

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS – MG

ENGENHARIA MECÂNICA

JOÃO AUGUSTO DA SILVA NETO

N. CLASS.	M 671.52
CUTTER	5 586a
ANO/EDIÇÃO	2012.

**ANÁLISE INICIAL DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS PRINCIPAIS EM
FALHA DA SOLDA A PONTO POR RESISTÊNCIA.**

**Varginha
2012**

FEPESMIG

JOÃO AUGUSTO DA SILVA NETO

**ANÁLISE INICIAL DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS PRINCIPAIS EM
FALHA DA SOLDA A PONTO POR RESISTÊNCIA.**

Projeto do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico, sob a orientação do Prof. Esp. Erik Vitor da Silva.

**Varginha
2012**

FEPESMIG

JOÃO AUGUSTO DA SILVA NETO

**ANÁLISE INICIAL DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS PRINCIPAIS EM
FALHA DA SOLDA A PONTO POR RESISTÊNCIA.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia Mecânica
do Centro Universitário do Sul de Minas –
UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção
do grau de Engenheiro Mecânico pela banca
Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Profº. Esp. Erik Vitor da Silva

Profº. Ms. Alexandre Lopes

Profº. Esp. Altamiro Caldonazo Junior

OBS.:

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por ter me dado sabedoria e competência para fazê-lo. Depois, dedico este trabalho à minha família, pela compreensão e ajuda durante todo o período deste curso.

Agradeço à minha Irmã, por todo o apoio durante este período. Agradeço aos professores, que se empenharam ao máximo para transmitir todo o conhecimento possível para a minha formação. E agradeço aos amigos de trabalho pela total ajuda em idéias, opiniões e conselhos oferecidos durante a construção deste trabalho.

“Não importa sua condição, que importa é a sua decisão.”

Prof. Pacheco

RESUMO

A aplicabilidade da solda a ponto por resistência se dá a partir do momento onde a empresa busca uma melhoria no processo de qualidade dos produtos produzidos por ela. Durante muitos tempos, foram insignificantes os desenvolvimentos deste processo, por causa de sua fácil operação, mais na prática sua situação mostra outro cenário. Nos séculos passados o processo produtivo teve a introdução de materiais para atender a necessidade de novo projeto, por isto a solda a ponto por resistência teve importância no cenário fabril, com outros processos tiveram o apoio da tecnologia para desenvolver seus equipamentos, tendo ganhado com produtividade, custo baixo da produção, diversidade de produtos utilizados, menos equipamentos, redução de falhas no processo repetitivo e também um consumo de matéria-prima menor, mostrando um processo preocupado sustentável que é primordial no dia de hoje para ajudar a natureza e também a sociedade. O objetivo deste trabalho é analisar os parâmetros principais importantes ao método de processo de solda a ponto por resistência e apresentar às pessoas uma resposta às dúvidas decorrentes das falhas durante o processo real de soldagem. Na falha do processo devido ao tempo de solda, pressão e também a temperatura, a qualidade do processo é comprometida. As necessidades dos profissionais de engenharia mecânica foram atendidas, com este trabalho abordado os parâmetros principais que estão presentes na solda a ponto por resistência, verificando as possibilidades de melhoria no controle do processo, e demonstra que a soldagem a ponto por resistência pode ser eficaz para ser utilizada em diversas empresas e produtos finais.

Palavras-chave: Soldagem de pontos por Resistência. Soldagem. Parâmetros de Soldagem.

ABSTRACT

The applicability of the resistance spot welding occurs from the moment where the company seeks an improvement in process quality of products produced by it. For many times, were insignificant the development of this process, because of its easy operation, more practice in their situation shows another scenario. In centuries past the production process was the introduction of materials to meet the need for new design, so the resistance spot welding was critical in the context factory, with another process had the support of technology to develop their equipment, having won with productivity , low cost of production, diversity of products used less equipment, reduced repetitive process failures and also a lower consumption of raw materials, a process shown concern that sustainable and vital today to help natural and also society. This study and analyze the main parameters important to the process method of resistance spot welding have people answer the questions arising from failures during the actual welding process. In the process failure due to welding time, pressure and temperature as well, the quality of the process and compromised. The needs of mechanical engineering professionals were answered, this work addressed the key parameters that are present in resistance spot welding, verified the potential for improvement in process control, and demonstrates that the resistance spot welding can be effective for company and used in diverse end products.

Keywords: Resistance welding by points, Welding, Welding parameters.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Evolução dos processos de soldagem ao longo do tempo.....	12
Figura 2- Ciclo de solda	14
Figura 3- Corte transversal de uma junta de solda a ponto por resistência	15
Figura 4- Representação esquemática de uma máquina de soldagem ponto.....	16
Figura 5- Esquema do processo de soldagem.....	17
Figura 6 – Perfil de temperatura (°C) estimada durante a soldagem	17
Figura 7- Estrutura esquemática de uma lentilha de solda solidificada considerando resfriamento ideal e uniforme	18
Figura 8- Seção transversal de um ponto soldado mostrando região fundida e zonas termicamente afetadas, ataque nital 2%, 50X.....	19
Figura 9- Microestrutura do material base da chapa a ser soldada, ataque nital 2%, 100 X 36	22
Figura 10- Microestrutura da região soldada após aquecimento, mostrando alteração térmica, porém sem a formação de lentilha soldada, ataque nital 2%, 100 X.	23
Figura 11- Seção transversal mostrando ponto de solda colado, ataque nital 2%, 40X.....	23
Figura 12- Seção transversal mostrando ponto com diâmetro abaixo do especificado, ataque nital 2%, 40X	24
Figura 13- Seção transversal mostrando ponto de solda com descontinuidade interna, ataque nital 2%, 40X	25
Figura 14- Seção transversal mostrando ponto de solda com indentação excessiva, ataque nital	26
Figura 15- Detalhe da superfície do ponto de solda, apresentando trincas superficiais.....	26
Figura 16- Seção transversal mostrando micro trincas na superfície do ponto de solda, ataque nital 2%, 200X	27
Figura 17- Seção transversal mostrando micro trinca na superfície do ponto de solda com incrustação de material base do eletrodo utilizado para a soldagem,	27
Figura 18- Possíveis problemas na realização do ponto de solda	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 A SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA	12
2.1 Definição de soldagem por resistência	12
2.2 Resistências elétricas	13
2.3 Máquinas de Soldagem a Ponto Por Resistência	15
2.4 Formação da lentilha de solda.....	16
2.5 Distribuições das temperaturas e zonas metalúrgicas.....	17
2.6 Definição dos parâmetros de soldagem.....	19
2.6.1 Corrente de soldagem	19
2.6.2 Força do eletrodo	20
2.6.3 Tempo de soldagem.....	20
2.6.4 Resistência de contato.....	20
3 PRINCIPAIS DEFEITOS ENCONTRADOS NA SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA A PONTO	22
3.1 Ponto solto (Sem fusão, Solda fria)	22
3.2 Ponto colado.....	23
3.3 Lentilha pequena	24
3.4 Descontinuidade interna (Falha no ponto)	24
3.5 Excessiva indentação (Ponto queimado).....	25
3.6 Outras Falhas De Soldagem	28
4 O ESTADO DA ARTE.....	29
4.1 Equipamentos de Média Frequência	29
4.2 Métodos de Controle de Soldagem Automático.....	30
4.3 Ultra-Sonografia do Ponto De Solda.....	30
4.4 Sistema Inteligente (Iqr).....	31
5 DESAFIOS TECNOLÓGICOS NA SOLDAGEM A PONTO POR RESISTÊNCIA.....	32
6 CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

A descoberta do processo de soldagem a ponto por resistência foi descoberto final do século pelo cientista Elihu Thomson, a mesma se desataca entre outro processo de soldagem por resistências, e sua utilização esta crescendo e tornando o produto mais competitivo no mercado, para que as empresa venha a sobreviver ao mercado globalizado nos dia de hoje.

Em princípio a solda a ponto por resistência foi indicada para peças de ate 6 mm de espessura, acima desta medida fica economicamente difícil de utilizar este processo devido à energia exigida para soldagem são muito alta.

Com o avanço das novas tecnologias que esta sendo utilizada em equipamentos de solda a ponto por resistência para melhora o controle dos parâmetros, com a frequência que houver redução de energia durante a realização de um ponto de solda, e proporcionalmente teve maior ganho em potência devido a estas inovações de recurso técnico.

