



I Curso de Especialização em Engenharia Soldagem

Turma 2011 - CTA DEMEC-TC/UFPR

JOSÉ DONISETE LIMA DE LÉLIS

**INFLUÊNCIA DO AJUSTE FINO DO COMPRIMENTO DE ARCO
ELÉTRICO E DA DBCP SOBRE O PERFIL DO CORDÃO EM
SOLDAGEM VERTICAL EM JUNTA SOBREPOSTA TIPO TAMPÃO**

**CURITIBA-PR
2013**

JOSÉ DONISETE LIMA DE LÉLIS

**INFLUÊNCIA DO AJUSTE FINO DO COMPRIMENTO DE ARCO ELÉTRICO E DA
DBCP SOBRE O PERFIL DO CORDÃO EM SOLDAGEM VERTICAL EM JUNTA
SOBREPOSTA TIPO TAMPÃO**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista em Engenharia da Soldagem do curso de Especialização em Engenharia da Soldagem da Universidade Federal do Paraná, na área de concentração fabricação.

Orientador: Prof. Dr. Eng. Américo Scotti.

CURITIBA

2013

TERMO DE APROVAÇÃO**JOSÉ DONISETE LIMA DE LÉLIS****INFLUÊNCIA DO AJUSTE FINO DO COMPRIMENTO DE ARCO ELÉTRICO E DA
DBCP SOBRE O PERFIL DO CORDÃO EM SOLDAGEM VERTICAL EM JUNTA
SOBREPOSTA TIPO TAMPÃO**

Monografia aprovada como requisito parcial à obtenção de grau de Especialista em Engenharia da Soldagem, área de concentração Fabricação, no Curso de Especialização em Engenharia da Soldagem, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Banca Examinadora:



Prof. Helio Padilha
UFPR



Prof. Ramon Sigifredo Cortes Paredes
UFPR



Prof. Paulo Cesar Okimoto
UFPR

Curitiba, 31 de outubro de 2013.

RESUMO

No presente trabalho foram estudados dois objetivos específicos, primeiro é o estudo da influência no perfil do cordão e solda e na penetração. Segundo é estudar a influência do comprimento do arco elétrico sobre o perfil do cordão de solda. O resultado foi o que se esperava, pois se você quer trabalho com uma solda de maior penetração trabalha-se no ajuste da distância bico contato peça. Quando estudou o comprimento do arco elétrico no perfil do cordão de solda molhamento com arco elétrico +30% o cordão ficou mais largo, ao analisarmos o comprimento do arco elétrico -30% o perfil do cordão ficou mais estreito.

Palavras-Chave: Distância Stick-out, Altura arco elétrico, Perfil cordão solda

ABSTRACT

In the present work, two specific objectives were studied, first is the study of the influence of the bead and weld profile and penetration. Second is to study the influence of the length of the arc on the weld bead profile. The result was expected, since if you want to work with a greater penetration welding work is being done in adjusting nozzle distance contact number. When studied the length of the arc in the weld bead wetting profile with arc +30% cord became wider, when we analyzed the length of the arc -30% of the bead profile was narrower.

Keywords: Distance stick-out (DBCP), Height electric arch, Profile cord welds

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Equipamento soldas automática UFPR	11
Figura 2 - Painel fonte reguladora.....	12
Figura 3 - Ocilograma tipo cmt.....	12
Figura 4 - Chapa teste	13
Figura 5 - Funcionamento do trabalho CMT	15
Figura 6 - Transferência x tensão	17
Figura 7 - Ilustra funcionamento do software e controle hardware	18
Figura 8 - Esquema de gás utilizado para fabricação de automóvel.....	19
Figura 9 - Ilustração equipamento soldagem MIG / MAG.	23
Figura 10 - Ilustração globular	24
Figura 11 - tipo de máquina de solda ponto.	28
Figura 12 - Processo de soldagem à resistência	30
Figura 13 - Característica do ponto de solda.....	30
Figura 14 - Elementos de um sistema típico para sondagem a laser	32
Figura 15 - Equipamento soldagem a laser	32
Figura 16 - Influência da tensão no arco elétrico.....	33
Figura 17 - Influencia da tensão no perfil do cordão de solda	34
Figura 18 - Altura arco, largura cordão de solda x penetração cordão de solda ..	34
Figura 19 - Menor frenquência x pulso largo	35
Figura 20 - Maior frenquência x pulso estreito.....	35
Figura 21 - Extensão dbcp.....	36
Figura 22 - Influência dbcp na geometria cordão solda	37
Figura 23 - Peça traçada para cortes corpos prova.....	39
Figura 24 - Embutidora	40
Figura 25 - Resultado final macrografia.....	40
Figura 26 - Altura arco elétrico +30%	42
Figura 27 - Altura arco elétrico -30%	42
Figura 28 - Resultados experimentais	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificação da chapa.....	13
Tabela 2 - Parâmetros fixados.....	39
Tabela 3 - Dados experimentais.....	41
Tabela 4 - Resultado Efeito altura DBCP	44
Tabela 5 - Resultado comprimento arco elétrico	44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA PROPOSTO	9
1.2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS DA PESQUISA	10
1.2.1 Objetivo geral	10
1.2.2 Objetivos específicos.....	10
2. METODOLOGIAS PLANEJADAS EXPERIMENTAIS	11
2.1 EQUIPAMENTOS	11
3. DESCRIÇÃO SOLDAGEM PROCESSO <i>COLD METAL TRANSFER</i> (CMT).....	14
3.1 SOLDAGEM CMT + PULSO	16
3.2 DEFINIÇÃO.....	17
4. REVISÕES BIBLIOGRÁFIA	19
4.1 GASES DE PROTEÇÃO	19
4.1.1 Solda á frio (Rebitagem / Clinch).....	21
4.1.2 Solda MIG/MAG (GMAW)	22
4.1.3 Princípios do processo MIG / MAG	23
4.1.4 Metais de adição	25
4.1.5 Vantagens do processo MIG / MAG.....	25
4.1.5.1 Limitações do processo MIG / MAG	26
4.1.6 Soldagem na Indústria Automotiva.....	27
4.1.6.1 Solda ponto por resistência	27
4.1.6.2 Máquinas de solda a ponto	28
4.1.6.3 Princípio de operação do processo de soldagem à resistência.....	28
4.1.7 Solda Laser	30
4.1.8 Arco Elétrico	32
4.1.9 Distância Bico Contato Peça (DBCP).....	36
5. DESENVOLVIMENTOS EXPERIMENTAIS	38
5.1 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA METALOGRAFIA	39
5.1.1 Ensaios experimentais	41
5.2 RESULTADOS	42
5.2.1 Discussões dos resultados.....	44

6. CONCLUSÃO	45
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

1. INTRODUÇÃO

O processo por união é uma área de conhecimento de grande importância tecnológica.

A soldagem envolve diversos ramos do conhecimento humano como a física química, metalurgia, estatística, ainda incluindo o controle de qualidade do processo de soldagem.

O objetivo é de ter uma visão prática e teórica dos estudos e nos resultados das análises da distância bico contato peça e do comprimento arco elétrica.

Desta forma o objetivo global desse trabalho é conhecer melhor o processo de soldagem MAG CMT pulsado, visando melhorias operacionais em soldagem nas indústrias automotivas.

Objetivo específico é estudar a influência DBCP e do comprimento do arco elétrico sobre perfil do cordão de solda.

1.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA PROPOSTO

Na prática dentro da indústria automotiva, geralmente se recebe uma especificação para usar em certo processo já com os parâmetros definidos.

Porém todos os processos existem controles onde chamamos de controles finos, porém muitas vezes nem o fabricante e nem você é treinado para saber usar estes controles finos, por isso muitas vezes a solda sai com cordões convexos e penetração não suficiente, etc.

Não é de se esperar porque o processo a prior e de ser aprovado, então porque deve aparecer. Porque para cada caso ou todas as motivações e adaptações na fabrica você tem que mexer em alguns ajustes finos.

Mais então seria de importância de se conhecer o comportamento de pelo menos dois ajustes finos, que são Distância Bico Contato Peça (DBCP) e o comprimento do arco elétrico.

1.2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS DA PESQUISA

1.2.1 Objetivo geral

Conhecer melhor o processo de soldagem MAG CMT visando melhorias operacionais em soldagem automobilística.

1.2.2 Objetivos específicos

- Primeiro: Estudar a influência da DBCP (distância bico contato peça)
- Segundo: Estudar a influência do comprimento do arco elétrico sobre o perfil do cordão de solda.

2. METODOLOGIAS PLANEJADAS EXPERIMENTAIS

2.1 EQUIPAMENTOS

Equipamento utilizado foi uma maquina de solda MAG CMT Fronius automatizada do laboratório da UFPR.



Figura 1 - Equipamento soldas automática UFPR.

Foi utilizada a fonte CMT *Fronius* e regulado job 111 onde foram desenvolvidos os trabalhos experimentais.



Figura 2 - Painel fonte reguladora.

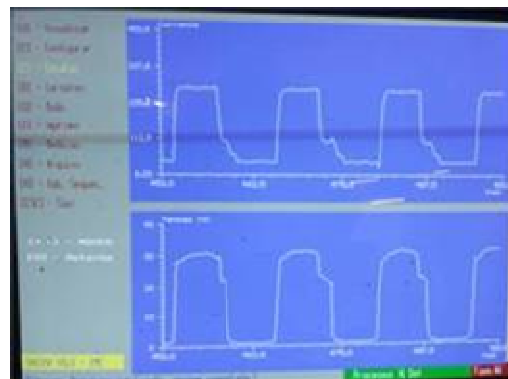


Figura 3 - Oscilograma tipo cmt.



Figura 4 - Chapa teste.

Tabela 1 - Especificação da chapa.

Especificação: DIN EM 10268 - HC 260P					
COMPOSIÇÃO QUÍMICA					
%C (Máx)	%Si (Máx)	%Mn (Máx)	%P (Máx)	%S (Máx)	%Al (Máx)
0,08	0,50	0,70	0,10	0,025	0,015
PROPRIEDADES MECÂNICAS					
LE (Ma)		LRT (MPa)		Alongamento A80(%) Mín	
260 a 320		360 a 440		29	

3. DESCRIÇÃO SOLDAGEM PROCESSO *COLD METAL TRANSFER* (CMT)

O processo foi desenvolvido pela empresa Fronius, pois a principal inovação é o controle da movimentação do arame eletrodo durante a transferência metálica.

O movimento de retração do arame auxilia no destacamento da gota durante o curto-circuito, desta forma a gota é transferida para dentro da poça de fusão sem a ação eletromagnética, o que reduz o aporte térmico e a formação de respingos.

