



Complementos de Fabricação Mecânica

PMR 3301

Profa. Izabel Machado

machadoi@usp.br



Soldagem

Soldagem

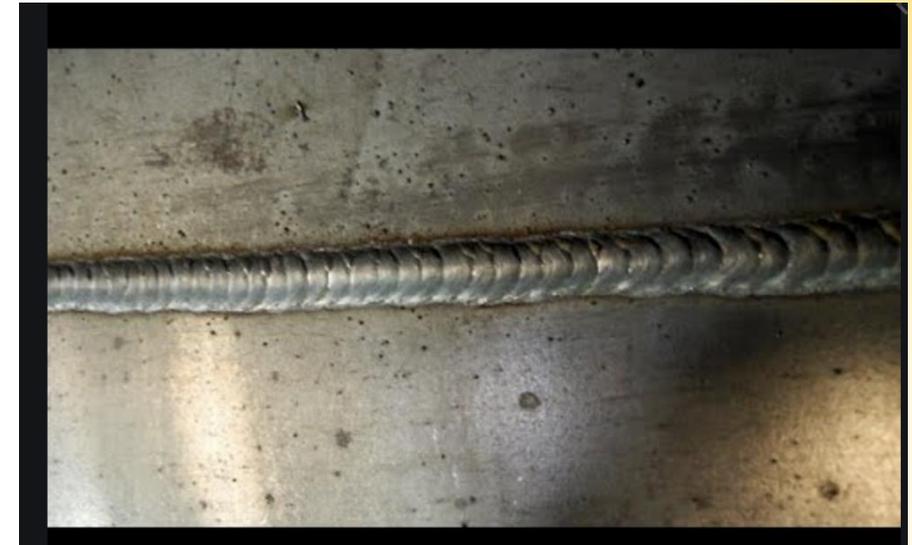
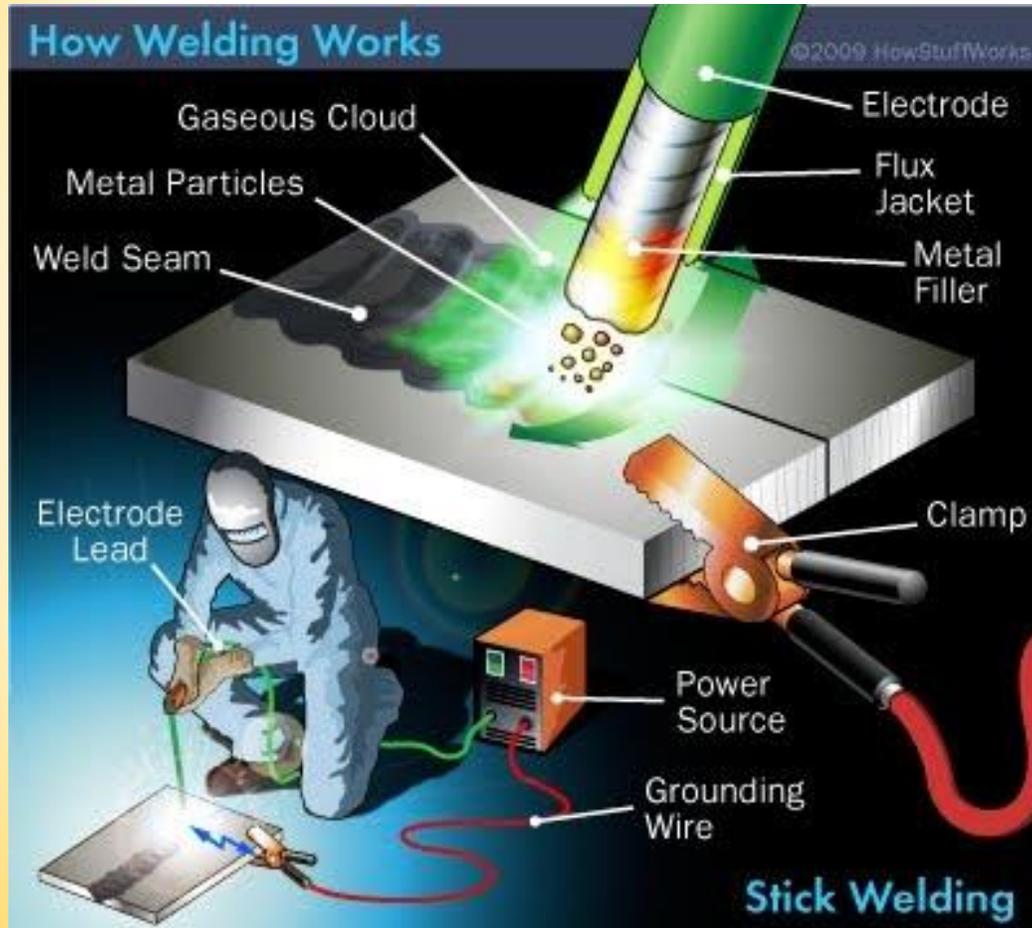
Soldagem é o processo de união de duas partes metálicas utilizando-se uma fonte de calor.

A **solda** é o resultado desse processo.

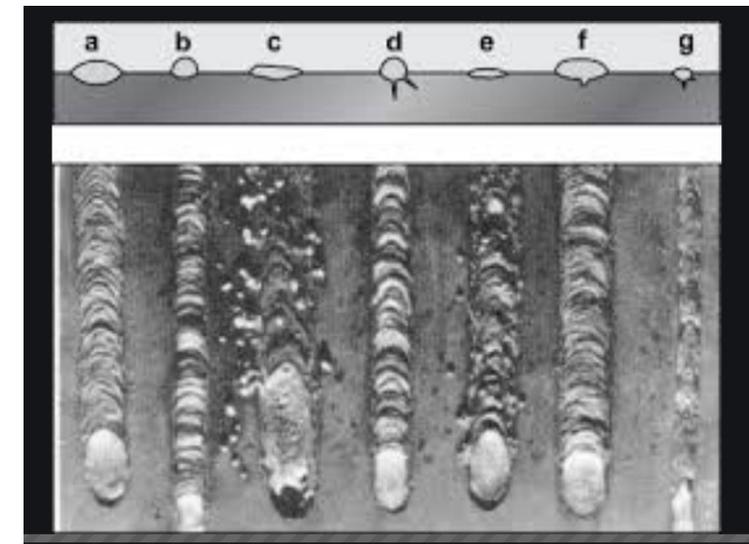
Classificação dos processos de soldagem a partir da natureza da união



Eletrodo Revestido



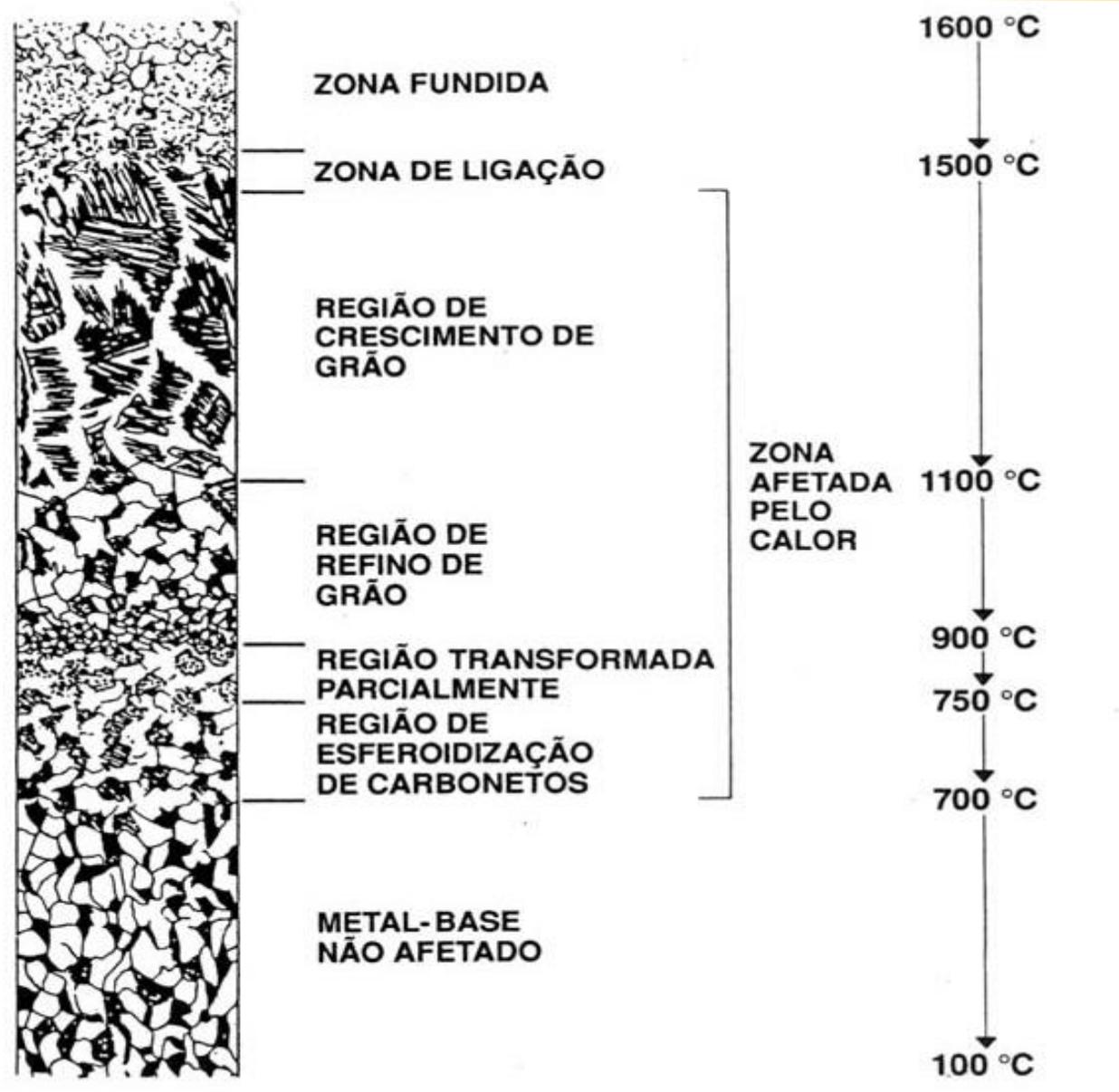
Defeitos em cordões de solda



Soldagem



Esquema da zona afetada pelo calor – ZAC – Zona termicamente afetada - ZTA





Os processos de fabricação passaram a se tornar cada vez mais dinâmicos e produtivos, houve uma mudança significativa nos conceitos de produção e os equipamentos se tornaram cada vez mais modernos.

Isso gerou alguns problemas pois a rapidez adquirida em uma etapa do processo, sem a sequência das etapas posteriores, acaba gerando os chamados gargalos de produção, ou seja, um setor menos produtivo não consegue dar conta da demanda que recebe, atrasando o restante do processo de fabricação.

Essa realidade fez com que se buscasse cada vez mais por rapidez sem perder a qualidade, e é neste ponto onde a atividade humana encontra o seu limite e a automatização do processo de soldagem passou a ser vista como prioridade em grande parte das indústrias.

A automatização de soldagem tem por objetivo acelerar o índice de produtividade, reduzir o custo, aumentar o nível de qualidade e padronização, além de minimizar o desgaste físico provocado pela atividade de solda em si.