Existem na soldagem a ponto por resistência os parâmetros principais para que através deles possa ter ponto que apresente geometria satisfatória e também resistência mecânica. Com grandes estudos em torno dos principais parâmetros que são tempo de solda, pressão e também a temperatura, para se evitar o surgimento de defeitos como de ponto solto, ponto colado e também formação de lentilha pequena que pode ocorrer durante o processo produtivo, devido influência de parâmetro mal planejado ou controlado.

O objetivo deste trabalho e mostrar interferência dos parâmetros principais na qualidade final do ponto de solda a ponto por resistência, como possível melhoria para processo e no controle do mesmo.

2 A SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA

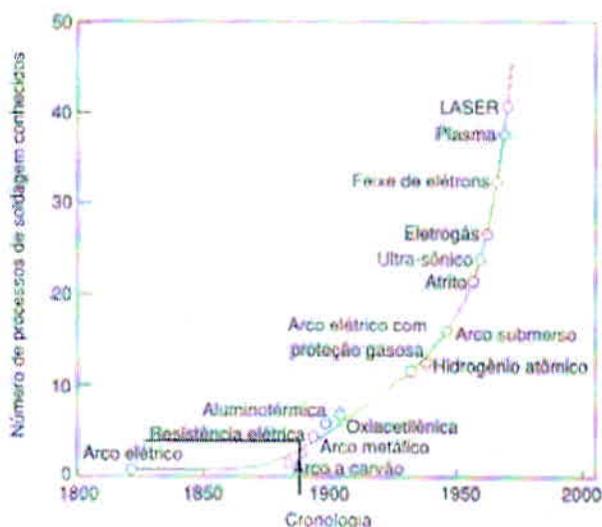
Na revisão de literatura, visando aprofundar o conhecimento sobre este assunto, serão abordadas questões como o processo de soldagem a ponto por resistência, os parâmetros principais, bem como, e a falhas que acontecem durante este processo.

2.1 Definição de soldagem por resistência

A evolução dos processos de soldagem ao longo do tempo é apresentada na Figura 1, onde nota-se que a soldagem por resistência desenvolve-se quase que concomitantemente com o desenvolvimento dos fundamentos que levaram aos processos de soldagem a arco. Bernardos, em 1885, um dos pais do arco de soldagem usou o eletrodo de carvão para fusão localizada do aço, realizando a primeira soldagem a ponto por resistência com o eletrodo de carvão.

Porém, o processo de soldagem por resistência na forma em que atualmente é utilizado foi inventado nos EUA em 1877 por Mr. Elihu Thomson. Thomson foi projetista e fabricante de motores e transformadores e sua primeira demonstração prática da soldagem por resistência foi realizada em 1879 e a primeira máquina de solda produzida em 1886; uma máquina Thomson-Gibb. O Laboratório Thomson veio a ter grande sucesso mais tarde já como Edison General Electric Company, se tornando finalmente General Electric Co. onde Thomson foi vice-presidente e diretor de pesquisas.

Figura 1- Evolução dos processos de soldagem ao longo do tempo



Fonte: (SOLDAGEM INDUSTRIAL, 2007).

No processo de Soldagem a ponto por resistência (Resistance Spot Welding), as peças sobrepostas a serem soldadas são pressionadas uma contra a outra por meio de eletrodos movimentados por forças: mecânica, pneumática, hidráulica ou uma mistura delas. Em seguida, um curto pulso de baixa tensão e alta corrente é fornecido e passa pelos eletrodos, não consumíveis, através do material base. A resistência deste material base à passagem da corrente ocasiona uma quantidade de calor nas superfícies de contato das peças proporcional ao tempo, resistência elétrica e intensidade de corrente a qual deverá ser suficiente para permitir que esta região atinja o ponto de fusão do material formando-se uma região fundida que recebe o nome de *lente de solda* (METALS HANDBOOK, 1983 apud VARGAS, 2006).

Quando o fluxo de corrente cessa, a força dos eletrodos ainda é mantida enquanto o metal de solda rapidamente resfria e solidifica. Os eletrodos são retraídos após cada ponto de solda. A área por onde passa a corrente de soldagem, a forma e o diâmetro das lentilhas de solda geradas são limitados pelo diâmetro e contorno da face do eletrodo (METALS HANDBOOK, 1983 apud VARGAS, 2006).

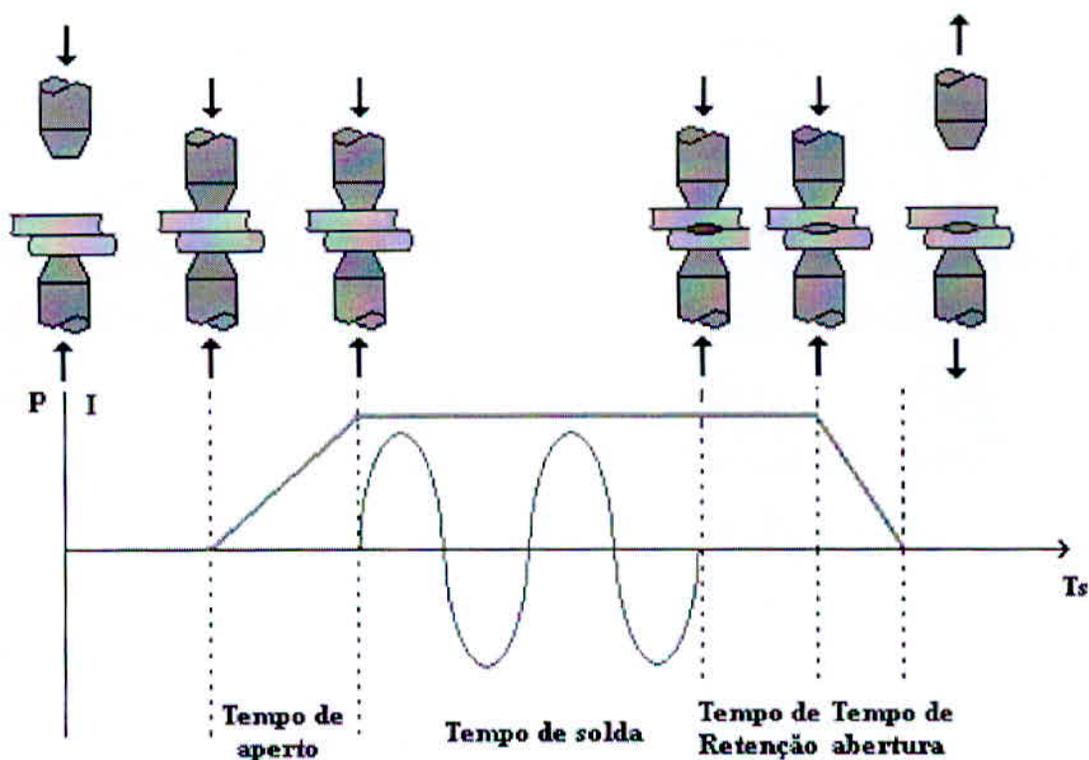
Atualmente, a soldagem a ponto por resistência é amplamente usada na indústria, principalmente na automobilística, em virtude da simplicidade, alta confiabilidade, rapidez de execução, não utilização de metal de adição e relativamente fácil controle. Obtém-se uma solda de qualidade e resistência satisfatórias quando comparado a outros processos de soldagem, não necessitando alto grau de experiência do operador (VARGAS, 2006).

2.2 Resistências elétricas

A resistência elétrica na interface entre as peças se situa geralmente no intervalo de 50 a 500 $\mu\Omega$ - mas pode ser tão baixa quanto 20 $\mu\Omega$ para o alumínio -, sendo necessária corrente com intensidade entre 5000 e 100.000 A para ocorrer fusão, o que também depende da condutividade térmica do metal envolvido, a qual é relativamente pequena para o aço e alta para o alumínio, por exemplo. As tensões empregadas variam de 1 a 20 V – muito raramente alcançam 30 V – com o tempo de aplicação da corrente variando entre menos de 0,01 s para folhas (chapas muito finas) até vários segundos para peças mais espessas (MACHADO, 1996 apud VARGAS, 2006).

Cada ponto de solda é realizado em um ciclo de soldagem, como mostrado na figura 2.

