimento de procedimentos de solda é usar um dos que já estão desenvolvidos. Estes podem vir das especificações da corporação (Empresa), Procedimentos AWS ou procedimentos publicados pela RWMA. Estes procedimentos podem ser usados como referência. Você precisará realizar testes de arrancamento para medir o diâmetro da lente de solda e verificar se o tamanho é aceitável.



Abaixo, temos alguns valores de parâmetros que podem ser utilizados como referência, durante o processo de otimização dos parâmetros de soldagem:

4.1 Tabela de Orientação para Soldagem Chapas Finas Galvanizadas

Espessura da Chapa (S) mm	Força do Eletrodo (kN)	Tempo de Soldagem (ms)	Corrente de Soldagem (kA)	Diâmetro Mínimo do Ponto de Solda (mm)
0,5	1,8	120	8 – 9	3,0
0,8	2,5	160	10 – 11	3,8
1,0	3,0	200	11 – 12	4,2
1,2	3,5	240	12 – 14	4,6
1,5	4,5	320	14 – 16	5,1
2,0	6,0	400	16 – 18	5,9
2,5	8,0	560	18 – 20	6,6

4.2 Fórmula para Calcular o Diâmetro Mínimo do Ponto de Solda

$$D_{\min} = 4,2 \times \sqrt{S}$$

D_{\min} = Diâmetro Mínimo do Ponto de Solda.

S = Espessura da Chapa mais Fina a Ser Soldada.

Espessura da Chapa

S = 0,60 mm
S = 0,75 mm
S = 0,80 mm
S = 1,00 mm
S = 1,50 mm
S = 2,00 mm
S = 2,50 mm

Diâmetro Mínimo

$D_{\min} = 3,3$ mm
 $D_{\min} = 3,6$ mm
 $D_{\min} = 3,8$ mm
 $D_{\min} = 4,2$ mm
 $D_{\min} = 5,1$ mm
 $D_{\min} = 5,9$ mm
 $D_{\min} = 6,6$ mm

4.3 Ensaio de Uniões por Solda Ponto

Como procedimentos de linha de produção para avaliação de uniões soldadas, os testes de descascar, desenrolar e o teste do cinzel, em conformidade com o formulário DVS 2916, tem se aprovado. Geralmente são tomadas soldas unitárias, ou de solda ponto seriadas, em preparativos simples de testes, ou ainda diretamente no objeto, sem colher um determinado valor de medida, levando-o até a ruptura. O diâmetro mínimo do ponto de solda tem um valor de:

$$D_{\min} = 4.2 \times \sqrt{S}$$

D_{\min} = Diâmetro Mínimo do Ponto de Solda.

S = Espessura da Chapa mais Fina a Ser Soldada.

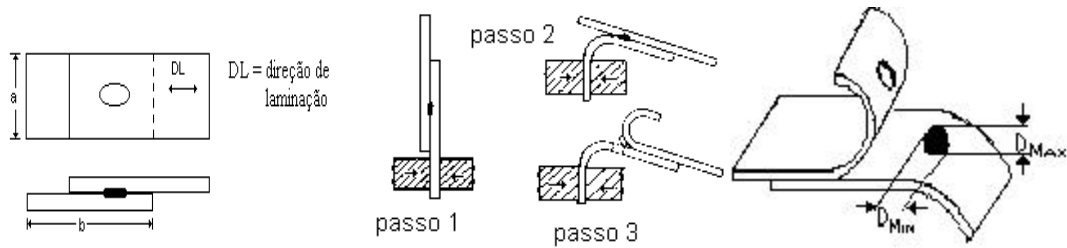
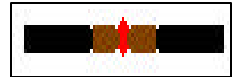


Fig. 8a) Corpos de prova **Fig. 8b)** Teste arrancamento **Fig. 8c)** $D_{Médio} = (D_{máx} + D_{Mín}) / 2$

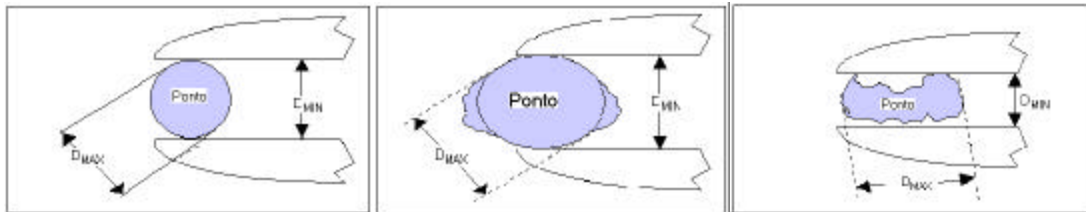


Fig. 8d) Ponto circular

Fig. 8e) Ponto oval

Fig. 8f) Ponto irregular

Figura 8) Medição do ponto soldado.