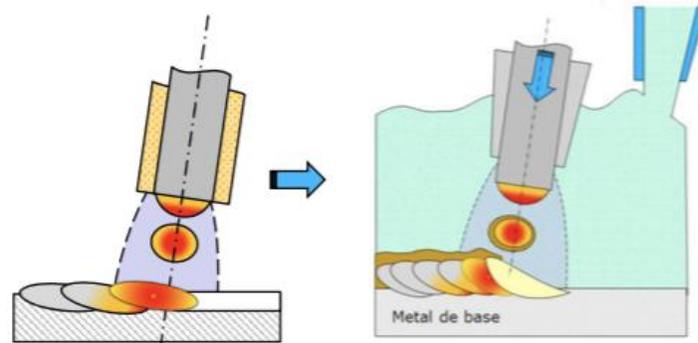
<http://cigsoldas.com.br/automatizacao-de-soldagem/>





Automatização dos processos de soldagem

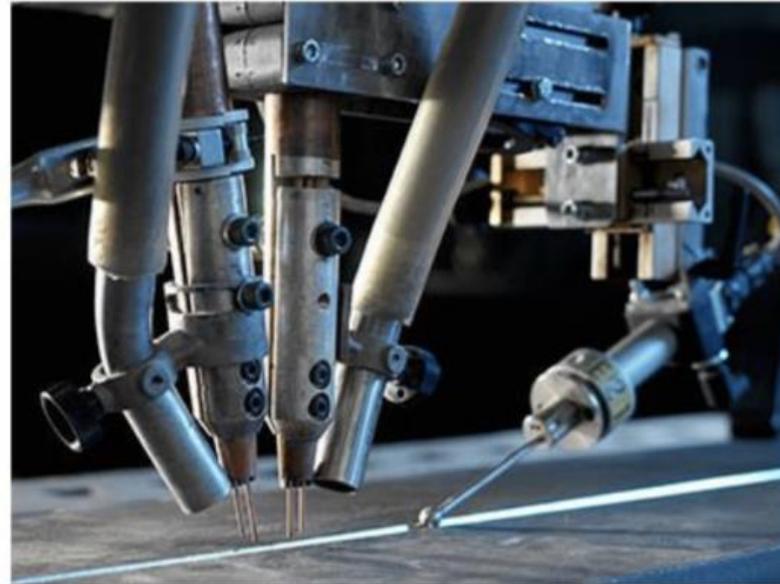
eletrodo revestido e arco submerso



- Automatização rígida
- Dispositivos simples, baseado em 'tartaruga' e trilho
- Limitações quanto a posição de soldagem
- Uso de fontes de soldagem micro processadas facilita o controle dos parâmetros de soldagem (V e I)
- Uso de sistemas auxiliares de visão auxiliam no seguimento da fenda de trabalho e/ou na avaliação da qualidade do cordão de solda



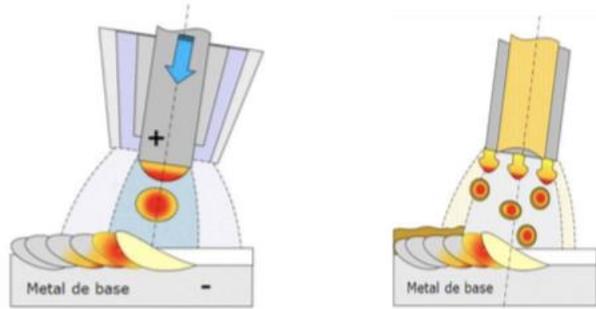
Automatização dos processos de soldagem



arco submerso



MIG/MAG e Eletrodo tubular

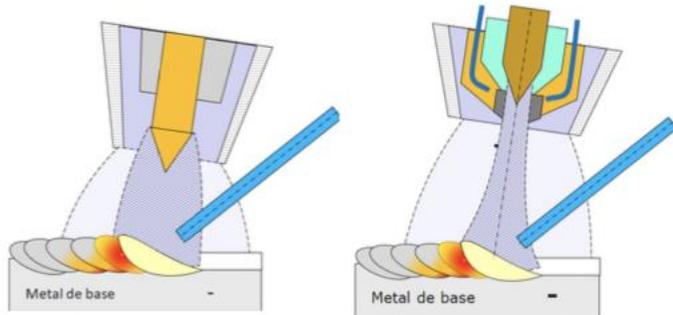


- Altamente automatizável
- Uso de robôs
- Uso de sistemas rígidos
- Sem limitações quanto a posição de soldagem
- Uso de fontes de soldagem micro processadas facilita o controle dos parâmetros de soldagem (V e I)
- Uso de sistemas auxiliares de visão auxiliam no seguimento da fenda de trabalho e/ou na avaliação da qualidade do cordão de solda



Automatização dos processos de soldagem

TIG e Plasma



- Altamente automatizável
- Uso de robôs
- Uso de sistemas rígidos
- Sem limitações quanto a posição de soldagem
- Uso de fontes de soldagem micro processadas facilita o controle dos parâmetros de soldagem (V e I)
- Uso de sistemas auxiliares de visão auxiliam no seguimento da fenda de trabalho e/ou na avaliação da qualidade do cordão de solda
- Necessita de sistema auxiliar de alientação⁴⁹ do eletrodo



Automatização da Soldagem

Automatização dos processos de soldagem



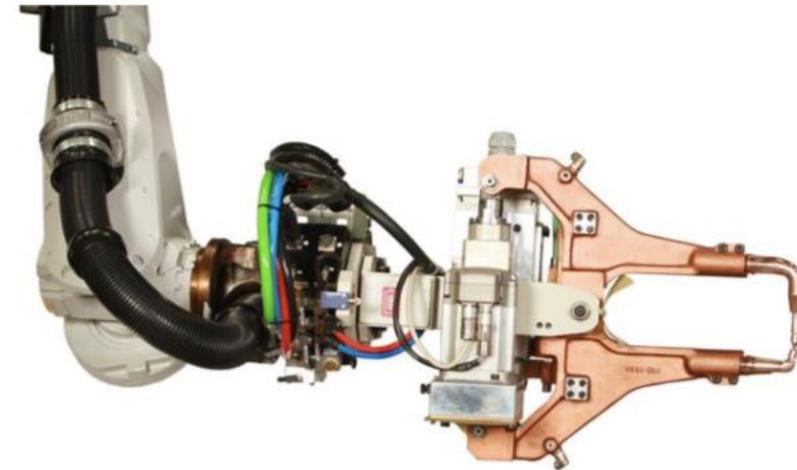
**Exemplo de automatização
rígida MIG/MAG TIG**



Automatização dos processos de soldagem



Por solda ponto





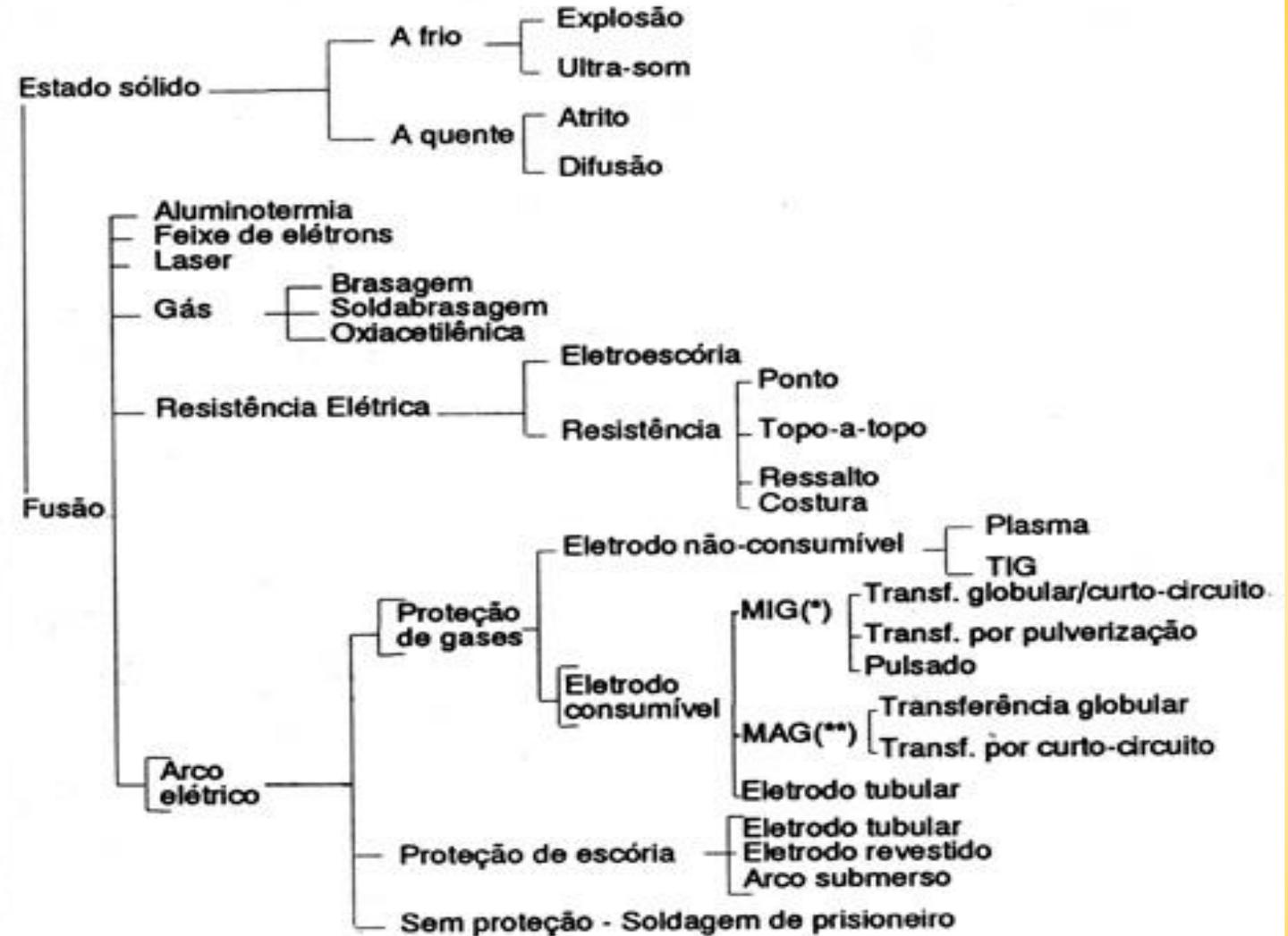
Soldagem por Laser

- ▶ Exemplo de estação de soldagem com Laser de Nd:YAG

Óptica flexível
Baseada em
fibra óptica



Classificação dos processos de soldagem a partir da natureza da união



Observ.: (*) com argônio ou hélio.

(**) com argônio, oxigênio, CO2 ou misturas desses gases.



A brasagem é utilizada na união de metais dissimilares, de peças de pequena espessura, de metais tratados termicamente e em uniões de metal com cerâmica. Abrange um campo vasto que vai desde a indústria elétrica e eletrônica até a indústria automobilística e de aviação.

A brasagem é um processo de soldagem também conhecido por “brazing” em inglês. É um processo de soldagem em que o metal de adição apresenta temperatura acima de 450°C, mas inferior à temperatura de fusão do metal de base. Portanto, na brasagem, o metal da peça de trabalho não funde, mas o metal de adição sim. No passado, quase todas as soldas continham chumbo, mas as preocupações ambientais e de saúde têm ditado cada vez mais o uso de ligas sem chumbo para fins eletrônicos e de encanamento.

<https://infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/processos/198-brasagem-caracteristicas-do-processo>



Brasagem

Antes da brasagem é necessária a limpeza das superfícies a serem soldadas é feita por meios químicos ou mecânicos.

A escolha de um metal de adição é feita em função do metal de base, do método de aquecimento, do desenho da junta e da proteção. Além disso, o metal de adição deve ter uma temperatura de fusão adequada, boa molhabilidade, boa fluidez e propriedades mecânicas compatíveis com a aplicação.

É importante o uso de **fluxo**, que dissolve as camadas de óxido eventualmente formadas após a limpeza permitindo que o material adição possa fluir livremente sobre as superfícies a serem unidas e aderir ao metal da base.

A brasagem pode ser feita em atmosfera ativa, inerte ou sob o vácuo.