Figura 2- Ciclo de solda



Fonte: (BRANCO 2004, modificado apud VARGAS, 2006)

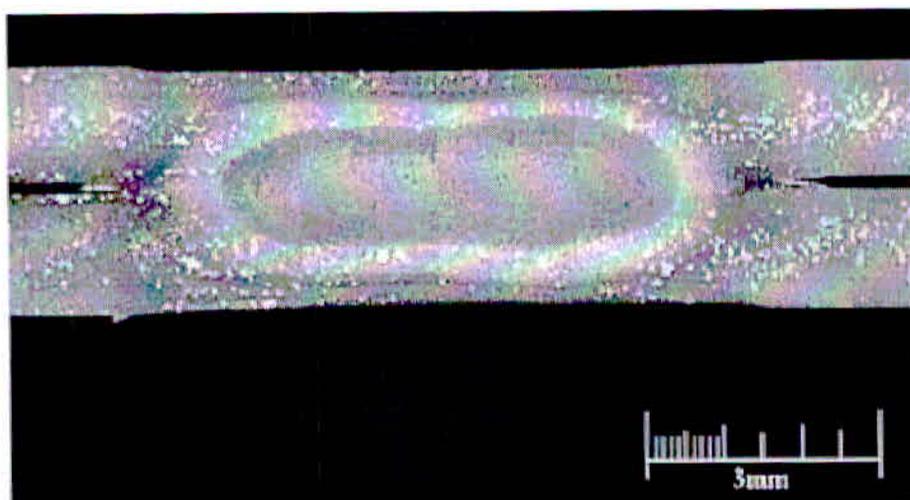
Sendo que a frequência da rede é de 60 Hz, 1 pulso terá a duração de: $1/60 = 0,0167s$.

Este processo é ideal para soldar chapas finas, até de 3 mm. Maiores espessuras de chapas podem ser soldadas, mas máquinas especiais devem ser utilizadas. A indústria automotiva, a principal usuária deste processo utiliza na construção dos automóveis entre 3000 e 4000 pontos de solda (KARAGOULIS, 1994 apud VARGAS, 2006). Figura 2 – Ciclo de solda (Branco 2004, modificado)

Diferentes materiais podem ser soldados por este processo: Aços baixa liga e baixo carbono, revestidos, inoxidáveis, alumínio e suas ligas entre outros. Titânio, Cobre e suas ligas, Magnésio e alguns metais refratários também podem ser soldados (TWI, 2005 apud VARGAS, 2006).

Existe uma diversidade de formas de realizar pontos de solda: solda a ponto simples, solda múltipla, solda em série, solda em paralelo e soldas indiretas. Um corte transversal de uma típica solda a ponto é mostrado na figura 3.

Figura 3- Corte transversal de uma junta de solda a ponto por resistência



Fonte: (EWI, 2002 apud VARGAS, 2006).

2.3 Máquinas de Soldagem a Ponto por Resistência

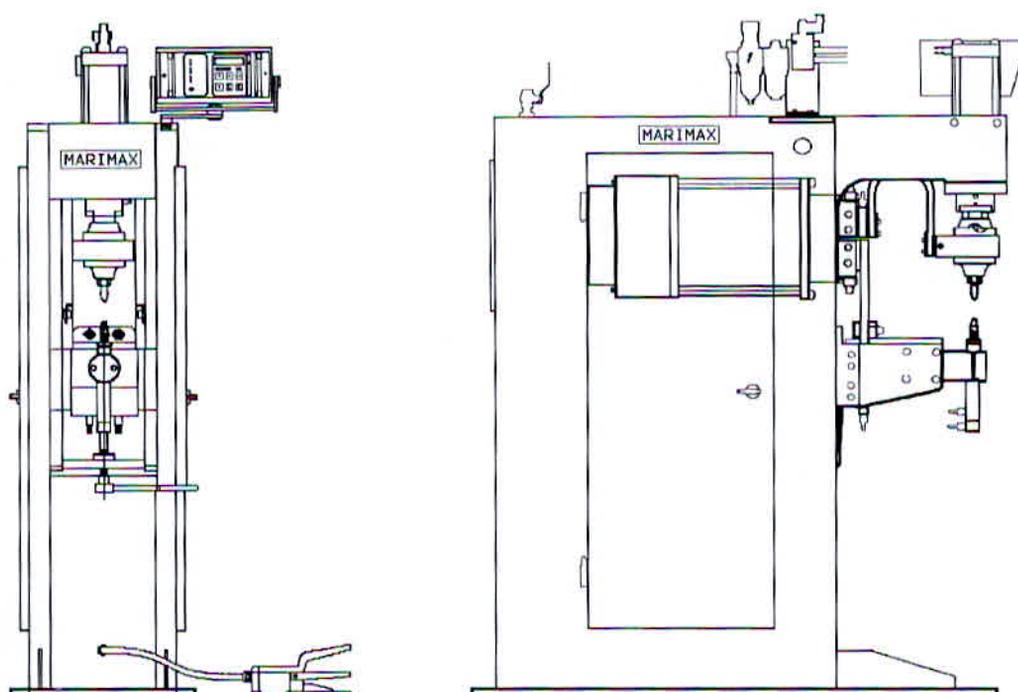
A seleção do equipamento de soldagem por resistência é usualmente determinada pelo projeto da junta, os materiais de construção, requerimentos de qualidade, normas de produção e considerações econômicas.

Todas as máquinas de solda a ponto por resistência apresentam basicamente três componentes fundamentais: sistema mecânico, circuito elétrico e o sistema de controle (WAINER, *et. al.*, 1992 apud VARGAS, 2006):

- Sistema mecânico: É composto de sistemas hidráulicos, pneumáticos e/ou mecânicos e são responsáveis pela aplicação da força do eletrodo para segurar a peça. Este sistema deve controlar a velocidade de aproximação do eletrodo a qual deve ser rápida, mas controlada, de modo que as faces do eletrodo não sejam deformadas a partir de batidas repetidas. Características mecânicas de máquinas de soldagem a ponto por resistência, tal como: rigidez, atrito, e movimento de massa, tem influências complexas sobre o processo de soldagem por resistência e qualidade de solda (TAN, *et.al*, 2004).
- Circuito Elétrico: É composto de um circuito primário que abrange a linha de alimentação incluindo um bobinado primário no transformador de soldagem, e um circuito secundário que inclui um bobinado secundário, os cabos que conduzem a corrente de soldagem através das pinças e os eletrodos até o material. Este circuito encarrega-se de fornecer a corrente aos eletrodos.

– Sistema de controle: É responsável pelo controle do processo de soldagem e fornece as seguintes funções principais: iniciar ou cessar a corrente para o transformador da máquina, controlar a magnitude da corrente a aplicar e liberar o mecanismo de força do eletrodo no tempo adequado.

Figura 4- Representação esquemática de uma máquina de soldagem ponto



Fonte: Disponível em: < [http:// www.marimax.com.br/](http://www.marimax.com.br/) > Acessado em: 10 de Junho de 2012