Definido como período o tempo necessário para o depósito de uma gota de arame fundido à poça de fusão, ele pode ser dividido em três partes.

Primeiro a fase de pico, caracterizado por uma voltagem constante e correspondendo com um alto pico de corrente. O pulso de corrente faz a ignição do arco facilmente e aquece o arame eletrodo de maneira a formar a gota, nesta fase o brilho do arco é intenso.

Segundo, a fase de fundo que possui uma baixa corrente, basicamente tem a função de inibir a transferência globular. Esta corrente se mantém até que ocorra o curto-circuito.

Terceiro, a fase do curto-circuito, nesta fase o arame entra em contato com a poça de soldagem e a voltagem vai a zero e o arco se extingue. A força do recuo do arame é o principal agente a proporcionar o rompimento entre a gota fundida e o eletrodo, o que faz com que seja transferida para dentro da fusão. O CMT é um modo de transferência baseado na mistura entre a transferência por curto-circuito e pulverização (spray), pois sua transferência metálica depende dos parâmetros serem aplicados. A estabilidade da corrente x tensão é garantida através dos controles eletrônicos.

A soldagem CMT é considerada um processo frio, pois representa melhores resultados com todos os tipos de materiais, arco voltaico é o mais estável, utiliza de regulagem exata no processo. Isso é possível mediante o processo realmente a frio em comparação com a soldagem MIG /MAG convencional.

Precisamente, pela alternância constante entre quente e frio e conduz resultados excelentes, pois é uma solda sem respingos. O movimento de recuo do arame auxilia a liberação da gota durante o curto-circuito.

O curto-circuito é controlado e a corrente é mantida baixa e a transferência de matéria-prima é isenta de respingos. Quando esta realizando a soldagem o arame se movimenta para frente é assim que ocorre o curto-circuito, o arame é recuado.

Desta forma, o arco voltaico propriamente dito aplica-se pouquíssimo calor na fase de queima.

No CMT a detecção e o ajuste do arco voltaico ocorrem mecanicamente, ou seja, o arco voltaico permanece estável independente da qualidade da superfície da peça ou quão rápido se quer soldar. Por esta razão este processo de solda pode ser aplicado em qualquer lugar ou em qualquer posição.

Processo trabalha com menos aporte térmico e surge automaticamente mais uma vantagem:

Baixa emissão de poluentes. Como demonstrado nos resultados de análise, a concentração de poluentes no processo CMT são significativamente menores que nos processos de solda MIG. Quase 90 % menos de resíduos de cobre e uma redução até 63 % de zinco se comparado com a tecnologia tradicional de solda em curto circuito. Uma solução limpa, que preserva a sua saúde.

Conforme (ZHANG et al. 2009), o processo CMT é adequado para a soldagem dissimilares. Principalmente em ligas de alumínio e aço galvanizado, que resulta em juntas soldadas com camadas de intermetálicos com espessura inferior a 5µm que acabam resultando em juntas de boa resistência à tração. A figura abaixo ilustra funcionamento do processo em CMT.

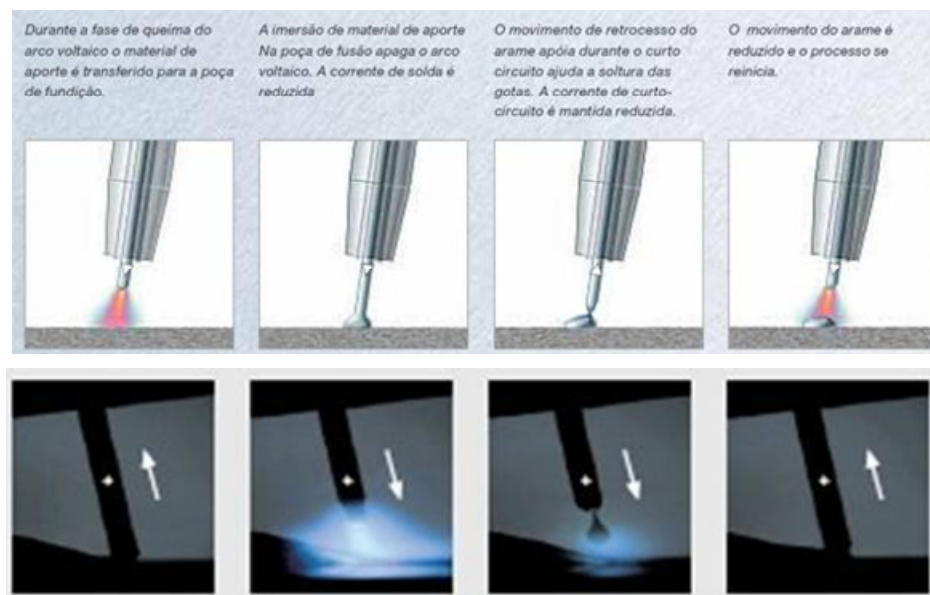


Figura 5 - Funcionamento do trabalho CMT.
Fonte: Catálogo do fabricante Fronius.

3.1 SOLDAGEM CMT + PULSO

Este processo combina um ciclo pulsado com um ciclo CMT e, com isso, aplica mais calor. A adição específica, variável e ajustável de pulsos proporciona um enorme ganho de desempenho e flexibilidade. CMT + pulso – curto circuito controlado + pulso onde se pode definir a quantidade de pulso é dada e a quantidade em CMT.

Combinação com pulsado e curto-circuito controlado

- Maior aporte térmico;
- Maior velocidade de soldagem;
- Ajuste para aumentar o ciclo de pulsos.

A transferência de metal é praticamente com tensão zero

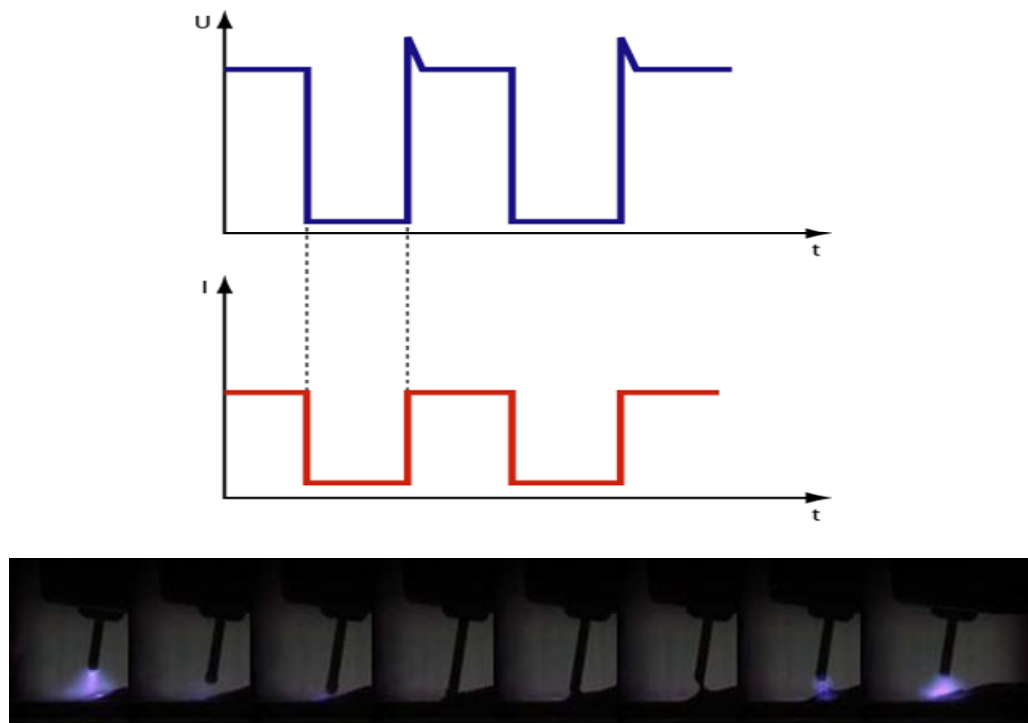


Figura 6 - Transferência x tensão.
Fonte: Catálogo do fabricante Fronius.

3.2 DEFINIÇÃO

Movimento do arame integrado com micro controlador:

- Menos aporte térmico;
- Alta estabilidade do arco;
- Menos respingos.

Então o processo soldagem CMT é um modo de transferência que basear-se na mistura entre a transferência por curto-circuito e pulverização (spray), pois sua transferência metálica depende dos parâmetros a ser aplicados. A estabilidade da corrente x tensão é garantida através dos controles eletrônicos, até mesmo no caso da transferência de gotas adicionais durante um ciclo de corrente e tensão. A forma do pulso e a frequência são definidas via software e controladas via hardware. A figura abaixo ilustra esse funcionamento (PICKN e YOUNG, 2009).

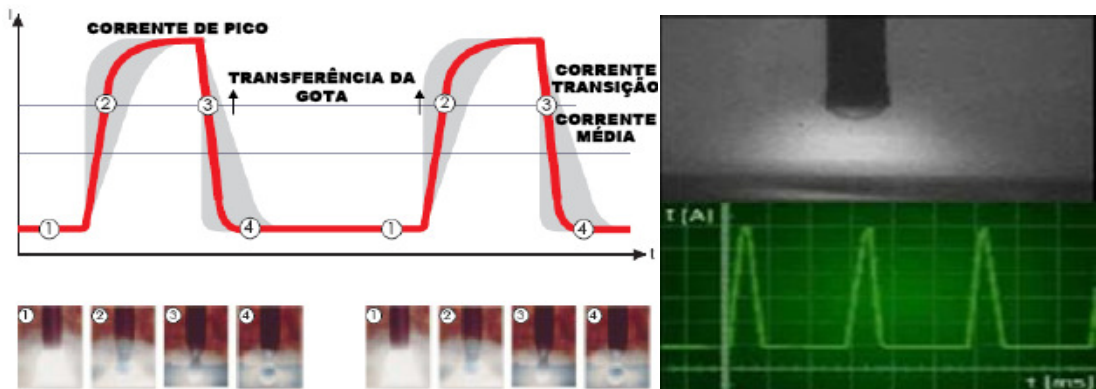


Figura 7 - Ilustra funcionamento do software e controle hardware.
 Fonte: Catálogo do fabricante Fronius.

4. REVISÕES BIBLIOGRÁFIA

4.1 GASES DE PROTEÇÃO

Como vemos no desenho abaixo, há uma grande quantidade de gases industriais e especiais onde são utilizados na fabricação de um automóvel. Gases para soldagem, tratamentos superficiais, assim como gases especiais para análise, são alguns exemplos das várias aplicações presentes neste segmento automotivo.