<https://treinasolda.com.br/cursos-soldagem-por-brasagem/>

https://docente.ifsc.edu.br/anderson.correia/MaterialDidatico/Eletromecanica/Modulo_2/Processos_de_Soldagem/Soldagem%20por%20Brasagem.pdf

Brasagem



<https://www.youtube.com/watch?v=-oifC7fbQfY>

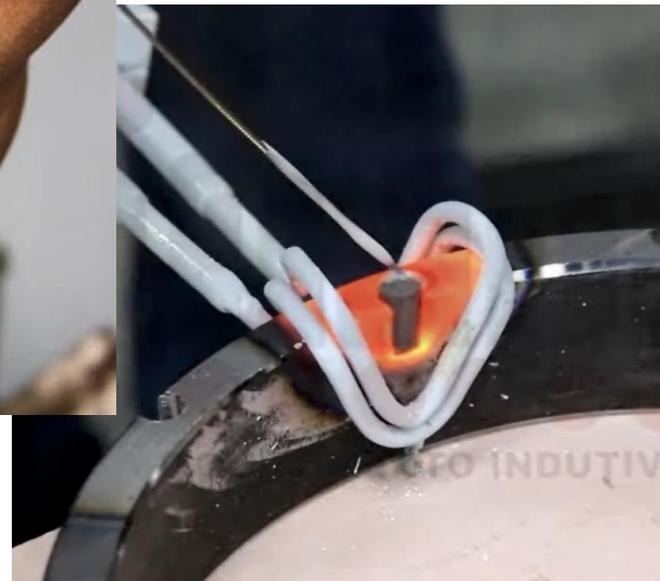
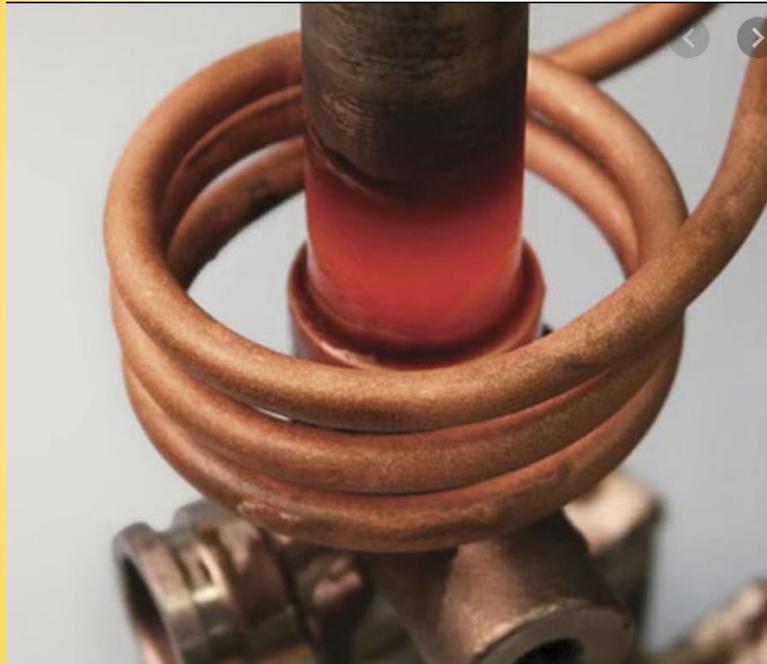




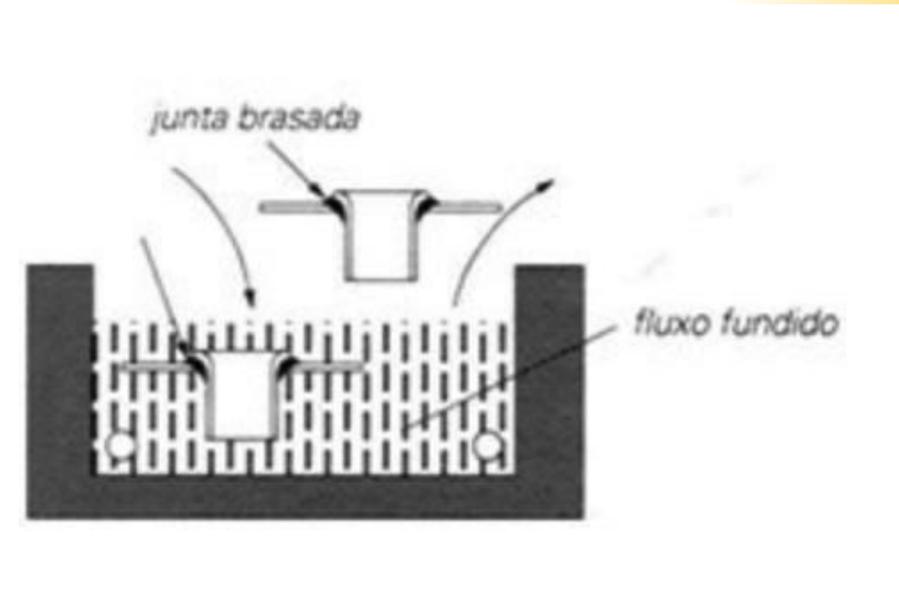
Brasagem

Os processos de brasagem podem ser classificados de acordo com os métodos de aquecimentos usados. Em termos industriais os mais importantes são: brasagem por chama, em forno, por indução, por resistência, por imersão, e por infravermelho.

Indução



Imersão



<https://infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/processos/199-brasagem-processos>

<https://treinasolda.com.br/cursos-soldagem-por-brasagem/>

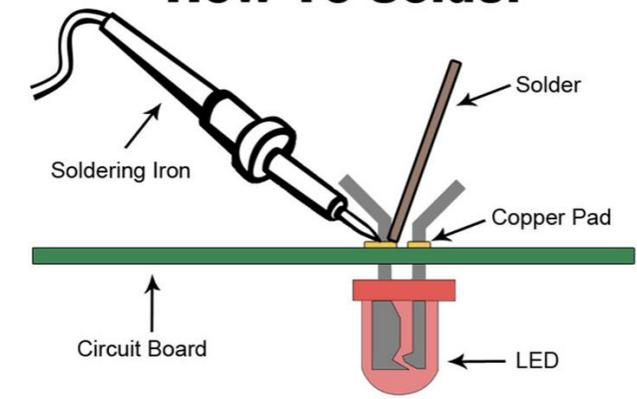
https://docente.ifsc.edu.br/anderson.correia/MaterialDidatico/Eletromecanica/Modulo_2/Processos_de_Soldagem/Soldagem%20por%20Brasagem.pdf
Izabel Machado – machadoi@usp.br



Existe outro método de soldagem similar à brasagem que conhecido como solda branda ou fraca (“soldering”). Neste processo o metal de adição tem o ponto de fusão abaixo de 450°C.

A solda branda é utilizada principalmente nas indústrias elétrica e eletrônica, na soldagem de circuitos impressos, de componentes e em ligações de terminais elétricos.

How To Solder



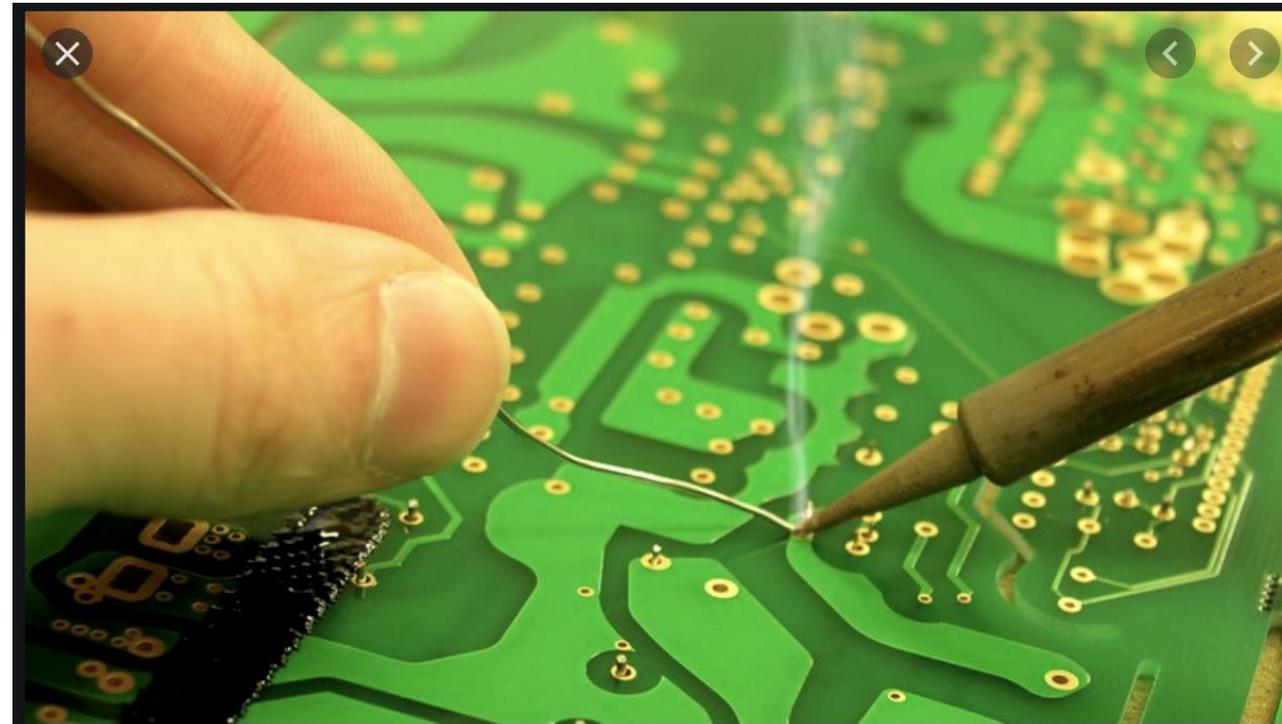
Makerspaces.com/how-to-solder

- Step 1** - Heat soldering iron.
- Step 2** - Touch soldering iron to copper pad and component lead. Hold for 2-3 seconds.
- Step 3** - Add solder to copper pad opposite of the soldering iron. Don't touch solder directly to the iron. Solder should surround pad/lead and be a cone shape.
- Step 4** - Wait 1-2 seconds and remove soldering iron.