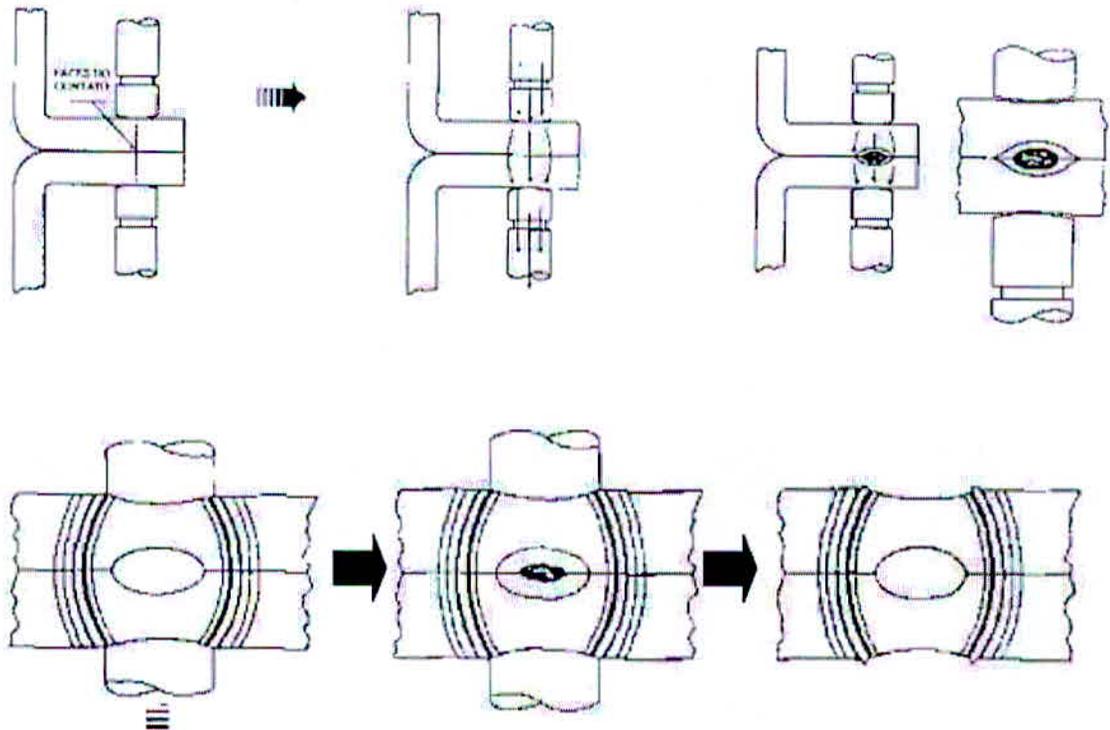
Esses três componentes (mecânico, elétrico e controle) regulam as variáveis mais importantes na soldagem por resistência: a força do eletrodo, a intensidade da corrente e o tempo de passagem da corrente de soldagem (WAINER, *et. al.*, 1992 apud VARGAS, 2006).

2.4 Formação da lentilha de solda

O diâmetro ou forma da lentilha feita por esse processo depende do diâmetro da superfície de contato do eletrodo (superior ou inferior), do calor desenvolvido durante o tempo de passagem da corrente elétrica e da pressão aplicada.

De acordo com a espessura das peças a serem soldadas, o diâmetro da lentilha e a pressão aplicada devem ser maiores, para se obter uma resistência mecânica proporcional à seção do corte. As ilustrações da Figura 4 mostram a sequência de solda em uma peça.

Figura 5- Esquema do processo de soldagem

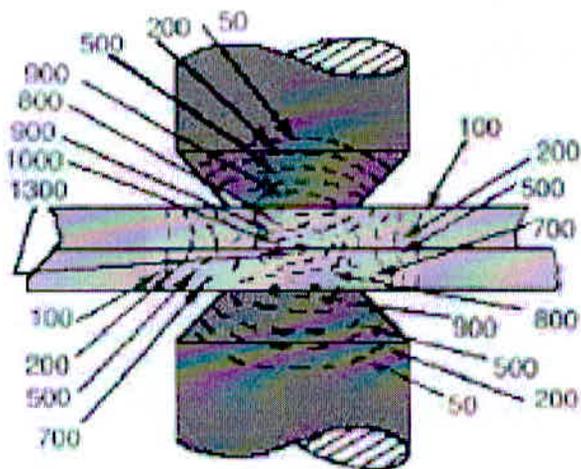


Fonte: (MARIMAX, 2005)

2.5 Distribuições das temperaturas e zonas metalúrgicas

A geração de calor conforme fala no item 2.2, produz o perfil de temperatura como mostra a Figura (6) onde é possível observar uma faixa de temperaturas variando de 50° C a 1300°.

Figura 6 – Perfil de temperatura (°C) estimada durante a soldagem



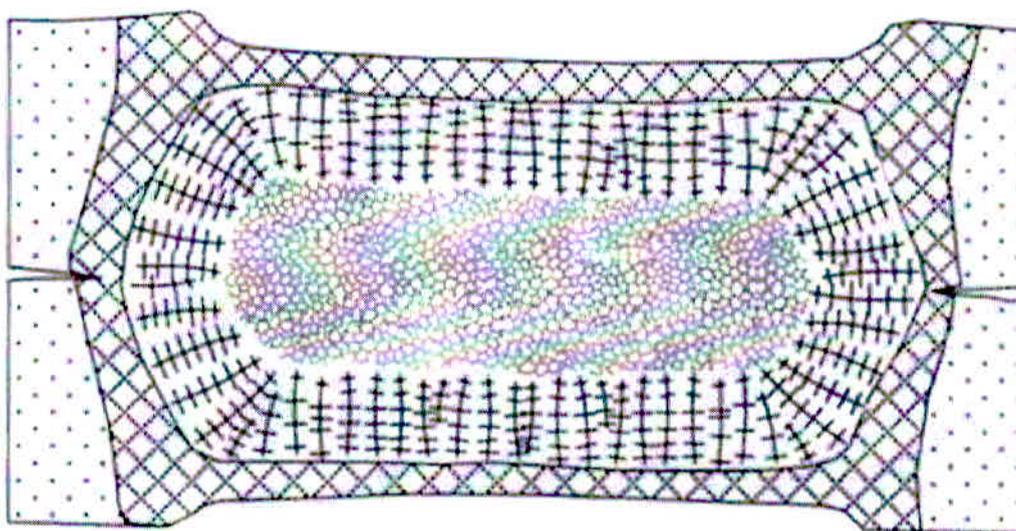
Fonte:(RWMA, 1989)

A intensidade da corrente gera calor nas superfícies de contato das chapas, devido ao aumento da resistência à passagem da corrente, oferecidas pelas superfícies irregulares e oxidadas. O calor desenvolvido é retido nesse ponto e são atingidas temperaturas elevadas, causando a fusão das chapas a serem soldadas. Pode ser observado que a temperatura máxima e o calor ocorrem nas interfaces das chapas e que diminuem rapidamente para os materiais e as interfaces dos eletrodos, onde há um ligeiro aumento de temperatura.

Com isso será formada a lentilha de solda, definida pela região onde houve fusão entre as chapas.

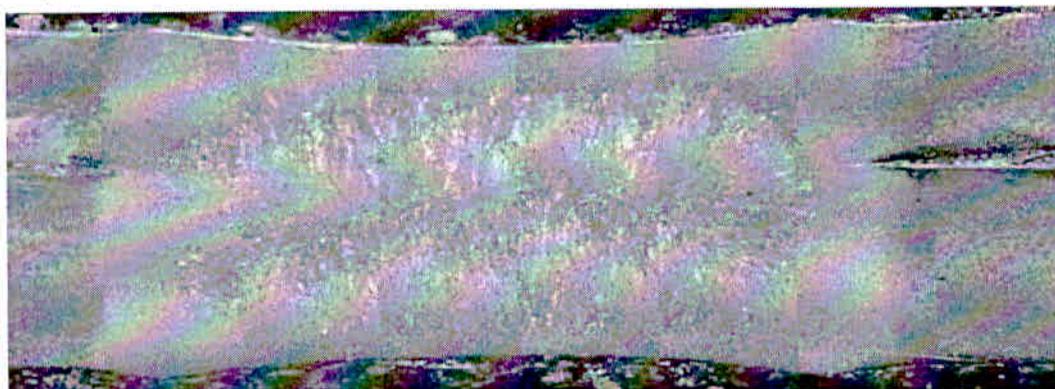
A Figuras 7 e 8 mostram exemplos de pontos de solda, considerando uma condição de resfriamento ideal (ZHANG, 2005 apud STOCCO, 2010), e observado através de técnicas metalográficas (STOCCO, 2003).

Figura 7- Estrutura esquemática de uma lentilha de solda solidificada considerando resfriamento ideal e uniforme



Fonte:(ZHANG, 2005 apud STOCCO, 2010)

Figura 8-Seção transversal de um ponto soldado mostrando região fundida e zonas termicamente afetadas, ataque nital 2%, 50X



Fonte:(STOCCO, 2003) .

Conforme mostra a Figura 8 , a estrutura metalúrgica básica de um ponto de solda em ordem (STOCCO 2003) consiste em um núcleo de estrutura baínítica, com grãos colunares direcionados preferencialmente no sentido vertical, contornado por uma região termicamente alterada, diminuindo progressivamente para uma estrutura praticamente inalterada junto às superfícies das chapas.

2.6 Definição dos parâmetros de soldagem

Parâmetros de soldagem são aquelas condições que com um determinado valor e uma adequada combinação entre eles é realizado um ponto de solda, efetivando a junção de uma junta. Os valores certos desses parâmetros são os responsáveis de uma boa ou má qualidade da solda.