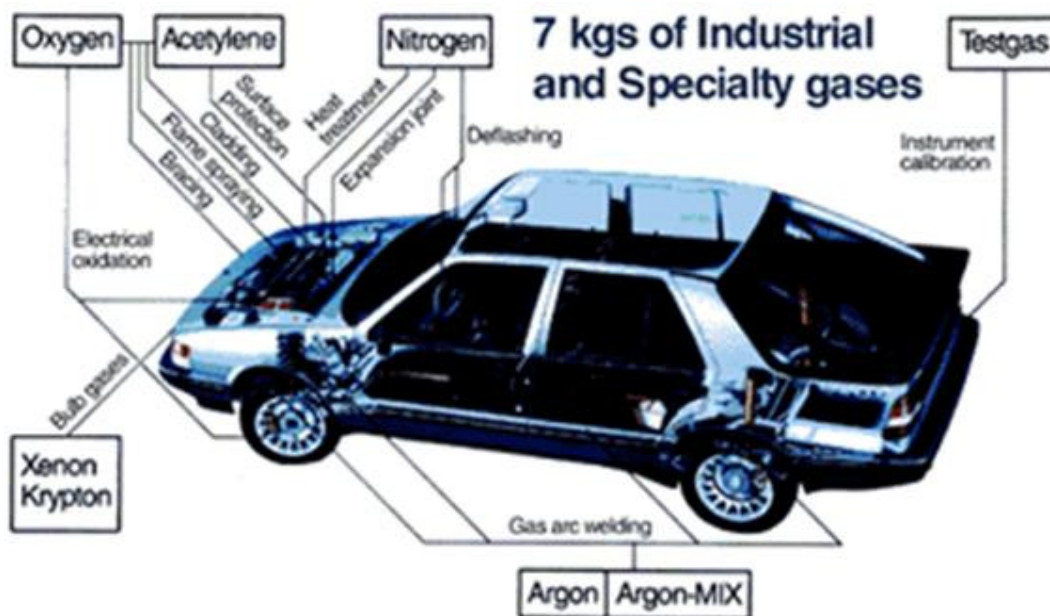


Figura 8 - Esquema de gás utilizado para fabricação de automóvel.

Os principais processos soldagem requerem equipamento adequado melhorando as condições de trabalho, diminuindo custos de produção. Para preparar e unir chapas finas ou pequenos componentes, assim como protegê-los do desgaste e corrosão.

Todas estas aplicações, os gases são de fundamental importância, necessidade de equipamentos de alta tecnologia, legislação ambiental, algumas formas diferentes de se obter uma boa soldabilidade de materiais em estruturas semelhantes, através de processos de fundição que garantem a qualidade da junção das peças metálicas.

O fluxo gás adequado depende diretamente da corrente utilizado na soldagem, sendo maior para correntes mais altas. Configuração de uma junta

também é um fator muito importante na regulagem da vazão e quanto mais exposto estiver o arco de solda, mais alta deve ser a quantidade de gás utilizado.

Nas indústrias automotivas é freqüente ver uso de ventiladores ligados nos postos de trabalho, o uso EPI's é obrigatório e assim os soldadores principalmente em dias de calor utilizam ventiladores focado no arco de solda para remover os fumos provenientes do processo, por este motivo, muitas vezes o ajuste da vazão alterado para 20 l/min esse valor cerca de 4 l/min maior que o recomendado para realizar a soldagem dos cordões de solda.

Se utilizarmos fluxos mais altos, o gás pode gerar turbulência e diminuir a eficiência da proteção podendo possibilitar a inclusões de elementos contaminantes podendo prejudicar a qualidade do cordão de solda.

Os gases são classificados de gases Inertes ou Ativos. Os gases inertes são aqueles que não reagem quimicamente com o metal de solda, também chamados gases nobres sendo os mais usados no processo de soldagem o Argônio (Ar) e o Hélio (He), enquanto os ativos são aqueles que reagem quimicamente de forma moderada e controlada, podendo ser utilizados de forma pura ou em combinações com gases inertes em diferentes proporções, sendo os mais usados o dióxido de carbono (CO_2), o oxigênio (O_2), o nitrogênio (N_2) e o óxido de nitrogênio (NO).

Uma das principais funções dos gases é a condução da corrente elétrica, porém os gases em seu estado físico naturais são normalmente considerados um isolante elétrico. Para que ele passe a conduzir corrente elétrica é necessária a ionização do átomo, ou seja, é necessário retirar um ou mais elétrons do átomo, uma propriedade importante do gás é o potencial de ionização (PI), é a energia necessária (em eV) para que o gás seja ionizado, quanto maior o PI, maior será a tensão necessária para a ionização do gás.

Os gases com um PI mais baixo necessitam de menor tensão para a ionização e conseqüentemente é chamado de arcos frios, exemplo gás Argônio (PI = 15,8 eV). Outra propriedade importante dos gases é a capacidade que ele tem de trocar calor, quanto maior for maior é a capacidade de trocar de calor, e assim calor é transmitido na poça de fusão, proporciona uma diluição mais profunda. Pode-se destacar como gases com alta capacidade de trocar calor He, CO_2 e H_2 .

Todas estas aplicações, o gás é de fundamental importância, pois necessitam de equipamentos de alta tecnologia, legislação ambiental, algumas formas diferentes de se obter uma boa soldabilidade de materiais em estruturas

semelhantes, através de processos de fundição que garantem a qualidade da junção das peças metálicas.

Processos de soldagem foram desenvolvidos com técnicas adequadas para cada tipo de união de metais, com as finalidades mais apropriadas para cada tarefa.

Tais processos de soldagem foram desenvolvidos com técnicas adequadas para cada tipo de união de metais, com as finalidades mais apropriadas para cada tarefa. Atualmente, entre os tipos de soldagem mais comum utilizados nas indústrias automobilísticas encontram-se soldagem a arco manual, soldagem MIG, MAG, TIG, *Brazing*, Laser e soldagem CMT.

Soldagem MIG / MAG (ESAB, 2005), cita que o gás de proteção tem a finalidade de expulsar o ar atmosférico e protegendo a poço de fusão evitando a contaminação que é causa principalmente por alguns produtos contidos na atmosférica como o Oxigênio e o Nitrogênio.

Não havendo uma proteção gasosa de boa qualidade pode haver contaminação de qualquer um desses elementos naturais podem afetar tanto o perfil cordão de solda como a estrutura cristalina do aço.

O fluxo adequado do gás é dependente diretamente da corrente de solda utilizada, sendo maior para correntes mais altas. A configuração da junta ela também é um fator importante na regulagem da vazão do gás e quanto mais exposto estiver o arco de solda, mais alta deve ser a quantidade de gás utilizado (SCOTTI e PONOMAROV, 2008).

4.1.1 Solda á frio (*Rebitagem / Clinch*)

MODENESI et al. 2009, relata que processo de soldagem a frio ou como soldagem por pressão, chapas são unidas através de uma forte pressão sem elementos adicionais, usando ferramentas especiais obtendo uma união mecânica entre as chapas.

As ferramentas utilizadas são punção e uma matriz especial. Existem alguns tipos básicos de matrizes: sólida de "cavidade fixa" e matrizes com componentes móveis. A punção força as duas chapas para dentro da cavidade da matriz, fazendo primeiro um embutido e quando a cavidade da matriz não permite a deformação vertical, a punção obriga os metais a fluir lateralmente. Este processo forma uma união "engargolada" permanente também conhecido como *clinch*.

A rebitagem é muito utilizada na indústria automotiva, onde substitui em muitos casos a soldagem a ponto. A rebitagem é um processo de deformação a frio, não requer corrente elétrica ou resfriamento de eletrodos normalmente associados com soldagem a ponto. Também não produz faíscas, vapores ou fumos.

Adicionalmente, a força de uma união por rebitagem pode ser verificada de forma não destrutiva, usando um instrumento de medição simples, para verificar a espessura resultante no fundo da união e o diâmetro do botão produzido de acordo com o tipo de ferramenta utilizada. A vida útil das ferramentas de rebitagem está próxima de uma centena de milhar de ciclos, o que é considerado um processo muito econômico.

A rebitagem também está voltada a um meio importante para unir chapas de alumínio, como por exemplo, capô de automóvel, pela dificuldade de soldar a ponto o alumínio.

4.1.2 Solda MIG/MAG (GMAW)

O processo MIG/MAG é considerado um processo semi-automático de soldagem, pois utiliza como metal de adição o arame eletrodo de alimentação contínua, onde o soldador deve apenas controlar a velocidade de avanço durante as operações de soldagem, mantendo-se constante a distância do bico de contato a peça (WHITE MARTINS, 2013).

MIG é um processo por fusão a arco elétrico que utiliza um arame eletrodo consumível continuamente alimentado à poça de fusão e um gás inerte para proteção da região de soldagem. MAG é um processo de soldagem semelhante ao MIG, porém utilizando um gás ativo (CO^2) para proteção da região de soldagem. Em ambos os processos geralmente o metal de adição possui a mesma composição química do metal base. O processo MIG baseou-se no processo TIG, iniciando com a soldagem do Alumínio e posteriormente estendeu-se à soldagem dos aços inoxidáveis, ao se notar que uma pequena adição de O^2 ao gás inerte facilitava a abertura do arco.

Posteriormente ao processo MIG, desenvolveu-se o MAG para baratear custos e concorrer com os eletrodos revestidos na maioria das aplicações, utilizando-se CO_2 e mistura de gases como gás de proteção; o primeiro desenvolvimento para o MAG ficou conhecido como sub-processo MACRO-ARAME.

Pelo fato das dificuldades deste sub-processo trabalhar com pequenas espessuras e soldar em todas as posições, desenvolveu-se a seguir o sub-processo MICRO-ARAME (para diâmetros até 1,2 mm); na sequência do desenvolvimento e visando a minimização dos respingos e melhoria do formato do cordão, desenvolveu-se o sub-processo ARAME-TUBULAR (até diâmetro de 4 mm).

Todas estas melhorias permitiram um aumento na velocidade de soldagem do processo MIG/MAG em relação a outros processos, e isso vem refletindo-se na evolução da utilização mesmo, comparativamente aos processos mais antigos.

4.1.3 Princípios do processo MIG / MAG

O calor gerado para fundir o metal de enchimento é suficiente para fundir também as superfícies do metal base.

A transferência do material do arco é bastante melhorada comparando-se ao processo TIG devido ao aumento da eficiência do ganho de calor causado pela presença no arco das partículas de material superaquecido. As partículas funcionam como elementos importantes no processo de transferência de calor, sendo que a transferência de material se processa a uma taxa de várias centenas de gotículas por segundo.