Soldagem de microcomponentes

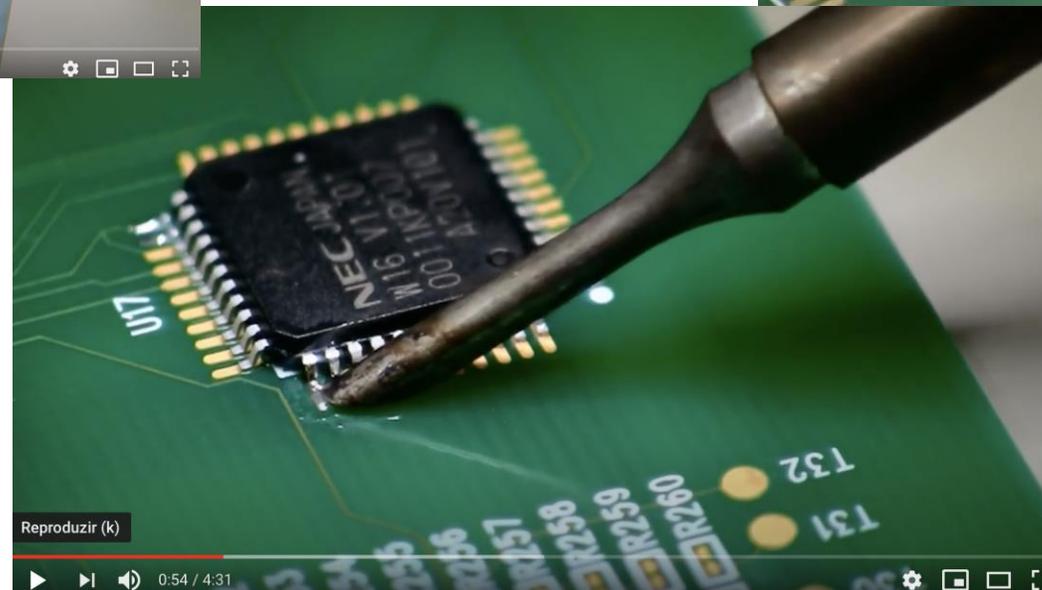
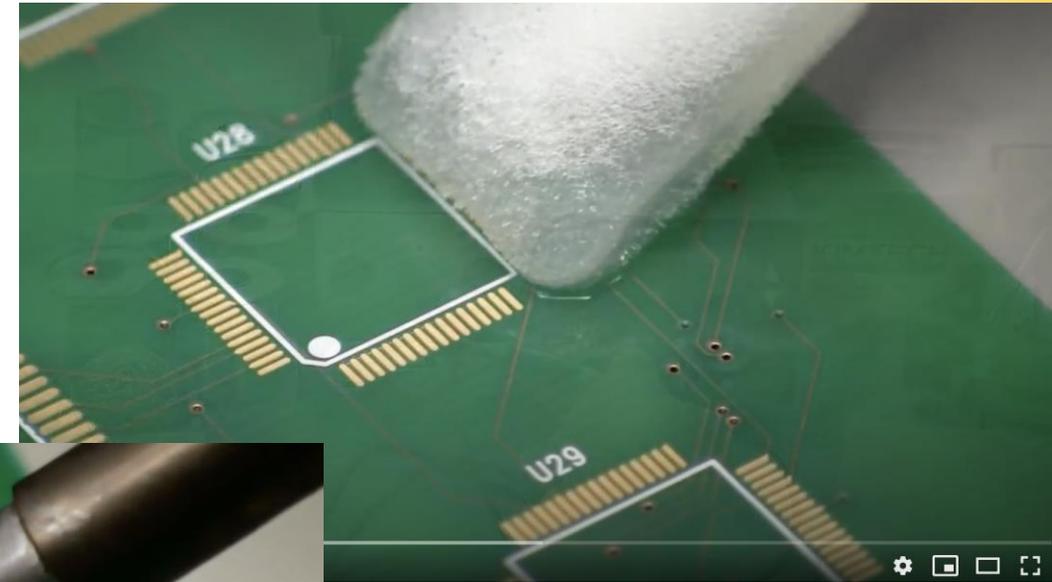
Na soldagem de componentes e placas para as indústrias elétrica e eletrônica, a solda fraca (soldering) tem sido amplamente empregada. No entanto, requer medidas para evitar o uso de chumbo no processo, e também foram apontadas várias questões problemáticas no emprego de solda.





Soldagem de microcomponentes

Soldering





Soldagem de microcomponentes

A liga metálica empregada no procedimento de soldagem é um elemento de grande importância. Composta de dois metais principais, o estanho e o chumbo, em proporção aproximada de 60% de estanho e 40% de chumbo, pode ser encontrada no mercado sob a forma de fio, chamado normalmente **fio de estanho**. Em geral, os fios de solda comerciais fundem-se a uma temperatura de aproximadamente 190°C.

O fio de solda contém ainda em seu interior uma resina especial denominada **fluxo**, sem a qual a alta temperatura de soldagem aceleraria a oxidação das partes a serem juntadas, dificultando ou mesmo impedindo a operação.

<http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/downloads/dicas.pdf>



Fig. 1 - Nesta ilustração está representada a soldagem do terminal de um componente ao anel de um circuito impresso.

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjGvNH D6IfsAhUkLLkGHY81BikQFjAAegQIAxAB&url=http%3A%2F%2Fpaginapessoal.utfpr.edu.br%2Fmaia%2Fretificadores_industriais%2Fapostila_Soldagem%2520e%2520Pesquisa%2520de%2520Defeitos_rev_juL06_maia.pdf%2Fat_download%2Ffile&usg=AOvVaw2ZZDhxrwlPpHpluuA8KyWw



Soldagem de microcomponentes

As duas ligas mais comuns são 60/40 Sn / Pb que funde a 188 ° C e 63/37 Sn / Pb usadas principalmente em trabalhos elétricos.

Elementos diferentes desempenham papéis diferentes na liga de solda:

A prata fornece resistência mecânica, mas tem pior ductilidade que o chumbo. Na ausência de chumbo, melhora a resistência à fadiga dos ciclos térmicos.

O cobre diminui o ponto de fusão, melhora a resistência à fadiga do ciclo térmico e melhora as propriedades de molhabilidade da solda fundida. Ele também diminui a taxa de dissolução do cobre da placa e parte dos fios da solda líquida.

O bismuto reduz significativamente o ponto de fusão e melhora a molhabilidade. Na presença de chumbo e estanho suficientes, o bismuto forma a fase Sn₁₆Pb₃₂Bi₅₂ com ponto de fusão de apenas 95 ° C, que se difundem ao longo dos limites do grão e podem causar uma falha da junta em temperaturas relativamente baixas



Soldagem de microcomponentes

As duas ligas mais comuns são 60/40 Sn / Pb que funde a 188 ° C e 63/37 Sn / Pb usadas principalmente em trabalhos elétricos.

Elementos diferentes desempenham papéis diferentes na liga de solda:

O índio diminui o ponto de fusão e melhora a ductilidade. Na presença de chumbo forma um composto ternário que sofre mudança de fase a 114 ° C.

O zinco diminui o ponto de fusão e tem baixo custo. No entanto, é altamente suscetível à corrosão e oxidação no ar, portanto, ligas contendo zinco são inadequadas para alguns fins, e a solda por onda e as pastas de solda contendo zinco têm vida útil mais curta do que as sem zinco.

O antimônio é adicionado para aumentar a resistência sem afetar a molhabilidade.



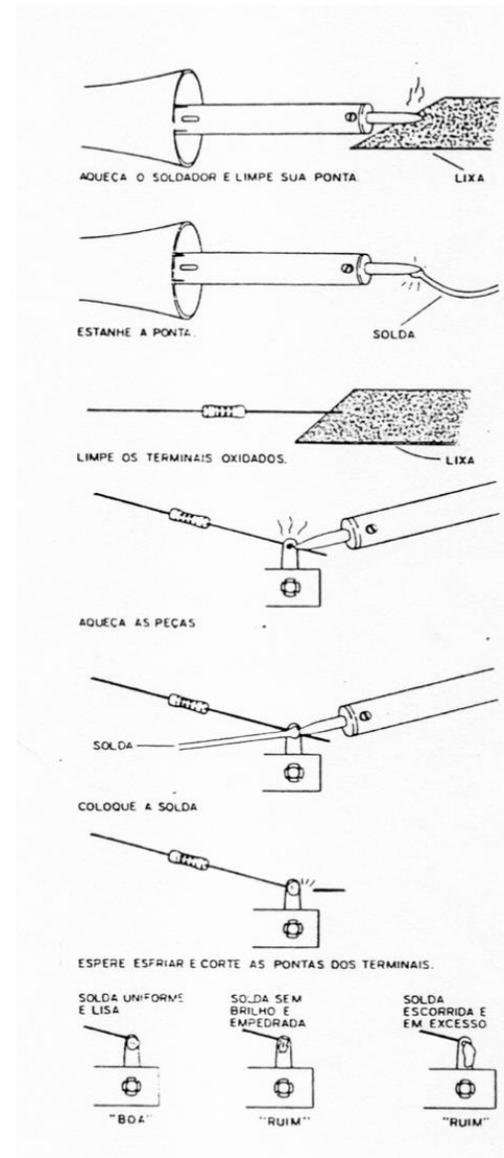
Soldagem de microcomponentes

<http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/downloads/dicas.pdf>

Passos de uma soldagem

Para fazer uma solda bem feita os cuidados são os seguintes:

- Aqueça, por pelo menos 5 minutos o soldador.
- Limpe a sua ponta com uma lima ou lixa.
- Estanhe a sua ponta. Estanhar nada mais é do que molhar com a solda. Encostando a solda na ponta quente do ferro, ela derrete e espalha-se, "molhando" a parte limpa do ferro.
- Verifique se as peças que devem ser soldadas estão limpas. Se não estiverem, limpe-as com uma lixa fina ou lâmina, pois em peças sujas ou gordurosas a solda não "pega".
- Encoste uma peça na outra e aqueça-as com a ponta do ferro. Ao soldar transistores ou outros componentes delicados, segure o terminal com um alicate de ponta para evitar que o calor se propague.
- Encoste a solda nas peças de modo que ela se funda e envolva as partes que devem ser soldadas.
- Não use solda em excesso.
- Retire o ferro e espere a solda esfriar completamente sem deixar que as partes se movam. É fácil perceber quando a solda endurece, pois ela passa de uma cor metálica brilhante para uma cor metálica opaca.
- Se a solda adquirir o aspecto "empedrado" ou tiver dificuldade em fundir-se é porque o ferro não está suficientemente aquecido ou a solda é de má qualidade. A solda não aderirá em peças de alumínio (Fig. 6).





Micro- Soldagem

Micro-soldagem é definida pela norma JIS como 'o termo genérico para processos de soldagem que são aplicados às seções a serem soldadas que, devido aos seus tamanhos extremamente pequenos, são afetados pela quantidade de fusão, espessura de difusão, quantidade de deformação, tensão superficial , e assim por diante, tudo o que não causaria muitos problemas quando as seções de junção são grandes, para produzir um nível não ignorável de efeito na soldabilidade e qualidade da solda e, portanto, seu efeito nas dimensões deve receber atenção especial '.

Nas indústrias de eletrônicos e embalagens elétricas, a micro-soldagem tem sido amplamente utilizada para a junção elétrica.



Soldagem de componentes eletrônicos

Micro soldagem

HISTÓRIA

A técnica de microsoldagem foi utilizada inicialmente após a utilização da soldagem por resistência pela empresa Ford em 1910.

A microsoldagem foi usada para soldar o metal dentro do tubo de vácuo que tem um alto ponto de fusão. Esse processo também foi usado em cirurgia odontológica.

Os materiais não ferrosos, por exemplo, tungstênio, molibdênio e níquel só podiam ser soldados por meio de micro soldagem aos materiais ferrosos.

DOI: 10.1080/09507110802349891

<https://soudax.com/en/micro-welding/>



Soldagem de componentes eletrônicos

Micro soldagem

HISTÓRIA

Depois disso, surgiu a necessidade de soldagem na indústria eletrônica. A microsoldagem foi utilizada para unir pequenos componentes eletrônicos com alta precisão. Este processo foi então usado na soldagem de diferentes materiais que eram necessários no corpo.

Os aparelhos de soldagem direta de precisão vendidos por nós são para micro-resistência, soldagem a laser (YAG, fibra, semicondutor) e micro-TIG, todos os quais são aparelhos de soldagem projetados para lidar com a definição de micro-soldagem acima mencionada.

DOI: 10.1080/09507110802349891

<https://soudax.com/en/micro-welding/>



Soldagem de componentes eletrônicos

Micro soldagem

HISTÓRIA

Micro-soldagem com Lasers Pulsados. Micro-soldagem com lasers de rubi pulsado e lasers Nd: YAG pulsados são creditados com algumas das primeiras aplicações de sucesso da soldagem a laser, incluindo soldagem a laser de termopares nas sondas lunares Apollo no final dos anos 1960 . A Tabela 2 mostra os vários lasers disponíveis para soldagem e as espessuras máximas que podem ser soldadas com esses lasers.