Em soldagem a ponto por resistência existem três parâmetros principais: Corrente de soldagem, Força do eletrodo e Tempo de soldagem os quais são aplicados em um ciclo de soldagem. A resistência elétrica da peça não é um parâmetro, mas tem muita importância, pois ela é responsável da geração de calor devido à oposição à passagem da corrente (efeito Joule).

2.6.1 Corrente de soldagem

É fornecida pela rede de alimentação, passando pelo circuito primário do transformador, logo pelo circuito secundário chegando até a peça de trabalho. Ambas, AC e DC são utilizadas para produzir a solda (AWS, 1998 apud VARGAS,2006).

Ocasionalmente são encontrados na literatura de soldagem conceitos e fatos os quais são utilizados somente para tensão e corrente senoidal o qual diz muito pouco em relação à

real condição elétrica em soldagem por resistência. Na maioria dos artigos, por exemplo, não está claro que valores rms de corrente e tensão são utilizados nos cálculos (WEBER, G.,1994 apud VARGAS,2006). Isto foi considerado neste trabalho e será mostrado mais adiante.

Um Toróide (bobina) ou um Sensor de efeito Hall podem ser usado para medir a corrente.

O toróide, o mais usado, mede tensão induzida pelo campo magnético variável que envolve os condutores que conduzem corrente. Só pode ser usado para medir corrente AC. Este sinal de tensão pode ser eletronicamente integrado e assim fornecer uma medida indireta da corrente de soldagem. Variações na posição e orientação do Toróide podem causar variações na área efetiva logo também nos valores medidos da corrente. Estudos mostram que este erro pode ser até 5% da medição quando o Toroide não está fixo na máquina de soldagem (GEDEON, *et. al.*, 1987 apud VARGAS, 2006).

A tensão medida no secundário é muito pequena e pode ser muito fácil de ter interferência por ruídos. O pulso de voltagem pode ser medido através da peça de trabalho (GEDEON, *et.al.*, 1987 apud VARGAS, 2006).

2.6.2 Força do eletrodo

É a força que se encarrega de juntar, segurar e unir as peças de trabalho, exercendo pressão antes, durante e depois do fornecimento da corrente. Esta força também serve para forjar os metais quando eles se encontram no estado plástico. Este parâmetro está subdividido em: pré-pressão (compressão ou aperto), pressão de soldagem e pós-pressão (retenção). (VARGAS,2006.)

2.6.3 Tempo de soldagem

É a duração de fornecimento da corrente de soldagem para a realização do ponto de solda.

Deve-se ter em conta que se tempos de solda muito curtos são aplicados a corrente de soldagem tem de ser muito alta para poder atingir o calor necessário para fundir o material a soldar (VARGAS, 2006.)

2.6.4 Resistência de contato

A resistência de contato na interface das chapas a serem soldadas é a fonte fundamental de aquecimento pelo efeito Joule para metais de alta condutibilidade elétrica. É dependente da resistividade intrínseca da camada de revestimento e da dureza, do contorno e da limpeza da superfície. (VARGAS, 2006.)

Medições de resistência estática indicam que a resistência de contato depende do revestimento da superfície e da diminuição da força nos pontos de contato. É sabido que a resistência de contato entre duas superfícies lisas não tem valor tão alto como com as superfícies com materiais estranhos e que a diminuição da força do eletrodo aumenta a resistência (KAISER, *et. al.*, 1982 apud VARGAS, 2006).

Houlcroft (1979 apud VARGAS, 2006) diz que a resistência depende da resistividade e da geometria do condutor. Desde que a resistividade do material da peça de trabalho é fixa é usual criar um local de alta resistência providenciando um caminho restrito à passagem da corrente entre as partes a serem soldadas, um procedimento conhecido como concentração de corrente.

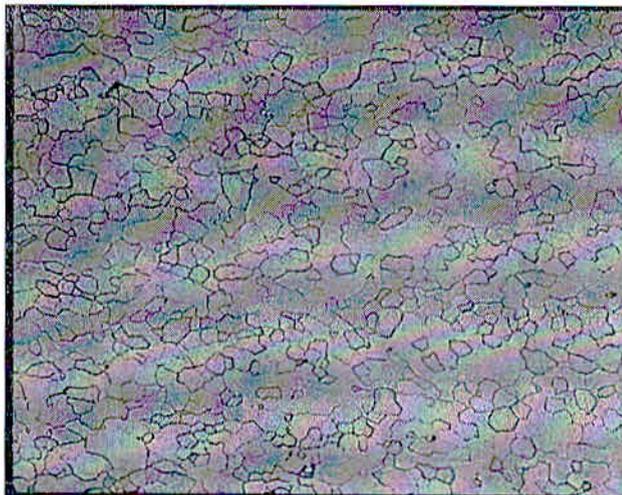
3 PRINCIPAIS DEFEITOS ENCONTRADOS NA SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA A PONTO

Neste tópico mostraremos as forma de defeitos principais entre a união por soldagem por resistência a ponto e sua influência no comportamento mecânico e na vida útil dos componentes por eles unidos.

3.1 Ponto solto (Sem fusão, Solda fria)

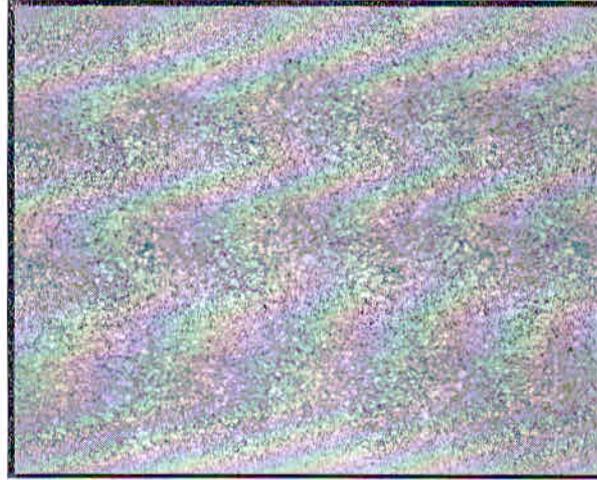
Devido a problemas que podem ser originados dentre outros pela força excessiva de contato dos eletrodos na junta, o tempo ou a intensidade de corrente de solda insuficiente, ou até o eletrodo com a área de contato muito larga. Sua principal característica é a total ausência de uma lentilha de solda fundida (STOCCO, 2010). Em alguns casos, o aquecimento gerado na junta é suficiente para produzir a deformação característica de um ponto de solda na superfície da peça, podendo gerar avaliações equivocadas, em especial no caso de análises apenas visuais. Esta falha pode ser detectada sob qualquer método de inspeção conhecido com relativa facilidade.

Figura 9- Microestrutura do material base da chapa a ser soldada, ataque nital 2%, 100 X 36



Fonte: (STOCCO, 2010)

Figura 10-Microestrutura da região soldada após aquecimento, mostrando alteração térmica, porém sem a formação de lenticilha soldada, ataque nital 2%, 100 X.

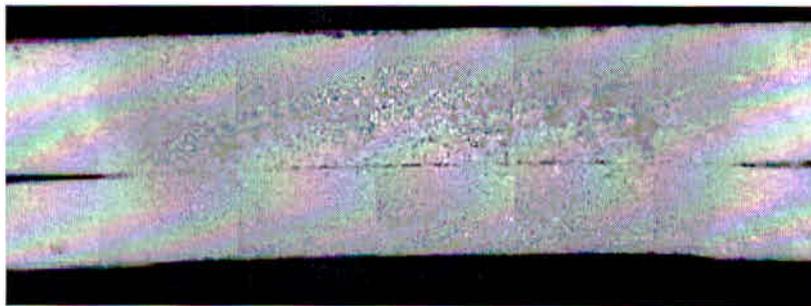


Fonte: (STOCCO, 2010)

3.2 Ponto colado

É caracterizado por uma má formação da lenticilha de solda, na maioria dos casos em decorrência de um aquecimento insuficiente da região a ser soldada, conforme ilustrado na imagem abaixo.

