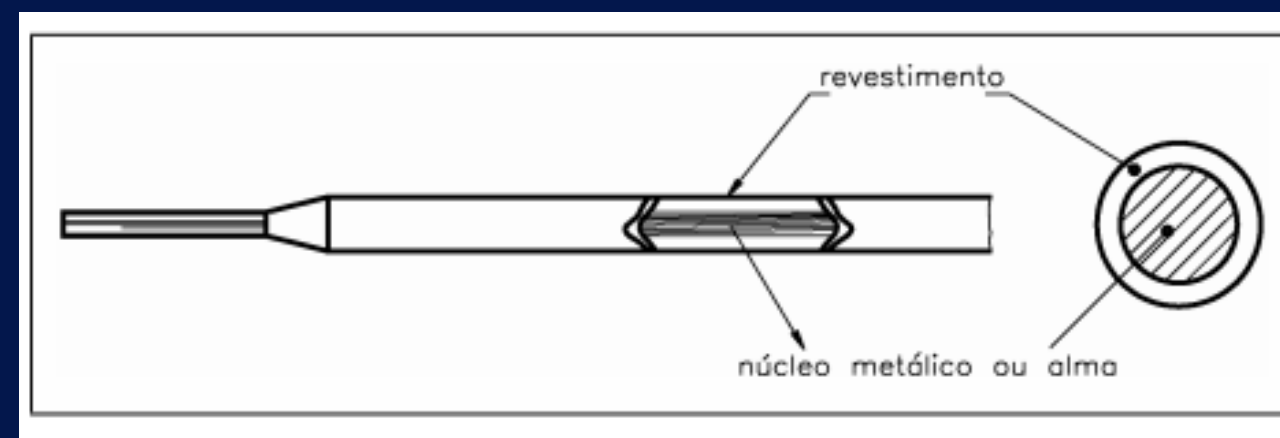

TIPOS DE SOLDA

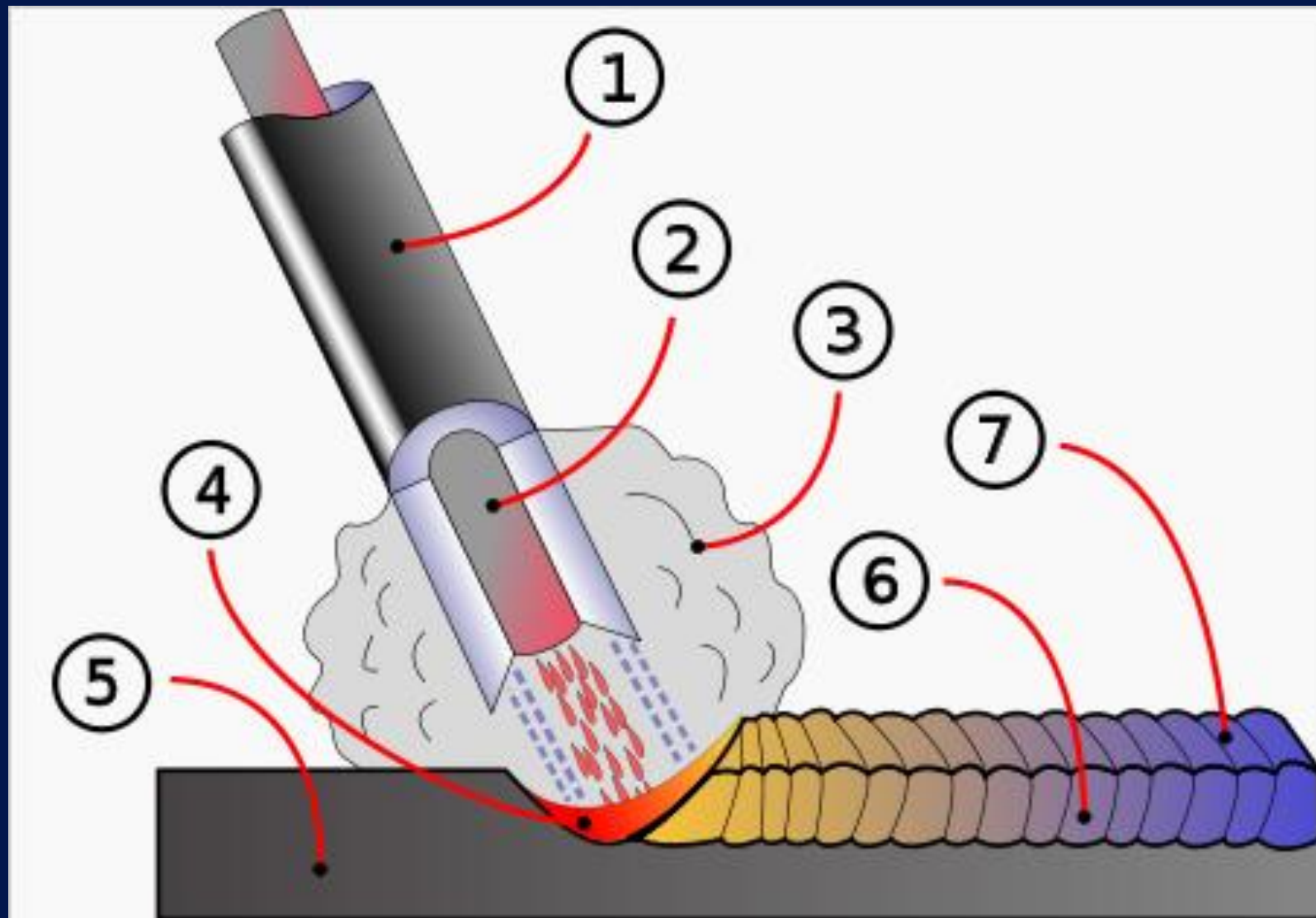
ELETRODO REVESTIDO

Utilizado pela indústria aeroespacial, naval, tubulações e estruturas metálicas. Equipamento portátil e de fácil manuseio. Indicado para peças com espessura entre 3 e 19 mm. Aplicável a aços, ferros fundidos, ligas de Al, Cu e Ni. Como a energia utilizada é muito elevada, ligas com baixo ponto de fusão não são adequadas.

- Eletrodo possui 2 partes:
 - **Alma:** parte interior do eletrodo: pode ou não ser do mesmo material que o metal base; metal de adição do processo.
 - **Revestimento:** parte externa do eletrodo. Composto de elementos de liga, desoxidantes, estabilizantes de arco, formadores de escória e materiais que formam atmosfera protetora.



ELETRODO REVESTIDO



- 1) Revestimento
 - 2) Alma (vareta)
 - 3) Gás de proteção
 - 4) Poça de fusão
 - 5) Metal base
 - 6) Metal de solda
 - 7) Escória solidificada
-

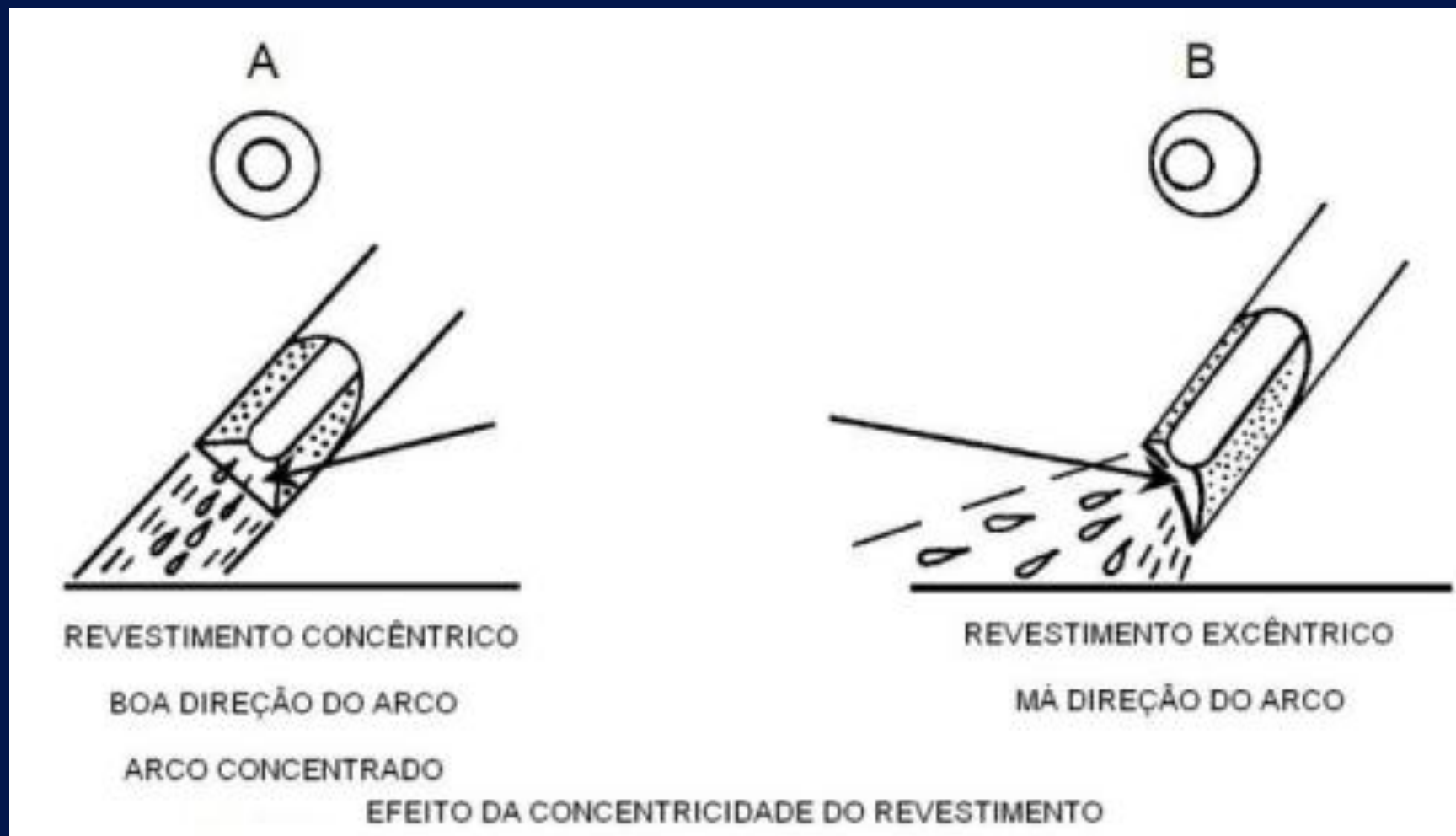
FUNÇÕES DA ALMA E DO REVESTIMENTO

- Alma:
 - Estabelecer o arco – conduzir corrente elétrica
 - Fornecer metal de adição
- Revestimento
 - Isolamento elétrico
 - Isolamento térmico
 - Função ionizante
 - Função física
 - Função metalúrgica – formadores de escória → reduz a velocidade de solidificação.
 - Protege contra a ação da atmosfera oxidante

<i>FUNÇÕES BUSCADAS</i>	<i>ELEMENTOS ADICIONADOS</i>
Formadores de gás	Celulose, dolomita, CaCO_3 , etc.
Formadores de escória e materiais fundentes	Argila, talco, TiO_2 , CaCO_3 , SiO_2 , Fe-Mn, FeO, feldspato, asbestos, etc.
Estabilizadores de arco	TiO_2 , ilmenita, silicatos de Na e K, etc.
Desoxidantes	Fe-Si, Fe-Mn, Fe-Cr, etc.
Elementos de liga	Fe-Ni, Fe-Mn, Fe-Cr, etc.

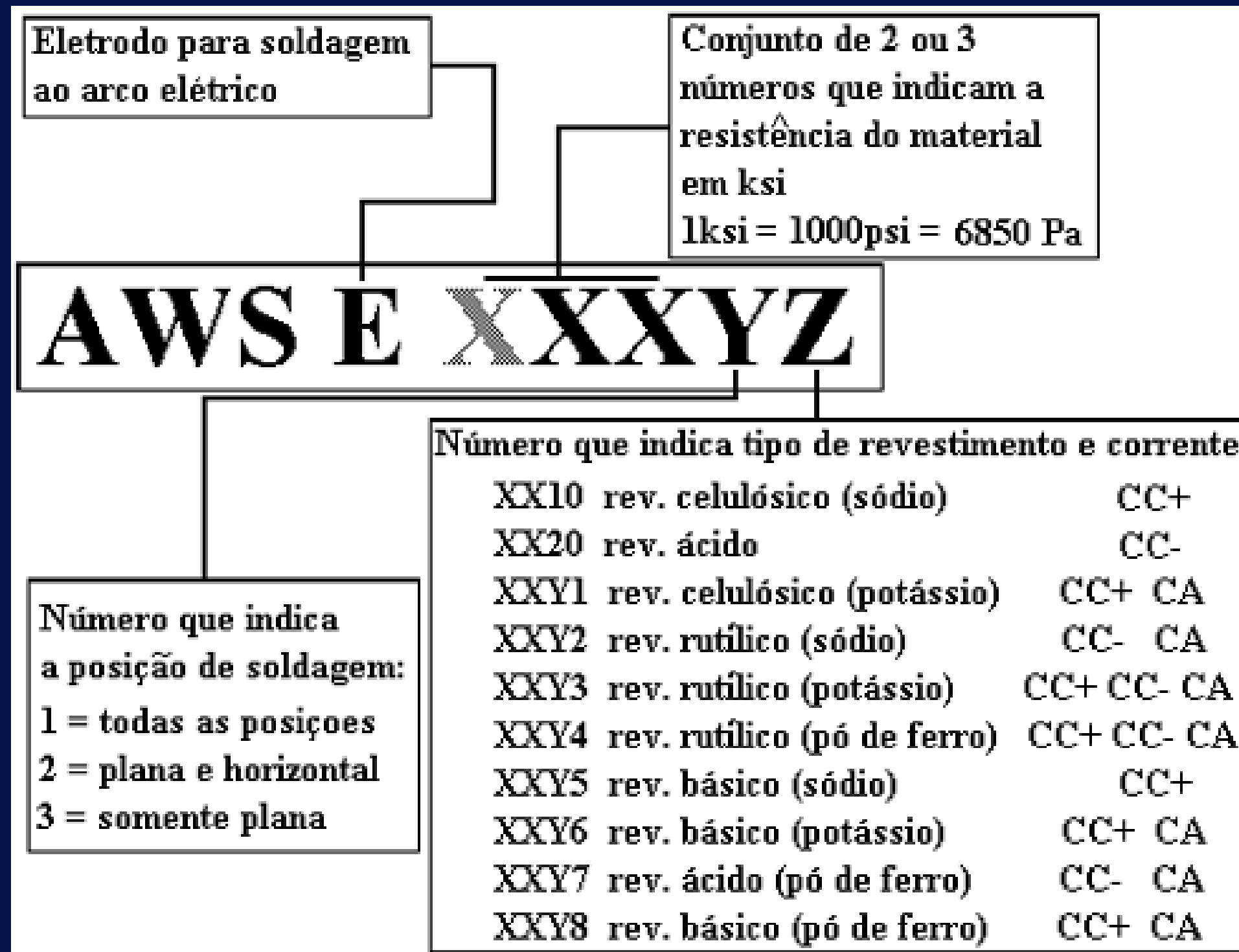
FABRICAÇÃO DOS ELETRODOS

- → laminação a quente → bobinas;
- → trefilação do fio máquina (a frio) até o diâmetro desejado;
- → prensagem dos materiais utilizados para o revestimento;
- → extrusão do revestimento junto ao eletrodo e posterior secagem;
- Garantir a concentricidade da alma e do eletrodo:



→ Espalhamento do arco, deficiência na soldagem, e falta de penetração

CLASSIFICAÇÃO DOS ELETRODOS

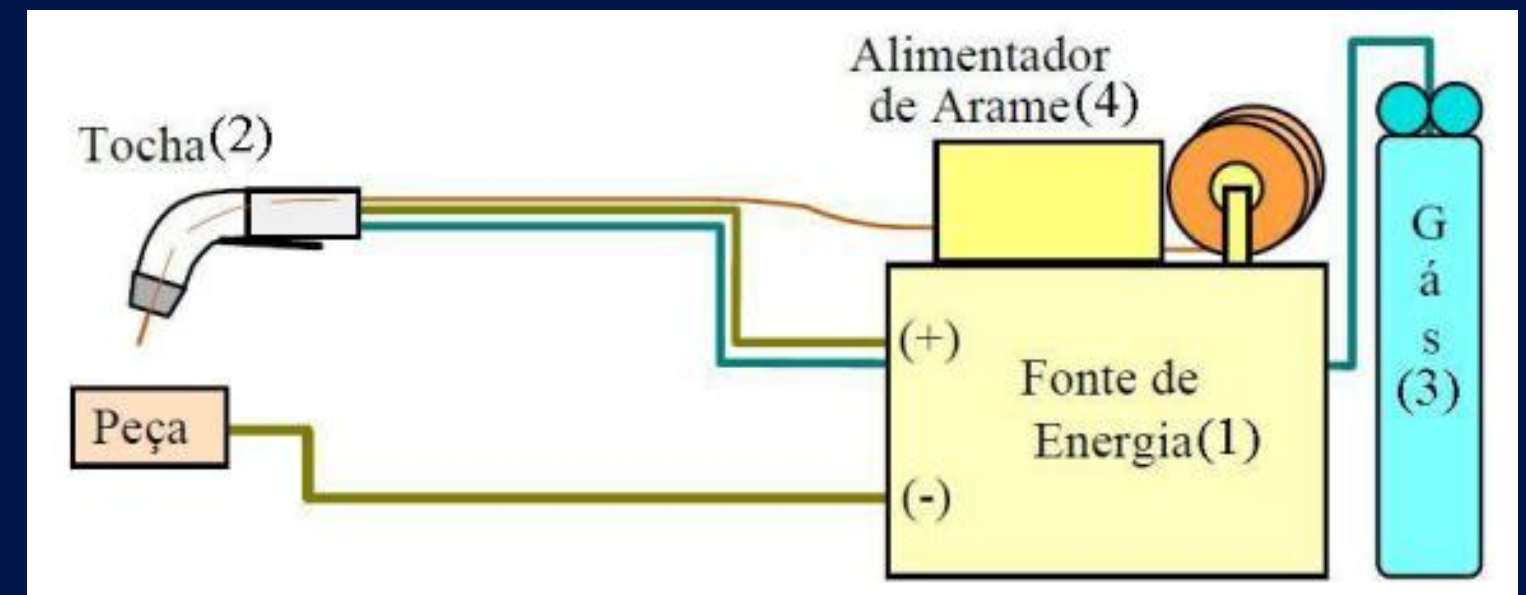


VANTAGENS E LIMITAÇÕES

- Equipamento simples, portátil e barato
 - Versatilidade – metais possíveis de soldar, espessuras e etc
 - Operações em locais de difícil acesso
 - Pode ser automatizado
 - Lento devido a baixa taxa de deposição e necessidade de remoção da escória
 - Requer habilidade do operador
 - Grande quantidade de gases de fumos formados durante a soldagem
-

SOLDAGEM MIG - MAG

- 1) **Fonte de energia:** produz a voltagem e a corrente corretas para as melhores condições de soldagem (baixa tensão e alta corrente).
- 2) **Tocha:** Local por onde o arame e o gás passam e chegam até a peça a ser soldada.
- 3) **Gás:** Pode ser inerte ou ativo.
- 4) **Alimentador de arame:** o arame é o consumível (metal de adição) na soldagem do tipo MIG – MAG. Diferente do eletrodo revestido, o arame utilizado aqui não possui nenhum tipo de revestimento. Como o arame é alimentado simultaneamente ao seu consumo, o processo é altamente produtivo.



GASES DE PROTEÇÃO

O ar atmosférico é expulso da região de soldagem por um gás de proteção com o objetivo de evitar a contaminação da poça de fusão. A contaminação é causada principalmente pelo nitrogênio (N_2), oxigênio (O_2) e vapor d'água (H_2O) presentes na atmosfera.

Como exemplo, o nitrogênio no aço solidificado reduz a ductilidade¹ e a tenacidade² da solda e pode causar fissuração. Em grandes quantidades o nitrogênio pode causar também porosidade.

O oxigênio em excesso no aço combina-se com o carbono e forma o monóxido de carbono (CO), que pode ser aprisionado no metal, causando porosidade. Além disso, o oxigênio em excesso pode se combinar com outros elementos no aço e formar compostos que produzem inclusões no metal de solda — o manganês (Mn) e o silício (Si), por exemplo.

Quando o hidrogênio (H), presente no vapor d'água e no óleo, combina-se com o ferro (Fe) ou com o alumínio (Al), resultará em porosidade e pode ocorrer fissuração sob cordão no metal de solda.

Para evitar esses problemas associados com a contaminação da poça de fusão, três gases principais são utilizados como proteção: argônio (Ar), hélio (He) e dióxido de carbono (CO_2). Além desses, pequenas quantidades de oxigênio (O_2), nitrogênio (N_2) e hidrogênio (H_2) provaram ser benéficas em algumas aplicações. Desses gases, apenas o argônio e o hélio são gases inertes³. A compensação para a tendência de oxidação dos outros gases é realizada pelas formulações especiais dos arames.

CARACTERÍSTICAS DE UM BOM GÁS DE PROTEÇÃO (OU MISTURA)

- Protege melhor contra a contaminação atmosférica (principalmente de O₂ e N₂)
 - Produz menor quantidade de respingo
 - Produz melhor acabamento e perfil de solda
 - Produz soldas com maior penetração
 - Produz maior estabilidade do arco
 - Produz melhores propriedades mecânicas no MS
 - É mais barato
-

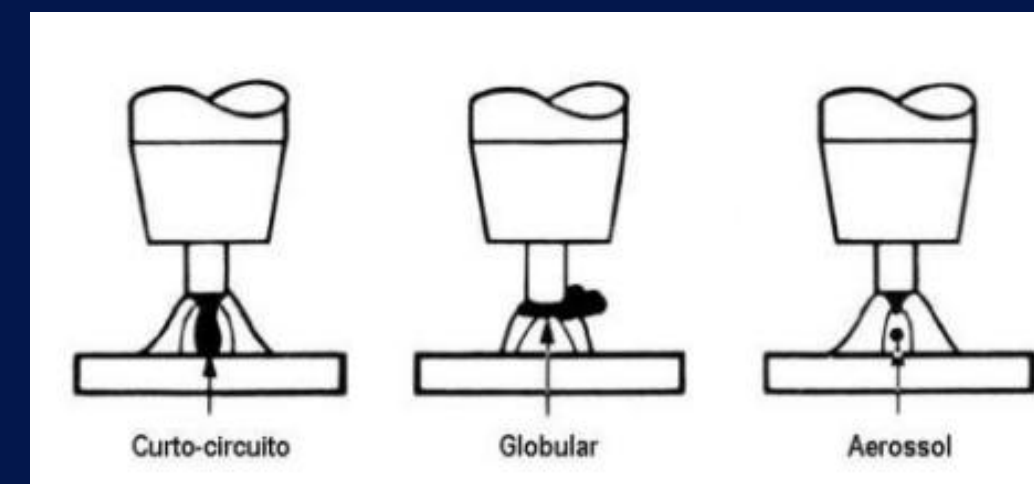
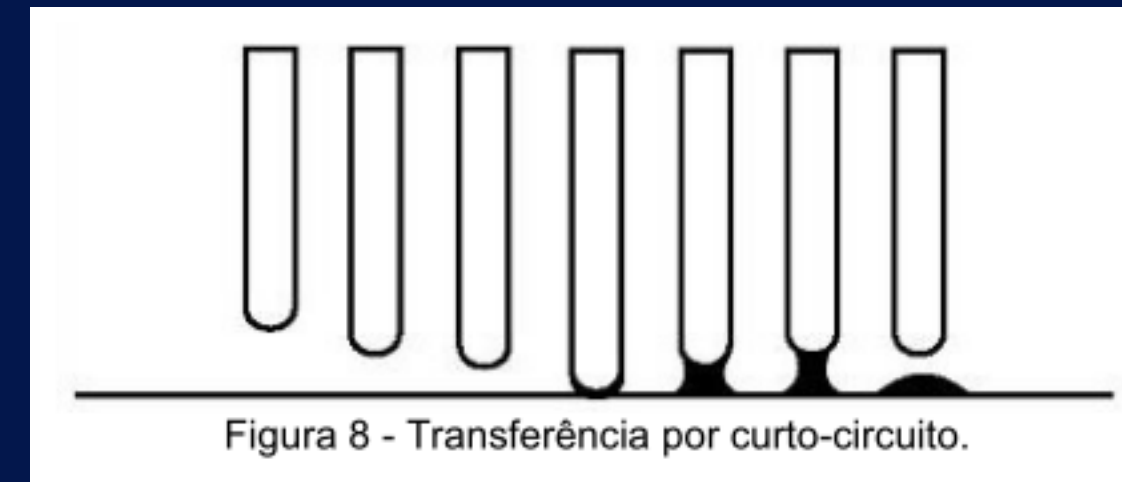
GASES MAIS UTILIZADOS

