

Versatilidade, ainda que tardia!

O limite da curiosidade do ser humano é o horizonte. Como a gente nunca chega ao horizonte, porque ele está sempre bastante longe, não há limite para essa curiosidade. Só que o caminho da curiosidade leva sempre à criatividade. Por causa disso, não há meios de limitar a criatividade humana. E o que isso significa para o desenvolvimento tecnológico dos processos de fabricação? Tudo!

Assim, caro aluno, para cada processo conhecido, em períodos de tempo cada vez mais reduzidos, surgem variações mais e mais avançadas tecnologicamente. Ou, então, criam-se novos processos na tentativa de suprir falhas e limitações dos processos existentes. Tudo isso em nome da competitividade, da produtividade e da qualidade.

Na soldagem, não poderia ser de outra maneira. Então, nesta aula, vamos estudar um processo de soldagem que usa um princípio diferente dos que estudamos até agora. É a soldagem por resistência. Vamos a ela!

A ordem é versatilidade!

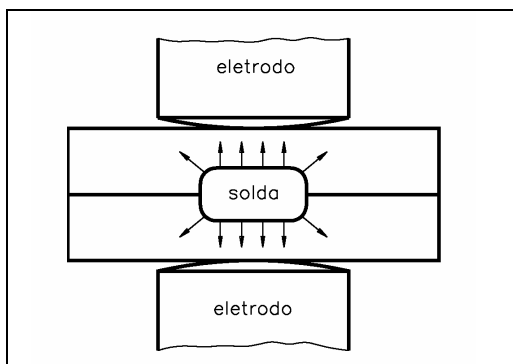
A soldagem por resistência é um dos métodos mais versáteis de união de metais que existe. Essa versatilidade se refere ao tipo de peças a serem soldadas, com relação a espessura, formato, materiais etc. Refere-se, também, ao equipamento que, com pequenas alterações, pode ser adaptado à soldagem de diferentes tipos de peças.

Mas, o que é exatamente a soldagem por resistência? Uma das primeiras coisas a aprender em relação a esse processo, é que o calor gerado não vem de uma fonte como um arco elétrico ou a chama de um gás. Basicamente, é um processo de soldagem baseado na pressão e na resistência elétrica.

Vamos trocar isso em miúdos: a soldagem por resistência compreende um grupo de processos pelos quais a união das peças acontece em superfícies sobrepostas ou em contato topo a topo, por meio do calor gerado pela resistência à passagem da corrente elétrica (Efeito Joule) e pela aplicação de pressão.

Efeito Joule é o resultado da transformação da energia elétrica em energia térmica. É pelo efeito Joule que a resistência do chuveiro aquece a água do nosso banho.

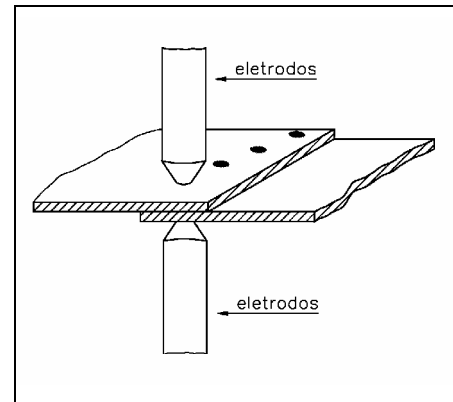
Esse fenômeno acontece da seguinte maneira: um par de eletrodos conduz a corrente elétrica até a junta; a resistência que a junta, ou as partes a serem soldadas oferecem à passagem da corrente elétrica gera o aquecimento das superfícies em contato da junta, formando a solda. O aquecimento provoca uma pequena fusão das peças a serem unidas. A aplicação da pressão garante a continuidade do circuito elétrico. Ela também permite a obtenção de soldas com baixo nível de contaminação, porque a união das partes impede a contaminação proveniente da atmosfera.