Figura 11- Seção transversal mostrando ponto de solda colado, ataque nital 2%, 40X



Fonte: (DAIMLER CHRYSLER, 2002 apud STOCCO, 2010)

As causas mais prováveis para a ocorrência deste defeito são à força de fechamento excessivo do eletrodo, um tempo insuficiente de aplicação da corrente de solda (ou a sua falta), e os eletrodos com contato muito largo. (STOCCO, 2010)

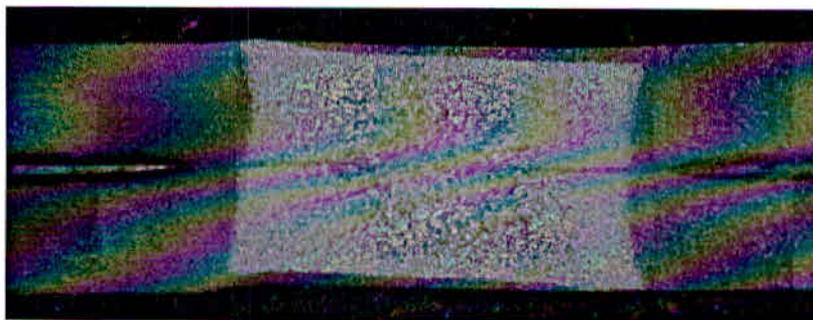
A dificuldade de detecção deste defeito é maior que a da solda fria, pois já existem pontos com início de fusão, o que pode gerar interpretações erradas, principalmente nos ensaios não destrutivos.

3.3 Lentilha pequena

Neste tipo de falha, a principal diferença está no tamanho da lentilha formada, quando comparados a normas específicas. Esta medida pode ser aferida de várias formas, tanto através de meios destrutivos como o ensaio de destacamento e a metalografia, bem como de maneira não destrutiva (indiretamente pelo A-scan e diretamente pelo scan). (STOCCO, 2010)

As características da falha, bem como os efeitos causadores das mesmas são os mesmos observados nos itens 3.1 e 3.2, e neste caso a detecção deste tipo de defeito pode ser detectada pelos métodos de inspeção destrutivos e não destrutivos.

Figura 12-Seção transversal mostrando ponto com diâmetro abaixo do especificado, ataque nital 2%, 40X

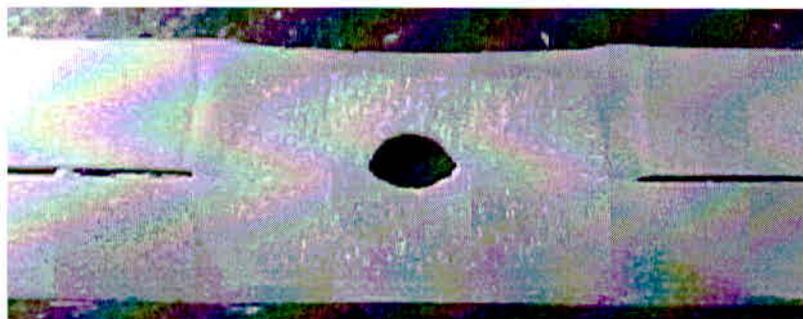


Fonte: (STOCCO, 2003).

3.4 Descontinuidade interna (Falha no ponto)

É caracterizada pela presença de descontinuidades internas na região fundida do ponto, que podem ser originados por diversos fatores, como força ou tempo insuficiente de contato dos eletrodos, a excessiva corrente ou tempo de sua aplicação (STOCCO, 2010). Outro fator a ser observado é a presença de impurezas nas superfícies das chapas, como óleos e graxas, que vaporizam durante o processo de aquecimento, e devido a um dos fatores citados acima podem ficar aprisionados no centro do ponto durante a solidificação, conforme mostra a Figura 13.

Figura 13-Seção transversal mostrando ponto de solda com descontinuidade interna, ataque nital 2%, 40X



Fonte: (Daimler Chrysler, 2002).

Este tipo de defeito, ao contrário dos anteriores, não pode ser detectado através do ensaio de destacamento, sendo a forma de detecção mais indicada os ensaios não destrutivos.

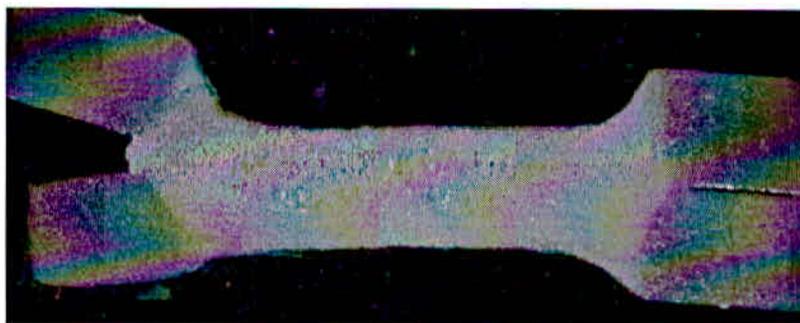
3.5 Excessiva indentação (Ponto queimado)

Ocorre quando a resistência compressiva do material em contato com o eletrodo diminui à medida que a fusão avança, permitindo, deste modo, que a face do eletrodo se movimente para dentro da superfície da peça de trabalho (VARGAS, 2006). Esta indentação pode ser grande quando um eletrodo com uma área superficial pequena for empregado com pressão e densidade de corrente excessivamente altas. Além de prejudicar o aspecto da superfície da peça de trabalho, a indentação excessiva pode diminuir a resistência mecânica da solda.

(VARGAS apud WU, 1968 apud STOCCO 2010) mostra no seu trabalho uma relação linear entre a corrente de soldagem e a indentação do eletrodo. A indentação varia com o material a soldar e a dureza da solda se incrementa com a indentação, em um nível aceitável, até a expulsão de o material fundido acontecer.

Esta indentação está mostrada na imagem a seguir de maneira exagerada para ilustrar esta condição.

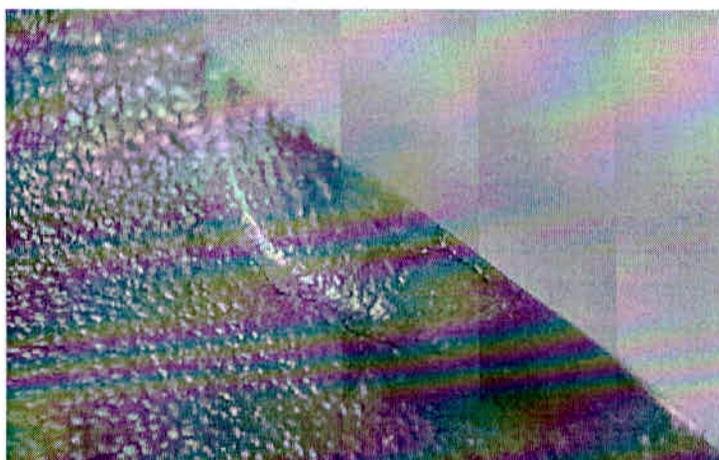
Figura 14-Seção transversal mostrando ponto de solda com indentação excessiva, ataque nital



Fonte: (STOCCO, 2003).

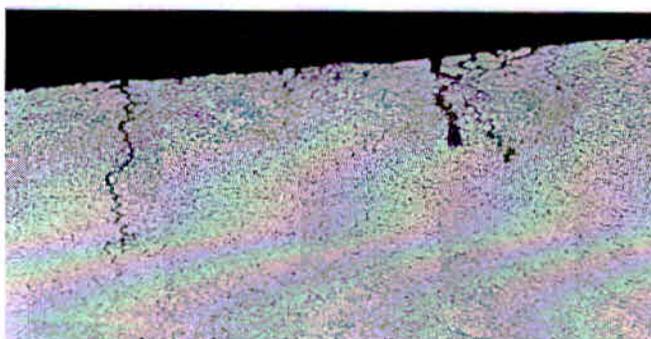
O principal efeito relacionado a estas indentações é que estas reduzem localmente a espessura da junta soldada e pode levar a concentração de tensão nestas juntas, o que pode reduzir a vida em fadiga destas uniões. Outros defeitos relacionados são o surgimento de micro trincas na superfície das chapas, em decorrência do esforço mecânico e do aquecimento excessivo, como mostram as Figuras 15.

Figura 15-Detalhe da superfície do ponto de solda, apresentando trincas superficiais.