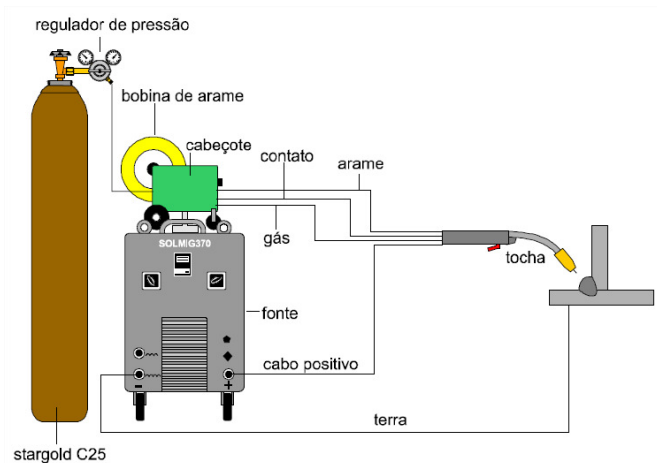


Figura 9 - Ilustração equipamento soldagem MIG / MAG.
Fonte: White Martins

Existem basicamente quatro tipos de transferência de material na soldagem MIG/MAG:

- a) Globular (MAG = Macro Arame/ Arame Tubular)
 - Gotas de grandes dimensões a baixas velocidades

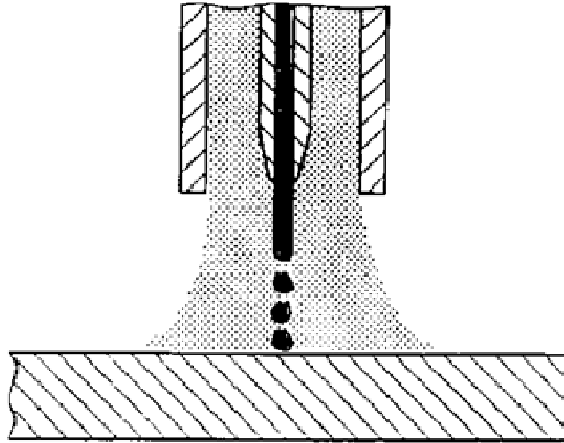


Figura 10 - Ilustração globular

Utilizam altas correntes e arcos longos (75 a 900 A).

– Transferência Globular

A soldagem MIG pode ser usada em ampla faixa de espessuras, em materiais ferrosos e não ferrosos como Alumínios, Cobre, Magnésio, Níquel e suas ligas. O processo MAG é utilizado apenas na soldagem de materiais ferrosos, tendo como gás de proteção o CO₂ ou misturas ricas nesse gás.

De um modo geral pode-se dizer que as principais vantagens da soldagem MIG/MAG são: alta taxa de deposição, alto fator de trabalho do soldador, grande versatilidade de espessuras aplicáveis, inexistência de fluxos de soldagem, ausência de remoção de escória e exigência de menor habilidade do soldador, quando comparado com eletrodos revestidos.

A principal limitação da soldagem MIG/MAG é sua maior sensibilidade à variação dos parâmetros elétricos de operação de soldagem, que influenciam diretamente na qualidade do cordão de solda depositado. Além disso, deve ser ressaltado o alto custo do equipamento, a grande emissão de radiação ultravioleta, maior necessidade de manutenção em comparação com os equipamentos para soldagem de eletrodos revestidos e menor variedade de consumíveis.

4.1.4 Metais de adição

Para MIG/MAG, os eletrodos consumíveis consistem de um arame contínuo em diâmetros que variam de 0,6 a 2,4 mm (arames tubular até 4 mm), usualmente em rolos de 12 a 15 kg, existindo no mercado rolos de até 200 kg. Os arames são normalmente revestidos com uma fina camada de Cobre para melhor contato elétrico com o tubo de contato da pistola e para prevenir a ocorrência de corrosão na estocagem.

Há arames de adição sólidos ou tubulares sendo que estes últimos são recheados de fluxos que possuem as mesmas características e funções dos revestimentos dos eletrodos revestidos. Esses arames tubulares podem ser utilizados com proteção gasosa ou conforme um procedimento desenvolvido ultimamente, sem o uso de gases (processo chamado NON-GAS). Neste caso o fluxo contido dentro do arame gera o gás de proteção da poça de fusão, a formação de escória, a desoxidação da poça e a estabilização do arco.

Este processo é principalmente semiautomático, com a globalização, este processo esta sendo muito utilizado em modo automático.

4.1.5 Vantagens do processo MIG / MAG

- Processo semi-automática, bastante versátil, que pode ser adaptado para a soldagem automática;
- Exige menor habilidade do soldador que o processo de eletrodo revestido;
- O eletrodo nu e alimentado continuamente, evitando perda de arame;
- A soldagem pode ser executada em todas as posições;
- Versatilidade em relação ao tipo de material e a espessura de soldagem;
- Não ha formação de escoria;
- A penetração e mais uniforme quando comparado ao processo de eletrodo revestido;
- A penetração e a diluição podem ser controladas durante o processo;
- Processo com baixo teor de hidrogênio;

- Os problemas de distorções e tensões residuais são menores.

4.1.5.1 Limitações do processo MIG / MAG

- Maior velocidade de resfriamento por não haver escória tende a aumentar a ocorrência de trincas no caso de aços temperáveis;
- A soldagem deve ser protegida de correntes de ar, para evitar a ocorrência de defeitos no cordão de solda;
- A soldagem é dificultada em juntas de difícil acesso, devido à geometria da tocha;
- O processo produz soldas com alto nível de respingos;
- Ocorre grande emissão de raios ultravioletas;
- O custo do equipamento é relativamente alto;
- O equipamento é menos portátil que o do processo de eletrodo revestido;
- Maior sensibilidade à variação dos parâmetros elétricos de operação;
- Dependendo do modo de transferência metálica, gera muito calor e elevada radiação;
- Devido ao peso da pistola e o pacote de mangueiras, o trabalho tende a ser mais cansativo para o soldador;
- Maior risco na formação de descontinuidades do tipo falta de fusão, caso o soldador não seja adequadamente treinado.

Como se viu (MODENESI et al. 2009), a soldagem MIG/MAG é um processo bastante versátil em termos de ligas soldáveis e espessuras de material, podem ser usadas em praticamente todas as posições a soldagem MIG encontra uma vasta gama de aplicações em aços não ferrosos e aços inoxidáveis, já a soldagem MAG é extensivamente usada para diversos tipos de aços. A soldagem MIG / MAG podem ser usadas na recuperação de revestimento de peças metálicas.

4.1.6 Soldagem na Indústria Automotiva

Uma carroceria de um automóvel é formada por diversas peças metálicas, elas são unidas para formar a estrutura do veículo. Aqui serão listadas algumas das principais tecnologias no campo de soldagem na indústria automotiva.

- Solda ponto por resistência;
- Solda por projeção;
- Solda MIG / MAG;
- Solda laser autógena;
- Solda frio (rebite, clinch).

4.1.6.1 Solda ponto por resistência

A solda ponto por resistência compreende um grupo de processos de soldagem nos qual os calores necessários à formação de uma junta soldada são obtidos pela resistência à passagem da corrente elétrica (efeito Joule) através das peças sendo soldadas e pela aplicação de pressão, ocorrendo certa quantidade de fusão na interface (MODENESI et al. 2009) O metal fundido solidifica formando uma “lentilha de solda” visível externamente nesse ponto. O diâmetro da lentilha e a estrutura do mesmo determinam a resistência mecânica das peças à tração (STOCCO e CARVALHO, 2011).

Um veículo popular em média é utilizado em média 4.500 pontos de solda por resistência é usada na fabricação de peças e conjuntos, a partir de chapas metálicas finas, com espessuras de até 3 mm, onde dois eletrodos cilíndricos aplicam pressão e permitem a passagem de uma alta corrente elétrica em um ponto concentrado de um à junta sobreposta, a pressão é aplicada pelos eletrodos no metal de base, causa à deformação plástica do material sólido em torno da lente de material fundido, o que impede, em condições adequadas para soldagem, o vazamento (expulsão) deste material fundido, ainda, protege do contato com o ar atmosférico. Com esta interrupção da corrente, a temperatura cai rapidamente com difusão do calor para eletrodos (em geral, refrigerados a água) e para o restante do metal de base, formando-se, assim, um ponto de solda. A formação de um ponto de solda é muito rápida, por exemplo, numa soldagem de 1,6mm de espessura com

uma corrente de cerca de 12.000A necessita-se de um tempo aproximadamente 0,25s.

- Vantagens:
 - Utilizado para chapas sobrepostas;
 - Baixo custo de solda;
 - Alta velocidade;
 - Facilidade de automação.

4.1.6.2 Máquinas de solda a ponto

O equipamento utilizado para realizar os pontos de solda é chamado de máquina de solda a ponto. Pode ser estacionária, como mostra a FIGURA 11(A) ou pode ser uma máquina de solda a ponto suspensa, também chamada de pinça de solda, como mostra a FIGURA 11(B).

As formas construtivas dos dois tipos de máquinas de solda são diferentes, porém, o funcionamento é semelhante e obedecem aos mesmos padrões de regulagem.

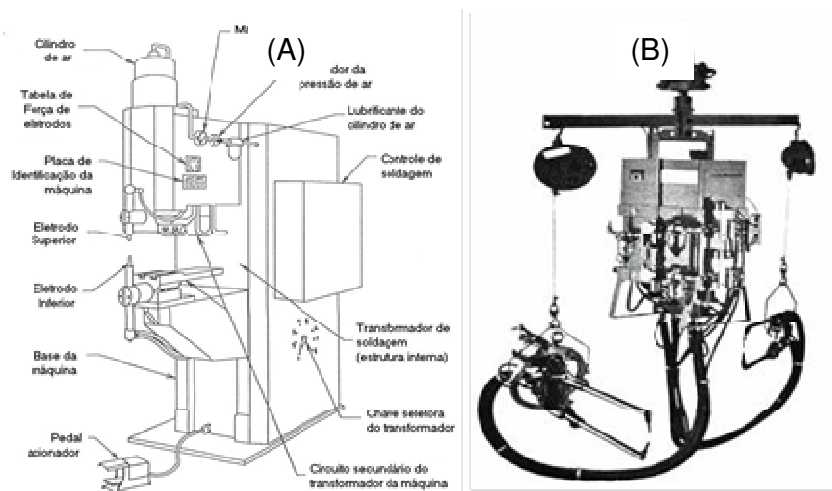


Figura 11 - tipo de máquina de solda ponto.
 NOTA: (A) MÁQUINA ESTACIONÁRIA, (B) MÁQUINA SUSPensa.
 Fonte: INTERMACHINERY, 2003.

4.1.6.3 Princípio de operação do processo de soldagem à resistência

O princípio da soldagem à resistência é bastante simples, combinando-se a aplicação de calor e pressão para se produzir um ponto de solda (CHIEN e ASIBU, 2002), a preocupação na soldagem à resistência é a aplicação adequada de seus princípios.