Gás ou Mistura	Comportamento Químico	Aplicações
Argônio	Inerte	Quase todos os metais, exceto o aço
Hélio	Inerte	Al, Mg, Cu e suas ligas. Alta penetração.
Ar + He (20-50%)	Inerte	Ídem He, mas melhor que 100% He
Nitrogênio		Cobre (maior energia de soldagem)
Ar + N ₂ (20-30%)		Ídem N ₂ , mas melhor que 100% de N ₂ .
Ar + O ₂ (1-2%)	Liga oxidante	Aços inoxidáveis e algumas ligas de Cu
Ar + O ₂ (3-5%)	Oxidante	Aços carbono e alguns aços de baixa liga
CO ₂	Oxidante	Aços carbono e alguns de baixa liga
Ar + CO ₂ (20-50%)	Oxidante	Vários aços. Transferência por curto-circuito
Ar + CO ₂ + O ₂	Oxidante	Vários aços

TRANSFERÊNCIA DE METAL

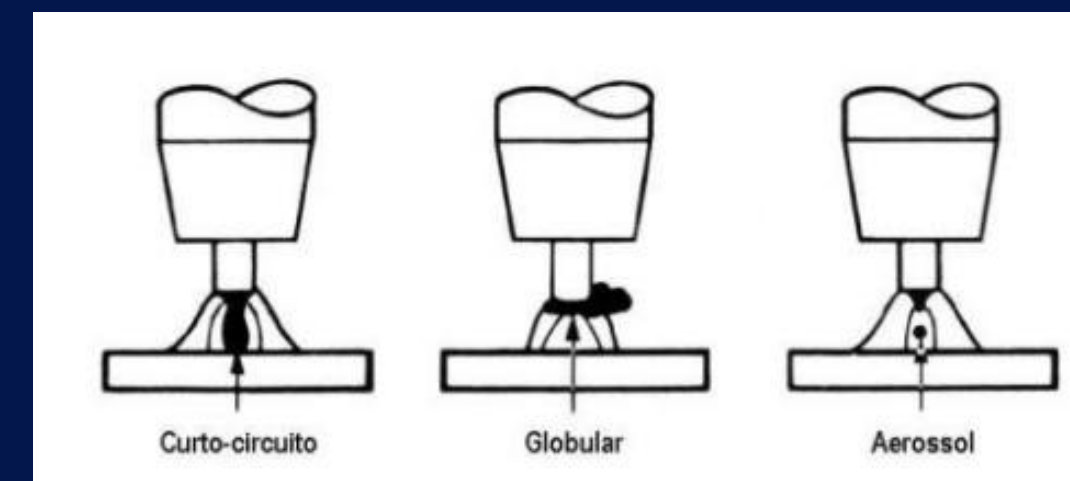
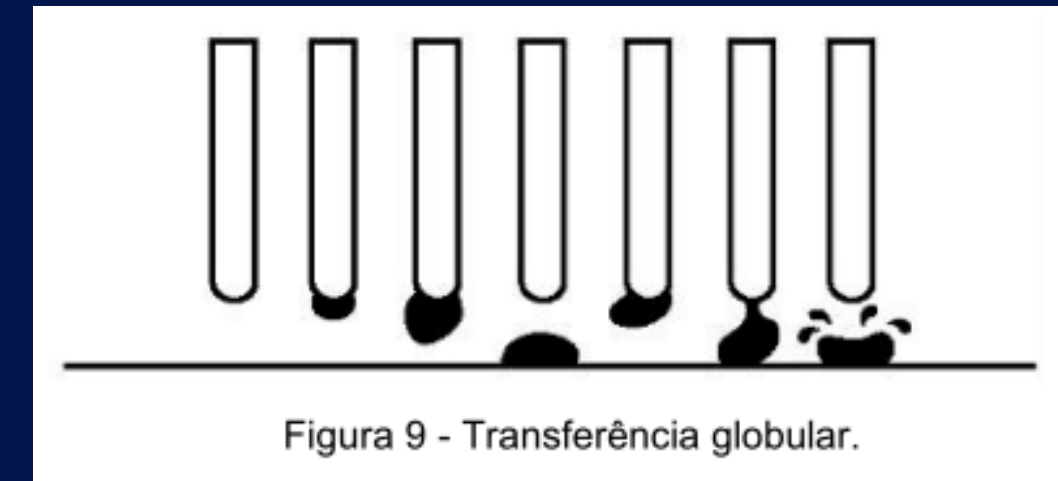
- **Curto circuito:** se dá quando a gota entra em contato com a poça de fusão
- Baixas tensões e baixas correntes de soldagem;
- É obtida uma pequena poça de fusão de rápida solidificação → aporte térmico pequeno
- Útil na união de materiais de pequena espessura em qualquer e no enchimento de largas aberturas.
- Deve ser empregada quando se tem como requisito uma distorção mínima da peça

Diâmetro do arame		Corrente de soldagem (A)	
pol (")	mm	Mínima	Máxima
0,030	0,76	50	150
0,035	0,89	75	175
0,045	1,10	100	225



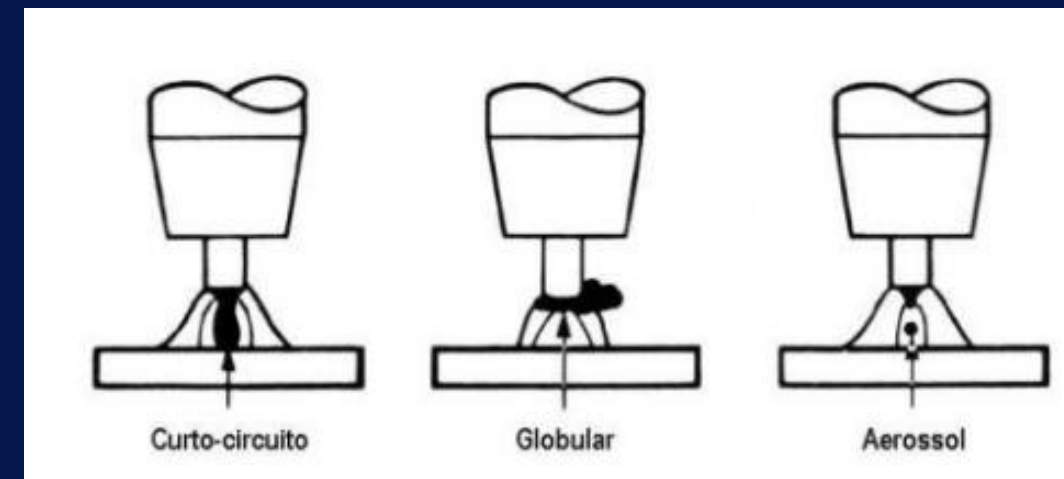
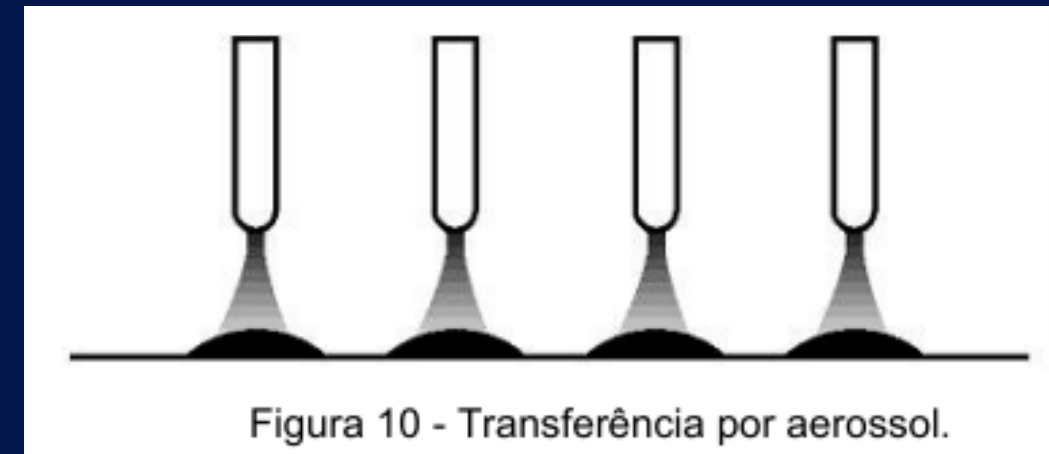
TRANSFERÊNCIA DE METAL

- **Globular:**
- Valores elevados de tensão e corrente (superiores aos máximos recomendados para transferência por cc);
- Diâmetro da gota maior que o diâmetro do eletrodo;
- Utilizado quando se solda em posição plana;
- Pode levar à formação de defeitos;



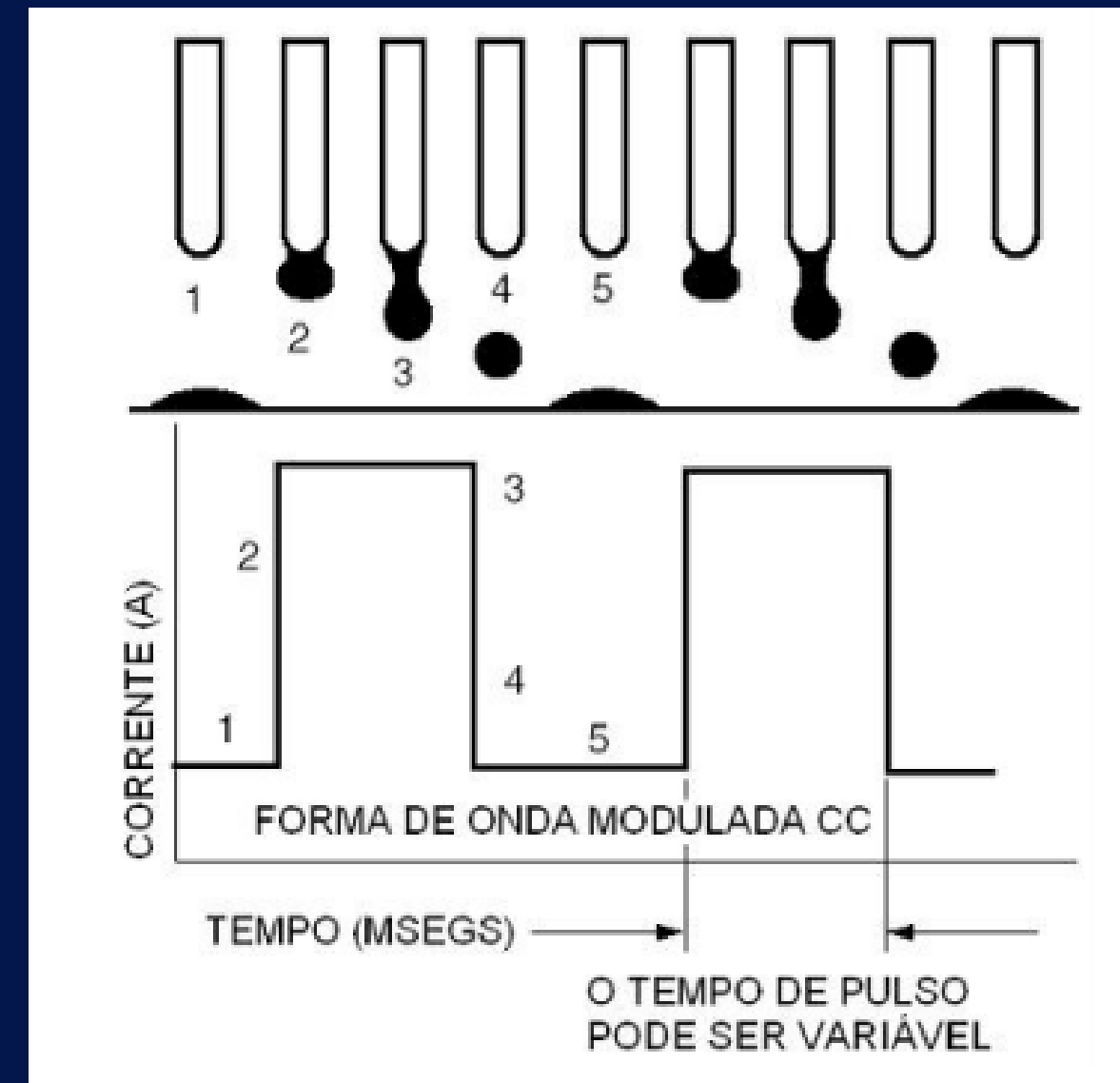
TRANSFERÊNCIA DE METAL

- **Aerosol (spray):**
- Elevados valores de tensão e corrente de soldagem (maiores que os da globular);
- Gases com baixos teores de CO₂;
- Indicado para soldagem de chapas espessas (> 5 mm);
- Micro gotas metálicas (menores que o diâmetro do eletrodo);
- Elevada quantidade de respingos de solda.



TRANSFERÊNCIA DE METAL

- **Soldagem pulsada – variação do spray**
- Nessa técnica, a corrente é variada entre um valor alto e um baixo. O nível baixo de corrente fica abaixo da corrente de transição, enquanto que o nível alto fica dentro da faixa de arco em aerossol. O metal é transferido para a peça apenas durante o período de aplicação de corrente alta. Geralmente é transferida uma gota durante cada pulso de corrente alta.
- Técnica produz a transferência via spray utilizando uma corrente menor → aporte térmico menor → menor a poça de fusão e a ZTA.



ETAPAS DA SOLDAGEM MIG/MAG

Para soldar peças pelo processo de soldagem MIG/MAG, o soldador segue as seguintes etapas:

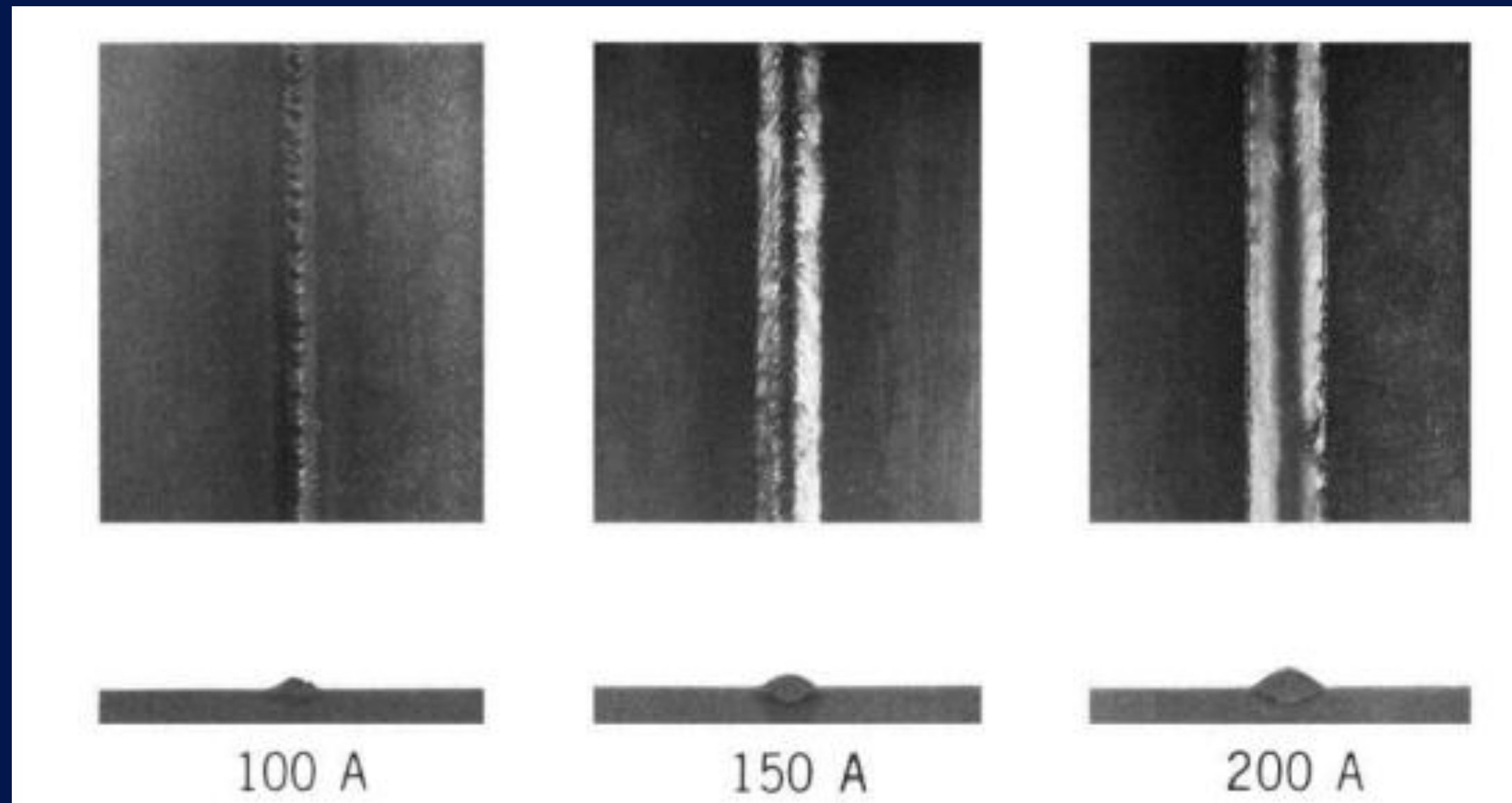
1. Preparação das superfícies.
2. Abertura do arco.
3. Início da soldagem pela aproximação da tocha da peça e acionamento do gatilho para início do fluxo do gás, alimentação do eletrodo e energização do circuito de soldagem.
4. Formação da poça de fusão.
5. Produção do cordão de solda, pelo deslocamento da tocha ao longo da junta, com velocidade uniforme.
6. Liberação do gatilho para interrupção da corrente, da alimentação do eletrodo, do fluxo do gás e extinção do arco.

O estabelecimento do procedimento de soldagem deve considerar variáveis como: tensão, corrente, velocidade, ângulo e deslocamento da tocha, tipo de vazão do gás, diâmetro e comprimento da extensão livre do eletrodo ("stick out"). Essas variáveis afetam a penetração e a geometria do cordão de solda.

Quanto maior for a corrente utilizada, maior será a poça de fusão → maior deverá ser a vazão do gás protetor. Além disso, o metal fica sob alta temperatura durante um tempo maior → maior tamanho de grão → menor dureza do cordão de solda.

INFLUÊNCIA DE ALGUNS PARÂMETROS DE SOLDA

Corrente de solda: aumento da corrente causa um aumento da penetração → poça de fusão



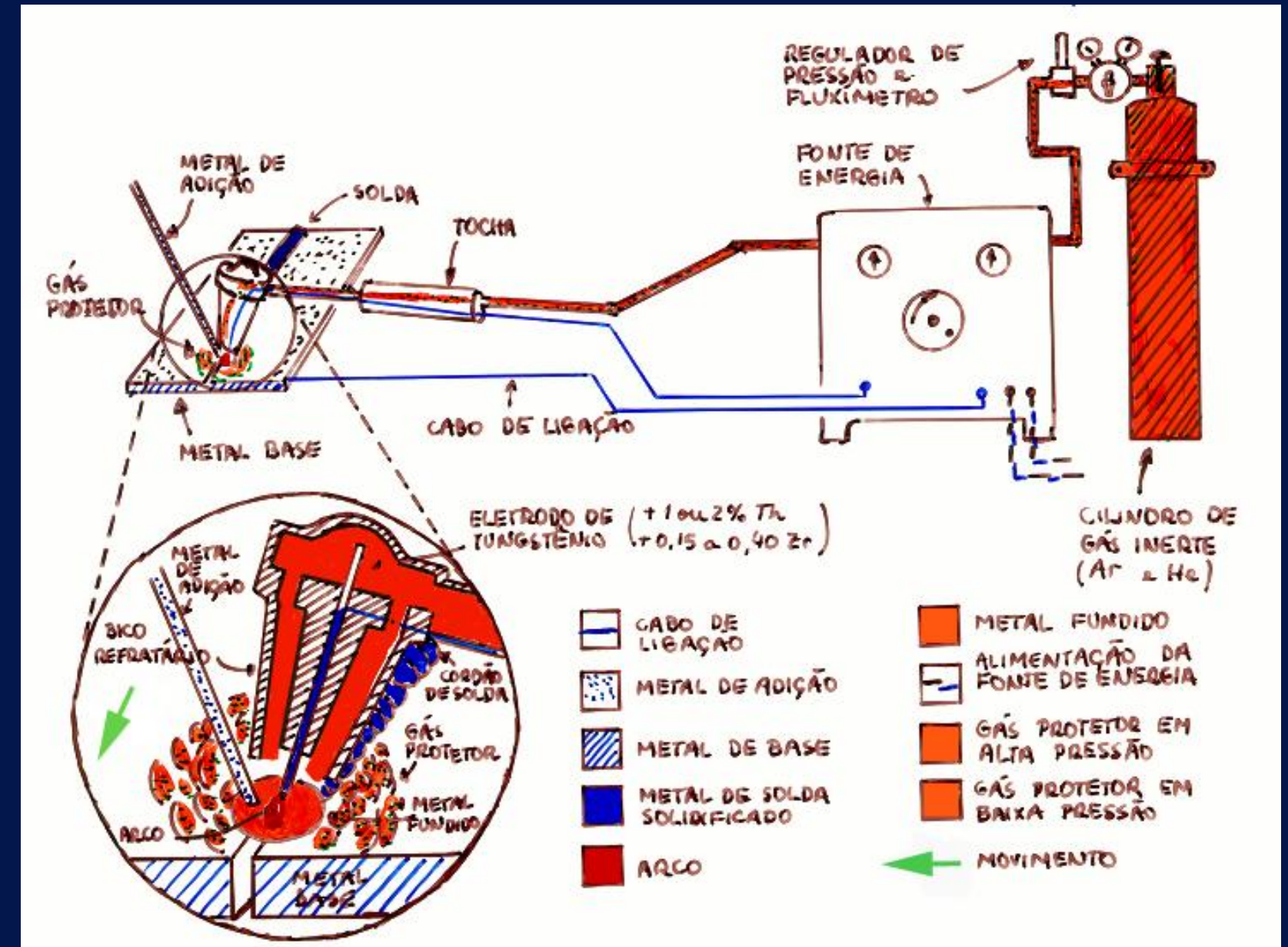
VANTAGENS E DESVANTAGENS

- Versatilidade do processo
- Alimentação contínua do eletrodo
- Execução em todas as posições
- Elevada velocidade de soldagem
- Alta taxa de deposição → elevada produtividade
- Não forma escória → evita-se a etapa de retirada de escória
- Resfriamento mais rápido (já que não há formação de escória) → aumenta chance de ocorrência de trincas
- Grande emissão de raios UV
- Equipamento menos portátil e mais caro (comparado ao eletrodo revestido)