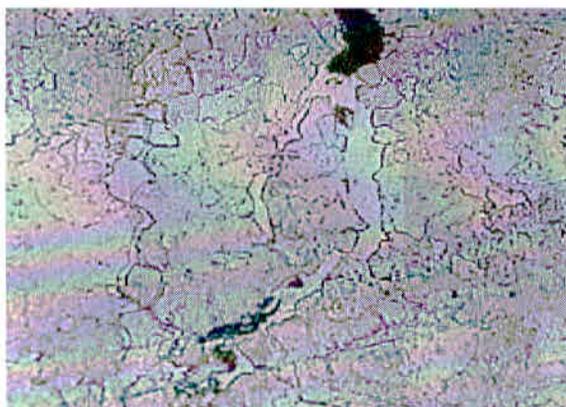
Fonte: (STOCCO, 2003).

Figura 16-Seção transversal mostrando micro trincas na superfície do ponto de solda, ataque nital 2%, 200X



Fonte: (STOCCO, 2003).

Figura 17-Seção transversal mostrando micro trinca na superfície do ponto de solda com incrustação de material base do eletrodo utilizado para a soldagem, ataque nital 2%, 500X



Fonte: (STOCCO, 2003).

De maneira diferente das características de falhas anteriormente apresentadas, este tipo de defeito não é facilmente detectado através dos métodos destrutivos convencionais, pois os mesmos somente aferem o tamanho da região fundida. Assim sendo, o ensaio por ultra-som pode ser considerado o método mais indicado para detecção e controle .

3.6 Outras Falhas de Soldagem

No decorrer de suas atividades, os operadores podem se deparar, caso não estejam totalmente envolvidos com o processo, com falhas que podem comprometer a qualidade do produto. Essas falhas, na maioria das vezes, ocorrem por simples desatenção, mas também podem estar relacionadas às condições de trabalho pré-planejadas no contexto da produção.

Elas podem estar relacionadas à aspectos como:

- A falta de pontos na estrutura (liberação da peça sem a execução do trabalho planejado);
- A seleção de um programa errado, causando a falta de fusão dos pontos ou ainda o excesso de respingos pela aplicação de parâmetros fora de especificação;
- A deformação dos pontos, através de posicionamentos incorretos dos eletrodos no momento da soldagem;
- O posicionamento dos pontos em locais diferentes da especificação do produto, causando um deslocamento dos mesmos.

Quando as falhas são esporádicas e se evidencia que são causadas por falta de meios de prevenção de defeitos, parte-se para a análise do problema, considerando o operador de solda como um elemento, dos muitos que formam o processo. A solução para esses problemas normalmente exige ações voltadas ao campo técnico.

Quando, através da exploração do problema, evidencia-se que as falhas são mais frequentes e ocorrem por insatisfação dos operadores, as ações de solução dos problemas se concentram no campo da gestão de pessoas.

Existem ainda situações, em que as falhas podem acontecer por problemas relacionados ao planejamento das condições de trabalho, que estão relacionadas a aspectos como condições ergonômicas precárias ou excesso de pontos para um único operador executar, dificultando sua capacidade de assimilação de todas as informações necessárias para a execução do trabalho em uma determinada estação.

Deixando o campo de operação para abordar a programação dos parâmetros e conservação do estado dos equipamentos, uma empresa deve contar com a presença constante de uma equipe de técnicos responsáveis pela introdução dos parâmetros de solda corretos nas pinças e comandos, podendo ser esta atividade, uma possibilidade para originar falhas de origem humana. Embora menos frequentes, essas ocorrências podem gerar problemas relacionados à fusão dos pontos, à incidência de respingos e até rebarbas no produto final.

4 O ESTADO DA ARTE

O desenvolvimento do processo de soldagem caminha no sentido de se eliminar as possibilidades de ocorrências de falhas. Orientado a essa visão, empresas que pesquisam e comercializam equipamentos nessa área têm concentrado sua energia em investimentos destinados à criação e ao aperfeiçoamento de equipamentos que possam garantir as condições necessárias de estabilidade de processo.

4.1 Equipamentos de Média Frequência

Os comandos de solda são responsáveis pelo controle de potência e pela estabilidade da corrente de soldagem. Esse controle é feito através de dispositivos chamados tiristores, que atuam no ângulo de fase da tensão de alimentação, hora proporcionando a condução de corrente elétrica, hora interrompendo totalmente seu fluxo, como exposto anteriormente.

Uma desvantagem desse sistema é que nos períodos de condução a corrente faz com que a temperatura da junção suba muito, em tempos muito curtos, necessitando que os períodos de não condução sejam altos, para que na média, os valores de corrente real estejam bem próximos dos valores programados.

Atualmente, vem se observando cada vez mais a utilização de comandos de solda que controlam a corrente elétrica através de dispositivos chamados de inversores. Esses dispositivos controlam mais precisamente a corrente, pois são capazes de intervir em seu curso em intervalos muito menores que os sistemas de controle convencionais. Como comparação, pode-se dizer que nos sistemas convencionais, as intervenções são feitas a cada 8,33 milissegundos, enquanto que sistemas inversores podem operar intervenções de correção mais rapidamente, ou seja, a cada 1 milissegundo. Basicamente, os inversores são divididos em quatro blocos:

O primeiro bloco, um retificador, que converte a tensão alternada senoidal da entrada da rede de 60 Hz em uma onda contínua, retificada;

O segundo bloco tem a função, de receber a tensão retificada e a fazê-la pulsar novamente, transformando-a novamente em corrente alternada (daí o nome inversor), porém com uma frequência de 1000 Hz.;

O sinal de 1KHz agora é levado a um transformador especial, o terceiro bloco, que fará o rebaixamento da tensão, com uma capacidade de fornecimento de corrente suficiente para execução da soldagem;

Por fim, no quarto e último bloco, a tensão alternada sai da transformadora já rebaixada e passa novamente por um elemento retificador, que transformará esse sinal em uma forma pulsada e retangular de 1KHz.

Esse sistema apresenta do ponto de vista de soldagem um grande diferencial, pois proporciona uma redução considerável no tamanho do transformador, uma vez que, com a utilização de sinais de 1KHz, a variação de fluxo magnético é maior, portanto a geração de energia é também maior, usando tamanhos de núcleos e espiras menores.

Porém, a maior vantagem é vista quando são comparadas as formas de controle de corrente elétrica entre ambos. O sistema inversor pode controlar a largura do pulso que será enviado ao eletrodo de solda. Este pulso pode ter a largura máxima de 1ms (corrente totalmente contínua) variando até uma largura mínima nula, de maneira totalmente linear.

O controle de tensão e de corrente elétrica no eletrodo de solda através de inversores, permite que o aquecimento gradativo das chapas, até que se chegue ao ponto de fusão dos materiais, e por fim à formação da lentilha de solda, seja muito mais concentrado, permitindo tempos de soldagem menores, além ampliar a capacidade de soldagem para diversos tipos de materiais e revestimentos.

4.2 Métodos de Controle de Soldagem Automático

Uma forma de contribuir para que sejam reduzidas as falhas do processo, é a implantação de sistemas de controle durante a soldagem. Estes sistemas de controle testam o ponto ou as condições de formação do mesmo, informando, ou até mesmo compensando os parâmetros no momento da soldagem, para que o resultado seja sempre assegurado.

4.3 Ultra-Sonografia do Ponto de Solda

Existem sistemas que utilizam um tipo de controle dos pontos de solda através de ultra-sonografia. Com o uso desse método de controle, dois transdutores são acoplados aos suportes de fixação dos eletrodos, de modo que no momento em que a pinça se fecha, esses transdutores permanecem alinhados entre si na chapa a ser soldada, formando um emissor e um receptor de ondas ultra-sônicas.

De acordo com o comportamento das ondas emitidas e enviadas através das chapas, após a formação do ponto, um sistema eletrônico de verificação informará a situação do ponto soldado. Caso o ponto não esteja bom, segundo o sistema de teste, este aumentará o tempo de soldagem e assim como a corrente, na tentativa de solucionar o problema encontrado. Um

novo teste ultra-sônico é executado para se comprovar o resultado. Se o ponto for aprovado o sistema informará apenas que houve a necessidade das correções. Caso o ponto ainda assim esteja reprovado, o sistema informará o processo como interditado.

4.4 Sistema Inteligente (Iqr)

Outra forma de tentar assegurar a ausência de falhas é a instalação de um sistema chamado IQR (Intelligent Qualität Regelung), junto ao comando de solda.