O termo “Soldagem à Resistência” é proveniente de uma propriedade elétrica chamada resistência, que dificulta a passagem do fluxo de corrente elétrica no metal a ser soldado, promovendo a geração de calor. Esta resistência ao fluxo de corrente é a Fonte geradora de calor na soldagem à resistência. Para realizar uma solda a ponto, que é uma subclassificação de soldagem à resistência, duas chapas ou mais, são colocadas sobrepostas, sendo pressionadas por eletrodos para garantir um bom contato elétrico (INTERMACHINERY, 2003).

A seqüência básica de um ciclo de soldagem a ponto. Sendo “F” a força de soldagem e “IS” a corrente de soldagem. O tempo compreendido entre as fases 1 e 6 chamam-se tempo de soldagem. Na etapa 1, os eletrodos iniciam o processo de descida para que as chapas sejam pressionadas. As chapas devem ser pressionadas de tal forma que ocorra um bom assentamento e evite problemas como expulsão de metal fundido da zona de solda, este processo ocorre na etapa 2. Na etapa 3, os eletrodos são mantidos sobre pressão e a corrente de soldagem é liberada, inicia-se então o processo de formação do ponto de solda. Na etapa 4, o ponto de solda já formado, a corrente de soldagem é desligada, porém os eletrodos são mantidos sobre pressão para que o ponto de solda solidifique. Após a solidificação do ponto de solda, a força de soldagem aplicada pelos eletrodos é desligada até a abertura total dos eletrodos, esse processo ocorre nas etapas 5 e 6.

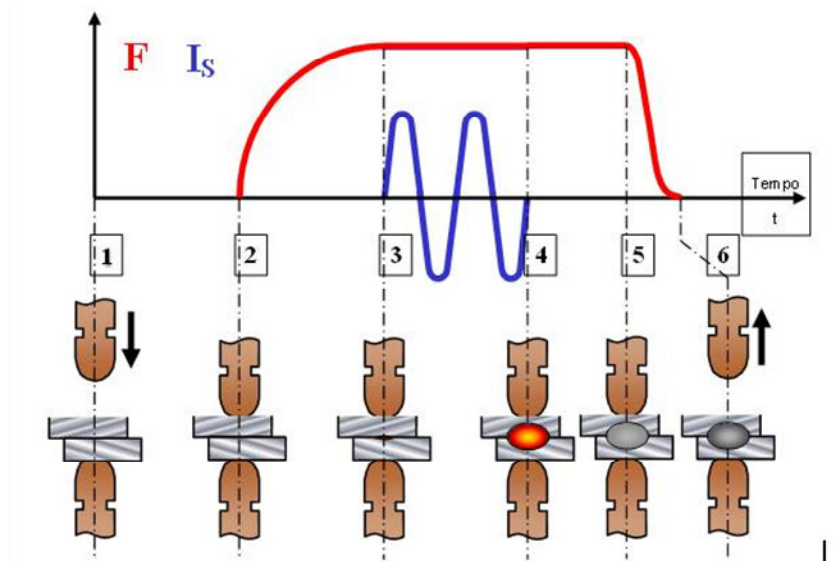


Figura 12 - Processo de soldagem à resistência.

A figura 12 mostra a formação do ponto de solda com algumas características. Tais como apresentar diâmetro mínimo especificado por norma, profundidade de penetração na área soldada. A endentação é a impressão deixada pelos eletrodos na chapa durante o processo de soldagem, desejável é que sege o mínimo possível (AGASHE e ZHANG, 2003).

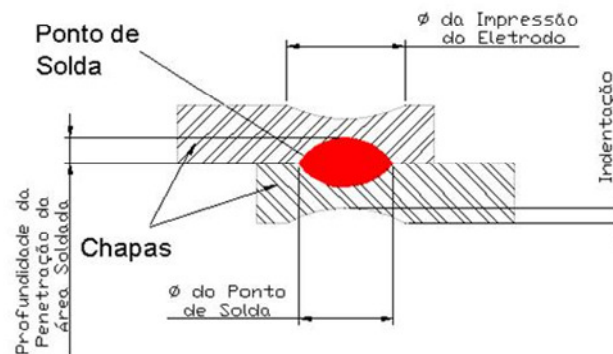


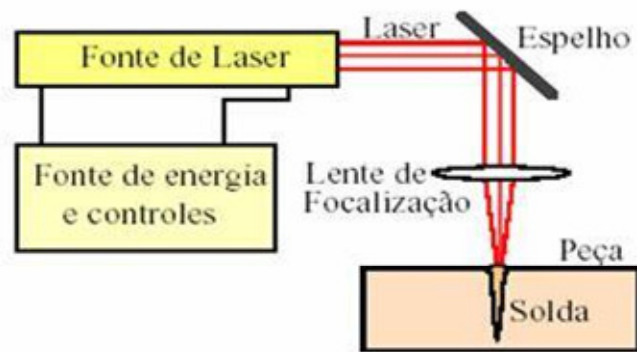
Figura 13 - Característica do ponto de solda.

4.1.7 Solda Laser

Segundo (MODENESI, et al. 2009), a solda é um processo basea-se em uniões e na fusão localizada da junta através de seu bombardeamento por feixe de

luz concentrada coerente e monocromática de alta intensidade. Este feixe de alta intensidade é suficiente para fundir e vaporizar parte do material da junta no ponto de entrada de feixe no material, causando um furo que penetra profundamente no metal de base. Para produção de laser podem ser usadas Fontes contínuas a dióxido de carbono, capazes de produzir laser de infravermelho, a soldagem em microeletrônica e em outras aplicações que exijam um controle preciso da quantidade de energia à peça.

- Laser pode ser transmitido no ar, não necessitando de um vácuo sobre a peça. Contudo, o uso de uma proteção gasosa é recomendável, particularmente para matérias reativas;
- Não ocorre a geração de raios-X com laser;
- Feixe de laser pode ser facilmente direcionado e focalizado o que facilita a automação do processo;
- Divido à menor intensidade do feixe de laser, a poça de fusão deste processo é menos sensível que a da soldagem por feixe de Elétrons, a problemas de instabilidade (porosidade na raiz, fusão incompleta, respingo sob o cordão);
- A soldagem a laser é processo de alta velocidade, ideal para aplicações automatizadas, mas exigindo um perfeito ajuste das peças. O custo do equipamento de soldagem tende a ser elevado, em torno de U\$500.000, fazendo com que o processo seja tipicamente usado apenas em aplicações com grande volume ou em aplicações críticas que necessitem de características especiais do cordão ou uma grande reprodutibilidade. O processo é mais utilizado na soldagem de peças de menor espessura com uma elevada velocidade de deslocamento. Embora o equipamento seja muito sofisticado, ele é projetado para ser usado por operadores, não necessitando de soldadores altamente treinados. Figura abaixo ilustra equipamento soldagem a Laser são uma fonte de energia e seus controles e seus sistemas de refrigeração.



Elementos de um sistema típico para soldagem a laser.

Figura 14 - Elementos de um sistema típico para sondagem a laser.



Figura 15 - Equipamento soldagem a laser.

4.1.8 Arco Elétrico

A corrente utilizada no processo de soldagem é programada conforme as espessuras das peças e do diâmetro do arame eletrodo. A transferência do metal e taxa de fusão do eletrodo é influenciada pelos parâmetros.

A tensão juntamente com comprimento do arco elétrico é uma das variáveis mais importantes utilizadas no processo embora tenham significados diferentes, pois a tensão do arco ela depende muito do comprimento do arco, tipos e diâmetro do eletrodo, do gás de proteção e também do modo de transferência.

Se por acaso se as variações se mantiverem, pode haver um aumento na tensão do arco provocando cordão de solda mais largo e de menor altura, um melhor molhamento, reduzindo penetração. Já a tensões excessivas do arco podem provocar alguns defeitos na soldagem, como porosidade, mordeduras, falta de penetração e falta fusão.

A variação da tensão arco elétrico não afetará somente a geometria do cordão de solda, também afetará a microestrutura.

Conforme (SCOTTI e PONOMAREV ,2008), o processo MIG/MAG tem uma auto-regulagem do comprimento do Arco elétrico.

Característica estática do tipo tensão constante, com velocidade de arame maior menor será o comprimento do arco elétrico, conseqüentemente a corrente tende ser menor.

Se a tensão for significativa, então a corrente tende se a reduzir, então a fusão do arame será menor, quando o arame eletrodo se aproxima da peça aos poucos o comprimento do arco vem se reduzindo, conseqüentemente a corrente sofre um aumento progressivo, ambas se recuperam aos parâmetros de início.

A tensão considerada uma variável que controla o tamanho do arco elétrico, quando a tensão é maior, ela aumenta a altura e o diâmetro do cone do arco elétrico (WHITE MARTINS, 2013), figura abaixo ilustra o ocorrido.

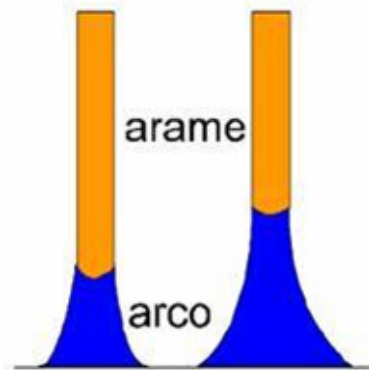


Figura 16 - Influência da tensão no arco elétrico.
Fonte: Catálogo do fabricante White Martins.

Quando o arco elétrico sofre um aumento, maior é área de solda aquecida em que resulta em um cordão de solda mais largo e baixo pelo aumento da poça de fusão conforme a figura abaixo.

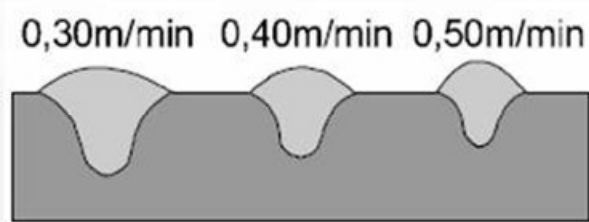


Figura 17 - Influencia da tensão no perfil do cordão de solda.
Fonte: Catálogo do fabricante White Martins.

O comprimento do arco elétrico influencia na largura e penetração no cordão de solda, quando o arco elétrico for mais próximo a peça o cordão de solda tende a ser menos largo e de maior penetração.

Quando o arco elétrico é mais longo o cordão de solda é mais alongado e a penetração tende de ser menor. A figura abaixo esquematiza a influencia do arco elétrico no cordão de solda.

O comprimento do arco elétrico quando pequeno pode causar curto-circuito acidentais se a transferência for globular ou Splay, resulta em uma instabilidade no arco elétrico, consequentemente ocasionando porosidade no cordão de solda.