SOLDAGEM TIG

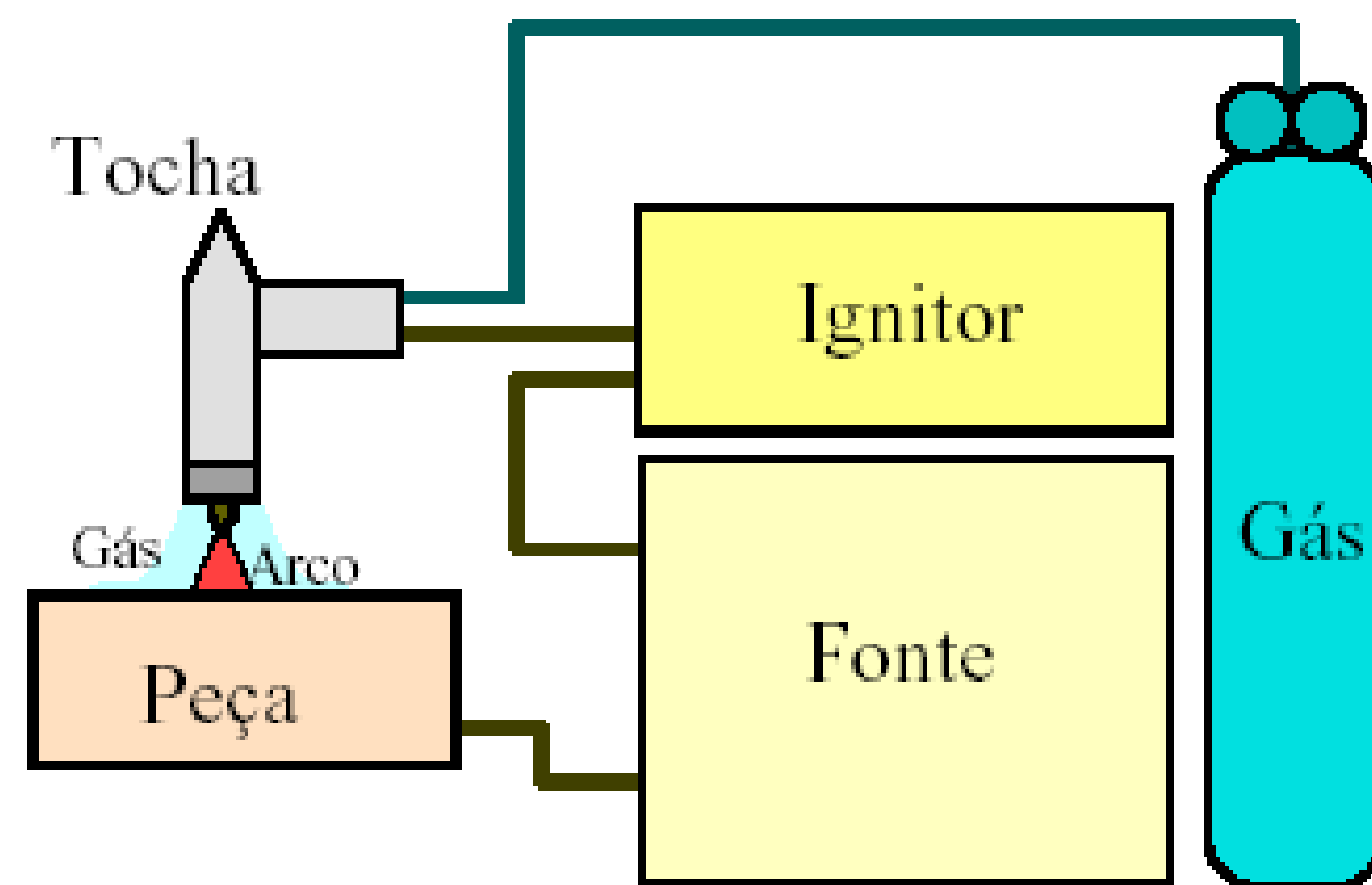
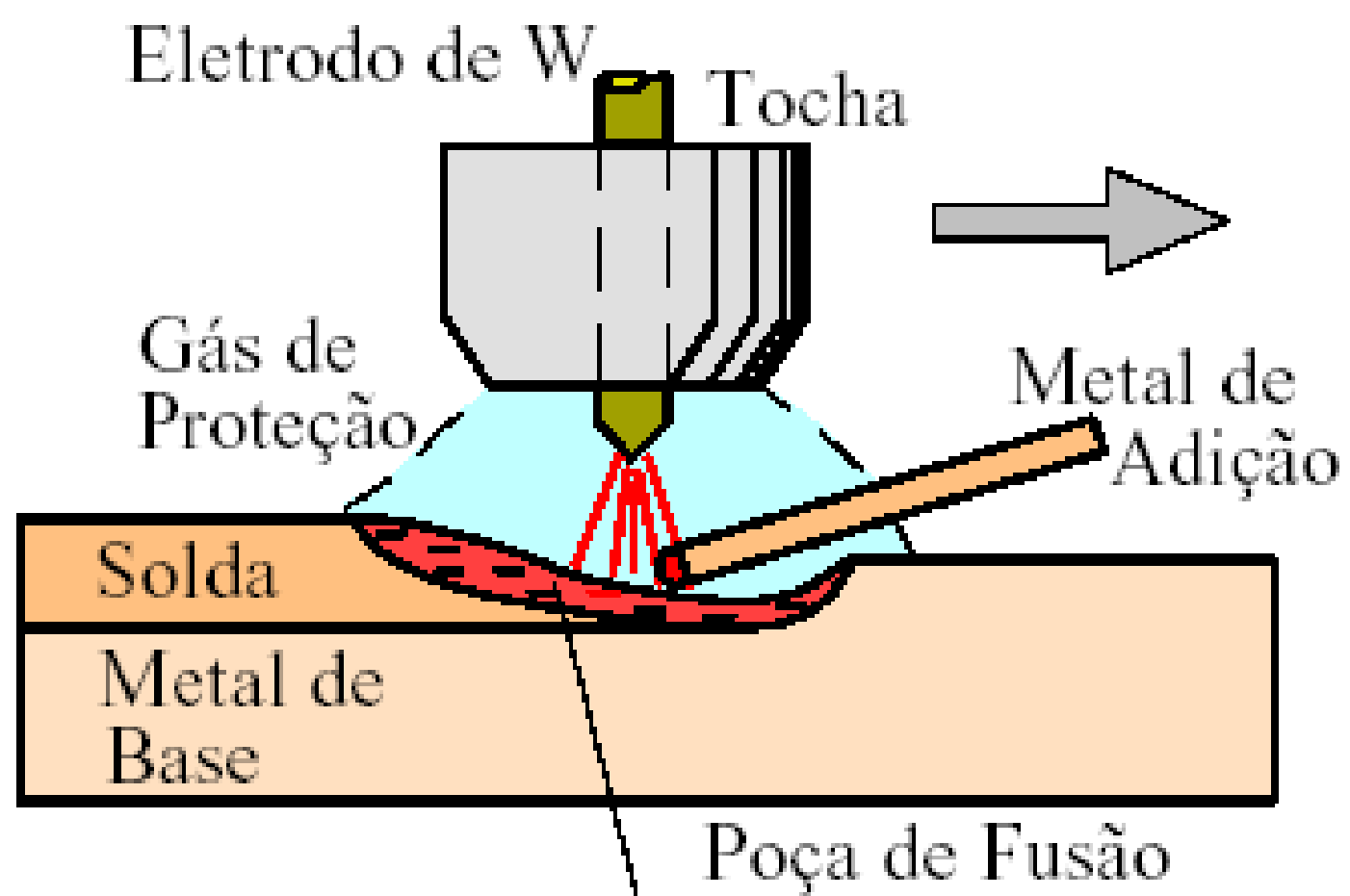
- Eletrodo de tungstênio não consumível com gás inerte. O metal de adição é utilizado na forma de varetas.
- Processo utilizado para se soldar peças finas ou juntas complexas.



Muito utilizado para solda em alumínio

SOLDAGEM TIG

Normalmente, o eletrodo de W é utilizado em CC de modo direta, o que faz com que o eletrodo acumule menos calor, e desta forma, não é consumível.



Tocha serve para sustentar o eletrodo e guiar o gás até a região em torno do arco. O eletrodo tem a função de levar a corrente até o arco, aumentando a temperatura.

[Link interessante:](https://www.youtube.com/watch?v=bYImgpLmkMA)

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

VANTAGENS E LIMITAÇÕES

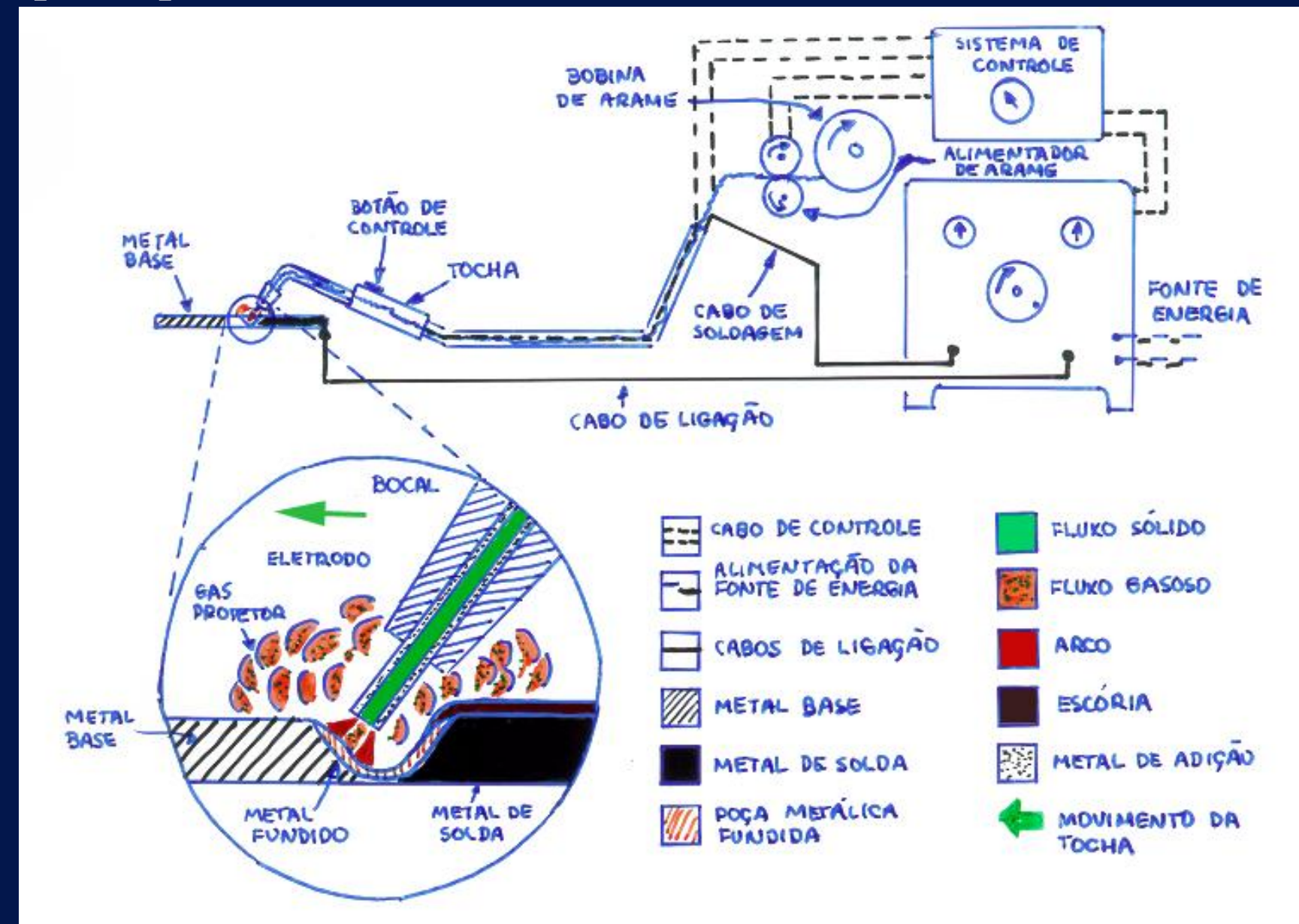
- Excelente controle da poça de fusão
- Permite soldagem sem o uso de metal de adição
- Permite mecanização e automação do processo
- Usado para soldar a maioria dos metais
- Gera pouco ou nenhum respingo
- Não possui escória



- Exige pouco ou nenhuma limpeza após a soldagem
- Permite a soldagem em qualquer posição
- Produtividade relativamente baixa para peças espessas
- Custo de consumíveis e equipamentos é relativamente elevado
- Emissão intensa de radiação ultra-violeta
- Se feita em campo aberto, tem influência da corrente de ar

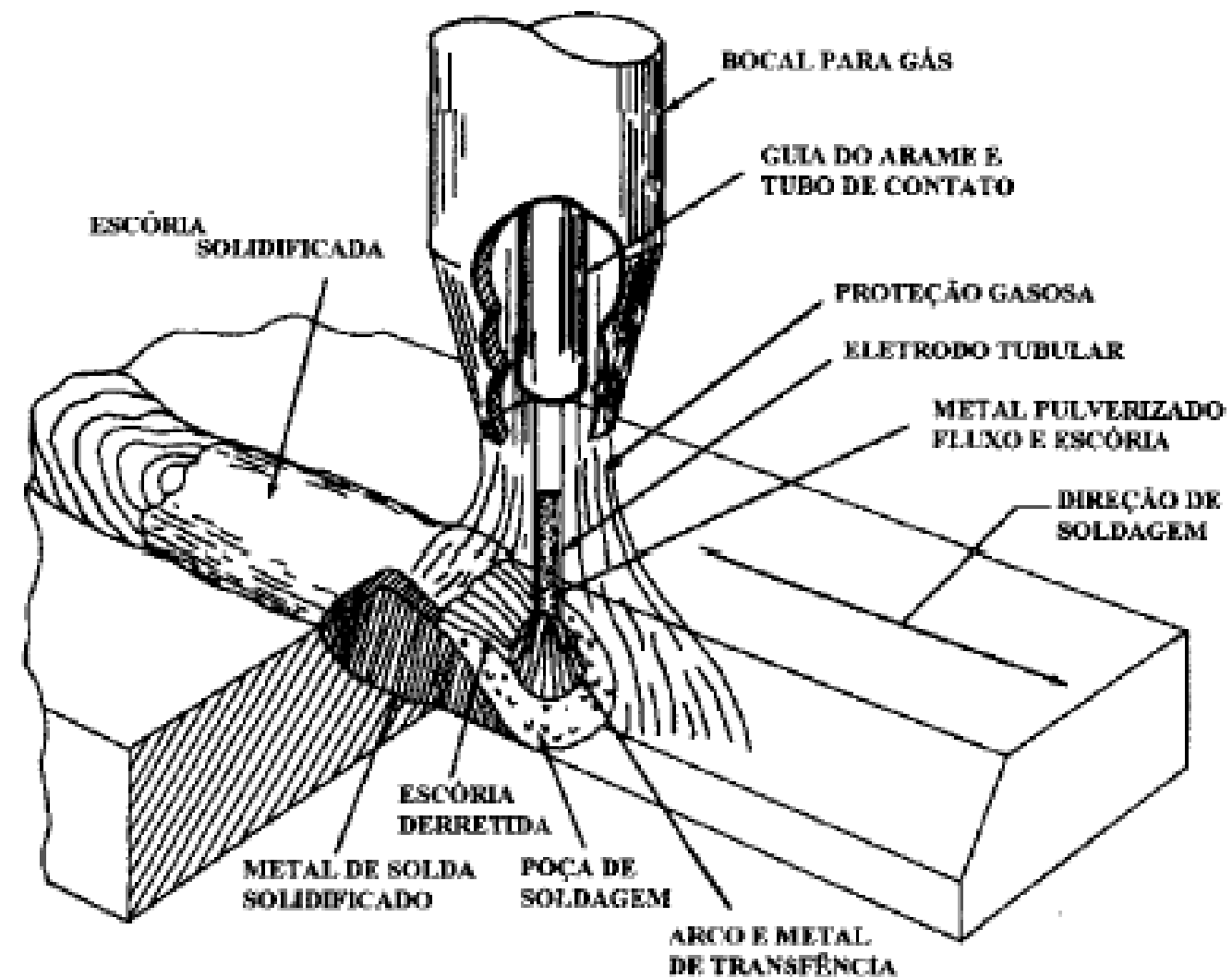


SOLDA COM ARAME TUBULAR (AT)



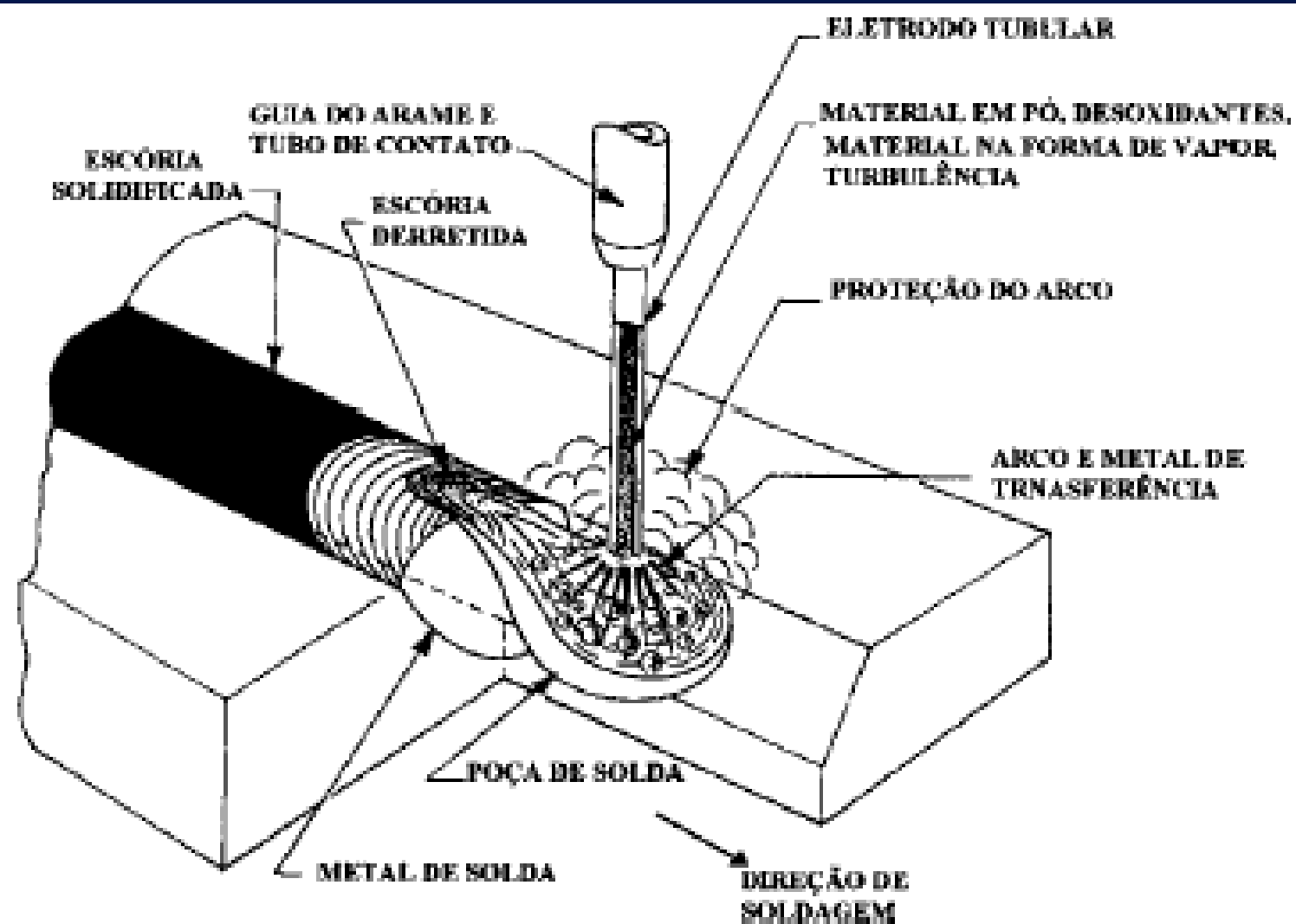
- Junta as vantagens do processo semiautomático da MAG com as do processo de eletrodo revestido. O fluxo contido dentro do arame pode ser comparado ao revestimento presente nos eletrodos revestidos.

COM PROTEÇÃO GASOSA



- A proteção da poça de fusão é feita externamente pelo uso de gases de proteção.

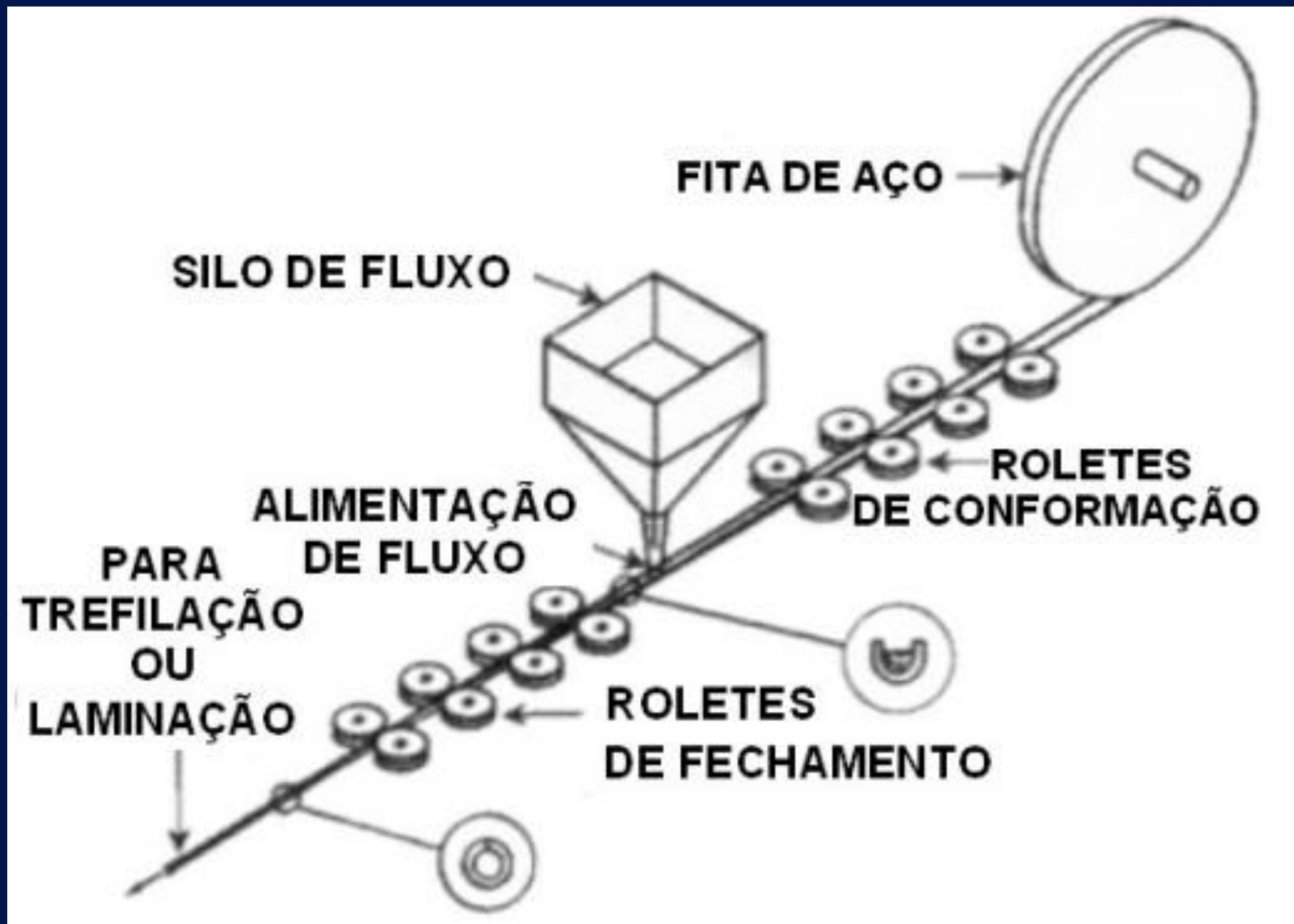
AUTO PROTEGIDO



- Proteção se dá pela queima do fluxo em pó presente no arame. Neste fluxo ainda encontram-se elementos formadores de escória, desoxidantes e estabilizadores de arco.

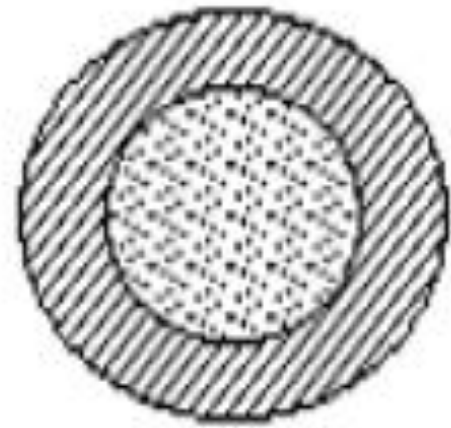
- desenvolvidos para uso no campo para a soldagem de aços carbono em todas as posições e também para altas taxas de deposição;
- taxas de deposição maiores que a soldagem manual com eletrodos revestidos;
- não necessitam de equipamentos de solda especiais;
- boa aparência da solda, com aspecto limpo e escória facilmente removível;
- para uso na maioria dos aços estruturais com resistência mecânica da ordem de 510 MPa;

FABRICAÇÃO DOS ARAMES TUBULARES

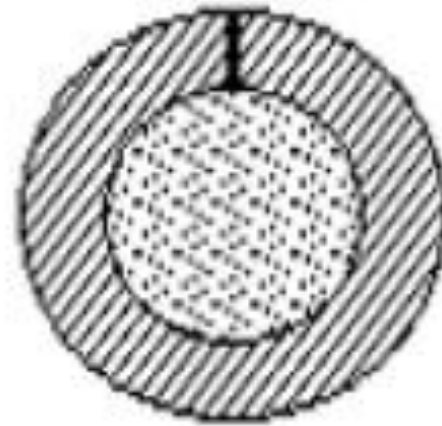


- Fita de aço passa por roletes de conformação e adquirem o formato de “U” para receber o enchimento do fluxo.
- Feito isso, esta canaleta passa pelos roletes de fechamento e saem na forma de tubo que podem ser trefilados ou laminados.
- Deve-se verificar a composição e dimensões tanto da fita metálica quanto do fluxo, pois juntos, eles compõem o metal de solda.