<https://soudax.com/en/micro-welding/>

| LASER | PULSE LENGTH, MS | PULSE ENERGY, J | PEAK POWER, KW | MAXIMUM WELD THICKNESS ^(A) | | WELDING SPEED | |
|------------------------------|------------------|-----------------|----------------|---------------------------------------|-------------|---------------|---------|
| | | | | mm | in. | mm/s | in./min |
| PULSED | | | | | | | |
| RUBY | 3-10 | 20-50 | 1-5 | 0.13-0.50 | 0.005-0.020 | 1.2 | 3.0 |
| ND:GLASS | 3-10 | 20-50 | 1-5 | 0.13-0.50 | 0.005-0.020 | 0.63 | 1.5 |
| ND:YAG | 3-10 | 10-100 | 1-10 | 0.13-0.60 | 0.005-0.025 | 2.1 | 5.0 |
| CO ₂ | 5-20 | 0.1-10 | 1-5 | 0.13 | 0.005 | 1.2 | 3.0 |
| CONTINUOUS WAVE | | | | | | | |
| ND:YAG | ... | ... | 1.8 | 5.56 | 0.022 | 5.8 | 14.0 |
| CO ₂ (DC EXCITED) | ... | ... | 1 | 0.60 | 0.025 | 12.7 | 30.0 |
| CO ₂ GAS DYNAMIC | ... | ... | 20 | 19.0 | 0.750 | 21.2 | 50.0 |
| CO ₂ GAS DYNAMIC | ... | ... | 77 | 50.8 | 2.00 | 26.7 | 63.0 |

| | | | | | | | |
|---|-----|-----|---|------|-----|------|------|
| CO ₂ (RF EXCITED) ^(B) | ... | ... | 5 | 10.0 | 0.4 | 10.8 | 25.6 |
|---|-----|-----|---|------|-----|------|------|

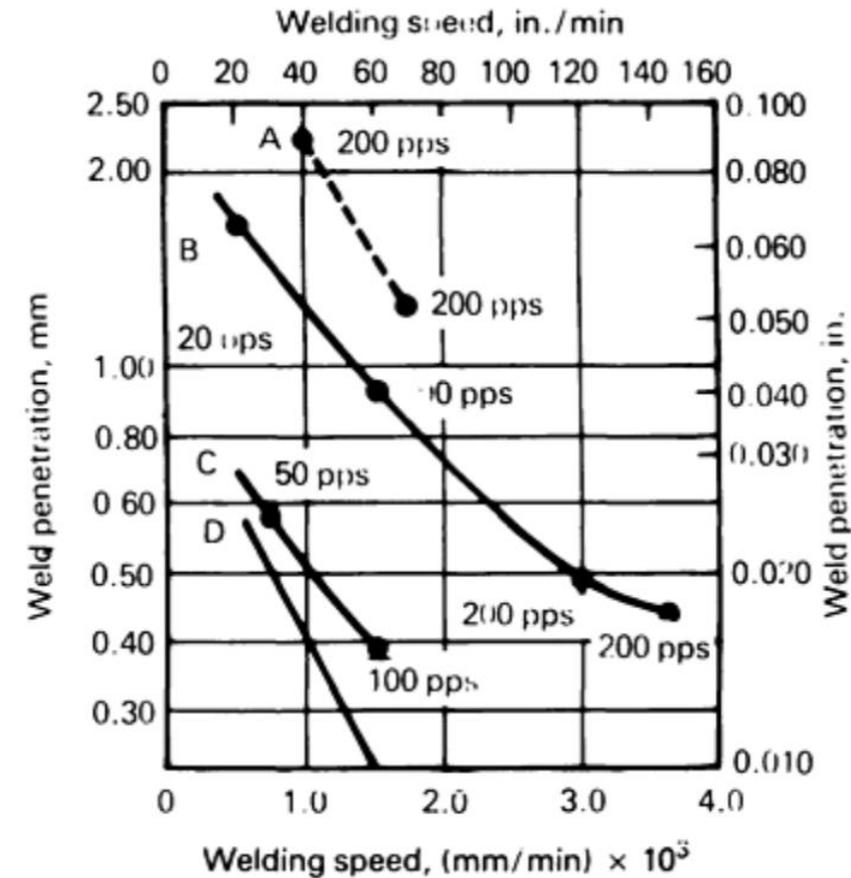


Soldagem de componentes eletrônicos

Micro soldagem

HISTÓRIA

A micro-soldagem a laser encontrou seu caminho em quase todos os tipos de indústrias de manufatura, incluindo aeroespacial, automotiva, eletrônica e bens de consumo duráveis. A Figura mostra a penetração aproximada possível para soldas de alta qualidade usando lasers Nd: YAG. Deve-se observar que, para a mesma potência média, os lasers Nd: YAG pulsados fornecem níveis de penetração muito mais altos do que os lasers Nd: YAG de onda contínua.





Soldagem de micro-resistência

Soldagem por microrresistência é a técnica em que a corrente é fornecida aos metais a serem soldados enquanto se aplica um certo nível de pressão de forma que o calor da resistência e a força de pressão os induzam a serem soldados.

Esta soldagem por microrresistência foi reconhecida como o processo eficaz a ser aplicado em aparelhos com economia de energia e / ou automatizados, devido à estabilidade da qualidade, superioridade no desempenho de custo e simplicidade na operação e manutenção.

Sua diferença com a soldagem por resistência geral é que o controle com baixa pressão e por um tempo extremamente curto permite aproveitar ao máximo a resistência de contato (calor concentrado) e assim soldar os materiais com diferentes capacidades caloríficas e / ou pontos de fusão.



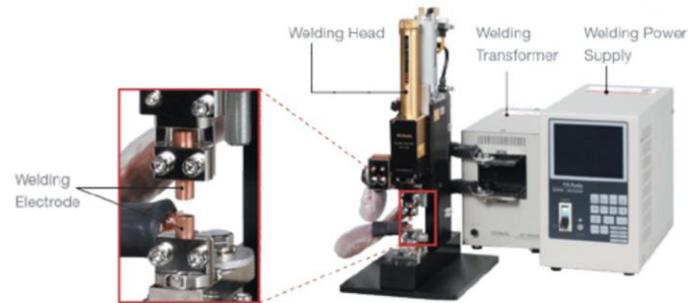
Soldagem de micro-resistência

A maior diferença entre a soldagem por resistência e outras técnicas de soldagem é que a soldagem é realizada pelo calor gerado de dentro. A soldagem por microrresistência é a técnica desenvolvida para o aproveitamento máximo deste princípio. É a técnica em que se considera como aquecer apenas a interface a ser unida de forma eficiente.

Basic Configuration of Resistance Welder and Role of Each Part

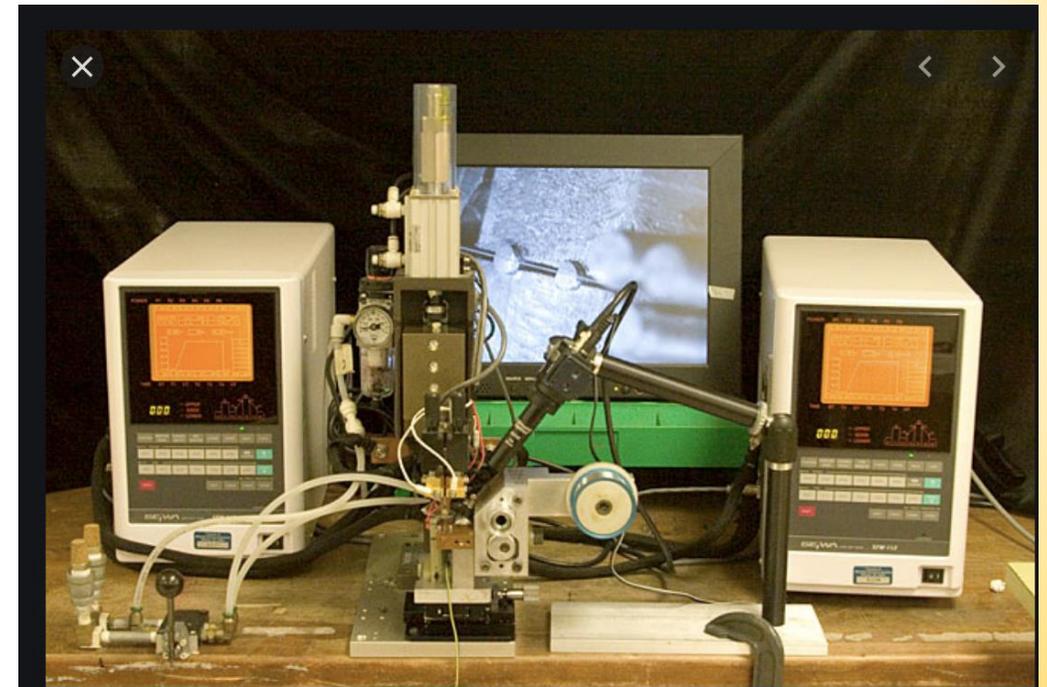
Contact Us

Resistance welder sandwiches an object to be welded by the welding electrodes, and applies electric current while applying a pressure.



- Welding Power Supply: It controls the magnitude, time and waveform of electric current
- Welding Transformer: It converts the electric current from the power supply to a larger current
- Welding Head: It controls the pressure to be applied
- Welding Electrode: It contacts the object to be welded to apply pressure and electric current

In addition to the above, we have various monitors which measure electric current or applied pressure.



<https://www.mohawk-usa.com/product-lines/bridgewire-assembly/resistance-welding/>

<http://www.avio.co.jp/english/products/assem/principle/welding/configuration.html>



Soldagem de micro-resistência

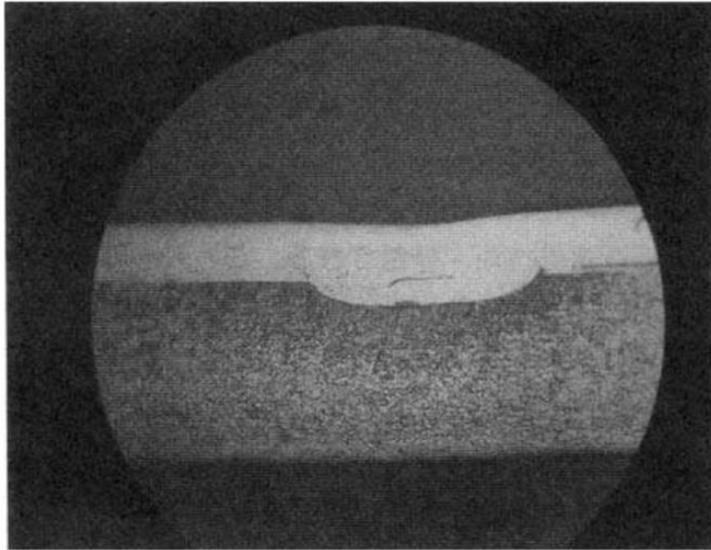


Photo 1. Cross sectional photo of micro-resistance weld (Nickel (0.15 mm) × nickel-plated iron (0.35 mm thick)).

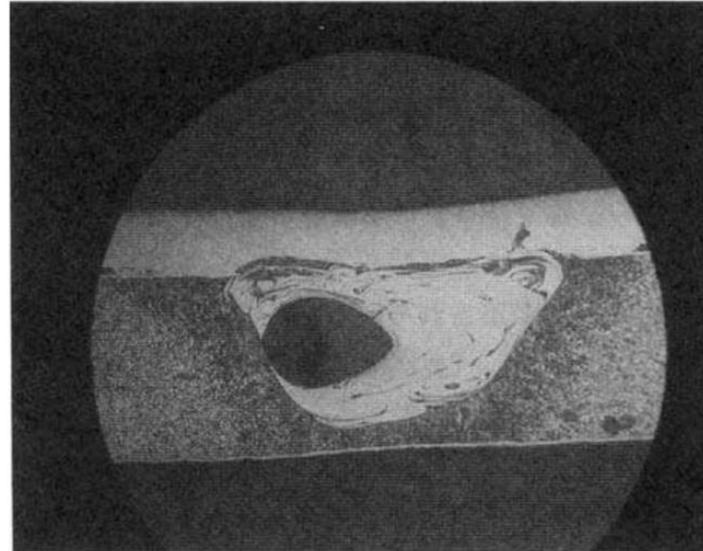


Photo 2. Cross sectional photo of usual resistance weld (Nickel (0.15 mm) × nickel-plated iron (0.35 mm thick)).