Se o comprimento for muito grande tende a oscilar podendo causar um cordão de solda com pouca penetração com uma molhabilidade do cordão irregulares.



Figura 18 - Altura arco, largura cordão de solda x penetração cordão de solda.

A gráfico abaixo mostra funcionamento da frequência do pulso e da largura do pulso. O gráfico a seguir ele demonstra que quando for a menor frequência menor será a taxa de deposição, quando pulso é largo, o mesmo pulso é quente mais sua taxa de diluição sera menor.

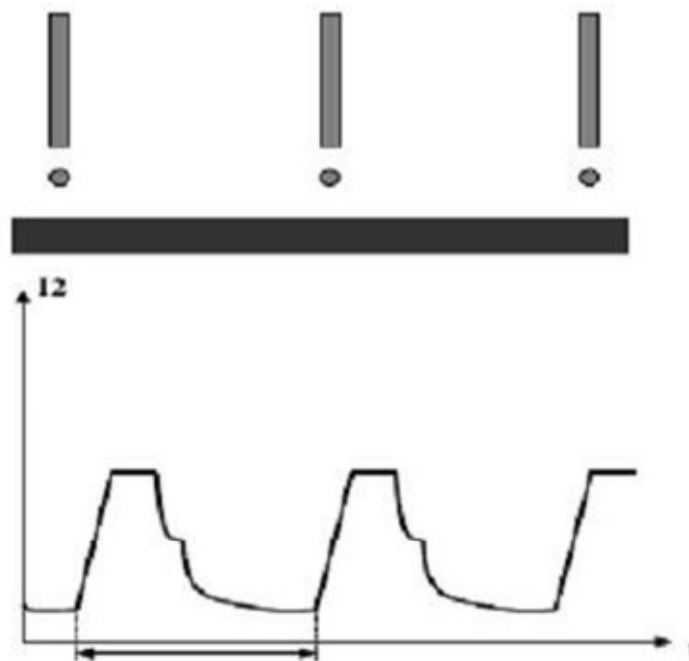


Figura 19 - Menor frequência x pulso largo.

Já o gráfico seguinte mostra uma frequência maior, mais sua taxa de deposição bem maior e com pulso estreito, sendo assim o pulso pode ser frio mais com uma maior penetração.

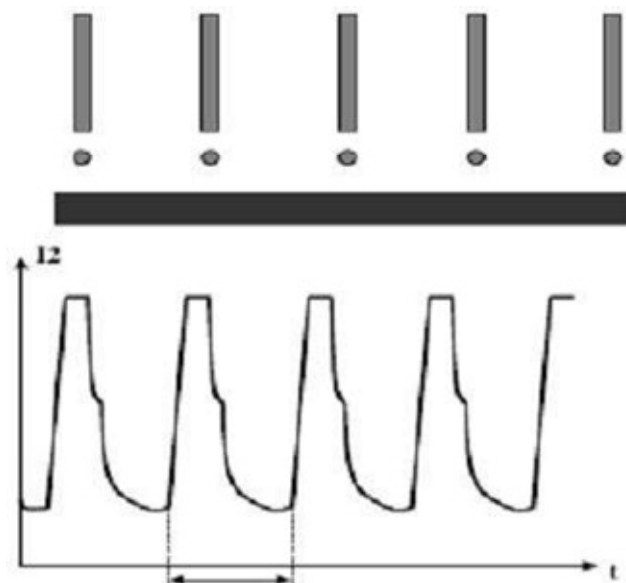


Figura 20 - Maior frequência x pulso estreito.

4.1.9 Distância Bico Contato Peça (DBCP)

É a distância que existe no início da parte externa do eletrodo ou fim do bico de contato e a tensão e comprimento do arco elétrico.

O *stick-out* está muito relacionado à velocidade de fusão do eletrodo, se o DBCP (distância bico contato peça) for aumentado, o calor é aumentado por efeito Joule, e a velocidade de fusão do eletrodo também se torna maior. Se o DBCP for contrario pequeno, o calor que é gerado não será suficiente para fundir o eletrodo adequadamente, por outro lado, se for muito elevado, pode se tornar-se instável, a proteção do gás deixará de existir consequentemente surgirão defeitos como porosidades. Por isso é muito importante haver um controle rigoroso no comprimento do DBCP conforme figura abaixo.

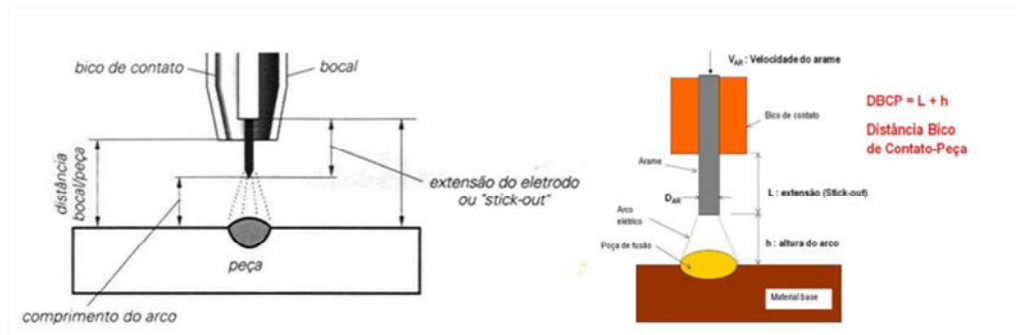


Figura 21 - Extensão dbcp.

Conforme (NILO, 2003), otimização de um processo de soldagem MIG/MAG, cita quando se aumenta a DBCP (distância da peça ao bico de contato), sem alterar os demais parâmetros, poderá haver um aumento na queda da tensão, a corrente de solda, assim como a potência do arco, também se reduz.

Quanto maior for o comprimento livre do arame, maior será a resistência ao aquecimento. Desse modo, o arame pode vir a ser fundido por um arco de potência insuficiente. Nessas condições, a zona de solda recebe pouco calor, podem ocorrer regiões frias na soldagem, em geral, arames longos livres reduzem a frequência das gotas e aumentam a perda de deposição pode haver ocorrência de respingos.

A Figura abaixo mostra a influência no cordão de solda com a variação da DBCP em três diferentes situações.

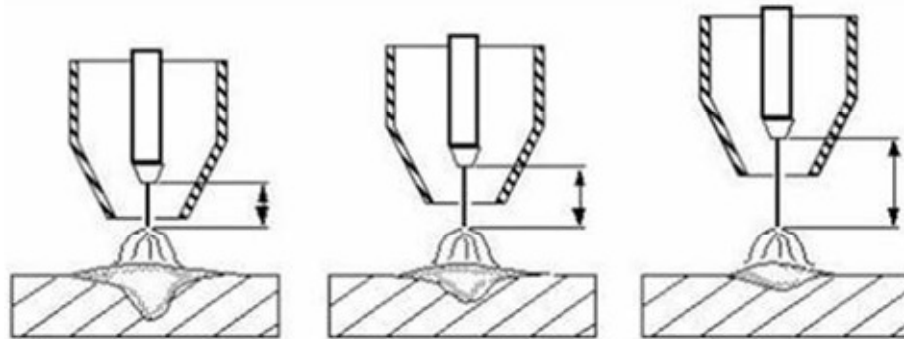


Figura 22 - Influência dbcp na geometria cordão solda.
Fonte: Wainer (1992).

Outra influência que acarreta a distância da DBCP é o diâmetro do arame, normalmente utiliza-se um valor entre 15- 25 mm para o trabalho.

A taxa normalmente se movimenta, podendo influenciar na estabilidade do arco elétrico e na penetração e no aspecto do cordão de solda e sua velocidade de depósito de material.

Geralmente DBCP mais curto, é para melhorar a penetração e protegendo o cordão de solda do ambiente externo.

Segundo (WAINER et al. 1992), relata que, quando se utiliza dois eletrodos de diâmetros diferentes, submetidos nas mesmas condições de soldagem, o eletrodo de maior diâmetro dará maior taxa de deposição e penetração. Já os eletrodos com diâmetros maiores originam cordões mais longos, quando comparamos com os eletrodos de diâmetro menores. A espessura do metal de base também influencia na escolha do diâmetro do eletrodo. Quanto mais espesso for o material de base, maior deverá ser o diâmetro do eletrodo.

5. DESENVOLVIMENTOS EXPERIMENTAIS

Foram realizados alguns testes experimentais, para obtenção dos resultados com chapas de 1.8mm retiradas da peça a ser soldada na indústria automotiva.

Foram realizados 16 experimentos utilizando parâmetros já definidos pra execução dos testes.

Sendo que os corpos de prova de 01 a 08 foram excluídos por apresentar problemas durante a execução dos testes.

Desta forma o objetivo global desse trabalho foi estudar quais seriam as influências na distância bico contadas e no comprimento do arco elétrico no perfil do cordão de solda. Essa prática foi adotada em todos os ensaios.

Realizada uma soldagem em junta sobreposta tipo tampão na posição vertical descendente, com velocidade alimentação do arame 8 m/s em um oblongo de 5,8 mm largura por 80 mm de comprimento.

Velocidade alimentação		$\times \pi D^2$		$\frac{\text{mm}}{\text{s}} \times$	$\text{mm}^2 =$	$\frac{\text{mm}^3}{\text{s}}$
		4		s		s

Velocidade alimentação		$\times \pi D^2$	$\times \rho$	$\frac{\text{mm}}{\text{s}} \times$	$\text{mm}^2 \times$	$\frac{9}{\text{mm}^3}$	$\frac{9}{\text{s}}$
		4		s			s

A cada segundo foi depositado uma quantidade 104,6 mm³ de material adição, correspondente a uma taxa de deposição de 826,3 gramas por segundo.

O objetivo do teste foi demonstrar a diferença entre o comprimento do arco elétrico e DBCP.

Os testes levaram as seguintes situações, o comprimento do arco elétrico se houver variação durante o processo de soldagem mudará o perfil do cordão de solda e sua penetração da solda.

Os testes com DBCP entre 15 mm e 12 mm houve pouca variação no processo de soldagem.

Tabela 2 – Parâmetros fixados.

TABELA PARÂMETROS DE SOLDAGEM
ESPESSURA CHAPA: 1.8
CORRENTE: +/- 180A
VELOCIDADE ALIMENTAÇÃO ARAME: 8m/s
ALTURA DO ARCO ELÉTRICO: 30 / - 30
TENSÃO: +/-20 V
DIÂMETRO ARAME: 1 m m
DIÂMETRO BITOLA: 1 m m
VASÃO GÁS: 15 l/min.
ELETRODO: aço ER 70S6
GÁS PROTEÇÃO: Ar 82% e 18% CO
VELOCIDADE SOLDAGEM: 5,5 m m/s

5.1 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA METALOGRAFIA

As amostras foram traçadas linhas de corte de 1 á 3, sendo que as linhas traçadas foram conforme a posição de soldagem, o inicio do cordão de solda foi à linha 1 e a linha 3 foi final da soldagem. Conforme figura abaixo.