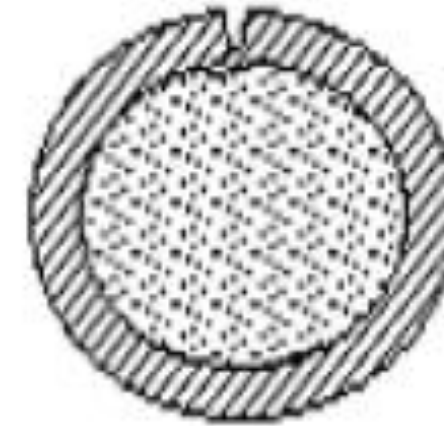
CONFIGURAÇÃO DOS ARAMES TUBULARES



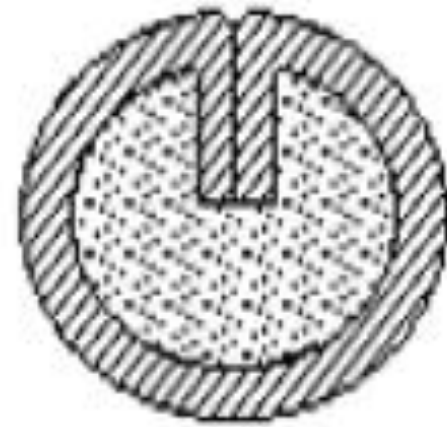
Sem costura



topo a topo



Sobreposto



Dobrado simples



Dobras múltiplas



Dobra dupla

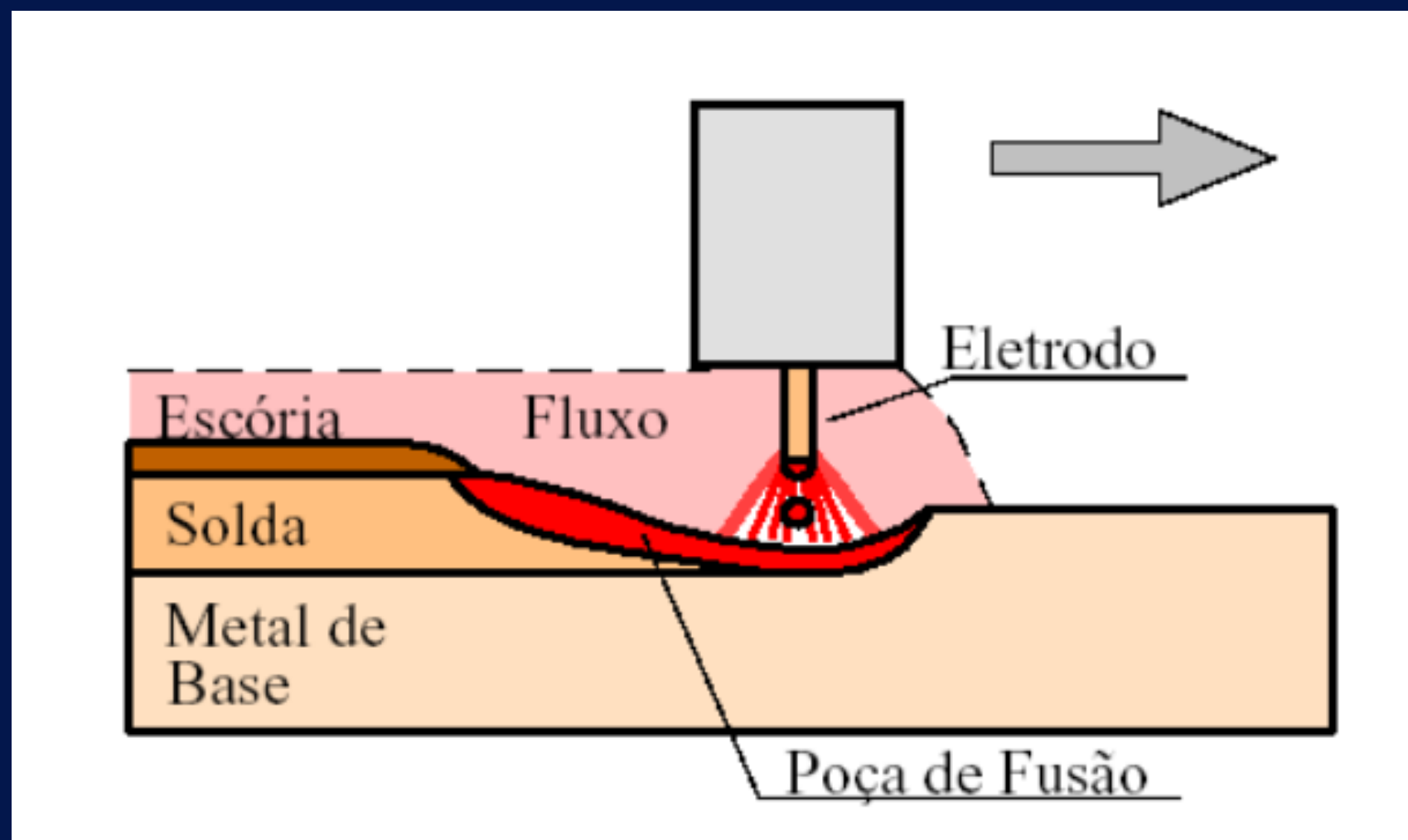
VANTAGENS E ~~DESVANTAGENS~~

- Investimento relativamente baixo → fácil migração do processo MIG/MAG para o de AT
 - O uso de um arame auto protegido descarta o uso de gases de proteção externos
 - Trocando-se o arame, pode-se alterar a composição química do cordão de solda
 - Facilidade para operar em campo
 - Alta taxa de deposição → alta densidade de corrente → seção transversal do AT é menor do que no arame sólido → menor perda de calor através do AT que do sólido
-

ARCO SUBMERSO

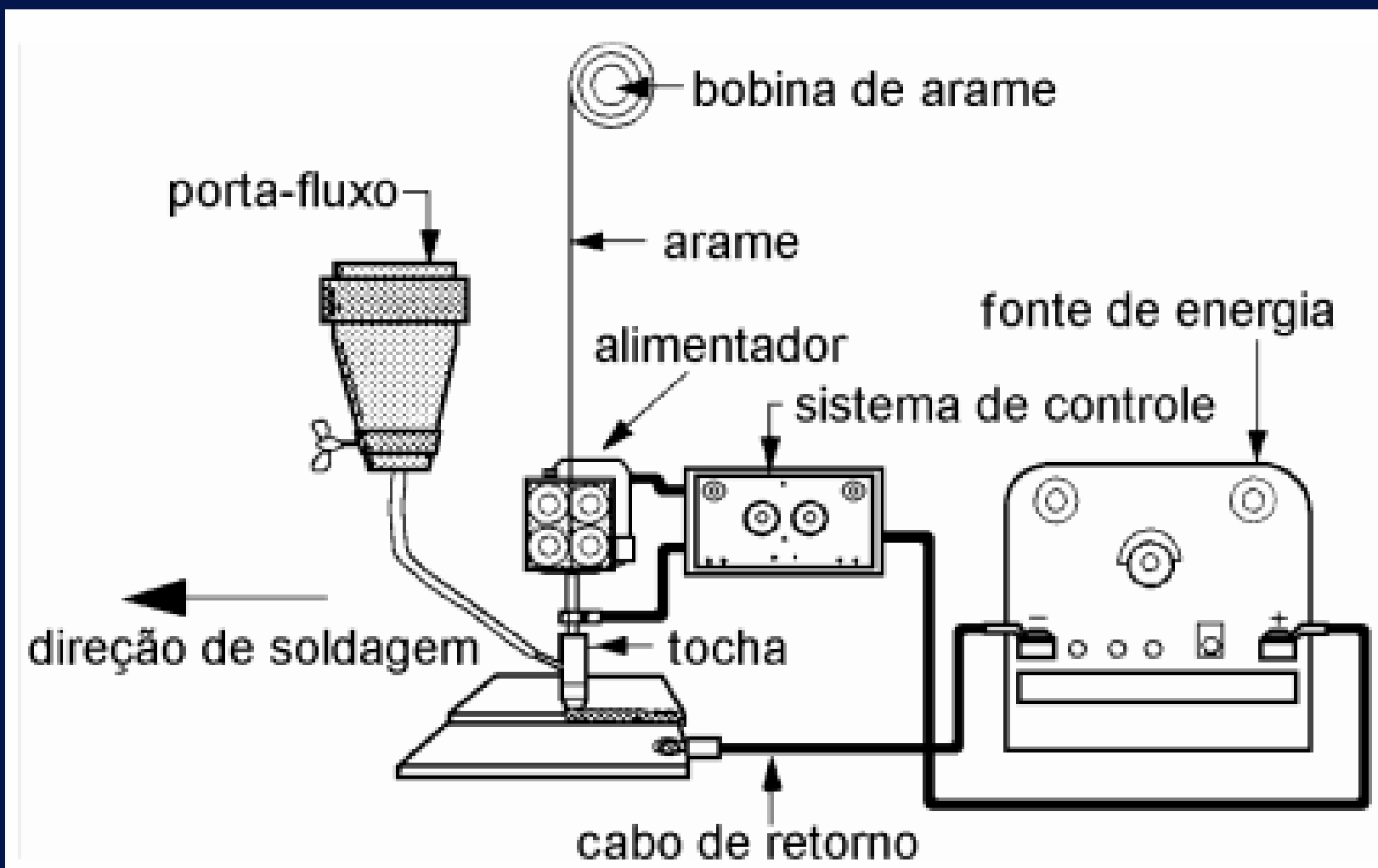
Link interessante:

<https://www.youtube.com/watch?v=XTHKURMc8bw>



Não existe gás de proteção:
a proteção da poça de fusão
é feita pelo fluxo.

EQUIPAMENTO NECESSÁRIO



A alimentação do fluxo é feita por um conjunto formado por um porta-fluxo, mangueiras condutoras e um bocal de saída. A recuperação do fluxo é feita por dispositivos que aspiram os grãos não fundidos e os devolvem ao porta-fluxo.

A tocha de soldagem tem um bico de contato deslizante, feito de cobre e ligas, responsável pela energização do eletrodo. Ela tem, também, um sistema para fixação do cabo de saída da fonte e um suporte isolante.

O sistema de alimentação do eletrodo é formado por um suporte para a bobina do eletrodo, um motor de corrente contínua com controle de velocidade e um conjunto de roletes de alimentação. Esse sistema é muito importante para a qualidade da soldagem porque o deslocamento da tocha é independente e não há como detectar falha na soldagem durante o processo, já que a solda fica coberta pelo fluxo.

O alimentador de eletrodo, o alimentador de fluxo e a tocha de soldagem são montados no cabeçote de soldagem, ou seja, um carro acionado por um motor elétrico, com velocidade ajustável que se desloca sobre um trilho colocado em um suporte.

FLUXO

S

São compostos de óxidos, minerais e as vezes, ferroligas.

Podem ser ácidos, básicos ou neutros. Os básicos tendem a reduzir os teores de oxigênio, enxofre e fósforo no metal depositado, melhorando a tenacidade da peça.

Podem ainda ser ativos ou neutros. Fluxos ativos alteram a composição química do cordão de solda.

Os fluxos são materiais em forma de pó ou pasta que se fundem e têm a função de reagir quimicamente com os óxidos metálicos que se formam no processo. Eles são usados na soldagem de aços inoxidáveis e de metais não-ferrosos como o alumínio e o cobre e suas ligas.



FUNÇÕES DO FLUXO

- Proteger a solda da atmosfera
- Formação de escória
- Diminuir as impurezas da solda
- Iniciar e estabilizar o arco
- Agente desoxidante ou redutor
- Controle das propriedades físicas
- Aumentar a taxa de deposição
- Deposição de elementos de liga

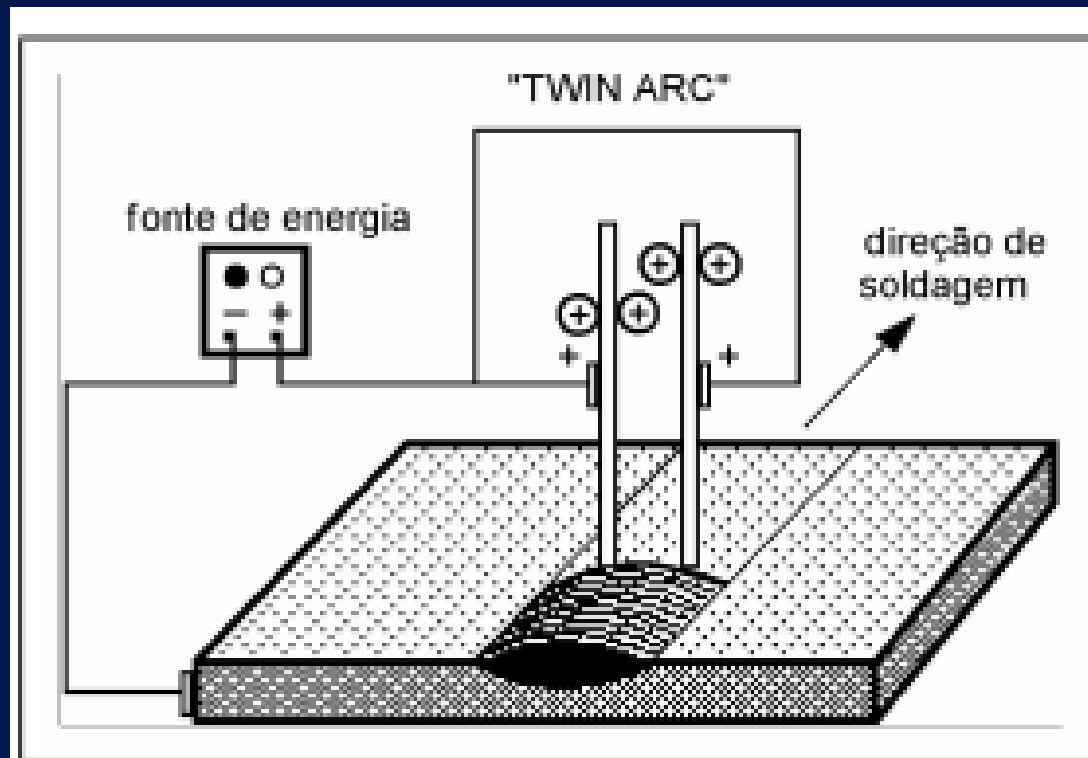


CARACTERÍSTICA

S

- Boa produtividade e uniformidade do cordão de solda
 - Elevada taxa de deposição de metal
 - Respingos e fumus de soldagem existem em pequena (ou nula) proporção → Uso de EPI's é mais flexível.
 - Não depende do operador. É um processo totalmente automático e rápido.
 - Escória de fácil remoção → auto destacável
 - Não pode ser utilizada para todas as posições. Apenas horizontais e inclinadas com baixo ângulo.
-

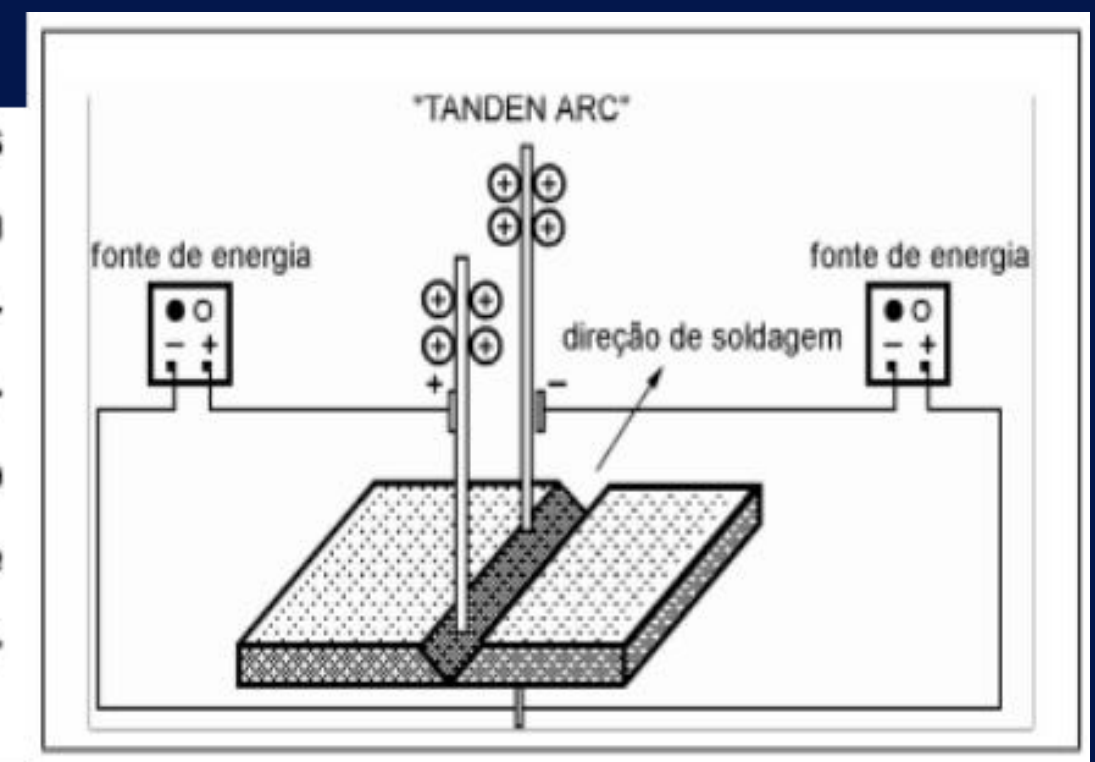
VARIAÇÕES DO PROCESSO



"Twin arc" (que quer dizer arcos gêmeos) trabalha com um ou mais eletrodos, usando uma ou mais fontes de energia soldando simultaneamente. Essa variante fornece menor penetração, baixa diluição e alta taxa de deposição. É empregado na execução de revestimentos e soldagem de chanfros largos com mata-junta.

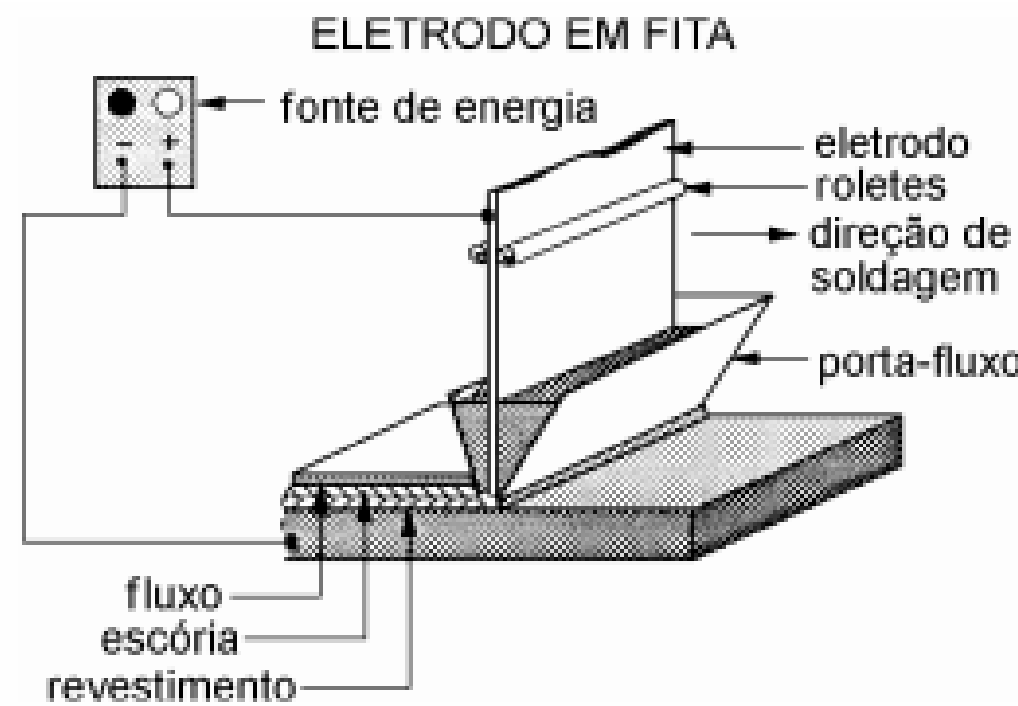
"Tandem arc" (que quer dizer arcos em série) usa dois ou mais eletrodos soldando em linha e simultaneamente e cada um tem sua fonte de energia e controles separados. Devido aos problemas criados por efeito de campos magnéticos, os eletrodos "rebocados" possuem fontes de CA. Assim, é comum que o eletrodo "guia" trabalhe com CC+, que garante melhor penetração, e que os demais eletrodos trabalhem com CA, o que garante o enchimento e o melhor acabamento do cordão.

**VISAM O AUMENTO DA
PRODUTIVIDADE**



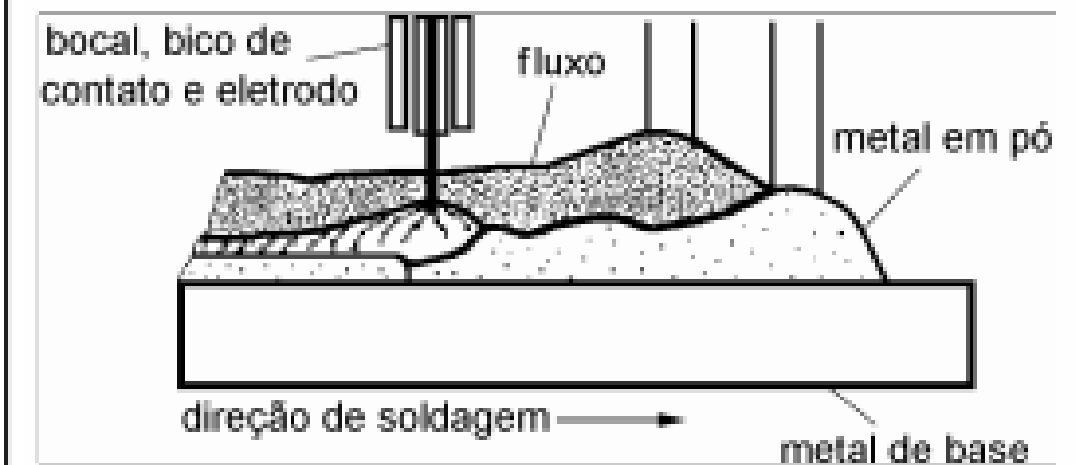
VARIAÇÕES DO PROCESSO

Eletrodo em fita é a variante na qual o eletrodo é substituído por uma fita metálica de 0,5 mm de espessura e 30 a 120 mm de largura. Nela, a diluição é muito baixa e o cordão de solda tem aproximadamente a largura da fita. Esse fato indica o processo para revestimento de grandes áreas.

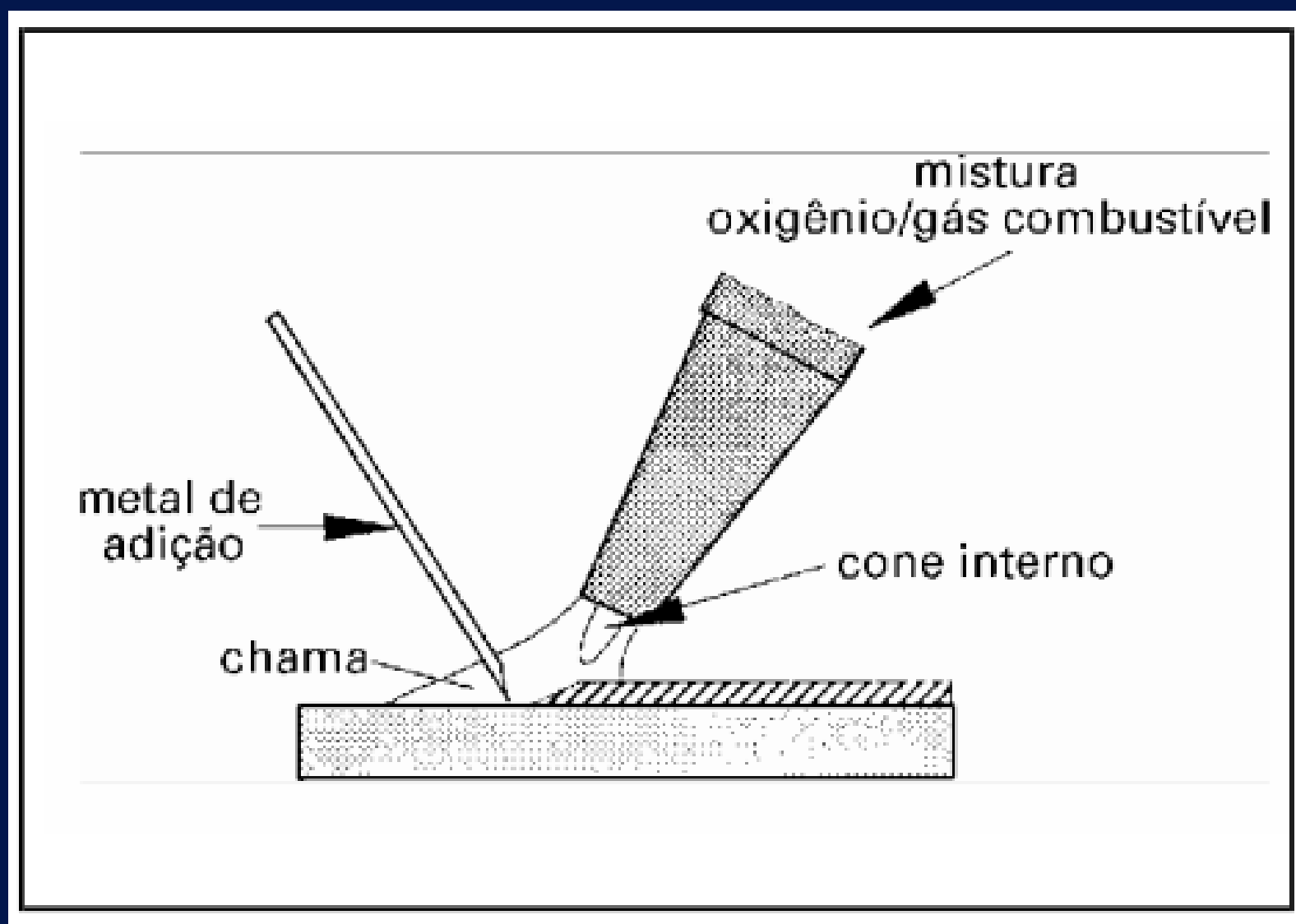


VISAM O AUMENTO DA PRODUTIVIDADE

Adição de pó metálico é a variante na qual uma camada de pó de ferro (mais comum) é depositada antes do fluxo com a função de aumentar a taxa de deposição. Nessa variante, o arco elétrico funde o arame-eletrodo, o metal de base e o pó, formando uma junta única.