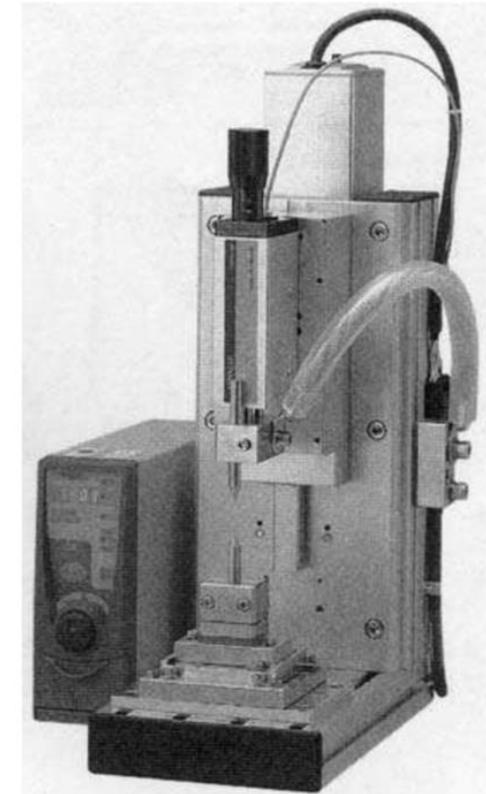


Photo 4. Motor driven welding pressure mechanism [MH-110A].



Soldagem de micro-resistência

A soldagem a laser é amplamente utilizada, desde a montagem de canhões de elétrons e balancins de disco rígido até a montagem de conectores de fibra óptica de luz e a fabricação de produtos processados de folha de metal de precisão para aparelhos portáteis.

Como os componentes estão se tornando menores, a introdução da soldagem a laser é muito eficaz, pois esse processo não possui um alto grau de efeito térmico ou deformação. Além disso, em comparação com a soldagem por resistência, é superior por ser capaz de operar o dispositivo automático continuamente, uma vez que não requer componentes como eletrodos de soldagem por resistência que precisam ser substituídos em um curto espaço de tempo.

A velocidade de execução é muito alta e, portanto, usando um cabeçote de scanner, é possível realizar soldagem por pontos em mais de 50 pontos por um segundo. Junto com sua característica de operação contínua, será uma técnica muito importante entre as técnicas de soldagem direta para campos de micro-soldagem.

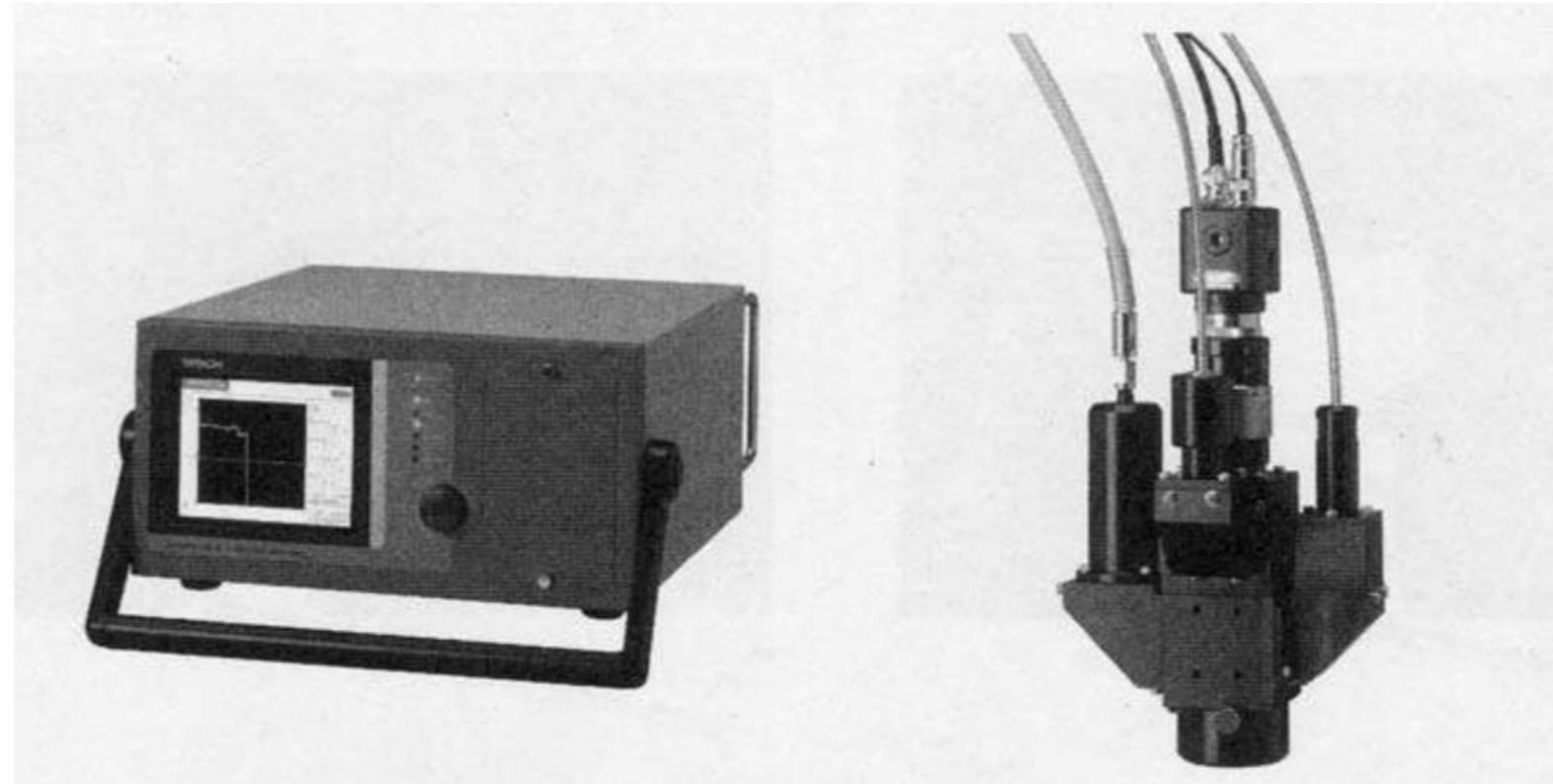
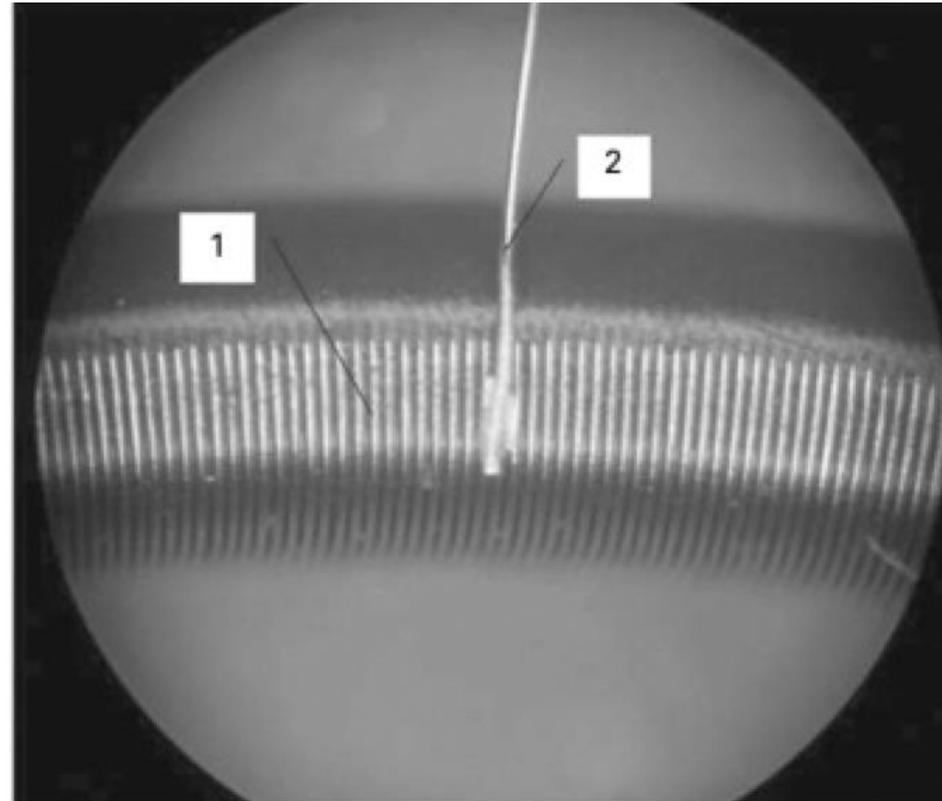


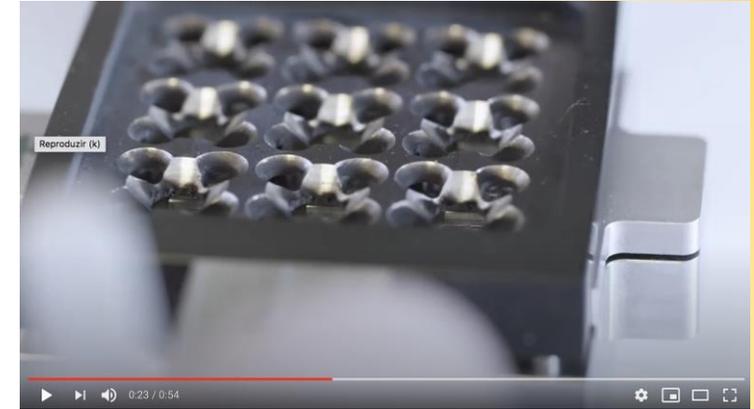
Photo 7. Laser welding monitor (main part) [MML-100A] and exit unit for MML-100A.



Laser brazing of thin wires to the sliding resistors with the pulsed Nd:YAG laser with laser power 200 W and pulsed duration 20 ms.