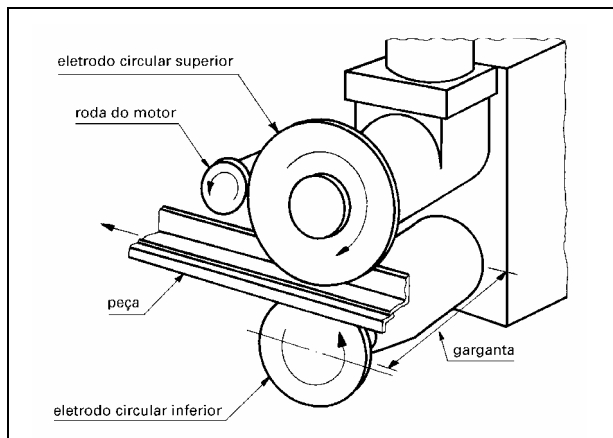
Como já foi dito antes, esse princípio está presente em um grupo de processos de soldagem, ou seja, todos eles envolvem a aplicação coordenada de pressão e passagem de corrente elétrica

com intensidade e duração adequadas. Os processos mais comuns de soldagem por resistência são:

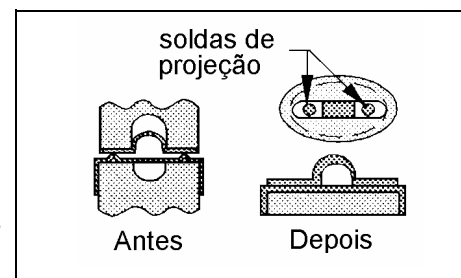
A **soldagem por pontos**, na qual as superfícies são unidas por um ou mais pontos pelo calor gerado pela resistência à corrente elétrica que passa através das peças mantidas em contato por pressão. Essa região é aquecida por um reduzido espaço de tempo, enquanto dura a passagem da corrente. Quando ela cessa, a pressão é mantida enquanto o metal se solidifica. Os eletrodos são afastados da superfície depois que se obtém cada ponto.



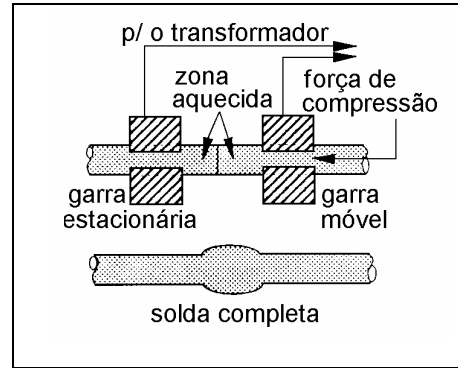
A **soldagem por costura**, na qual dois eletrodos circulares, ou um eletrodo circular e outro em barra transmitem a corrente combinada com a pressão e produzem a costura de solda que, por sua vez, consiste em uma série de pontamentos sobrepostos. A série de pontos de solda é obtida sem a retirada dos eletrodos, embora também seja possível avançar os eletrodos de forma intermitente.



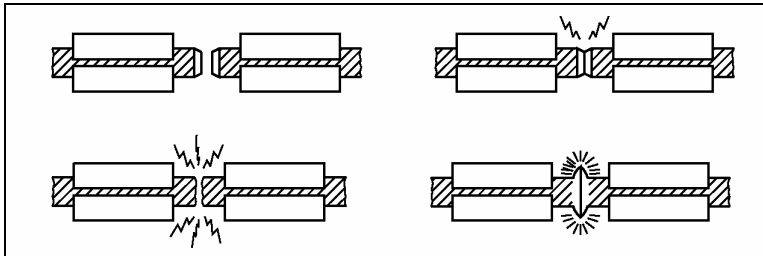
A **soldagem por projeção**, que é semelhante à soldagem por pontos, ocorre em uma parte de uma das peças, na qual existe uma projeção ou saliência obtida por meio de estampagem ou forjamento. Esse processo é empregado em chapas finas (entre 0,5 e 3,2 mm),



A **soldagem de topo**, que apresenta duas variantes: por resistência e por centelhamento. Na soldagem de topo por resistência, a união é produzida em toda a área de contato das partes a serem soldadas. As duas partes são pressionadas uma contra a outra até que o calor gerado pela passagem da corrente seja suficiente para que a união ocorra.