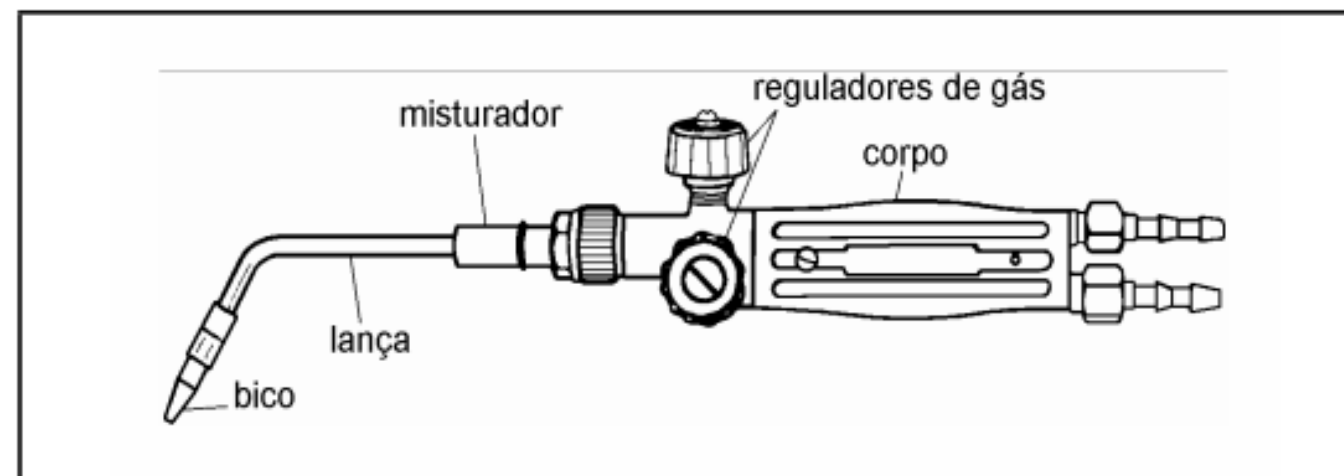
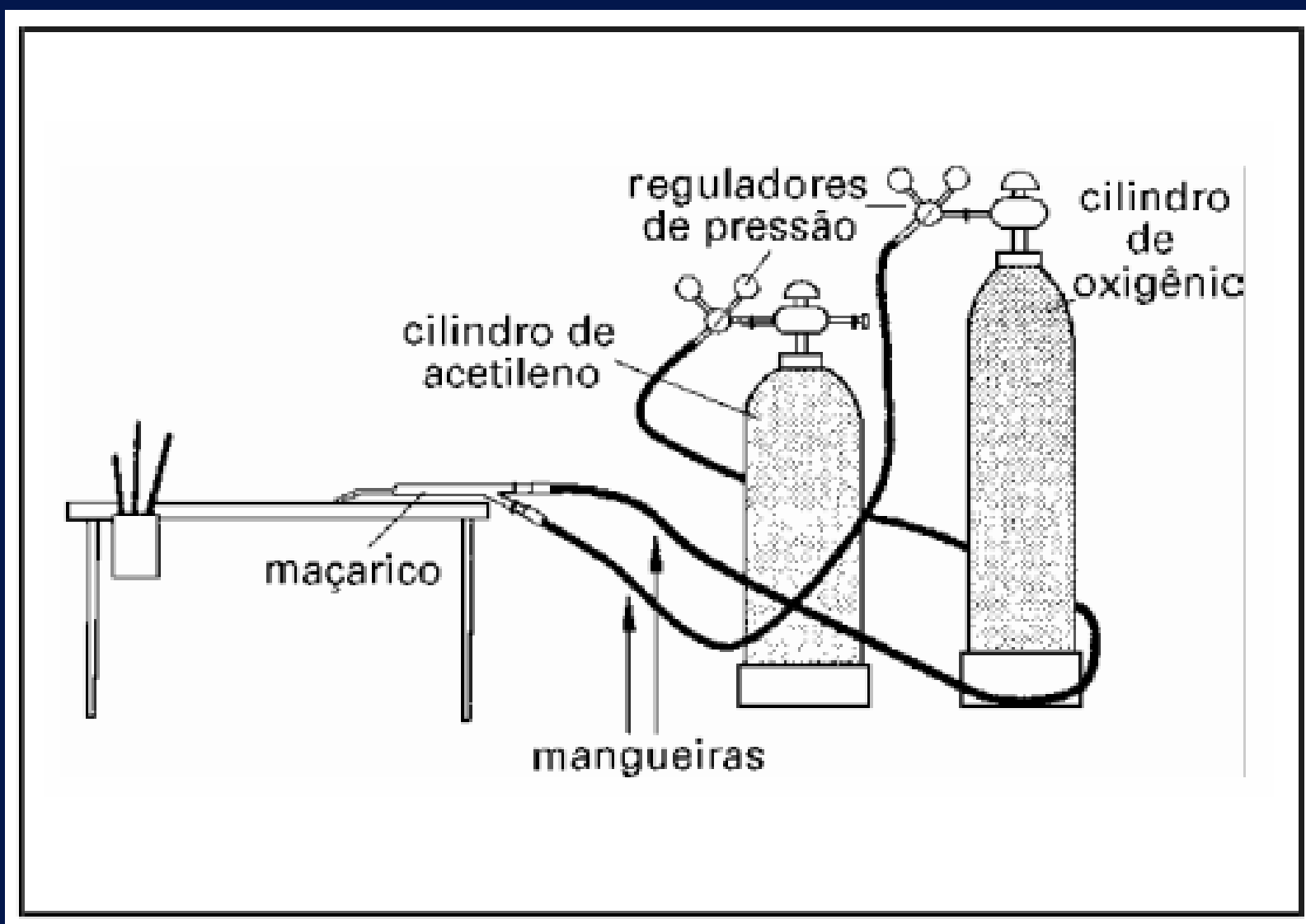
OXIACETILENO OU OXIGÁS



A soldagem a gás é um processo através do qual os metais são soldados por meio de aquecimento com uma chama de um gás combustível e oxigênio. Isso produz uma chama concentrada de alta temperatura que funde o metal-base e o metal de adição, se ele for usado.

Os gases utilizados nesta soldagem, juntamente com o oxigênio, devem ter alta temperatura de chama, alta taxa de propagação de chama, alto potencial energético e mínima reação química com os metais de base e de adição.

EQUIPAMENTO NECESSÁRIO



- corpo, no qual estão as entradas de gases e os reguladores da passagem dos gases;
- misturador, no qual os gases são misturados;
- lança, na qual a mistura de gases caminha em direção ao bico;
- bico, que é o orifício calibrado por onde sai a mistura dos gases.

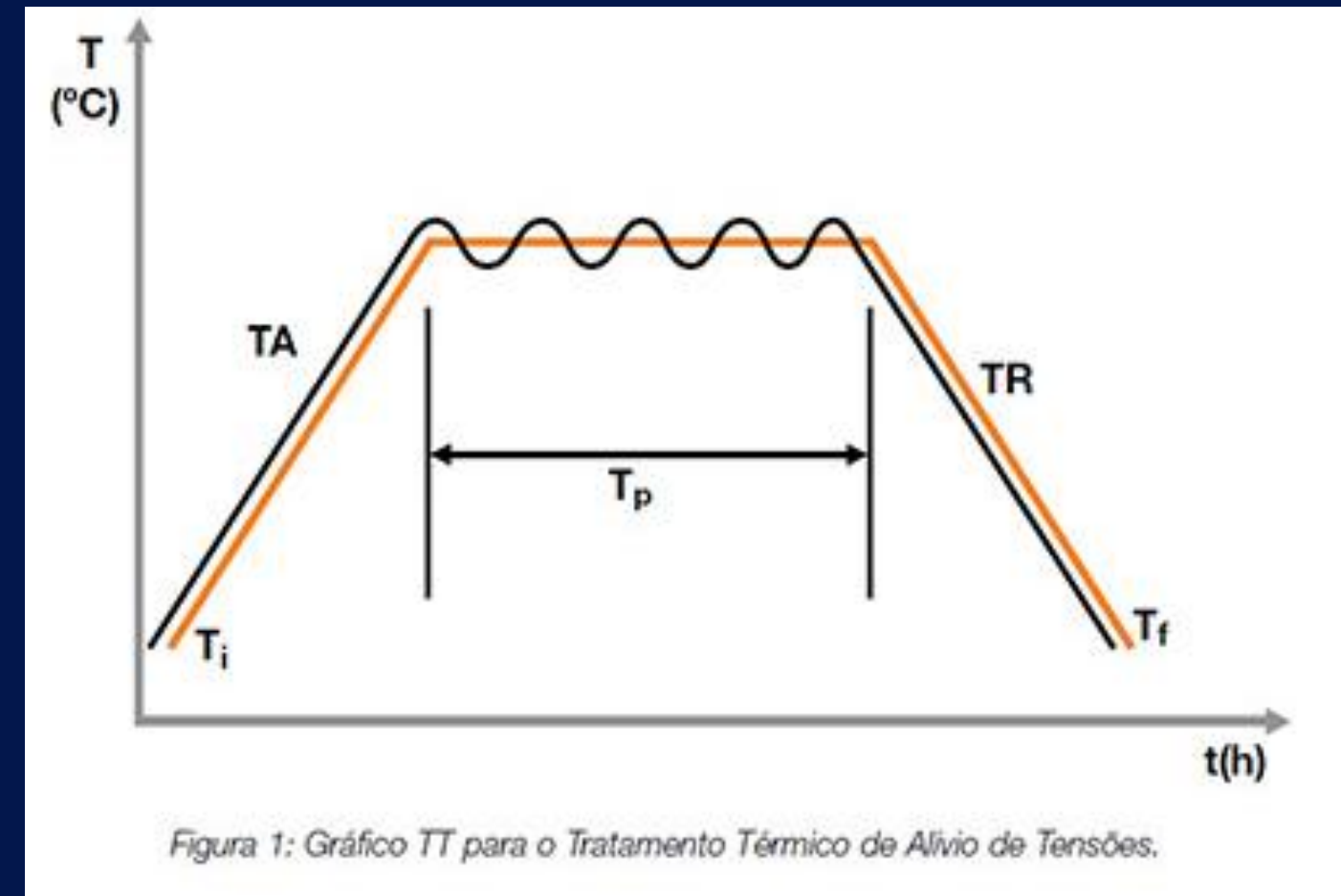
VANTAGENS E ~~DESVANTAGENS~~

- Equipamento relativamente barato
- Com o mesmo equipamento, porém, algumas modificações no maçarico, pode-se realizar tratamentos térmicos e corte de chapas.
- Baixa intensidade de calor → baixa produtividade
- Atualmente, mais utilizada para soldagem de manutenção ou para soldar tubos e chapas de paredes finas



TRATAMENTO TÉRMICO PÓS-SOLDA

Alívio de tensões: alivia as tensões residuais presentes após a solidificação das peças soldadas.



SEGURANÇA NA SOLDAGEM

Riscos:

- Radiação do arco
 - Além da radiação visível, a radiação UV é muito prejudicial tanto ao soldador quanto às pessoas que estão próximas ao local (uso de anteparos)

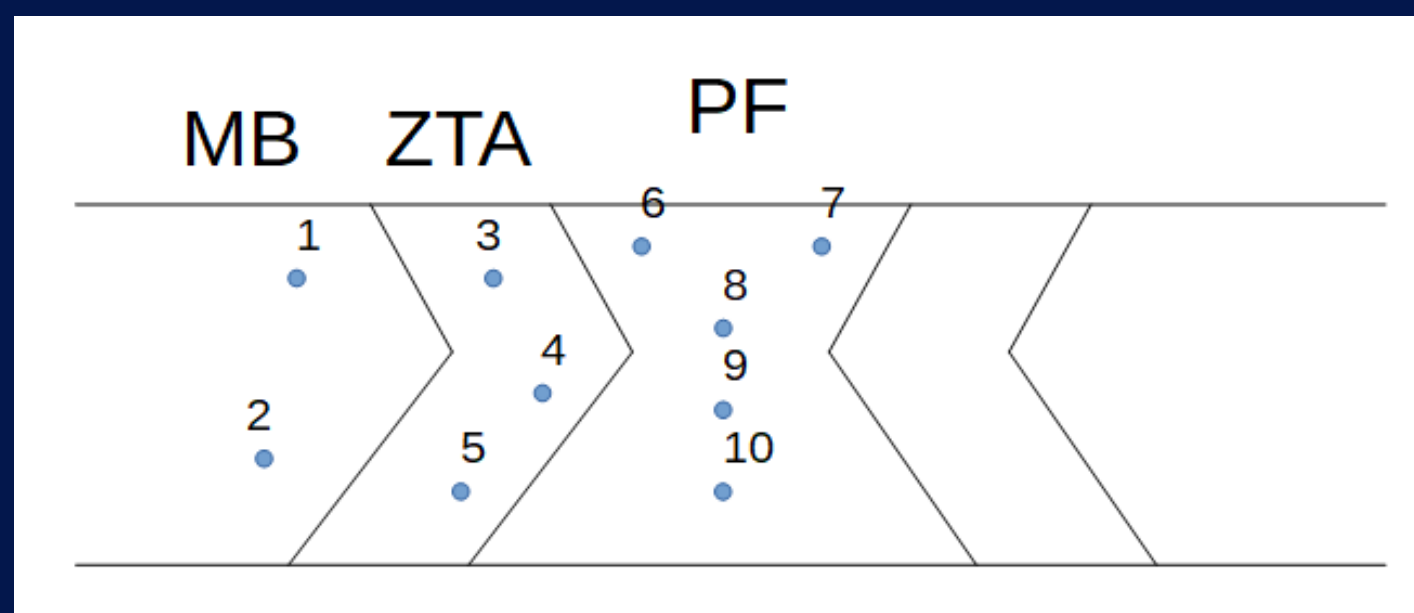
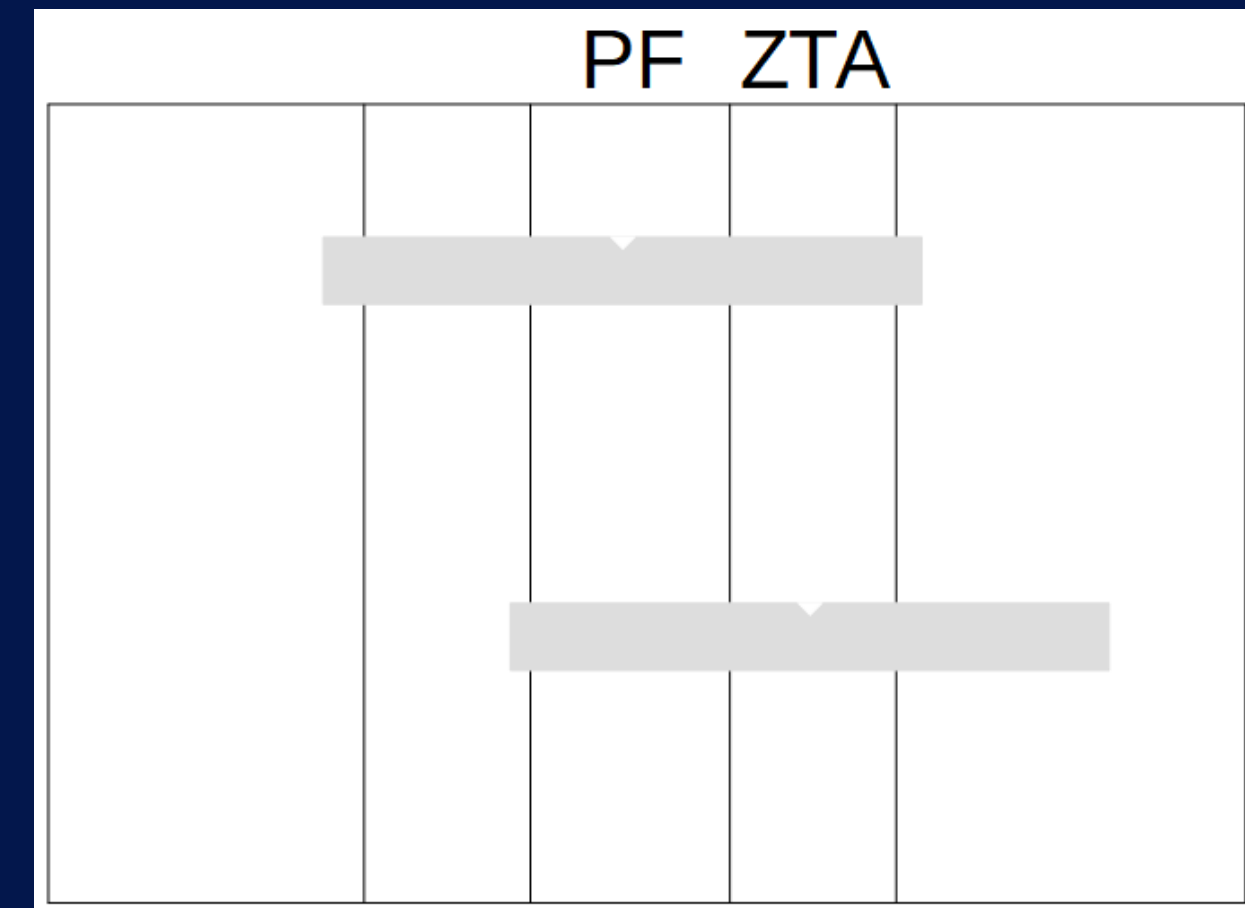
Choques elétricos

- Fumaça e gases
 - Resultado da reação do metal com gases (uso de ventilação e exaustores)
 - Partículas (respingos e escórias)
 - Partes da escória podem respingar, além de faíscas
-



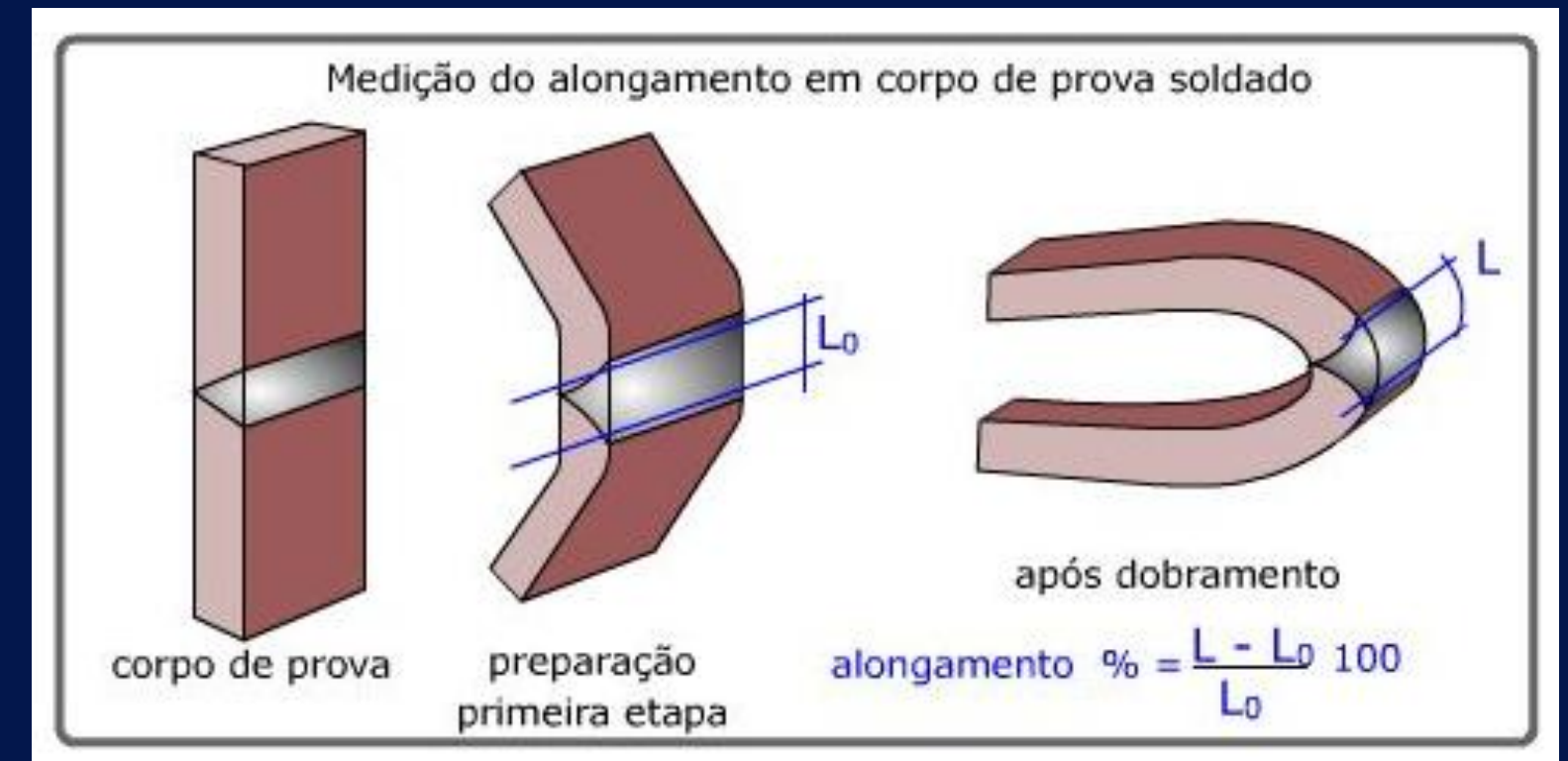
COMO AVALIAR AS PROPRIEDADES MECÂNICAS?

- Ensaio de microdureza Vickers;
- Ensaio de tração;
- Ensaio de impacto → fragilização da PF ou ZTA
- Ensaio de dobramento

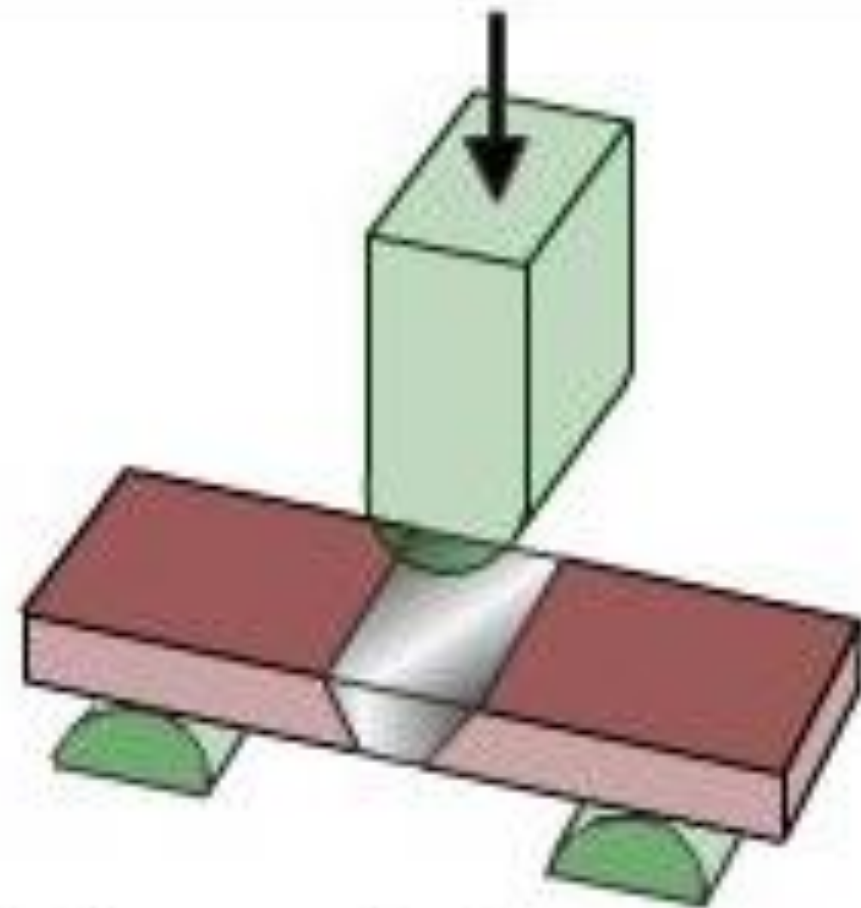


ENSAIO DE JUNTAS SOLDADAS

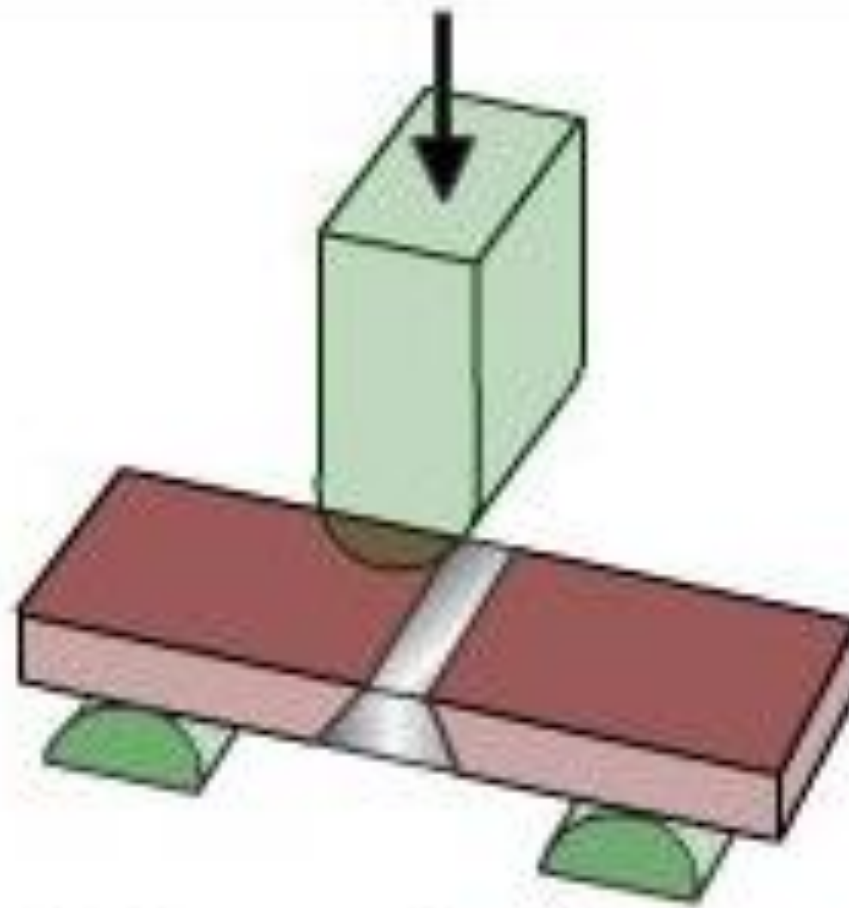
- Avaliação da qualidade de juntas soldadas
- Corpos de prova são extraídos de tubos ou chapas soldadas e devem obedecer às dimensões estabelecidas nas normas específicas;
- Em geral, a largura do cdp é 1,5x a espessura;
- O ângulo de dobramento é de 180°.