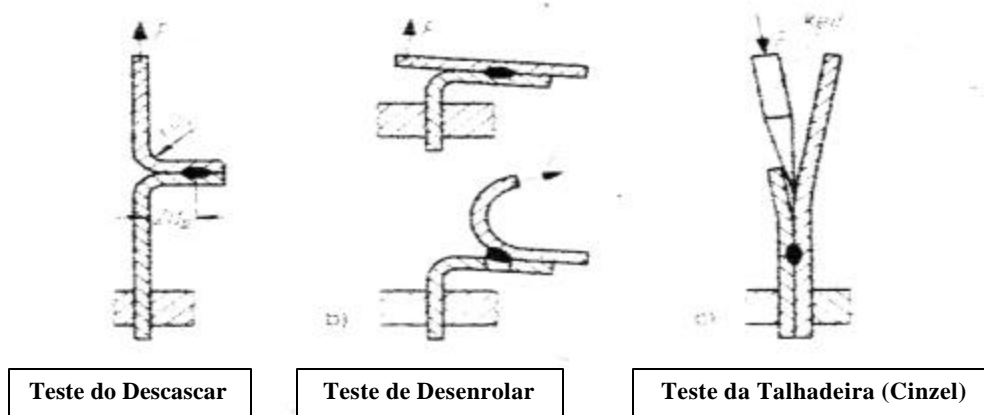


Figura 9) Testes para medir o diâmetro do ponto soldado.

Há uma escala de variáveis dentro de uma solda aceitável pode ser feita. Esta escala vai desde um tamanho mínimo até o espalhamento do ponto de solda. Essa escala é conhecida como “lóbulo” ou “janela” de solda. O tamanho da janela de solda é um bom indicador de como são as capas forjadas. A largura da janela significa que uma solda aceitável pode ser obtida mesmo com a variação dos parâmetros de solda.

Como o diâmetro na ponta da capa cresce com o número de pontos de solda, a superfície da solda cresce ou se achata. Como a solda cresce no diâmetro, o tamanho da solda diminui.

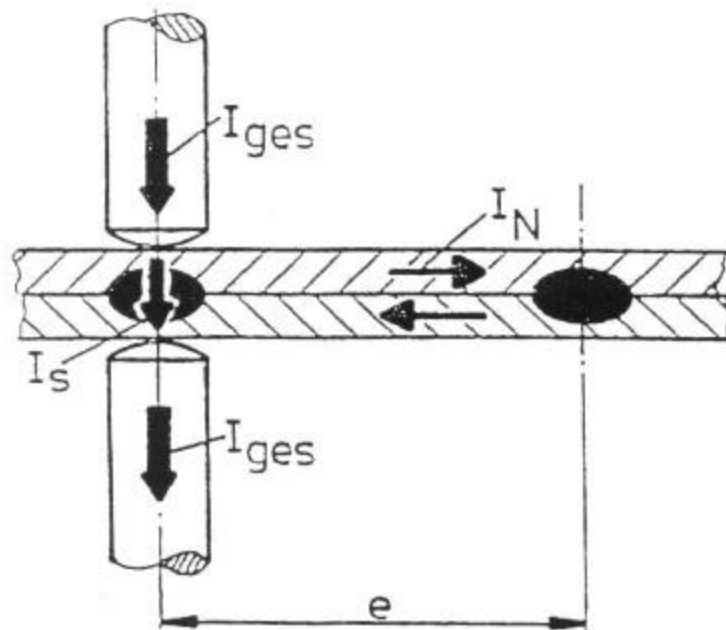
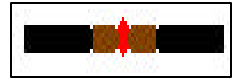


Figura 10) Distância entre os pontos de solda.

Eventualmente você chegará num ponto onde a solda é muito pequena. Neste ponto é o momento de usinar a capa, trocar ou usar um sobre-corrente.

A sobre-corrente aumenta a corrente para compensar o aumento da superfície da solda. Este acréscimo de corrente vai gerar uma grande lente de solda. Para determinar a sobre-corrente, você precisa achar o ponto onde o tamanho da solda está muito pequeno, e ajustar a corrente antes que a solda se torne inaceitável. Você deve fazer testes destrutivos para medir o tamanho da lente de solda e saber quando ela está muito pequena. O valor de corrente deve ser gradualmente aumentado e a solda medida até o seu tamanho ficar aceitável.

5. EFEITO DAS DERIVAÇÕES

Se os pontos de solda ficarem muito próximos, então uma parte da corrente de soldagem flui pelos pontos em redor. Esta parte da corrente não contribui para a soldagem. O segundo ponto de uma seqüência sempre terá então, um diâmetro menor quando os dados da programação forem constantes. Para se obter o mesmo diâmetro da lentilha, é preciso intensificar a corrente para o segundo ponto.

I_{ges} = Carga total de corrente de soldagem

I_s = Corrente total atuante no ponto

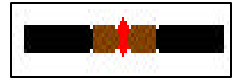
I_N = Corrente que flui para o segundo ponto

e = Distância dos pontos.