Na soldagem por centelhamento, a união é feita também em toda a área de contato entre as partes a serem soldadas. A diferença está no fato de que as peças são previamente energizadas, e suas faces são aproximadas até que ocorra o centelhamento. Esse processo é repetido até que a temperatura de forjamento seja atingida. Então as faces são pressionadas fortemente uma contra a outra, gerando uma considerável deformação plástica, que consolida a união.



Os processos de soldagem por resistência permitem a soldagem de diferentes metais cuja soldabilidade é controlada pela **resistividade**, pela **condutividade térmica**, pela **temperatura de fusão** e por suas características metalúrgicas. Assim, metais com elevada resistividade, baixa condutividade térmica e ponto de fusão também relativamente baixo, como as ligas não-ferrosas, são facilmente soldáveis por esses processos. Além disso, as características metalúrgicas também devem ser levadas em consideração. Por exemplo, certos aços, como aqueles com maior teor de carbono, podem necessitar de tratamentos térmicos após a soldagem para ajuste de suas propriedades mecânicas.

Resistividade é a resistência específica, ou seja, a resistência elétrica de um corpo de seção transversal uniforme com área unitária.

O quadro da a seguir resume as aplicações, vantagens e desvantagens de cada um desses processos.

Processo	Aplicações/Materiais	Vantagens	Desvantagens
Por pontos	União de chapas de até 3mm, de aço-carbono, aço inoxidável, alumínio, cobre, magnésio, níquel e ligas.	Alta velocidade de soldagem e facilidade de automação. Menor exigência quanto à habilidade do soldador.	Aumento de consumo de material e de peso por causa da sobreposição da junta. Menor resistência à tração e à fadiga.
Por costura	Juntas contínuas impermeáveis a gases e líquidos em tanques de combustíveis de autos, cilindros de extintores, tubos.	Menor largura da solda e menor sobreposição em relação à soldagem por pontos ou por projeção.	As soldas devem ser retas ou com curvaturas constantes. Comprimento das juntas longitudinais é limitado pelo percurso da máquina. Menor resistência à fadiga.
Por projeção	União de pequenas peças estampadas, forjadas ou usinadas de aço-carbono, aço inoxidável e ligas de níquel.	Possibilidade de produção de várias soldas simultâneas em um único ciclo.	O formato das projeções pode exigir mais uma operação. Em soldagens múltiplas, necessidade de controle preciso da altura e do alinhamento das peças para igualar a pressão e a corrente de soldagem.
De topo por resistência	União de arames, tubos, anéis e tiras de mesma seção transversal.		Impossibilidade de bom contato em peças de grande seção ou com formatos irregulares.
De topo por centelhamento	Barras, trilhos e tubos para oleodutos e gasodutos.	Possibilidade de soldagem de peças de formato irregular e complicado ou de grande seção.	Intenso centelhamento e conseqüente necessidade de proteção do operador e de partes do equipamento.

Pare! Estude! Responda!