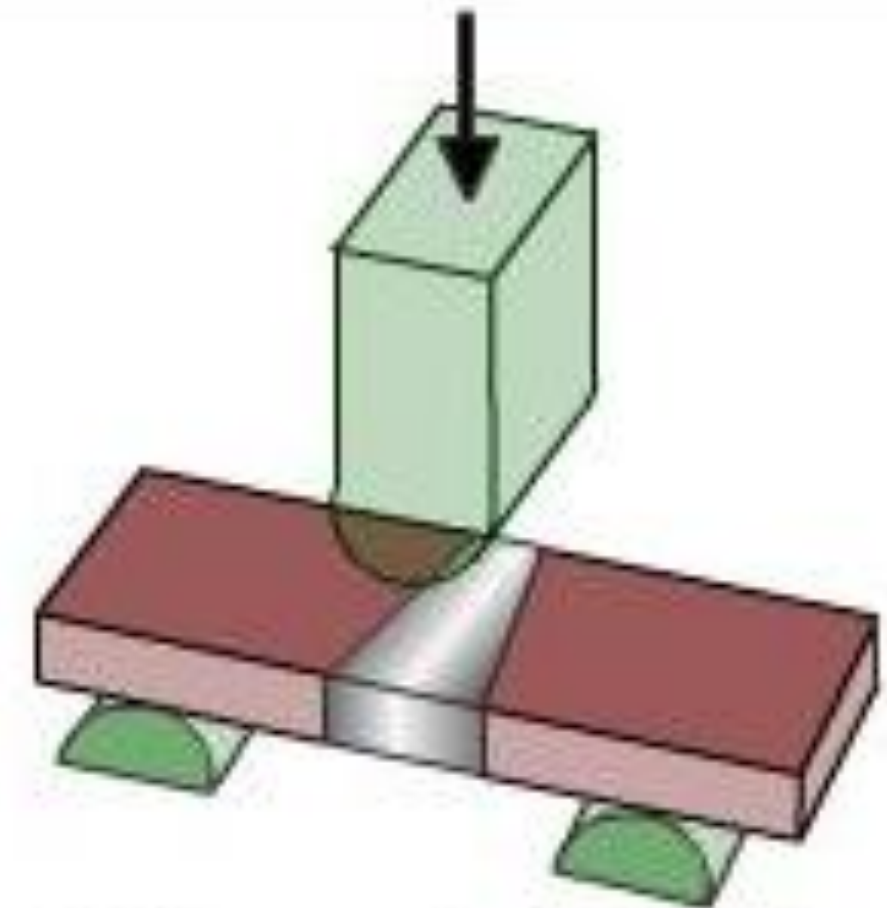
TIPOS DE TESTES



Dobramento de **raiz**



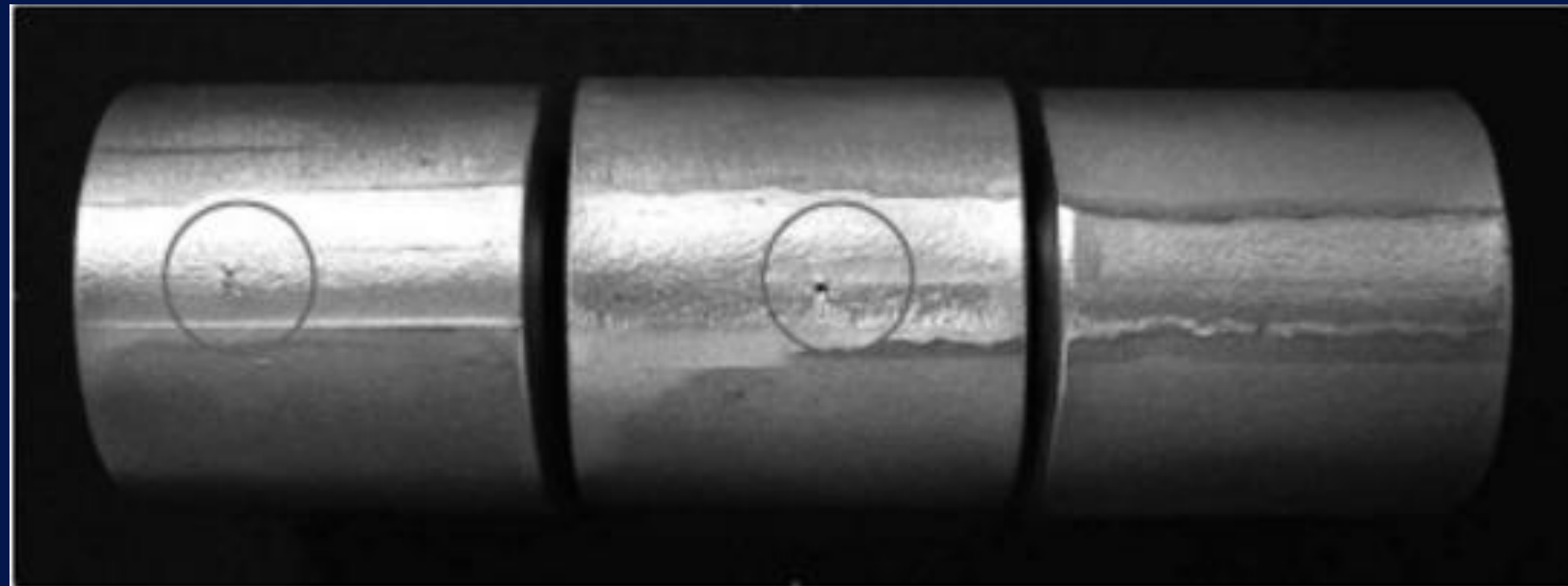
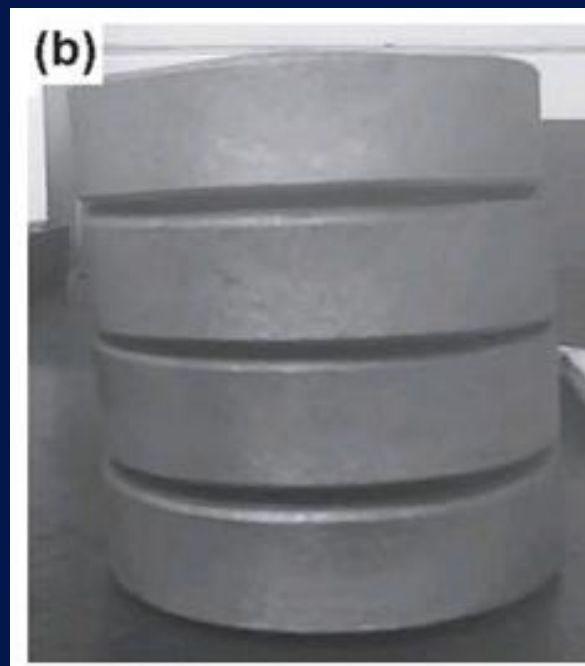
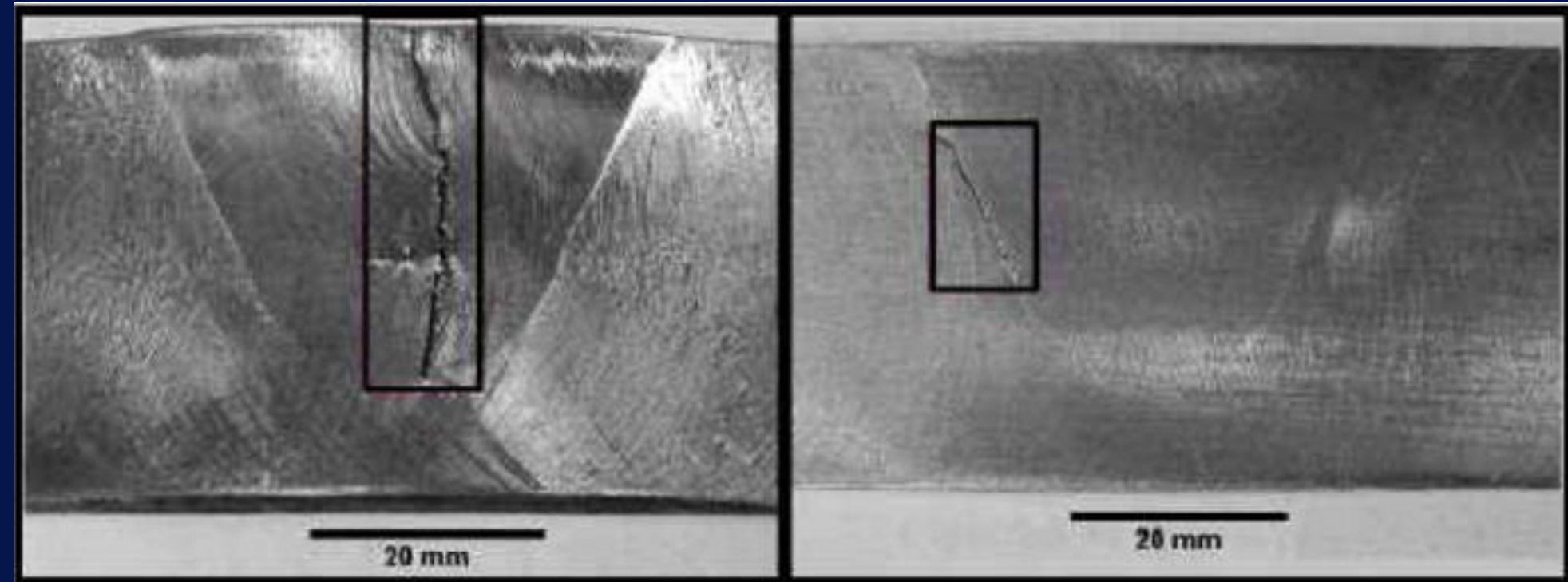
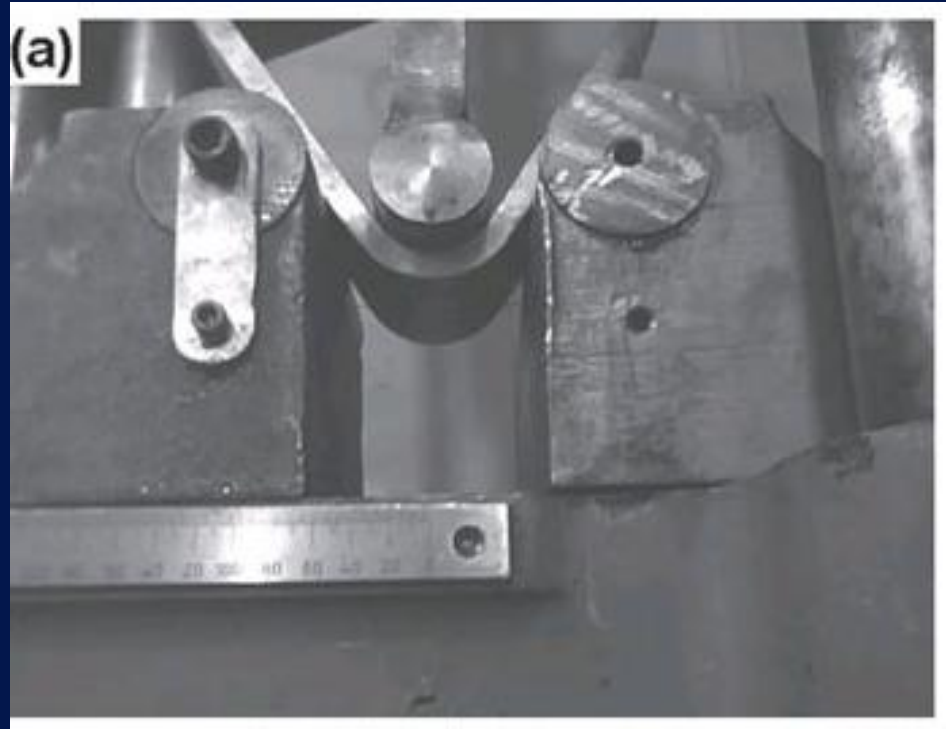
Dobramento de **face**



Dobramento **lateral**

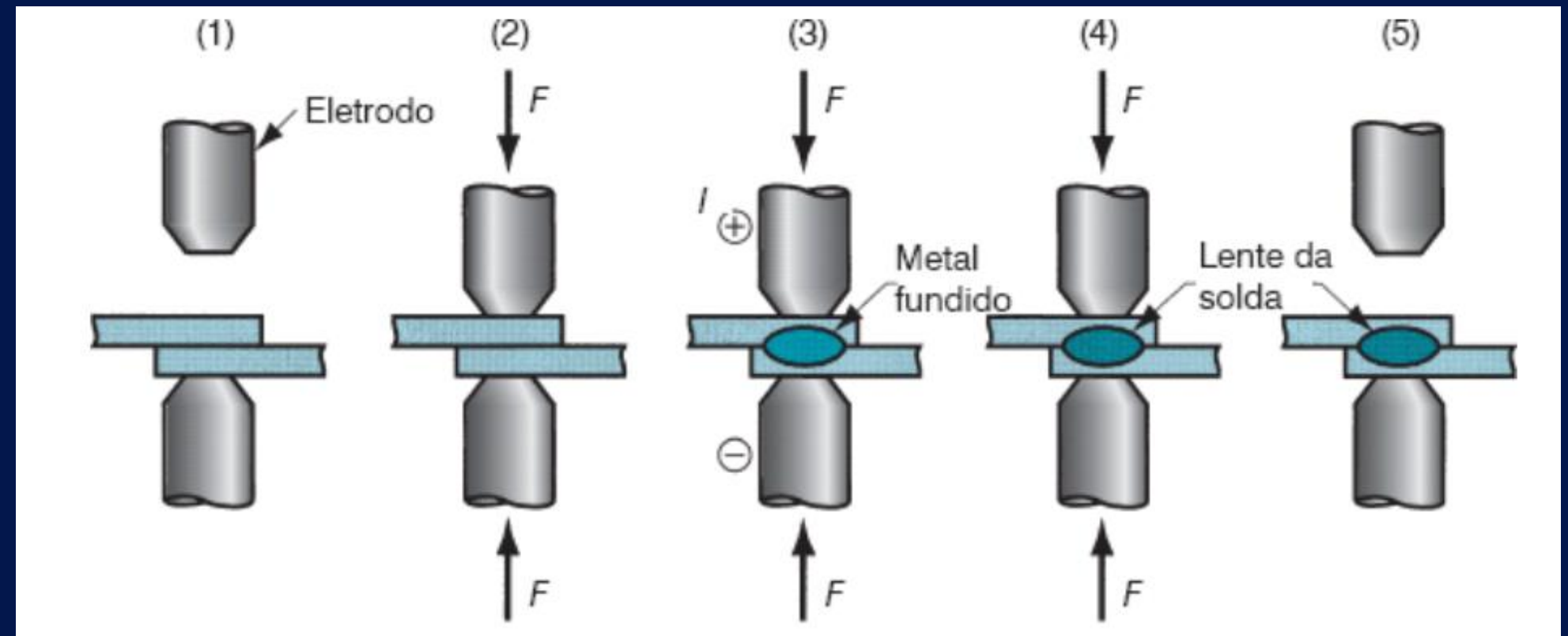
Posições para o ensaio de dobramento em peças soldadas

RESULTADO

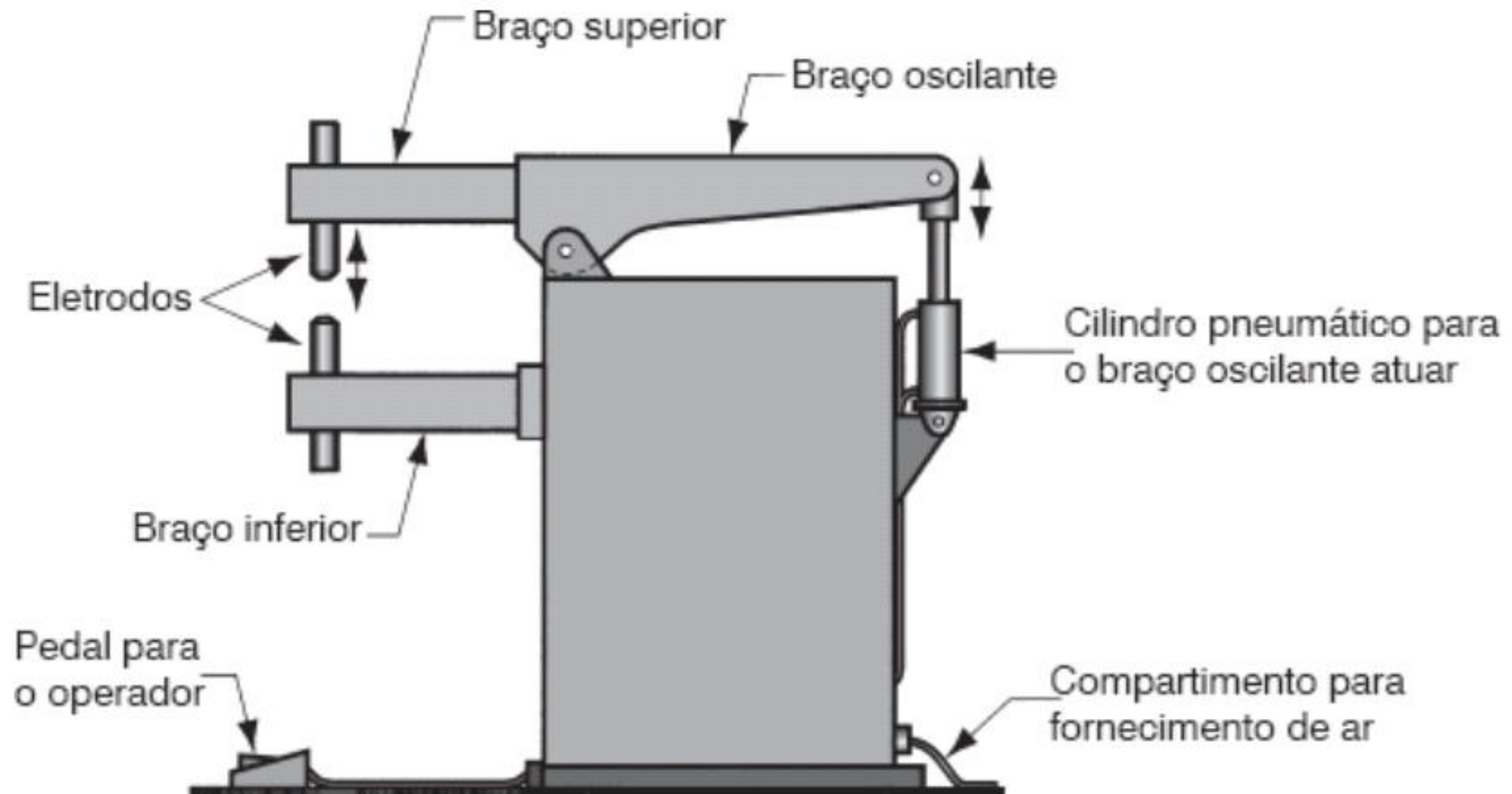


SOLDAGEM POR PUNTO

- Processo muito utilizado pela indústria automobilística, aparelhos eletrônicos, indústria médica, etc.
- Chapas com espessura $< 3\text{mm}$.
- Solda por resistência, na qual a fusão das superfícies de atrito de uma junta sobreposta é alcançada em um local por meio de eletrodos em posições opostas.

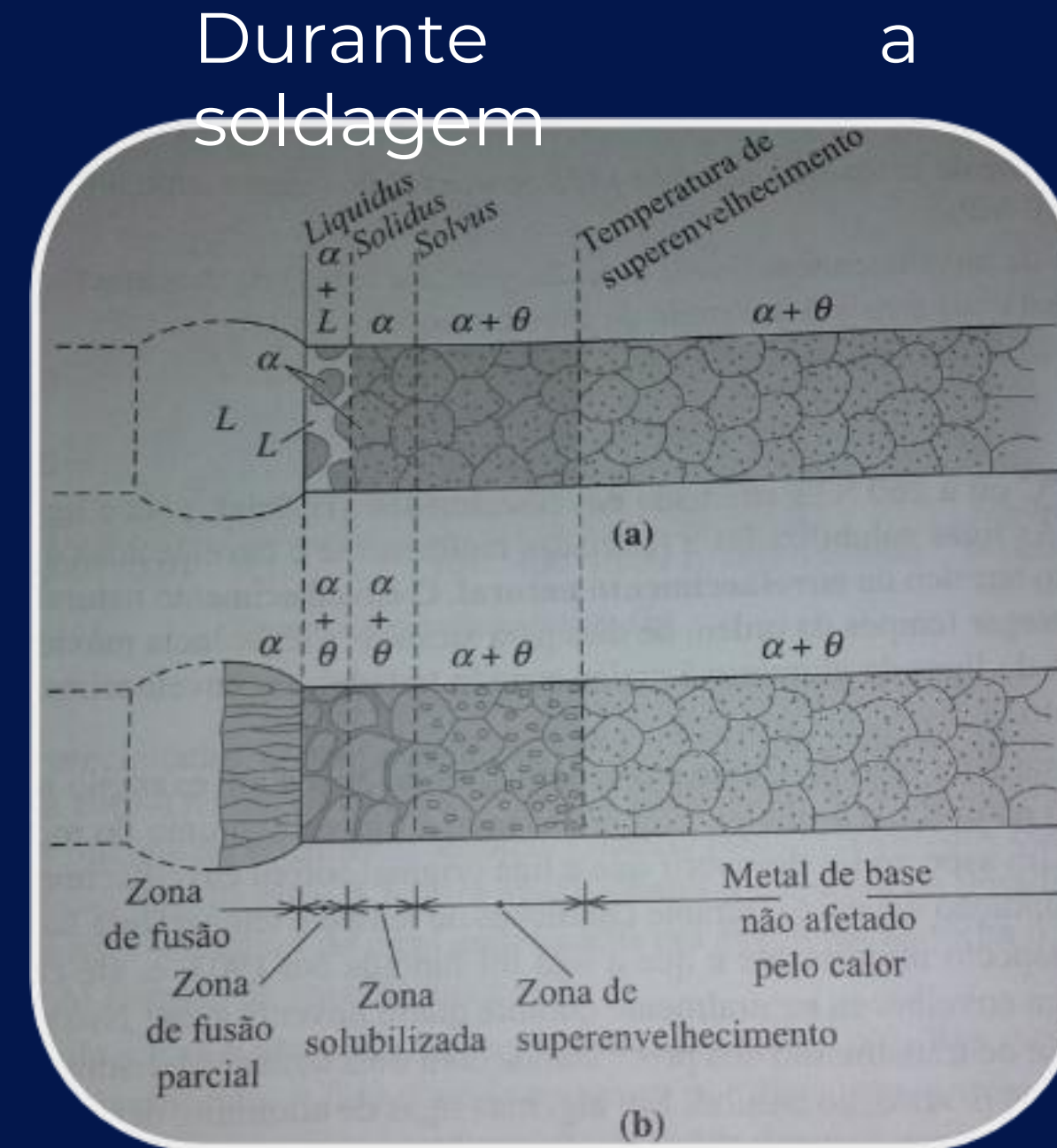


EQUIPAMENT



SOLDA POR FRICÇÃO E MISTURA (FSW)