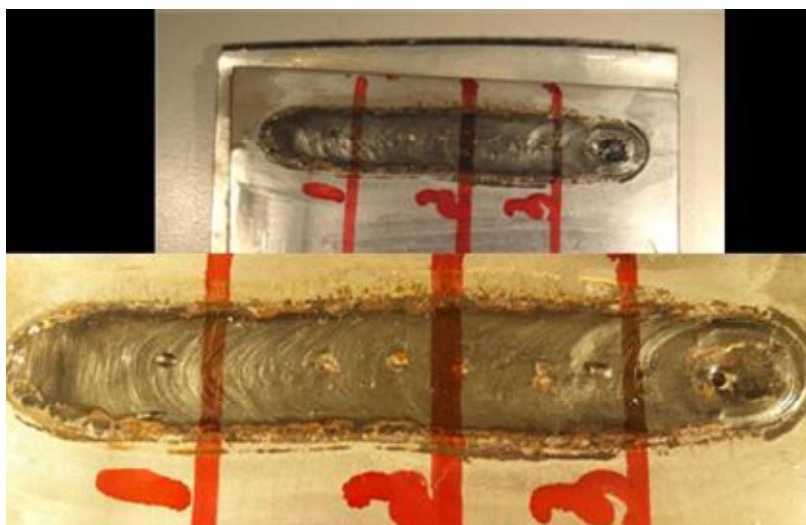


Figura 23 - Peça traçada para cortes corpos prova.

As amostras foram preparadas de forma convencional, constituindo em embutimento em baquelite.

Os lixamentos e polimentos foram realizados em um equipamento automático da marca BUEHLER modelo VECTOR POWER HEAD.



Figura 24 - Embutidora.

Os corpos de prova passaram por acabamentos com lixas de granulação 120, 400, 800, pano polimento e utilizada pasta alumina de $1\mu\text{m}$ e por final atacada com Nital 5% para revelação da solda. Figura abaixo mostra o resultado final.

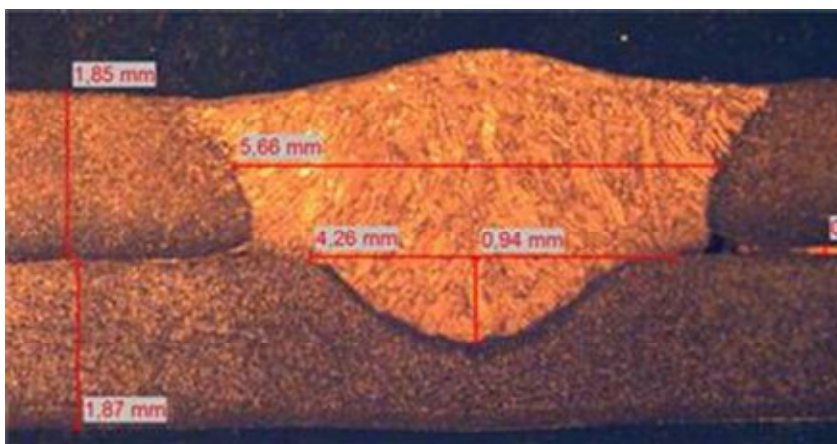


Figura 25 - Resultado final macrografia.

5.1.1 Ensaios experimentais

Os ensaios experimentais foram realizados utilizando se dos corpos de prova numerados de 9 a 16. As amostras foram pesadas anteriormente ao teste, para os ensaios cordões de solda foram executados variando se o DBCP e o comprimento do arco.

Após a execução dos cordões as amostras foram novamente pesadas e seus valores estão apresentados na tabela abaixo.

Tabela 3 - Dados experimentais.

TABELA CORPOS PROVA-UFPR					
CORPO PROVA	DBCP	PESO ANTES	PESO DEPOIS	DIFERENÇA	COMPRIMENTO ARCO ELÉTRICO
9	15 mm	181,91	188,17	6,26	-30%
10	15 mm	191,76	197,98	6,22	-30%
11	15 mm	176,91	183,27	6,36	+30%
12	15 mm	125,59	131,43	5,84	+30%
13	12 mm	140,75	145,67	4,92	-30%
14	12 mm	164,13	169,74	5,61	-30%
15	12 mm	155,64	160,74	5,1	+30%
16	12 mm	142,05	147,41	5,36	+30%

5.2 RESULTADOS

Neste breve capítulo serão mostrados os resultados obtidos com testes experimentais.

Corpo de prova soldado com arco elétrico de +30% e com DBCP de 15 mm, cordão de solda apresenta um perfil mais largo a penetração concentrada, conforme figura abaixo.

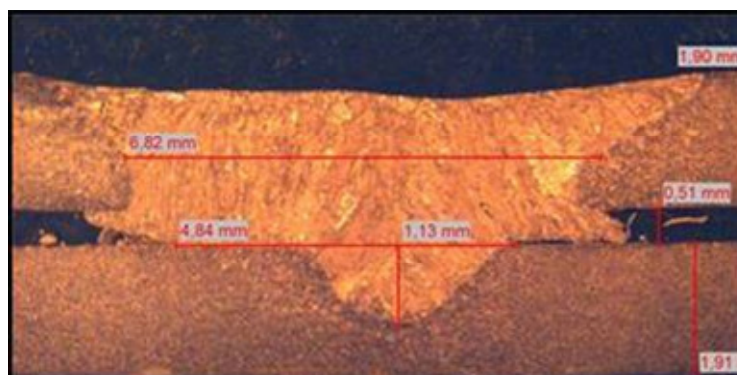


Figura 26 - Altura arco elétrico +30%.

Já o corpo de prova soldado com arco elétrico de -30% o cordão de solda é estreito mais com boa penetração. Conforme figura.

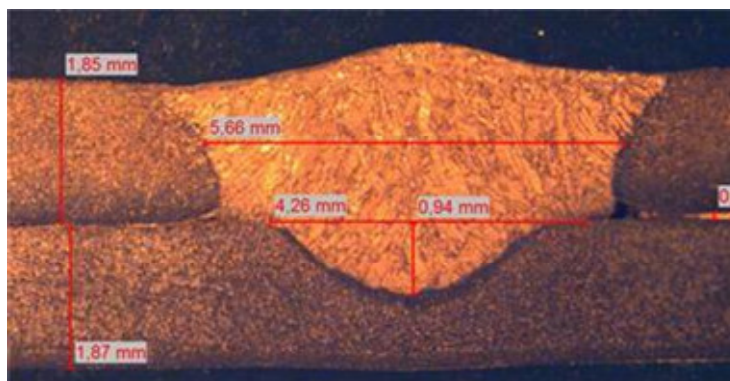


Figura 27 - Altura arco elétrico -30%.

A ideia deste trabalho foi estudar a influência do comprimento arco elétrico, DBCP e suas influencias na geometria do cordão de solda.

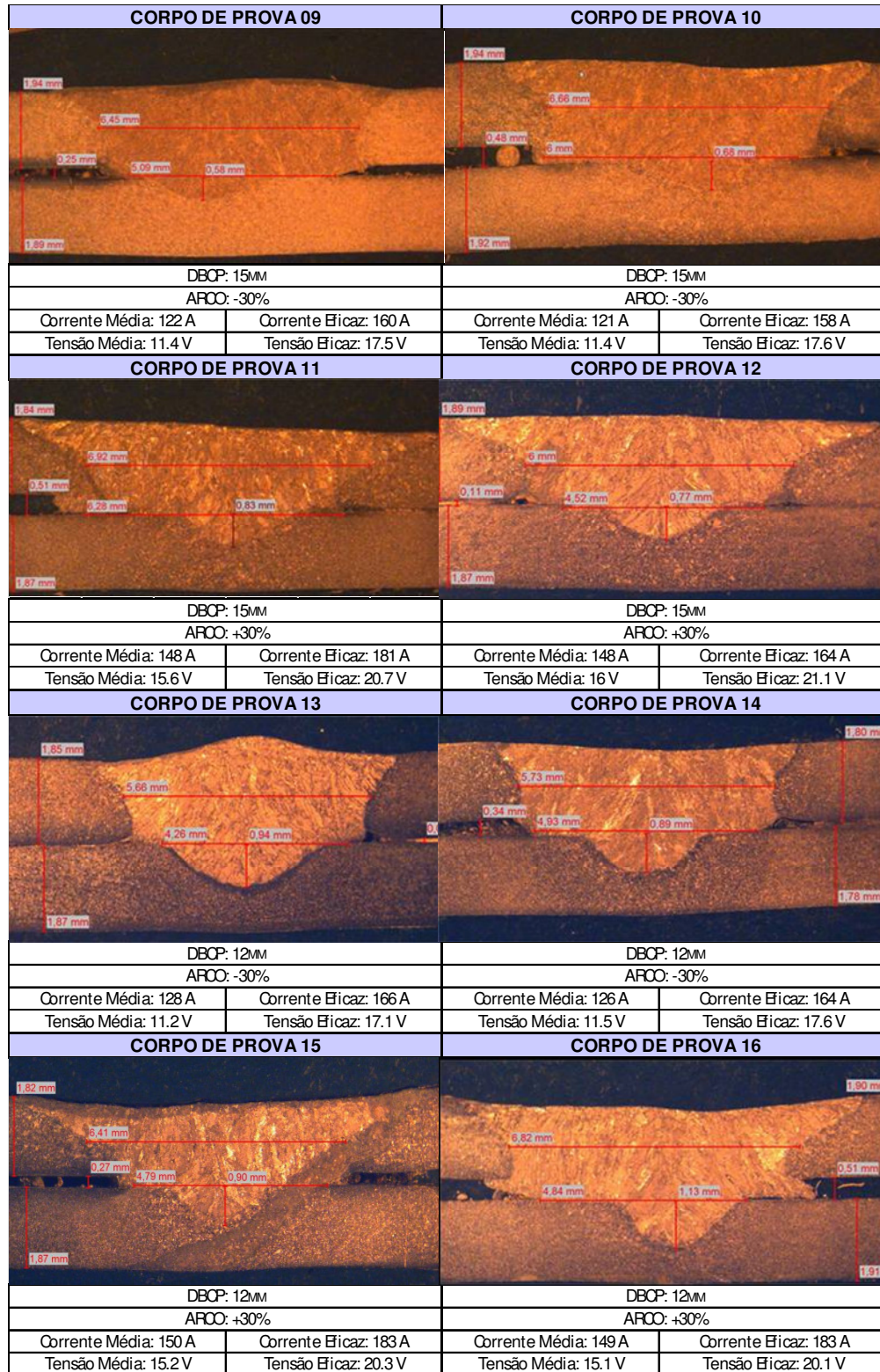


Figura 28 - Resultados experimentais.