O IQR faz um monitoramento da resistência do secundário do transformador, tomando seu comportamento como base para avaliar a qualidade do ponto soldado.

Como a resistência do secundário possui uma característica de instabilidade ao longo da soldagem, torna-se inviável, a princípio, devido à inexistência de equipamentos, executar a sua medição. Portanto, a verificação é feita através da corrente e da tensão no secundário, durante todo o tempo de duração da soldagem. Pela lei de Ohm, a resistência é o quociente da divisão da tensão pela corrente elétrica. Aplicando esse princípio, são gerados gráficos de acompanhamento desses parâmetros da seguinte forma: medição e acompanhamento da tensão e da corrente elétrica e a o resultado da divisão dessas duas funções no tempo, ou seja, a resistência dinâmica do processo. Esses parâmetros são então avaliados por um sistema equipado com atributos que seguem princípios da lógica Fuzzy.

Cada ponto de solda possui um número de identificação registrado no desenho da peça. Admite-se que, para cada ponto, exista um programa, com seus respectivos parâmetros definidos, em função da combinação das espessuras das chapas, dos revestimentos e dos tipos de materiais que não devem variar. Assim sendo, a resistência desse determinado ponto deve ter sempre as mesmas características, considerando uma pequena variação em função do desgaste sofrido pelos eletrodos no decorrer de seu uso.

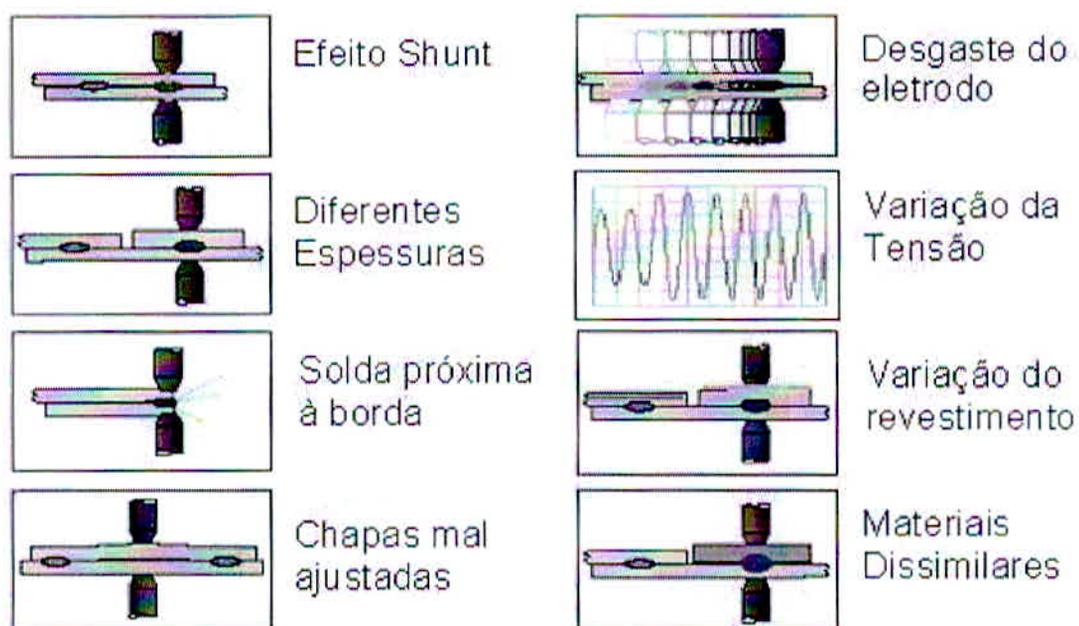
Assim, a curva determinada para esse ponto é gravada na memória do comando de soldagem, e tida como padrão. Todas as variações que ocorrerem a partir desse padrão deverá ser analisado pelo sistema de lógica, que orientará na eventual necessidade de compensação desses parâmetros para que a integridade do ponto seja mantida. Paralelamente à essa função, o sistema informará todas as ações tomadas e os resultados das análises ponto a ponto.

Dessa maneira tenta-se evitar toda e qualquer incidência de pontos defeituosos por problemas de fusão, ou pelo menos, que caso exista algo divergente nesse ponto, essa divergência seja informada através de avisos do sistema.

5 DESAFIOS TECNOLÓGICOS NA SOLDAGEM A PONTO POR RESISTÊNCIA

Apesar da simplicidade do processo de soldagem a ponto por resistência quando comparado a outros processos de soldagem, alguns distúrbios podem ocorrer no ponto de solda realizado. A Fig. 18 mostra possíveis dificuldades ou defeitos que podem aparecer durante a realização do ponto de solda.

Figura 18– Possíveis problemas na realização do ponto de solda



Fonte: (MATUSCHEK; POELL, 2005, traduzida apud NASCIMENTO, Vinicius castanheira,2008)

Com o intuito de evitar ou minimizar os distúrbios que possa ocorrer durante o processo de soldagem, melhorias tecnológicas têm sido implantadas nas máquinas de solda a ponto, como novas fontes controladas eletronicamente; transformadores que trabalham com altas frequências e com maior potência; transformadores que estão sendo colocados nos braços dos robôs, em automação; melhores sistemas de controle de força, etc. (VARGAS, 2006).

Outra abordagem para melhorar o produto final em solda a ponto por resistência é controlar os parâmetros de solda, procurando compreender os efeitos destes sobre a geometria e resistência mecânica do ponto formado. Neste sentido, a literatura científica tem sido

direcionada para pesquisas sobre a formação e crescimento da lentilha de solda e a influência dos parâmetros principais neste crescimento.

6 CONCLUSÃO

Podemos concluir que os parâmetros principais da solda a ponto por resistência estão ligados a qualidade e também na sua capacidade de repetibilidade do processo produtivo. Mais se os parâmetros estiverem mal medidos, a princípio não representa uma falha para o produto final, mas se ocorrem várias falhas ao mesmo tempo, os principais parâmetros ajudaram diretamente para a falha do produto.

O relevante é encontrar as condições específicas de operação de soldagem e controlar essas condições de forma que suas variações não comprometam a eficiência final do processo. Mais se caso a empresa tiver condições econômicas de investimentos em nova tecnologia para aumentar seus ganhos operacionais e redução de custo final de produção será válido.

As novas tecnologias e um diferencial, mais não podem ser únicas a serem utilizadas, outros pontos importantes são as pessoas que devem ser treinadas para haver uma eficiência maior com isto reduzindo falhas e padronizando o processo operacional.

As falhas podem provocar riscos de segurança e também danificação ao produto final deixando o consumidor insatisfeito. Com isto é necessário demonstrar para todo que faz parte do processo, para que haja ausência das falhas, e preciso conscientizar que a qualidade começa primeiro em cada um e está presente nas atividades.

REFERÊNCIAS

NASCIMENTO, Vinicius castanheira. **Seleção de Parâmetro de Soldagem a Ponto Por Resistência, Baseado na Medição da Resistência Elétrica entre Chapas.** FEMEC/UFU: Uberlândia, 2008.

REPRESENTAÇÃO esquemática de uma máquina de soldagem ponto: Disponível em:<
<http://www.marimax.com.br/> >Acessado em: 10 de Junho de 2012

RWMA – **Resistance Welding Manual, Resistance Welder Manufacturing Association.** U.S.A., 4th Ed., Nov. 1989.

Técnicas de elaboração de trabalho acadêmica. Varginha Grupo Unis, 2012.

SANTOS, Flavio Bilha. Mainier Fernando B. **Variáveis Relevantes para a Qualidade do Processo de Soldagem de Pontos por Resistência Elétrica Utilizado na Indústria Automobilística .** UFF: Rio de Janeiro, 20??.

STOCCO, Danilo. **Caracterização de solda por resistência a ponto através de avaliações não destrutivas.** USP: São Paulo, 2010

SILVA, Fábio Rodrigues. CAMARGO, José Rubens. **Análise inicial da solda a ponto por resistência para caracterizar o defeito por indentamento e eletrodos desalinhados – parte I.** Taubaté: UNITAU 2010.

VARGAS, José Enrique. ALFARO, Sadek C. Absi. **Estudo Da Influência Dos Parâmetros Na Geometria E Resistência Mecânica Do Ponto Na Soldagem A Ponto Por Resistência Utilizando Planejamento Robusto.** Uberlândia: FEMEC/UFU, 2006.