- Aplicado principalmente em ligas de alumínio devido aos problemas oriundos da fusão:
 - Trincas a quente
 - Porosidade
 - Vazios de contração



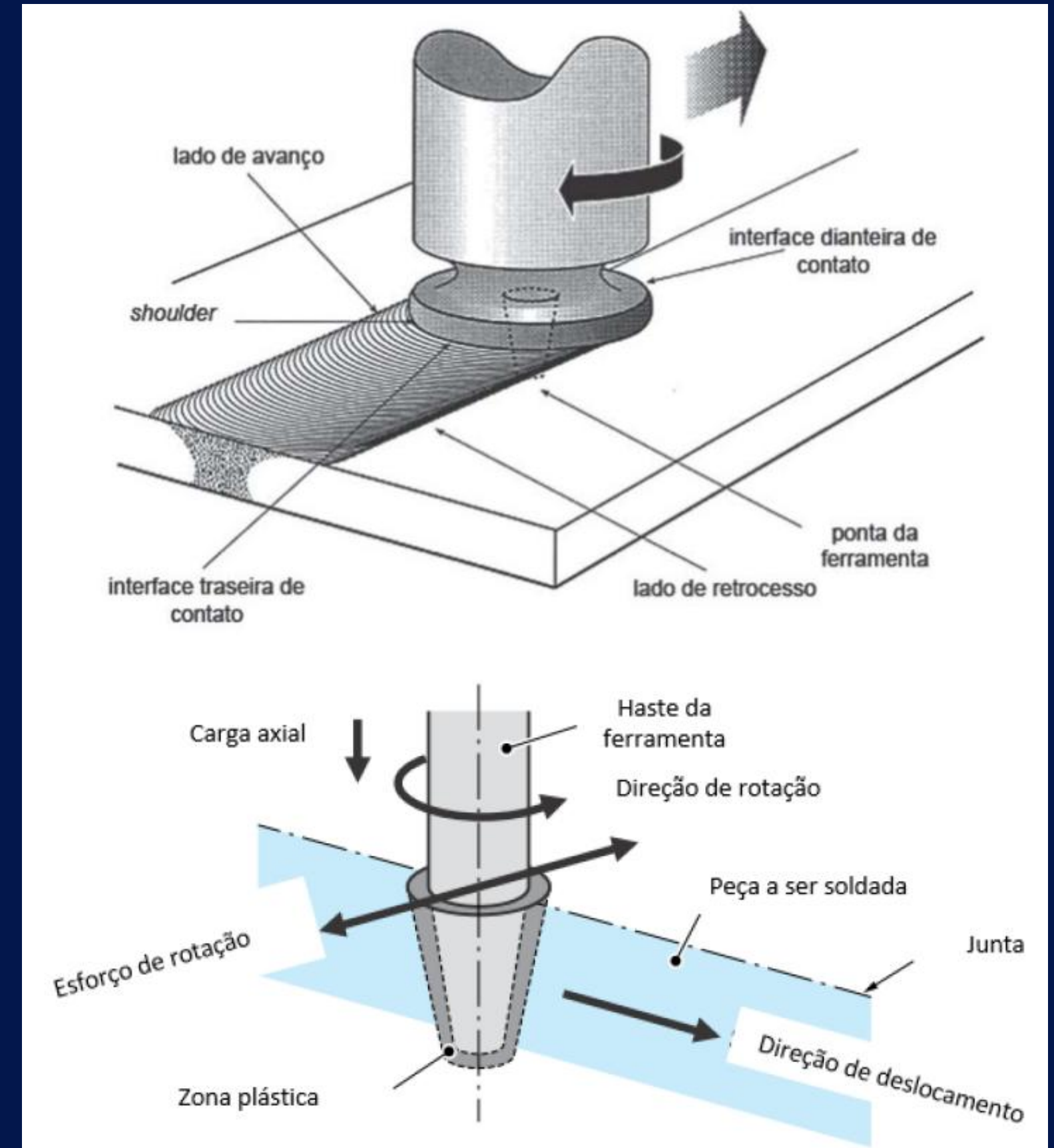
FUNDAMENTO

S

- Energia térmica é gerada pelo atrito entre as chapas a serem soldadas e a ferramenta que gira.

Não há fusão do material a ser soldado e nem mesmo da ferramenta;

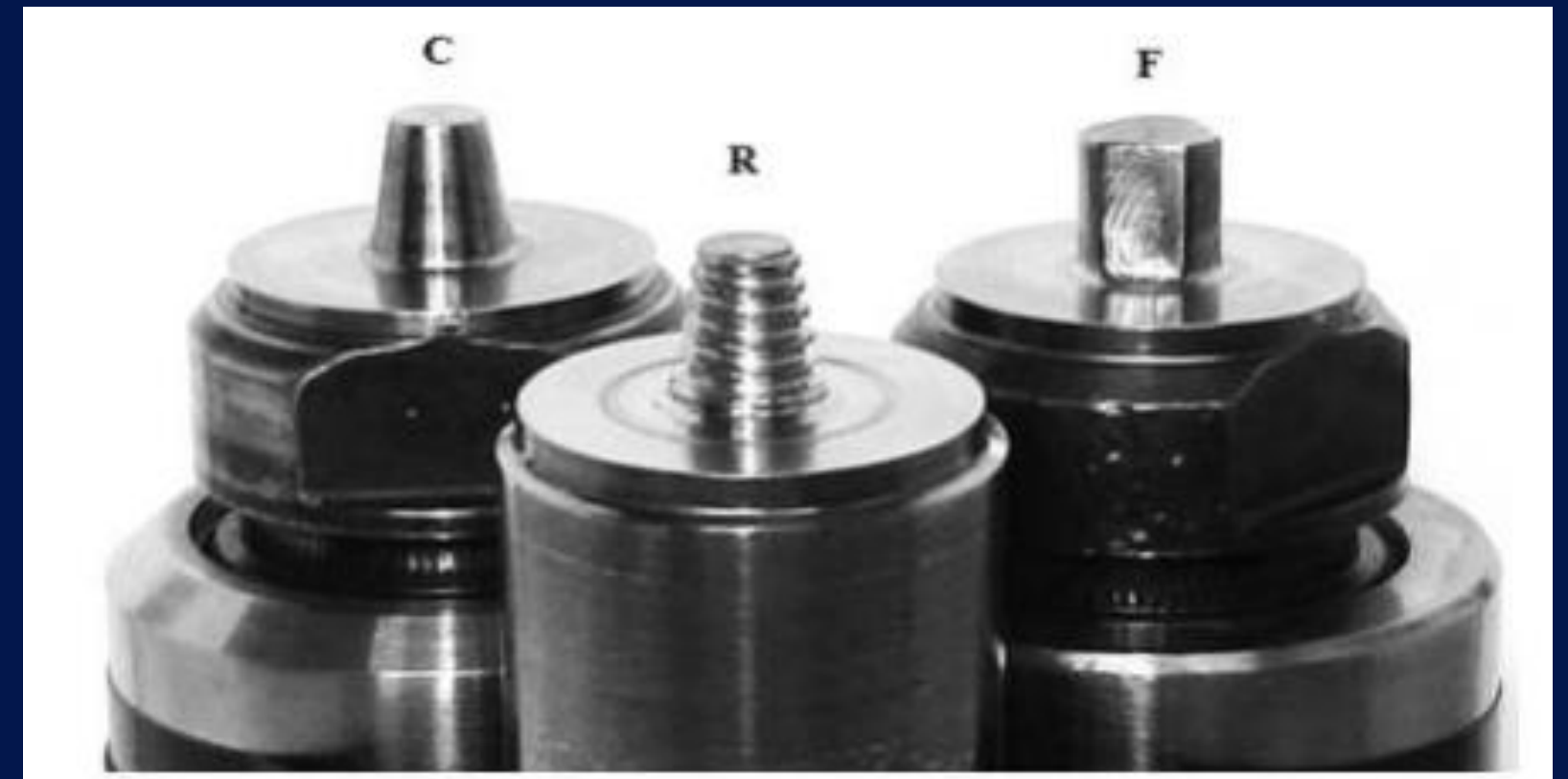
O atrito gerado amolece a região a ser soldada fazendo com que ao rotacionar da ferramenta, haja a mistura do material que está do lado de retrocesso com o do lado de avanço.



FERRAMENTA

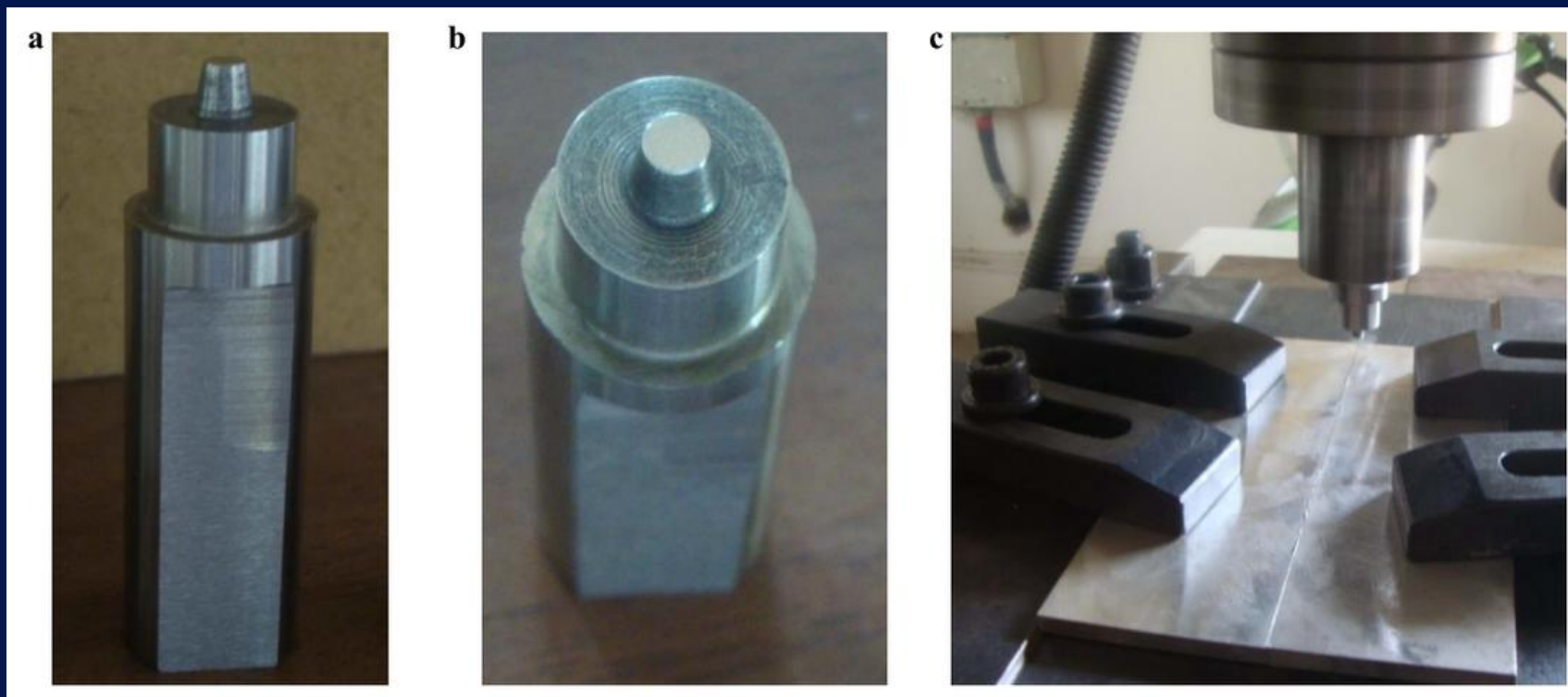
S

- Normalmente as ferramentas apresentam um pino que penetra nas chapas a serem soldadas;
- Comprimento do pino normalmente corresponde à espessura da chapa;
- São fabricadas com aço ferramenta – resistentes ao desgaste e ao calor.



FERRAMENTA

S

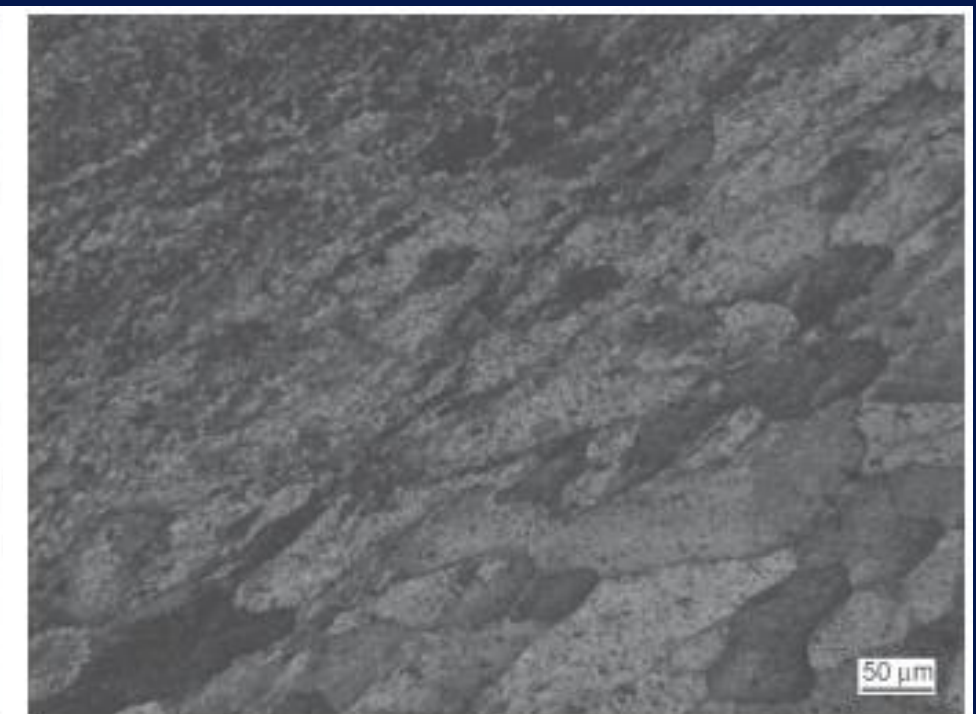
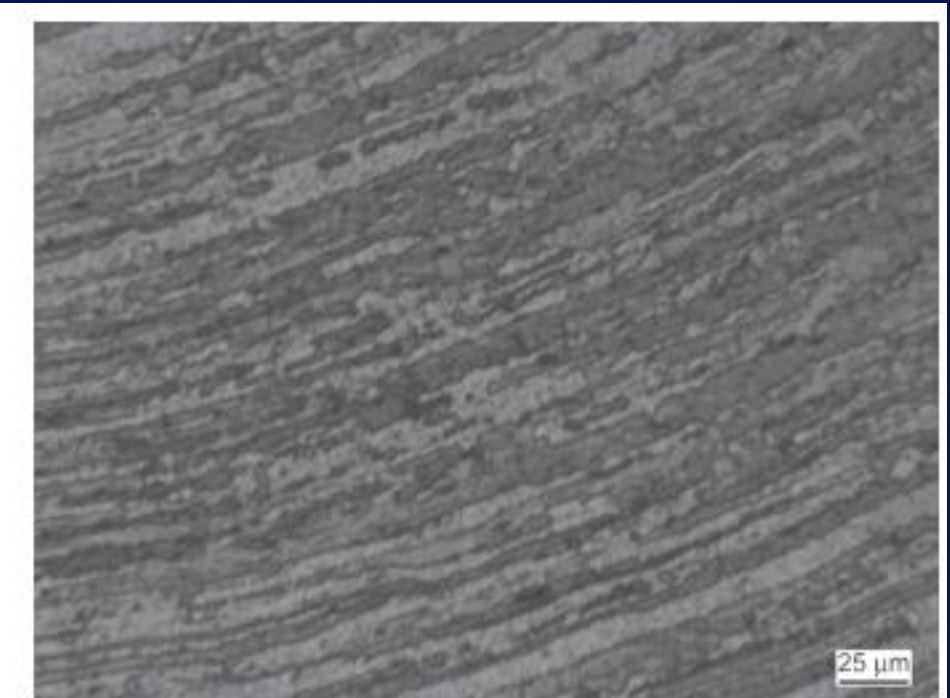
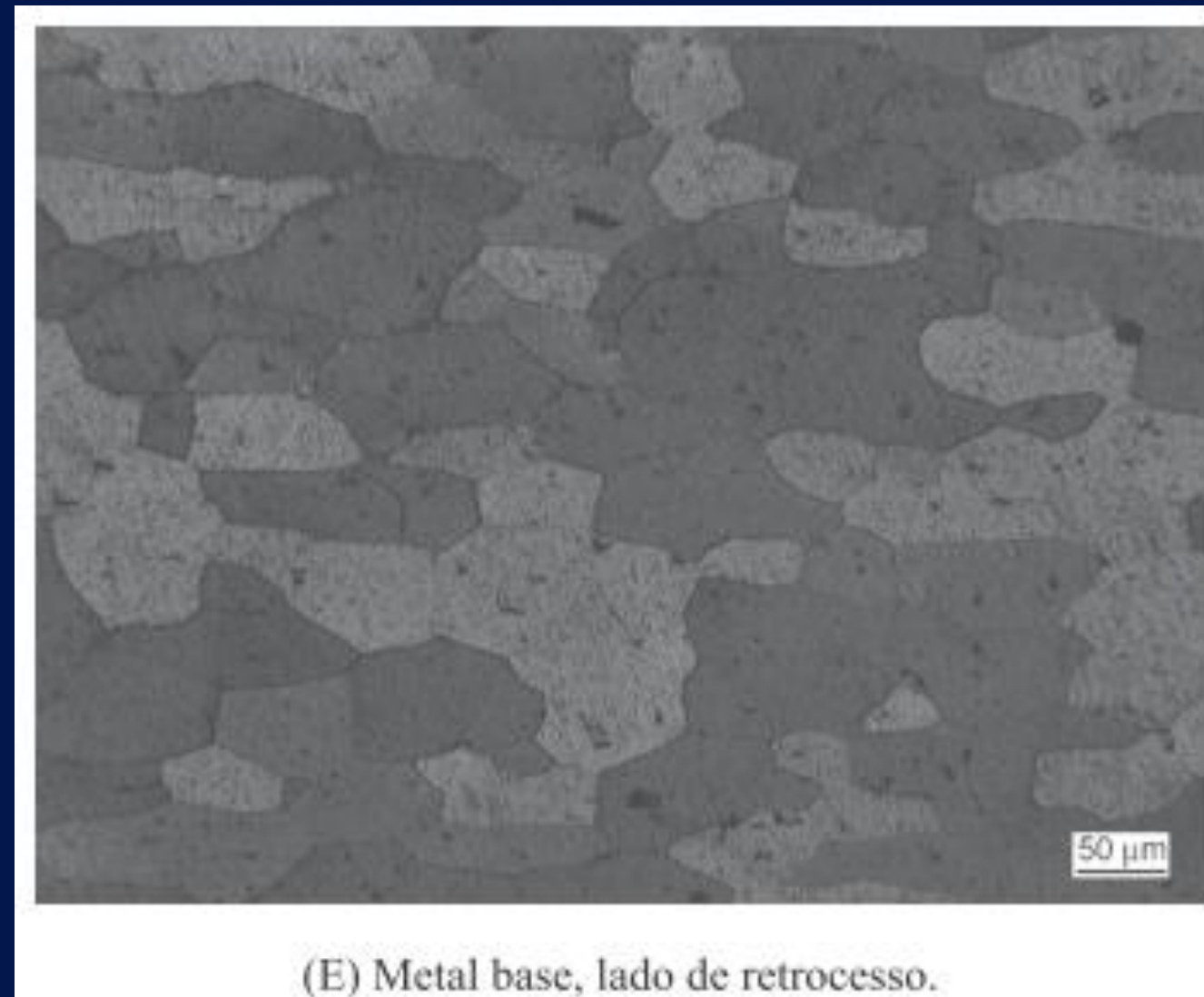


REGIÕES APÓS A SOLDAGEM



Figura 2: Representação das regiões microestruturais quando utilizado o processo FSW; A) metal de base; B) Zona afetada termicamente (ZAT); C) Zona afetada termomecanicamente (ZATM); D) Lente de soldagem. (Adaptada de Moroz, 2012)

MICROGRAFIA



PROCESSOS DE SOLDA NÃO CONVENCIONAIS

- Soldagem ultrassom por

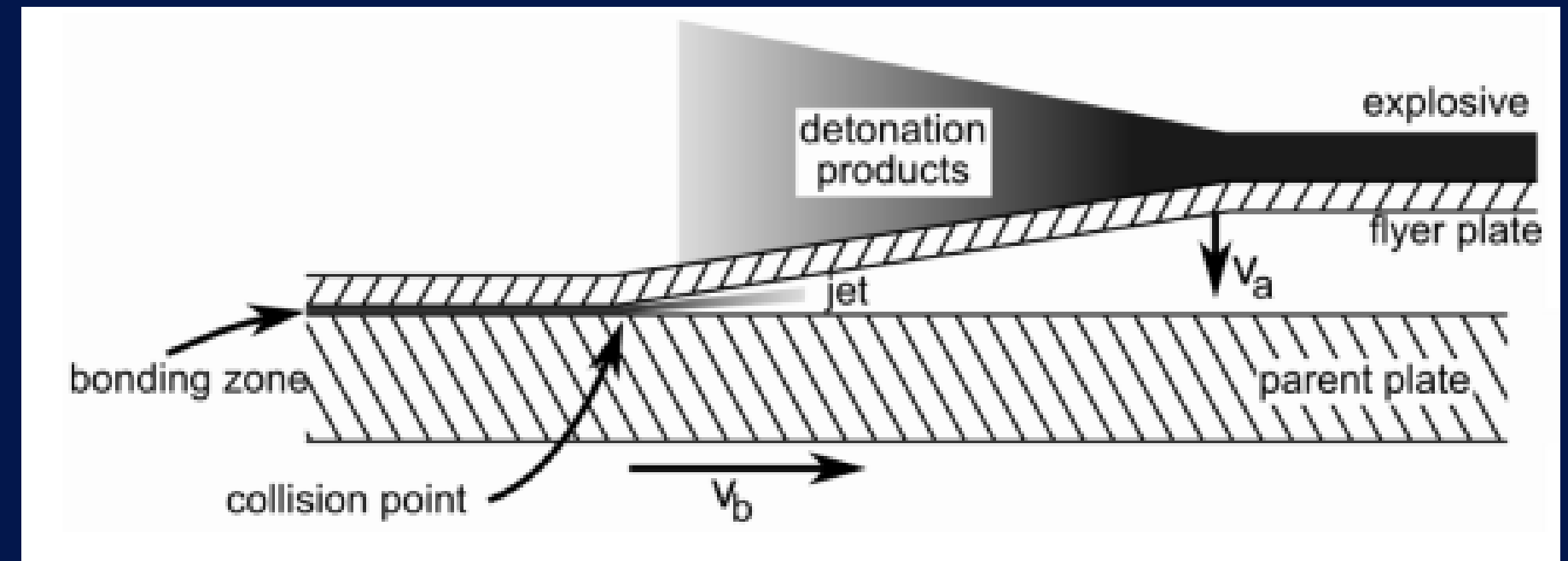


- Soldagem explosão por



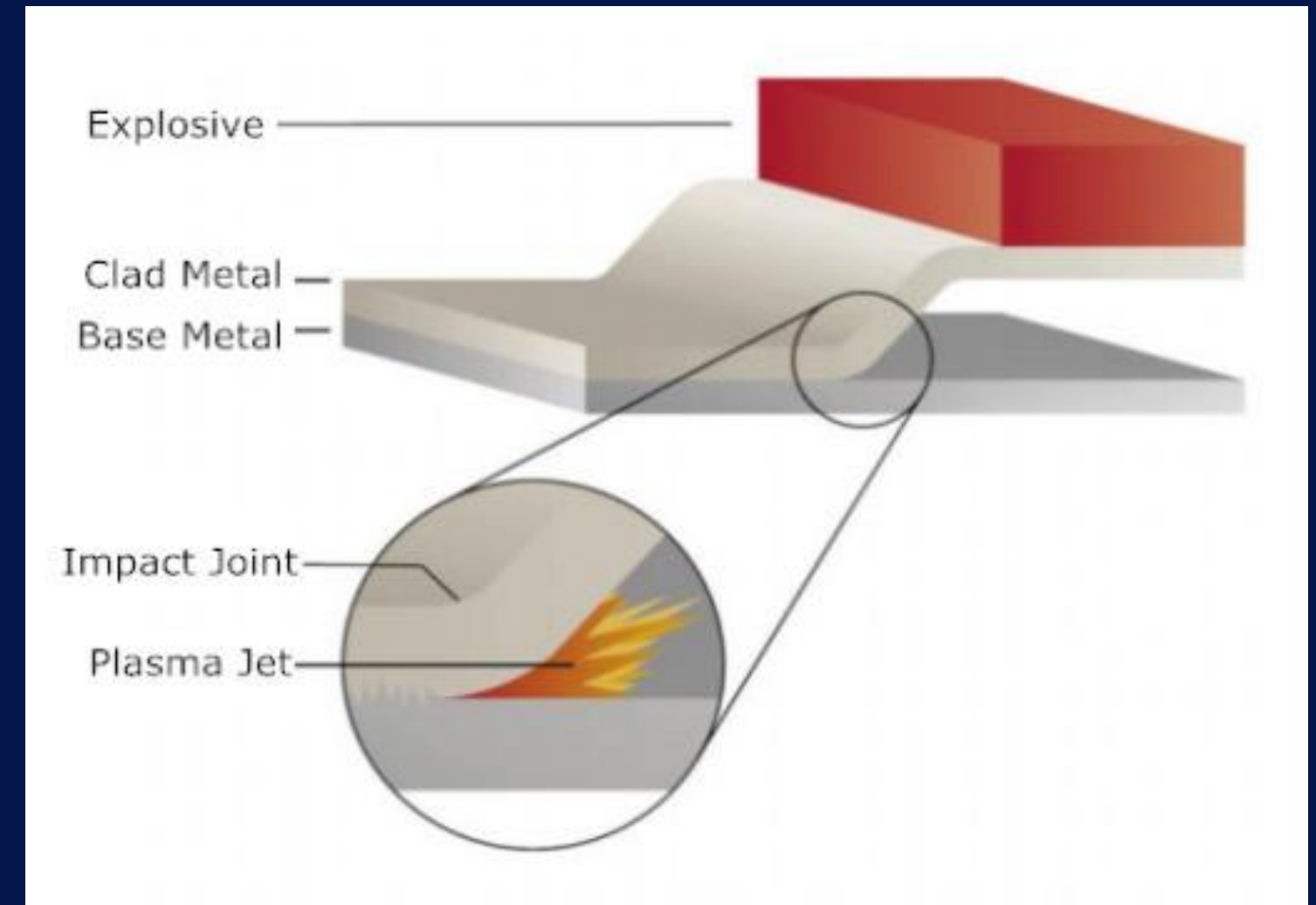
SOLDA POR EXPLOSÃO

- Observada durante as 1 e 2 GM
 - Fragmentos metálicos de munição foram encontrados aderidos aos canhões e outras armas
- Reproduzida em laboratório, aperfeiçoada e comercializada
- Solda no estado sólido