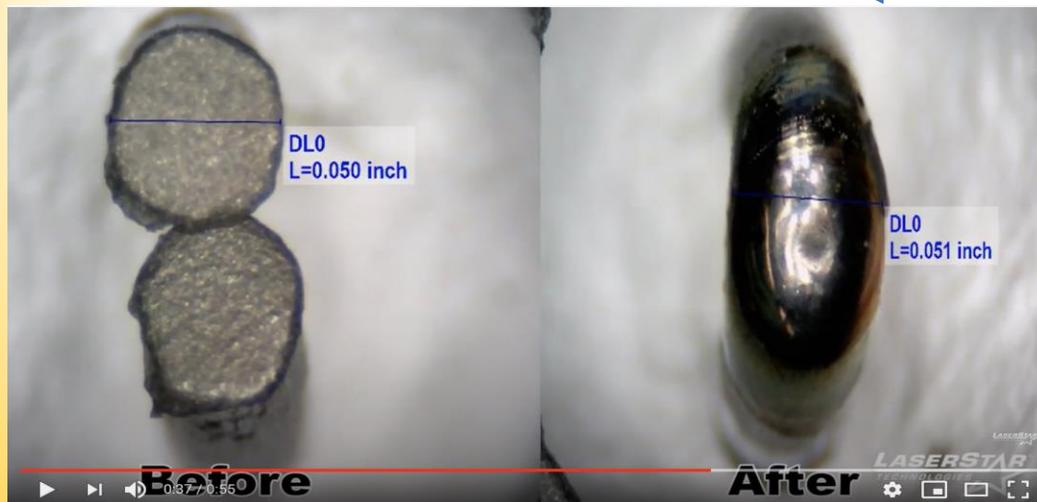
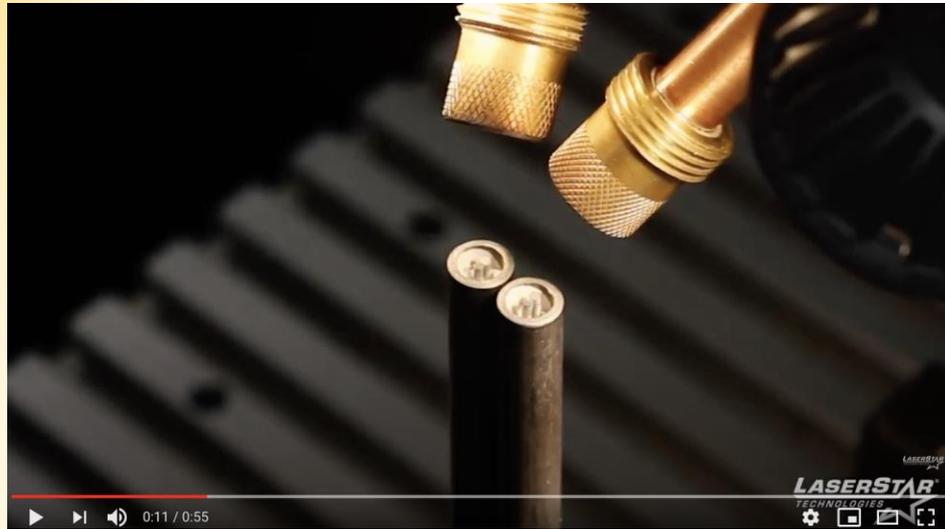


Soldagem (micro)- laser





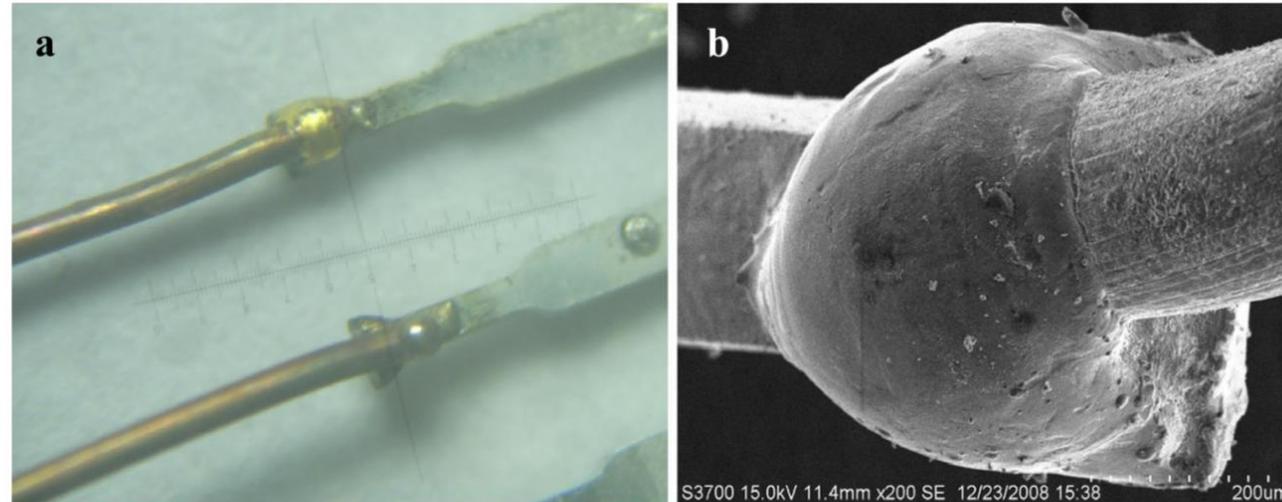
Soldagem (micro)- laser





Para estudar a tecnologia de microssoldagem a laser para metais dissimilares de cobre-alumínio (Cu-Al) e os mecanismos intrínsecos de formação de defeitos de solda, usamos um sistema de soldagem a laser pulsado Nd: YAG com feedback negativo de energia 300 W para laser micro-soldagem de dois metais diferentes

Fig. 1 **a** Macrophotographs of laser welding (40×). **b** SEM images of the welding spots (500×)



Macro photographs
of laser welding (40×)

SEM images of the welding
spots (500×)

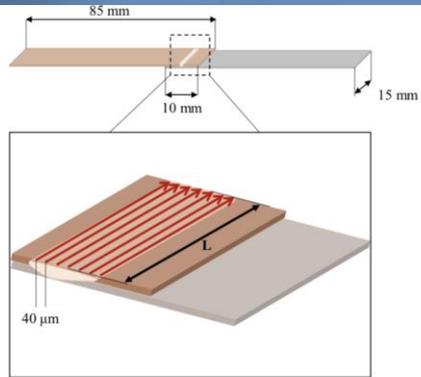


Fig. 3. Joint configuration and line equivalent weld

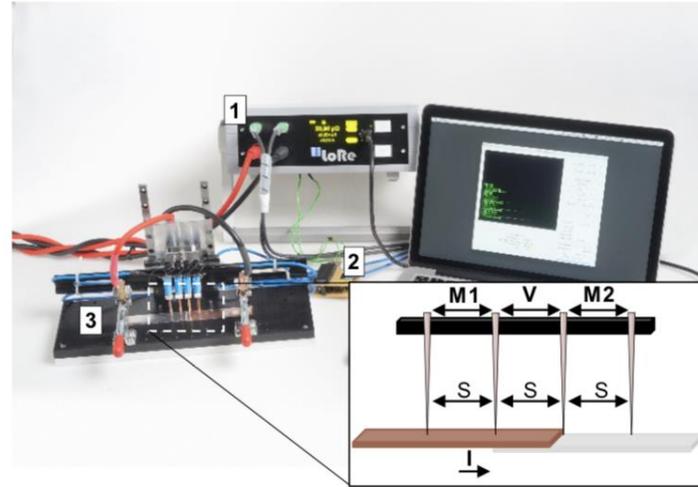


Fig. 2. Contact resistance measuring set-up

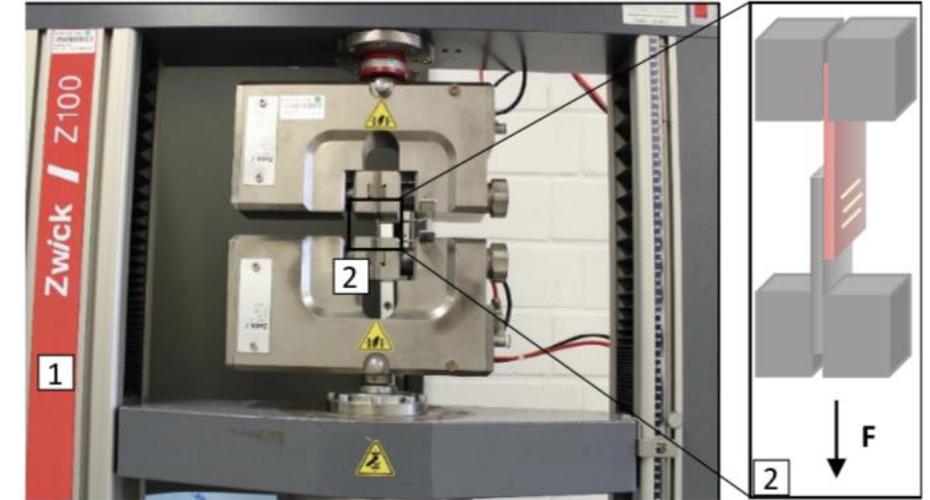


Fig. 4. Peel test set-up

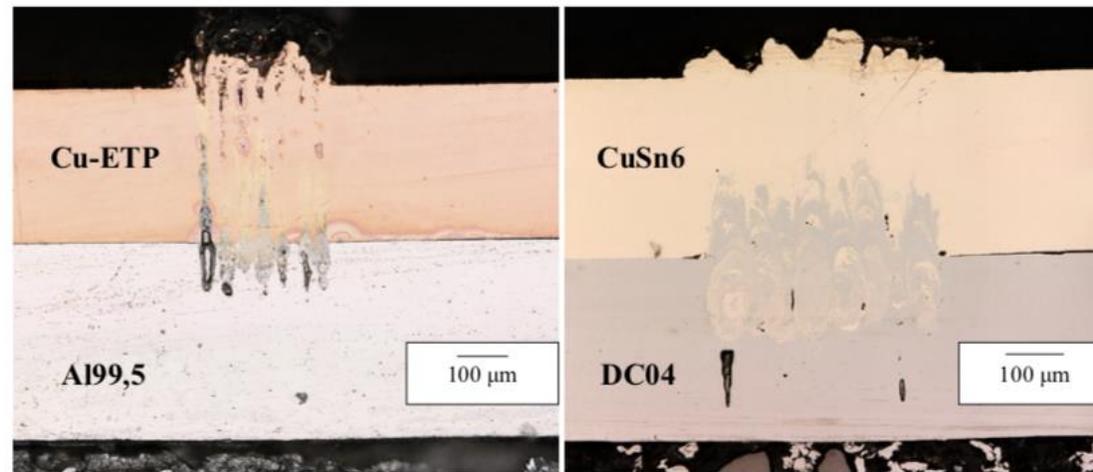


Fig. 5. Cross-section images of the welded samples

Procedia CIRP 94 (2020) 571–576
doi:10.1016/j.procir.2020.09.077



Soldagem (micro)- TIG

O princípio fundamental deste método de soldagem é o mesmo da soldagem TIG (Tungstênio-Gás Inerte). Conforme mostrado na Figura 3, o gás inerte como o argônio (Ar) é fornecido do interior da tocha de soldagem para o bico para induzir o arco a ser gerado na atmosfera de gás inerte entre o eletrodo de tungstênio (W) e o objeto a ser soldado. O calor do arco é usado para derreter o objeto a ser soldado para que a soldagem possa ocorrer. Na soldagem micro-TIG, que possibilita o controle preciso, é possível lidar com a soldagem por fusão para minicomponentes.