5.2.1 Discussões dos resultados

Efeito da Distância bico contato peça, ao compararmos os corpos de prova 09,10 com 11,12 e 13,14 com 15,16. Conforme quadro abaixo.

Tabela 4 - Resultado Efeito altura DBCP.

Efeito da distância Bico de contato peça				
Corpo prova	Penetração	Largura	Im	Vm
(9,10) x (13,14) (diminuiu a DBCP)	↑	↓ _{pouco}	↑ _{pouco}	≈
(11,12) x (15,16)	↑	↓ _{pouco}	≈	≈

Podemos dizer que apesar da corrente ter subido pouco ou praticamente nada, aumento da DBCP houve um aumento na penetração, mais pouco afetou a largura da solda.

Podemos concluir se o problema é a falta de penetração trabalha no ajuste do DBCP.

Ao compararmos o efeito do ajuste do comprimento do arco elétrico, os corpos de prova 09,10 com 13,14 e 11,12 com 15,16. Conforme quadro abaixo.

Tabela 5 - Resultado comprimento arco elétrico.

Efeito do ajuste comprimento do arco elétrico				
Corpo prova	Penetração	Largura	Im	Vm
(9,10) x (11,12) -30(menor) +30(maior)	≈	↑	↑	↑
(11,12) x (15,16)	≈	↑	↑	↑

Conclui se que apesar de aumentar à corrente, a velocidade soldagem foi a mesma e a penetração sofreu pouco efeito.

6. CONCLUSÃO

O objetivo de conseguir através dos ajustes finos melhoria no cordão de solda foi conseguido.

Conclui se que se o meu objetivo for trabalhar com uma solda de maior penetração, devo ajustar distância bico contato peça.

Se for trabalhar com um cordão de solda mais largo, ajusto comprimento do arco elétrico.

Obs: deve-se destacar que trata-se de um estudo exploratório. Para se ter melhor domínio do efeito de ajustes de parâmetros sobre o perfil de cordão com este ou outros processos, é necessário se fazer um trabalho mais sistemático.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. SCOTTI e V. PONOMAREV - **Soldagem MIG / MAG - melhor entendimento melhor desempenho** (2008).

C. PICKIN e K. YOUNG - **Evaluation of cold metal transfer (CMT) for welding aluminium alloy**; Sci. Technol. Weld Join (2009).

C. S. CHIEN e Jr. E. K. ASIBU - **Investigation of Monitoring Systems for Resistance Spot Welding**. Welding Journal, p. 195S – 199S (2002).

Catálogo do fabricante Fronius – **Cold Metal Transfer** (www.Fronius.com) (2003).

Catálogo fabricante ESAB - **Soldagem MIG / MAG** (www.esab.com.br) (2005).

D. STOCCO, R.P. CARVALHO - **Ultrassom solda a Ponto** (2011).

E. WAINER et all e todos - **Soldagem Processos e Metalurgia** (1992).

H. ZHANG, J. FENG, P. HE, B. B. ZHANG, J. M. CHEN e L. WANG - **The arc characteristics and metal transfer behavior of cold metal transfer and its use in joining aluminium to zinc-coated steel**; Material Science and Engineering A; 499, (2009).

INTERMACHINERY Comércio Ltda. - **I Seminário de Solda a Ponto**. São Paulo, CD-ROM (2003).

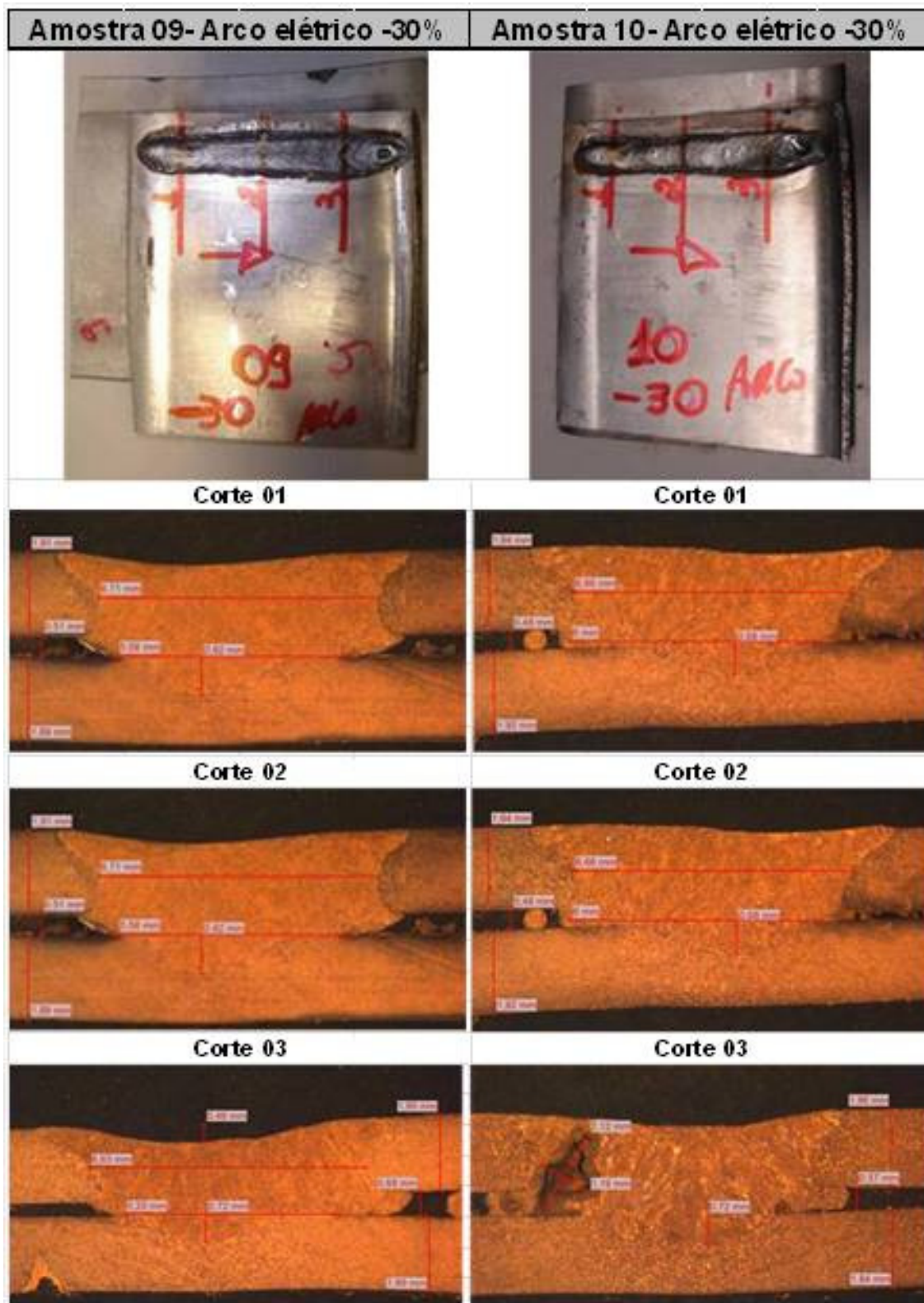
L. P. JR. NILO - **Otimização de um processo de solda MIG/ MAG e aplicação na indústria automobilística** (2003).

M. P. VILHANI, P. J. MODENESI e A. Q. BRACARENSE - **Soldagem fundamento e tecnologia** (2009).

S. AGASHE e H. ZHANG - Selection of Schedules Based on Heat Balance. In: Resistance Spot Welding. **Welding Journal**, Jul. 2003, p. 179 S – 183S.

Soldagem ao Arco Elétrico sob Proteção Gasosa - Processo MIG – MAG -
Autor: Engenheiro Arnaldo Mello Solci -WHITE MARTINS Gases Industriais S/A
Bauru – Retirado do site <http://www.soldaautomatica.com.br> (10/2013).

8. ANEXOS



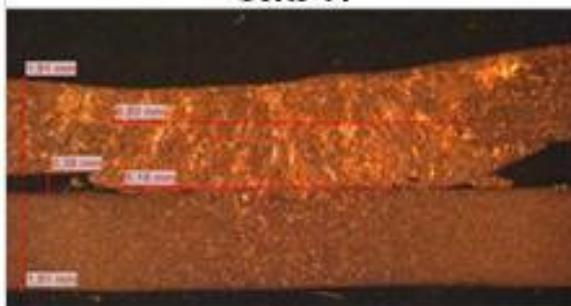
Amostra 11 - Arco elétrico + 30% **Amostra 12 - Arco elétrico +30%**



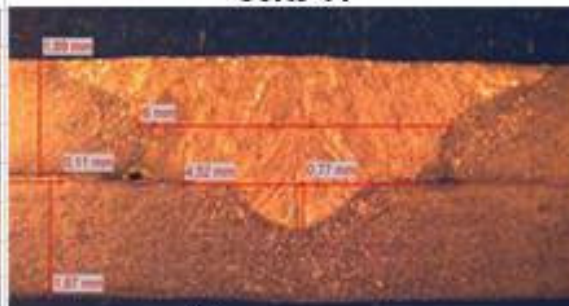
Corte 01



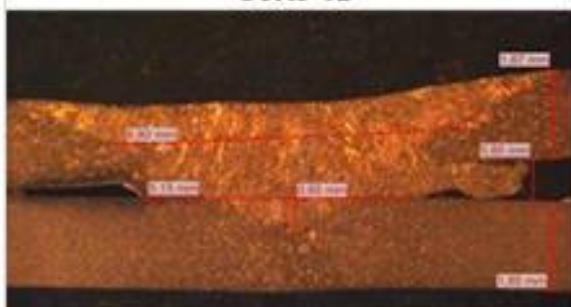
Corte 01



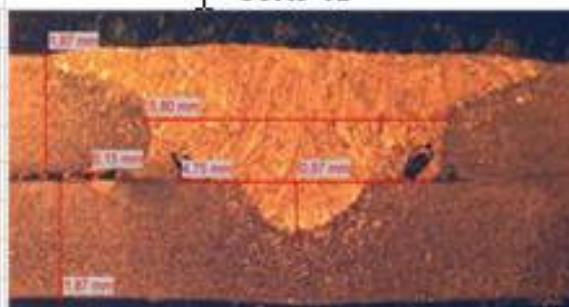
Corte 02



Corte 02



Corte 03



Corte 03