Exercícios

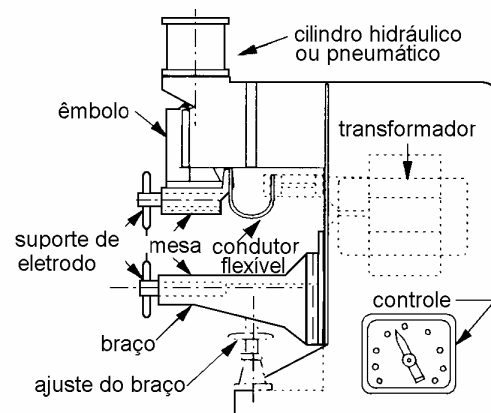
1. Assinale com um **X** a alternativa correta nas questões abaixo:
 - a) O processo de soldagem por resistência corresponde:
 1. () a união de peças em superfícies paralelas por meio de calor gerado por arco elétrico.
 2. () a união de peças em superfícies fundidas por meio de calor gerado por chama de gás.
 3. () a união de peças em superfícies estampadas por meio de calor gerado por arco elétrico com eletrodos revestidos.
 4. () a união de peças em superfícies sobrepostas ou em contato topo a topo por meio de calor gerado pela resistência do metal à passagem de corrente elétrica.
 - b) A soldagem por pontos é um processo de soldagem por resistência no qual:
 1. () as superfícies são unidas pela transmissão de calor em pontos variados da peça.
 2. () as superfícies são aquecidas e posteriormente resfriadas em pontos alterados.
 3. () as superfícies são unidas por um ou mais pontos pelo calor gerado pela resistência à passagem da corrente elétrica.
 4. () as superfícies são unidas por vários pontos e locais determinados e intermitentes geradas pela resistência do material.
 - c) A soldagem por costura é um processo no qual:
 1. () a corrente combinada linearmente une duas ou mais superfícies por pressão.
 2. () os eletrodos se alternam e preenchem os pontamentos sobrepostos em linha.
 3. () a pressão é feita sobre uma saliência em que os eletrodos sobrepõem cada série de pontos de forma intermitente.
 4. () dois eletrodos circulares, ou um eletrodo circular e outro em barra transmitem corrente combinada com pressão e produzem a costura de solda com pontamentos sobrepostos.

- d) A soldagem por projeção consiste em:
1. () unir superfícies por meio de caldeamento em chapas com espessura entre 5 e 8 mm.
 2. () unir chapas finas por meio de estampagem ou calor transmitidos por corrente elétrica.
 3. () soldar duas superfícies, de modo semelhante à soldagem por pontos, porém em uma parte de uma das peças com uma proteção obtida por meio de estampagem ou forjamento empregados em chapas finas entre 0,5 e 3,2 mm.
 4. () unir duas peças de topo em projeção por meio de estampagem ou forjamento empregado em chapas com espessuras entre 0,8 a 3,5 mm.
- e) Na soldagem de topo, as variantes são:
1. () por resistência e centelhamento.
 2. () por forjamento e centelhamento.
 3. () por prensagem e resistência.
 4. () por centelhamento e estampagem.

Equipamentos

No processo de soldagem por resistência, o equipamento é basicamente constituído por:

1. Sistema elétrico;
2. Sistema mecânico;
3. Sistema de controle.



O **sistema elétrico** consiste de uma fonte de energia, eletrodos e conexões. As **fontes de energia** mais eficientes são as formadas por um transformador de corrente contínua e um circuito retificador trifásico que apresentam menor consumo com capacidade mais elevada. Nas máquinas de soldagem por centelhamento, o sistema elétrico apresenta, ainda, um dispositivo para provocar o centelhamento entre as peças a serem unidas.

Os **eletrodos** são feitos de materiais que se caracterizam por elevada condutibilidade térmica e elétrica, por baixa resistência de contato para prevenir a queima das superfícies de contato, e por resistência mecânica suficiente para resistir à deformação decorrente da alta pressão mecânica e da alta temperatura de operação. Os materiais com essas características são as ligas à base de cobre.

Na soldagem por costura, os eletrodos são circulares, em forma de discos, que permitem a formação de pontos de solda sobrepostos, de modo a produzir uma solda contínua.

Nos processos de soldagem por resistência, os eletrodos não são consumíveis. Porém, são peças que se desgastam e devem ser substituídas sempre que necessário.

O **sistema mecânico** é composto por um chassi que suporta o transformador e os outros componentes dos sistemas elétrico e de controle, e por dispositivos para a fixação das peças e aplicação de pressão.

A aplicação de pressão pode ser feita de duas formas:

- manualmente, por meio de um motor elétrico, quando a produção é variável e há necessidade de alterar as condições ou os parâmetros da soldagem,
- por meio de dispositivos pneumáticos ou hidráulicos, nos sistemas automatizados nos quais a produção é homogênea e não necessita de ajustes.