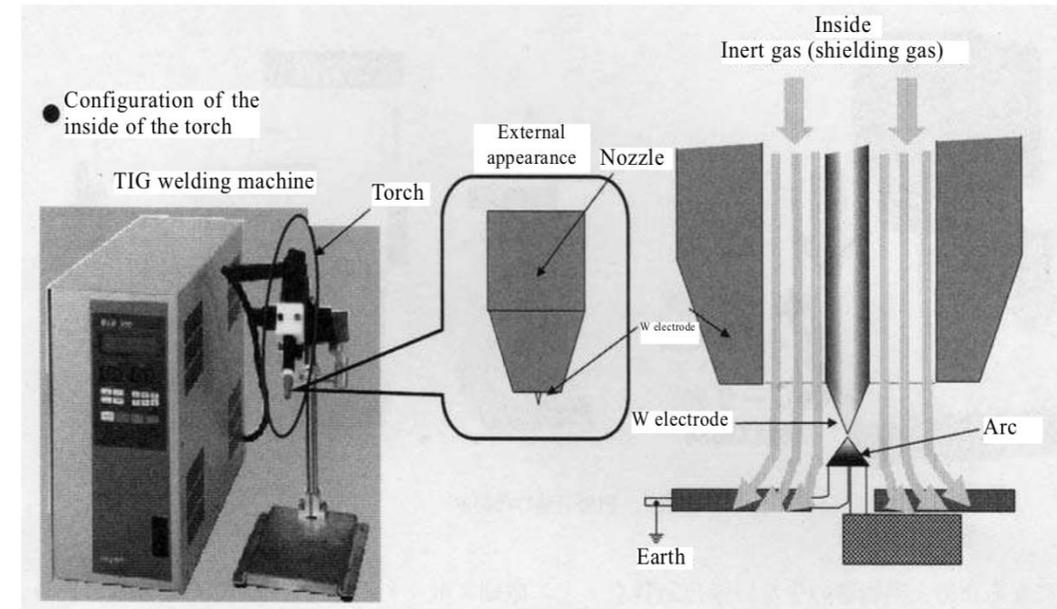
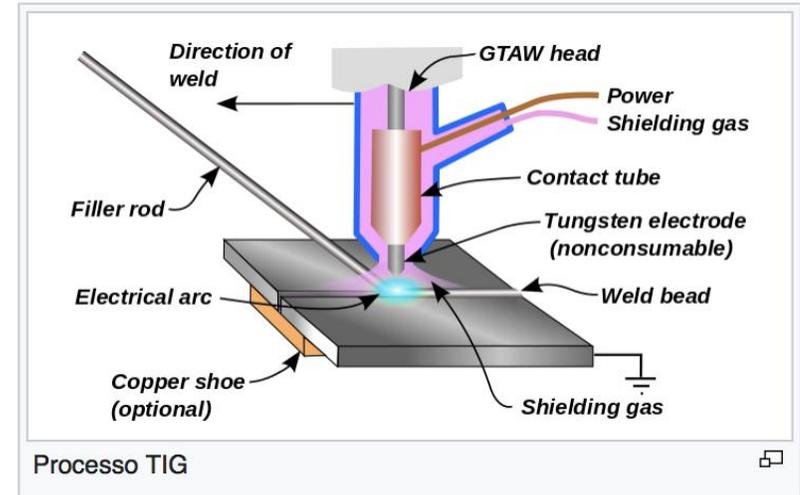
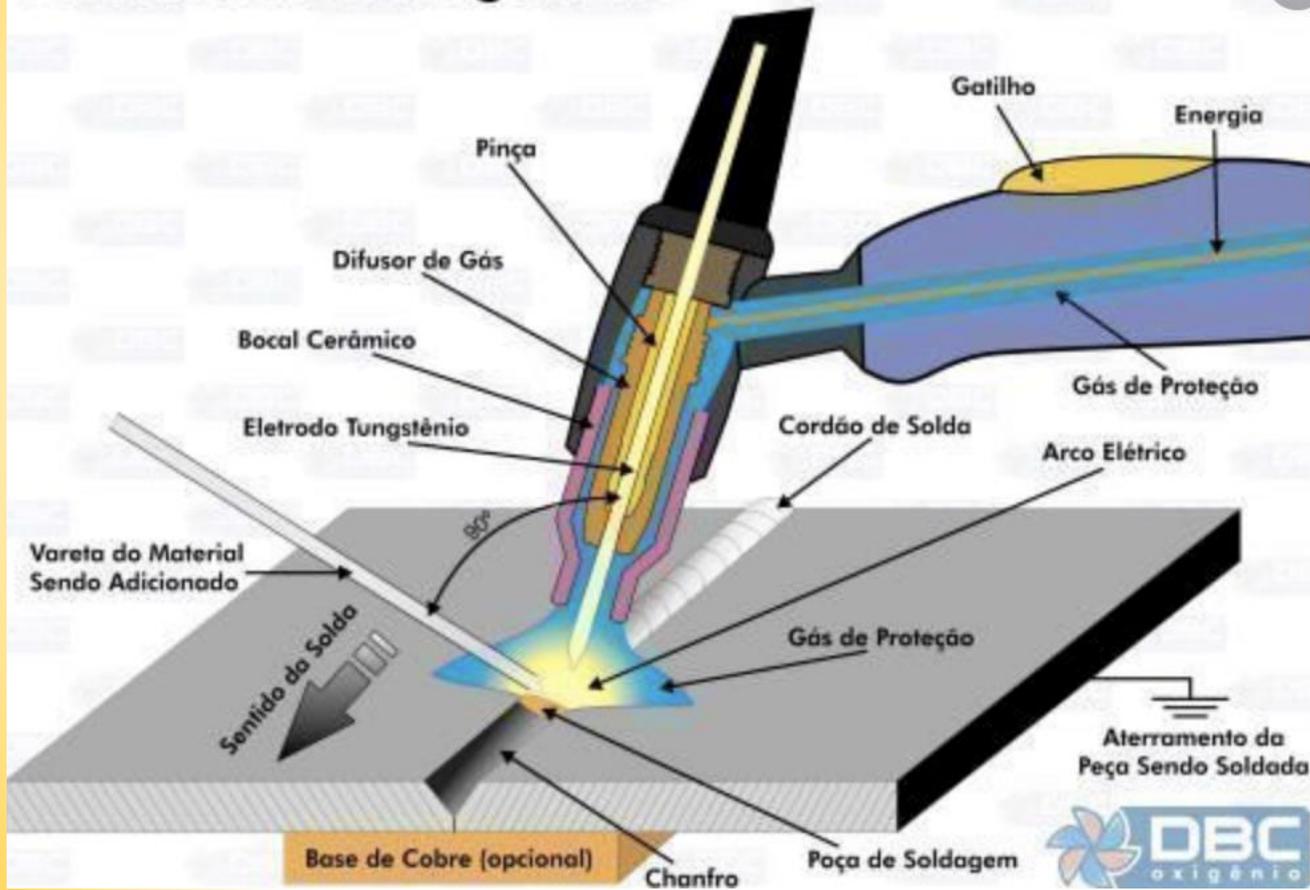


Figure 3. Principle of TIG welding.



Processo de Soldagem TIG



Cordão de Solda TIG

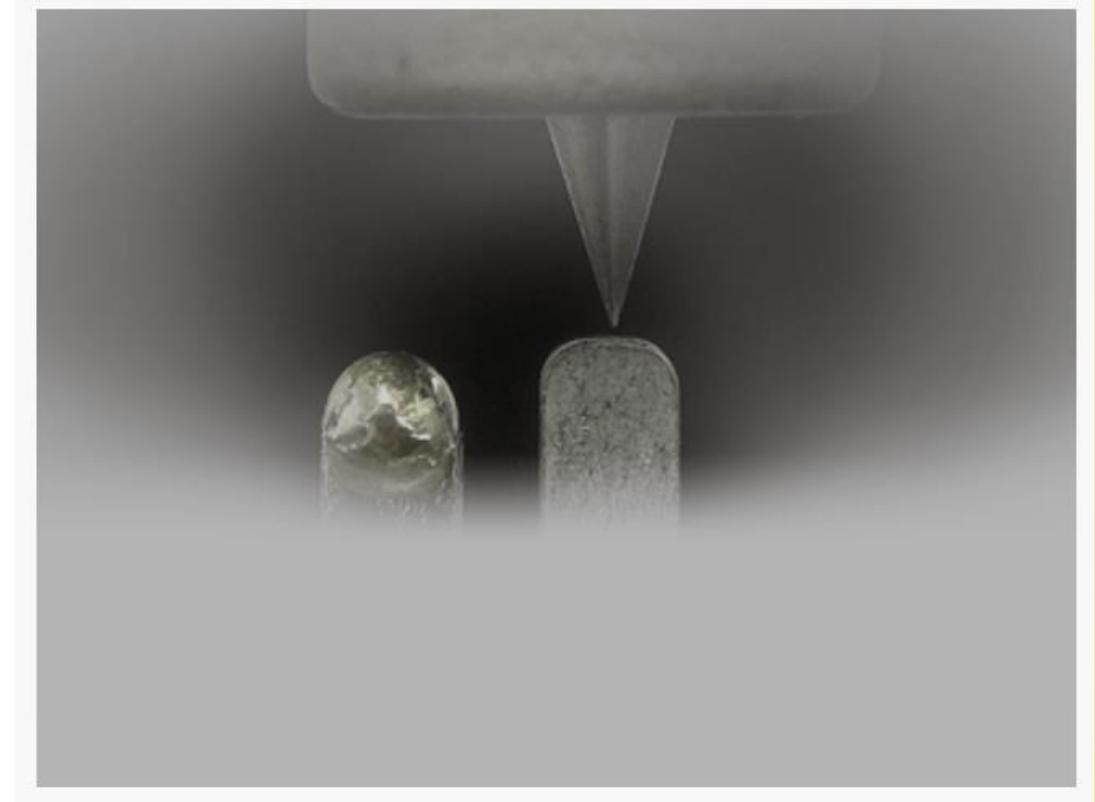


Soldagem (micro)- TIG

No campo da microsoldagem, está se tornando mais comum a aplicação de soldagem direta em que materiais intermediários como solda, solda e eletrodo não são usados para reduzir o impacto no meio ambiente e melhorar a confiabilidade na soldagem.

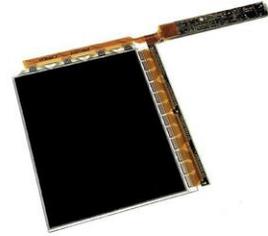
Para melhorar ainda mais a aplicação da soldagem direta, é importante como pré-requisito que as condições de soldagem sejam facilmente obtidas e que a qualidade possa ser assegurada.

Embora a soldagem TIG também seja um método direto eficaz sem o uso de materiais intermediários.

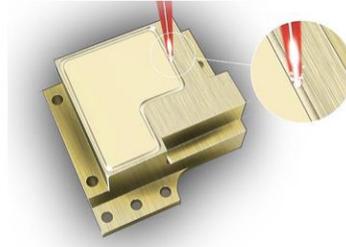


<https://www.amadaweldtech.eu/micro-tig-welding>

DOI: 10.1080/09507110802349891



Aerospace
Heat Sealing Displays for
Aerospace



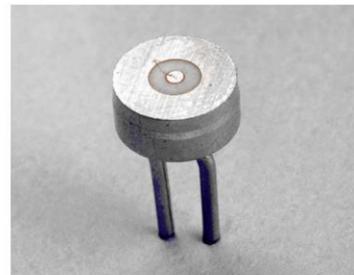
Aerospace
Laser Seam Welding
Electronic Packages



Aerospace
Honeycomb Welding



Sensors
ACF Bonding to sensors



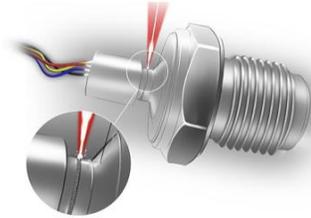
Sensors
Bridge Wire Welding of
Sensors



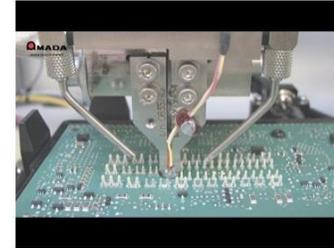
Aerospace
Gold Ribbon Bonding



Automotive
Bonding Dashboard
Components



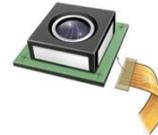
Automotive
Laser Welding Sensors



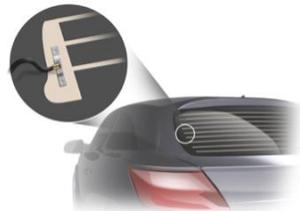
Automotive
Video Heat Staking
System



Automotive
Heat Staking Electric
Motor



Automotive
ADAS Camera (Heat
Staking & ACF Bonding)



Automotive



Automotive
OLED lighting Automotive



Referências adicionais

<https://sunstonewelders.com/resources/the-science-of-micro-welding/>

<https://www.assemblymag.com/articles/92792-options-for-welding-small-parts>

<https://www.filipeflop.com/blog/como-soldar-componentes-eletronicos/>

<https://sunstonewelders.com/resources/the-science-of-micro-welding/>



Sumário

Revisão

Brasagem e solda fraca

Micro soldagem

Automatização da Soldagem (agradecimentos Prof. Rodrigo Stoeterau)