S = Espessura da chapa mais fina.

$$I_s = I_{ges} - I_N$$

$$e = 2,5 \times S$$



6. FUGAS DE CORRENTE

As imprecisões das peças (defeitos de estamparia), geometria desfavorável das peças (acesso desfavorável ao local do ponto), contato do braço do alicate ou haste com o dispositivo de soldagem ou peça causam as derivações (fugas de corrente), ocasionando problemas de pontos soldados ou com o diâmetro da lentilha (diâmetro do ponto de soldagem) menor que o especificado. Para evitar que isto ocorra, usam-se fitas isolantes para braços e porta eletrodos.

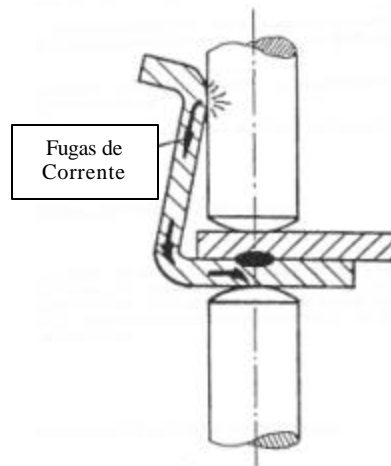


Figura 11) Fugas de corrente.

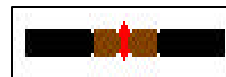
7. VERIFICAÇÃO DE PROBLEMAS OU DEFEITOS NO PROCESSO DE SOLDAGEM

O objetivo desta seção é dar condição às pessoas nas pesquisas de defeito de problemas com solda a resistência durante a parametrização ou durante o processo de soldagem. Isto auxiliará as pessoas em uma aproximação lógica e consistente da resolução dos seus problemas de solda. Obtendo assim uma boa solda e uma máxima utilização das capas de eletrodos.

Passo 1 – Reunir informações das pessoas reportando os problemas. “Quando o problema começou?” “Qual a frequência com que isto ocorre?”.

Passo 2 – Examinar visualmente as soldas, e se necessário faça testes destrutivos para uma análise mais minuciosa.

Passo 3 – Obter informações recentes do equipamento de solda. Isto pode ser feito conversando com o operador, supervisor, manutenção, etc. “Alguma coisa foi consertado ou trocada recentemente?” Um exame visual do equipamento poderá lhe dizer o que foi trocado recentemente, ou se algum parâmetro de soldagem foi alterado e não foi documentado.

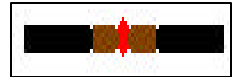


Passo 4 – Verificar os seguintes itens no equipamento de soldagem:

- Aperto das conexões.
- Força entre os eletrodos.
- Parâmetros de soldagem estão conforme documentação.
- Capas de eletrodos estão corretas.
- Alinhamento das pontas dos eletrodos.
- Verificar se está ocorrendo fuga de corrente.

8. PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA.

Descrição da Tarefa	Frequência									Anexos	Observações
	1x por turno	1x por dia	1x por semana	1x por mês	1x por trimestre	1x por ano	Produção	Manutenção	Outro		
1- Trocar capas de eletrodo.							x				Conforme programa solda
2- Fazer limpeza do alicate.	x						x				
3- Testar Mangueira de ar e água, verificar vazamentos.		x					x				
4- Verificar danos nos braços/mancais suas vedações e isolações.		x					x				
5- Nos alicates C, verificar a guia do braço móvel.		x					x				
6- Verificar as proteções que protegem as mangueiras.		x					x				
7 - Verificar desgaste e ajuste sobre-cobre nos dispositivos de soldagem.			x				x				Avaliar e trocar se necessário
8- Verificar alinhamento das hastes.				x				x			
9- Verificar vazamento de ar no cilindro.			x				x				
10- Limpar anel giratório.			x				x				
11- Trocar isolamento elétrico dos braços e haste.				x			x				
12- Medir pressão de soldagem dos alicates.				x				x			
13- Mangueiras e cabos, verificar apertos.					x			x			
14- Controlar shunts e cabos de solda quanto à condutividade e desgaste das lâminas.					x			x			



15- Controlar folga nos mancais do cilindro e corpo do alicate.					X			X		
16- Limpeza das conexões elétricas.					X			X		
17- Verificar o firme assento dos contatos elétricos.					X			X		
18- Limpeza das conexões hidráulicas e água de refrigeração.				X				X		
19- Verificar disjuntor: acionamento e reaperto nas conexões elétricas.					X			X		
20- Verificar a movimentação dos braços: facilidade de abertura.					X			X		
21- Verificar as vedações dos cilindros.							X	X		
22- Lubrificar camisas do cilindro.							X	X		
23- Aperto geral dos parafusos.							X	X		
24- Verificar inversão dos manômetros.							X	X		
25- Verificar inversão de alicates 01 e 02.							X	X		
26- Trocar Pino de fixação do alicate na haste de sustentação no balancim.							X	X		