Parâmetros, variáveis e etapas do processo

Como em todo o processo de soldagem, a realização da soldagem por resistência deve considerar uma série de variáveis. As mais importantes são:

1. Corrente de soldagem, que deve ter um valor mínimo, por sua vez, dependente da área de contato entre os eletrodos em relação as peças e das peças entre si, do material a ser soldado e de sua espessura.

2. Resistência elétrica do circuito de soldagem que corresponde à soma das resistências dos eletrodos, do contato eletrodo-peça, da resistência interna das peças e do contato entre as peças.
3. Formato e preparação dos eletrodos e a força exercida neles. Embora isso não exerça influência no calor gerado, quanto maior for a força aplicada, maior será o contato e menor será a resistência na interface peça-peça. Por outro lado, a aplicação de uma força muito pequena causa flutuação na qualidade dos pontos obtidos devido à flutuações na resistência de contato.

Em trabalhos em série, é muito importante a uniformidade das condições de soldagem. Variações nas condições das superfícies das peças ou na força aplicada podem causar defeitos nas soldas.

A escolha dos parâmetros de soldagem é feita em função do material e da espessura das peças a serem unidas. Os parâmetros típicos estão reunidos em tabelas encontradas em manuais especializados.

Atualmente, os equipamentos para soldagem por resistência estão em constante evolução o que permite a introdução de novos métodos de controle de parâmetros. Isso permite um melhor nível de controle do processo e crescente automação das etapas de soldagem.

Como o processo de soldagem por resistência engloba um grupo de variantes, vamos apresentar como exemplo, as etapas específicas da soldagem por centelhamento. Elas são:

1. Aproximação inicial e contato entre as peças para pré-aquecimento por efeito Joule;
2. Afastamento e reaproximação das peças para início do centelhamento;
3. Manutenção do centelhamento com aproximação progressiva das peças;

4. Compressão final das peças, quando as superfícies em contato sofrem deformação plástica;
5. Interrupção da passagem da corrente elétrica.

Depois da última etapa, a junta soldada pode passar por um tratamento térmico por meio de aquecimento gerado pela passagem da uma corrente elétrica de valor inferior àquela usada para pré-aquecimento e para soldagem.

Pare! Estude! Responda!

Exercícios

2. Preencha as lacunas com as alternativas corretas nas questões abaixo:
 - a) O sistema elétrico de um equipamento no processo de soldagem por resistência consiste de uma, eletrodos e
 1. () fonte de calor, conduítes
 2. () fonte de energia, conexões
 3. () fonte de calor, transmissores
 - b) Os eletrodos são feitos de materiais que se caracterizam por suacondutibilidade térmica elétrica e baixade contrato.
 1. () baixa, resistência
 2. () alta, pressão
 3. () elevada, resistência
 - c) O sistema mecânico é composto por um chassi que suporta um e os outros componentes dos sistemase de controle.
 1. () gerador, hidráulicas
 2. () transformador, elétrica
 3. () gerador, mecânicos

3. Assinale com um **X** as alternativas corretas nas questões abaixo:

A realização da soldagem por resistência de considerar uma série de variáveis, as mais importantes são:

1. () corrente de soldagem, resistência elétrica e tensão térmica.
 2. () corrente de soldagem resistência térmica e formato e preparação dos eletrodos.
 3. () resistência elétrica, tensão térmica, corrente de soldagem.
 4. () corrente de soldagem, resistência elétrica do circuito e preparação e formato dos eletrodos.
4. Ordene, numerando de 1 a 5, as etapas específicas da soldagem por centelhamento.
- a) () afastamento e reaproximação dos picos para início do centelhamento.
 - b) () manutenção do centelhamento com aproximação progressiva das peças
 - c) () interrupção da passagem da corrente elétrica
 - d) () compressão final dos picos, quando as superfícies em contato sofrem deformação plástica.
 - e) () aproximação inicial e contato entre as peças para pré-aquecimento por efeito Joule.

Gabarito

1. a) (4) b) (3) c) (4)
 d) (3) e) (1)
2. a) (2) b) (3) c)(2)
3. a) (4)
4. a) 2; b) 3; c) 5;
 d) 4; e) 1