ETAPAS DO PROCESSO

- A chapa mais resistente e mais grossa fica por baixo
- É necessário a existência de um vão entre as duas chapas
- A chapa mais fina é colocada por cima
- Uma armação de madeira é afixada sobre as duas placas
- Explosivo é posicionado sobre a placa mais fina
- Aciona-se o explosivo
- As chapas se soldam
- Extensa deformação plástica

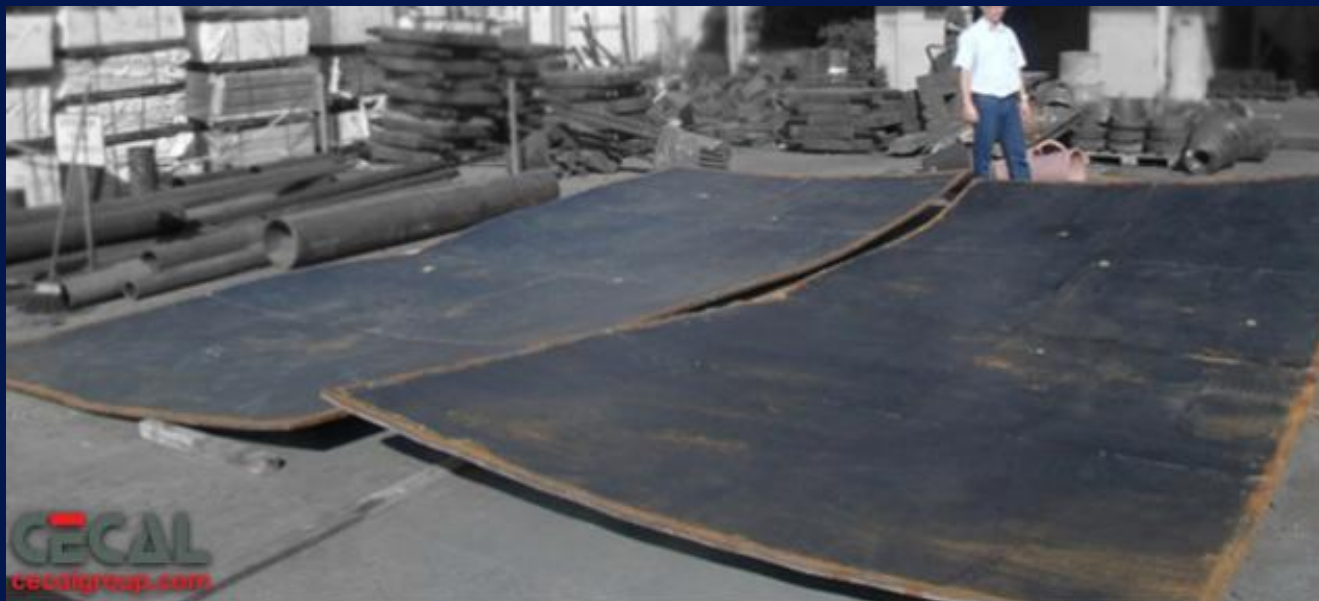


PRINCÍPIO

S

- A soldagem por explosão é um processo de soldagem no estado sólido a partir da deformação plástica superficial de metais, motivada pela colisão de uma peça lançada em alta velocidade contra outra, por detonação calculada de um explosivo. Esta colisão é muito violenta e libera um jato metálico formado a partir do impacto pontual entre as partes que serão soldadas. O jato retira a película superficial do metal, fazendo uma espécie de decapagem que libera a superfície de óxidos e impurezas. Nesse instante, as superfícies novas são fortemente comprimidas uma contra a outra, pela ação do explosivo.
-

PROCESSOS POSTERIORES



Chapa bimetálica aço carbono / aço inox soldadas por explosão antes do desempenho



Desempeno de chapas de aço carbono com aço inox, de 2440 mm x 8500 mm



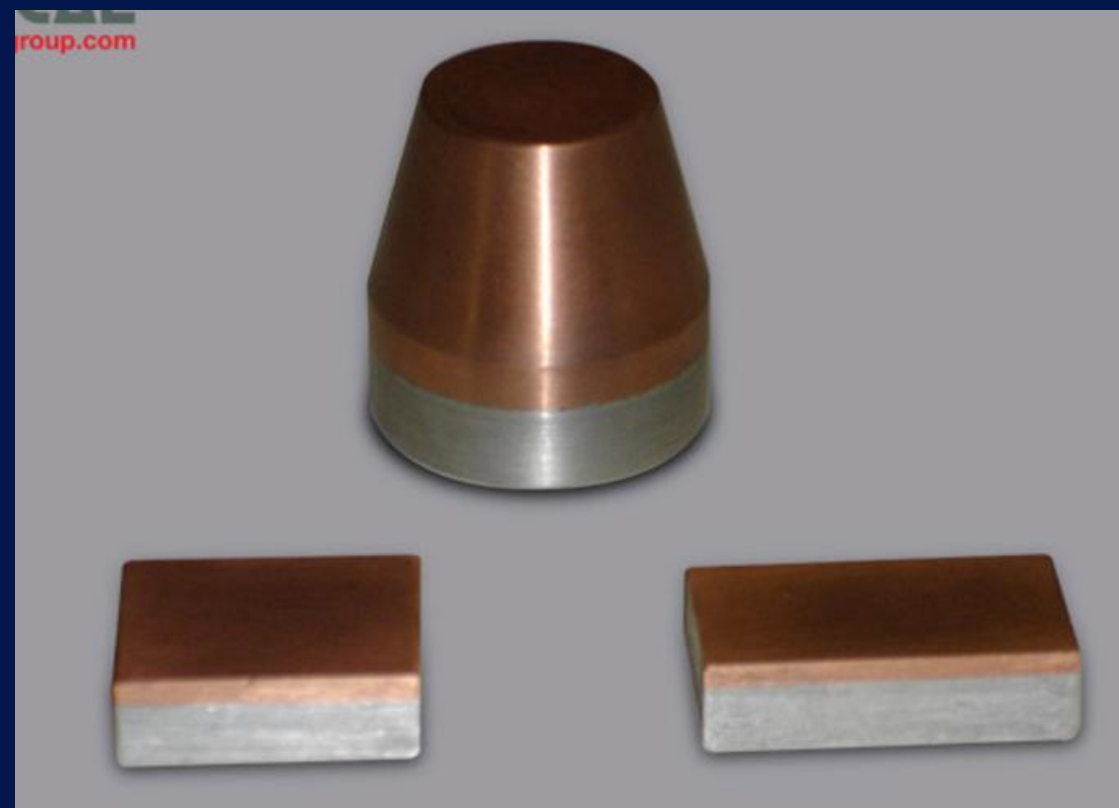
Fonte:
cecalgroup.com



APLICAÇÃO

S

- Contatos bimetálicos para catodos de eletrólise.



Fonte:
cecalgroup.com



APLICAÇÕES

Fonte:
cecalgroup.com

- Componentes para trocadores de calor.



Chapas bimetálicas de alta espessura para espelhos de trocador de calor



Espelho para trocador de calor em latão-aço inox

ANÁLISE DA MICROESTRUTURA

- Solda de um aço médio carbono com um aço baixo carbono

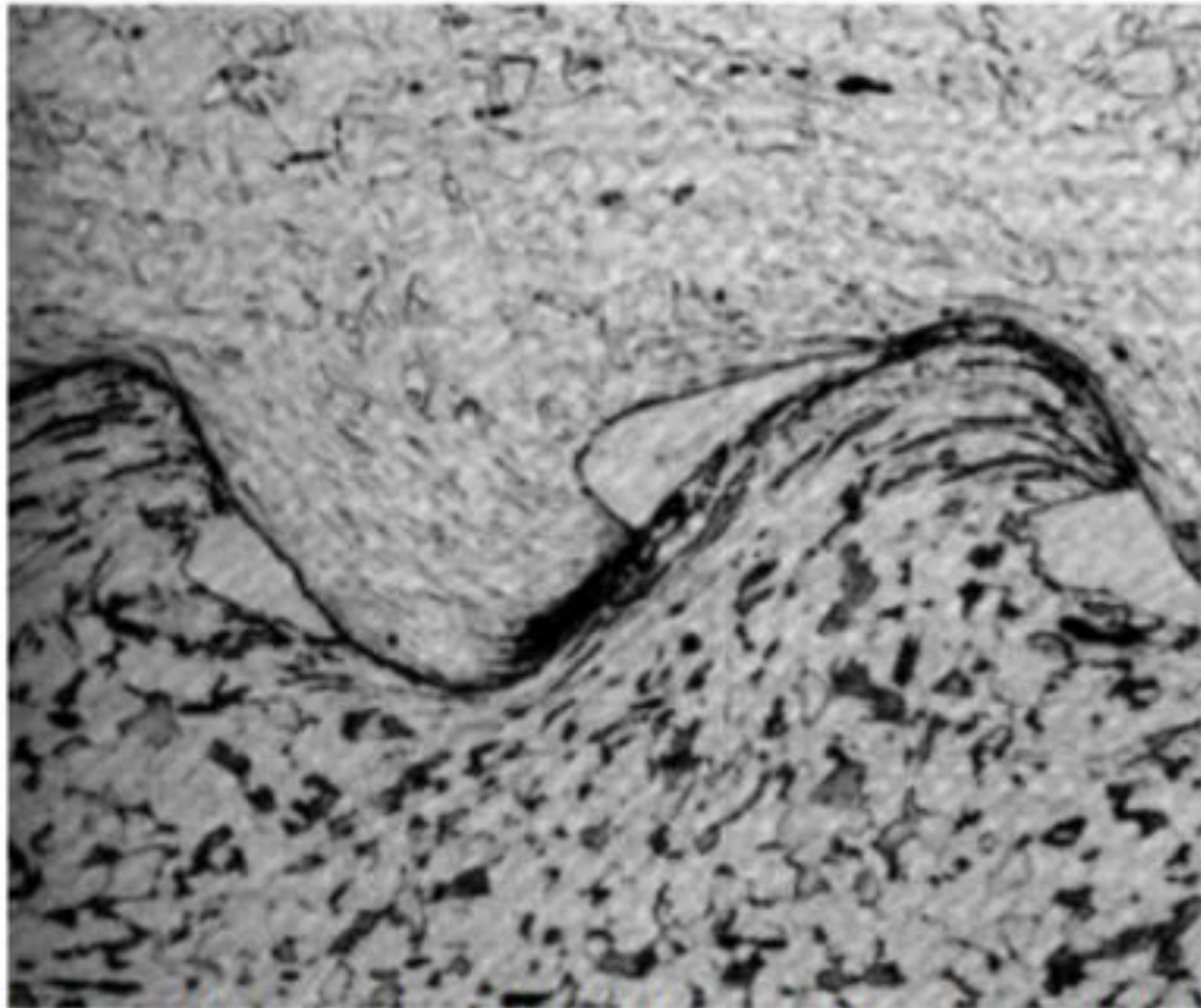
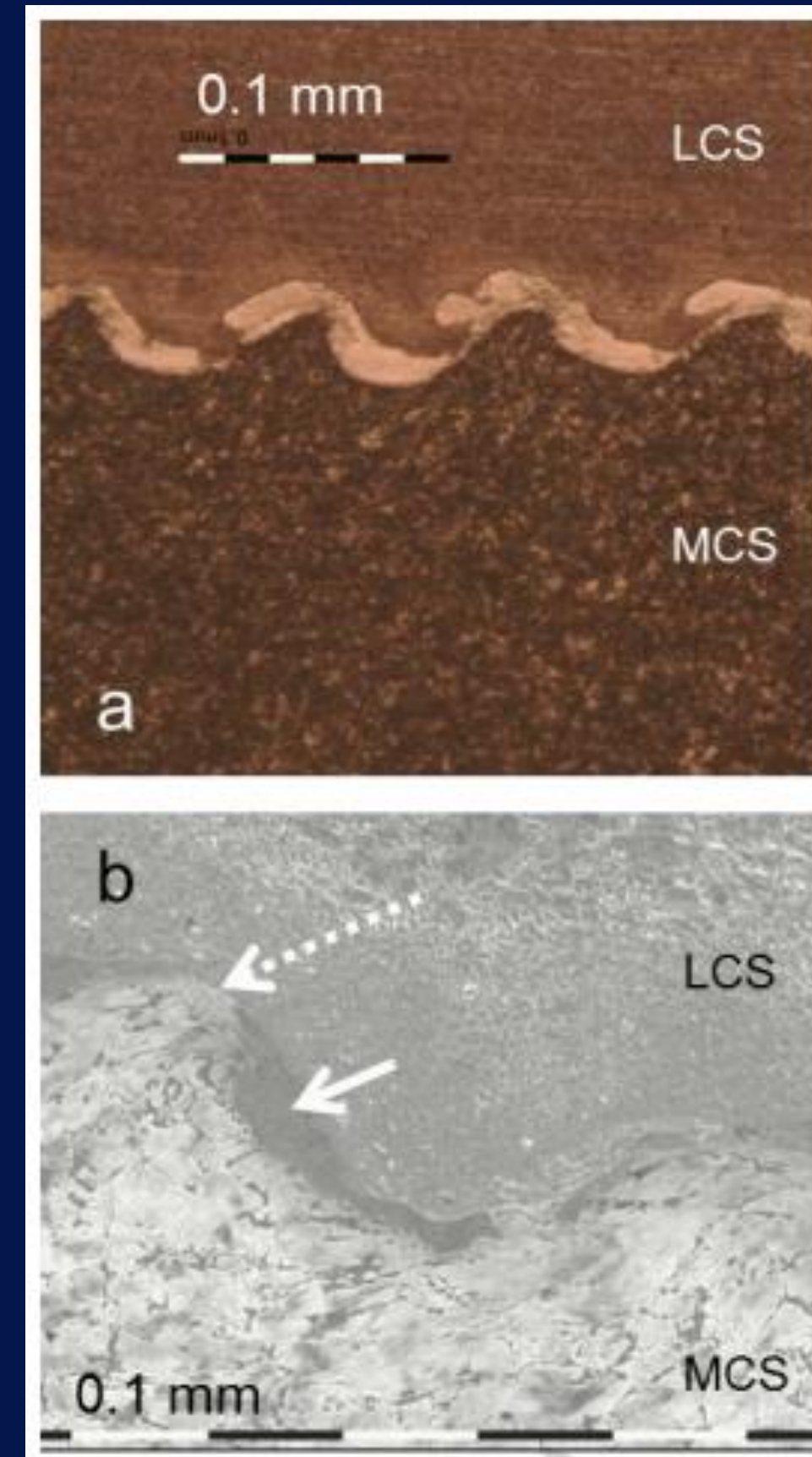


Figura 3 – Corte transversal de uma junta de soldagem por explosão



ANÁLISE DA MICROESTRUTURA

- Referência
:

Microstructure and mechanical properties of medium-carbon steel bonded on low-carbon steel by explosive welding

C. Borchers, M. Lenz, M. Deutges, H. Klein, F. Gärtner, M. Hammer-schmidt, H. Kreye

PII: S0264-1275(15)30573-6
DOI: doi: [10.1016/j.matdes.2015.09.164](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.09.164)
Reference: JMADE 734

To appear in:

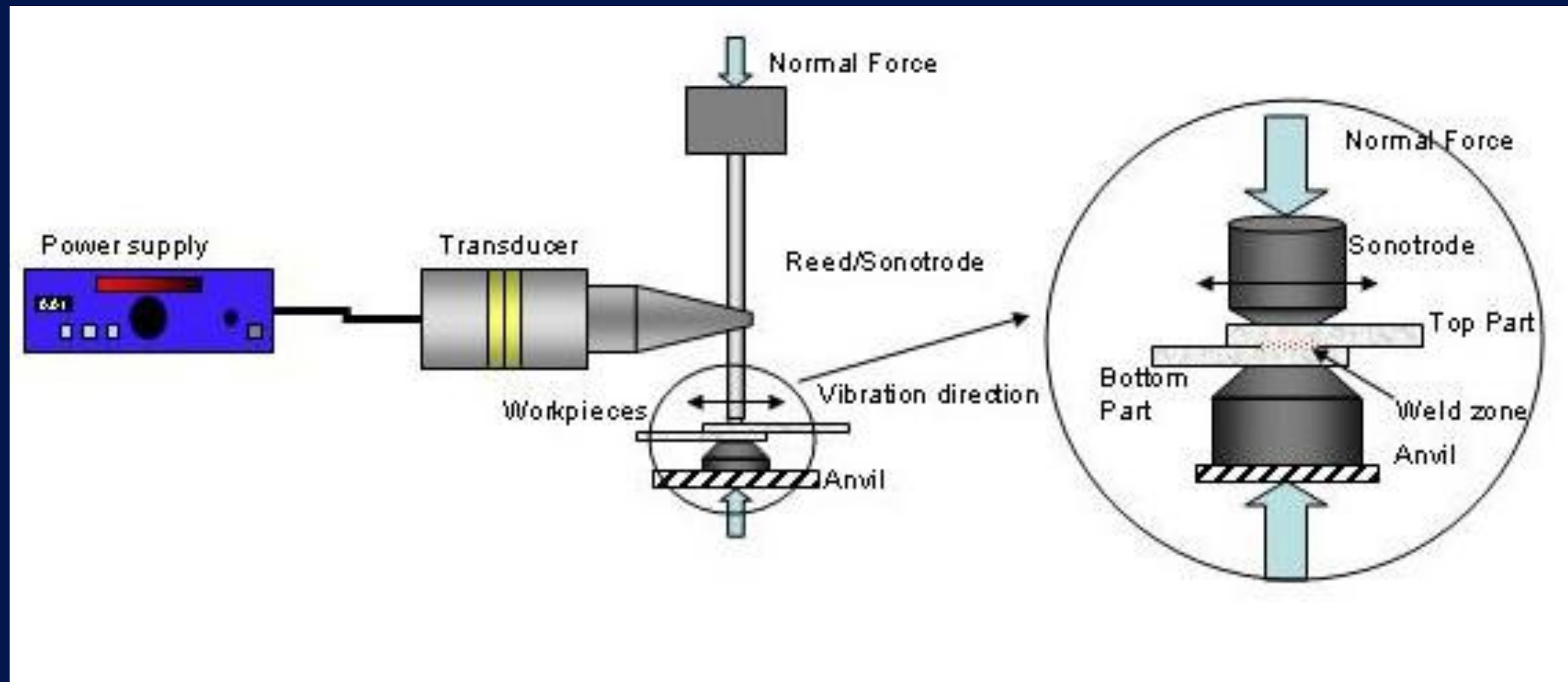
Received date: 15 July 2015
Revised date: 28 September 2015
Accepted date: 29 September 2015

VANTAGENS E ~~DESVANTAGENS~~

- Rapidez no processo de soldagem (é possível obter uma junta em 10^{-6} segundo)
 - A camada de intermetálicos gerada é muito pequena;
 - Não é necessária uma limpeza rígida das superfícies, exceto no caso de carepa em chapas de aço laminadas a quente;
 - Não é preciso investimento em equipamentos.
 - Elevada distorção das chapas → necessário tratamento e desempenho pós solda;
 - Necessidade de um local adequado e seguro;
 - Controle para compra e armazenamento dos explosivos;
-

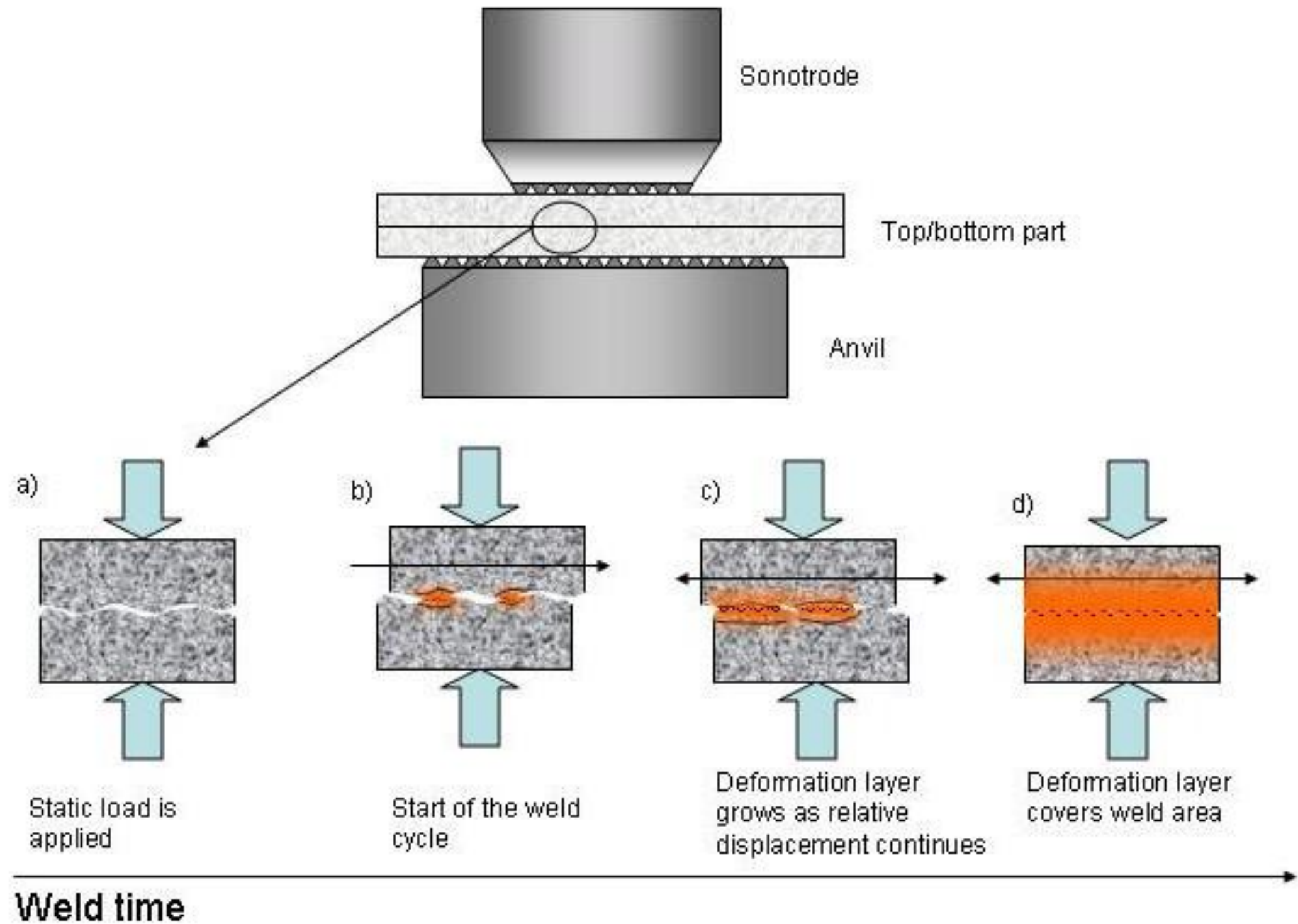
PRINCÍPIOS DA SOLDA POR ULTRASSOM

- Duas placas metálicas são unidas por vibrações ultrassônicas, sob carga de compressão, que criam um movimento relativo de alta frequência entre as superfícies.



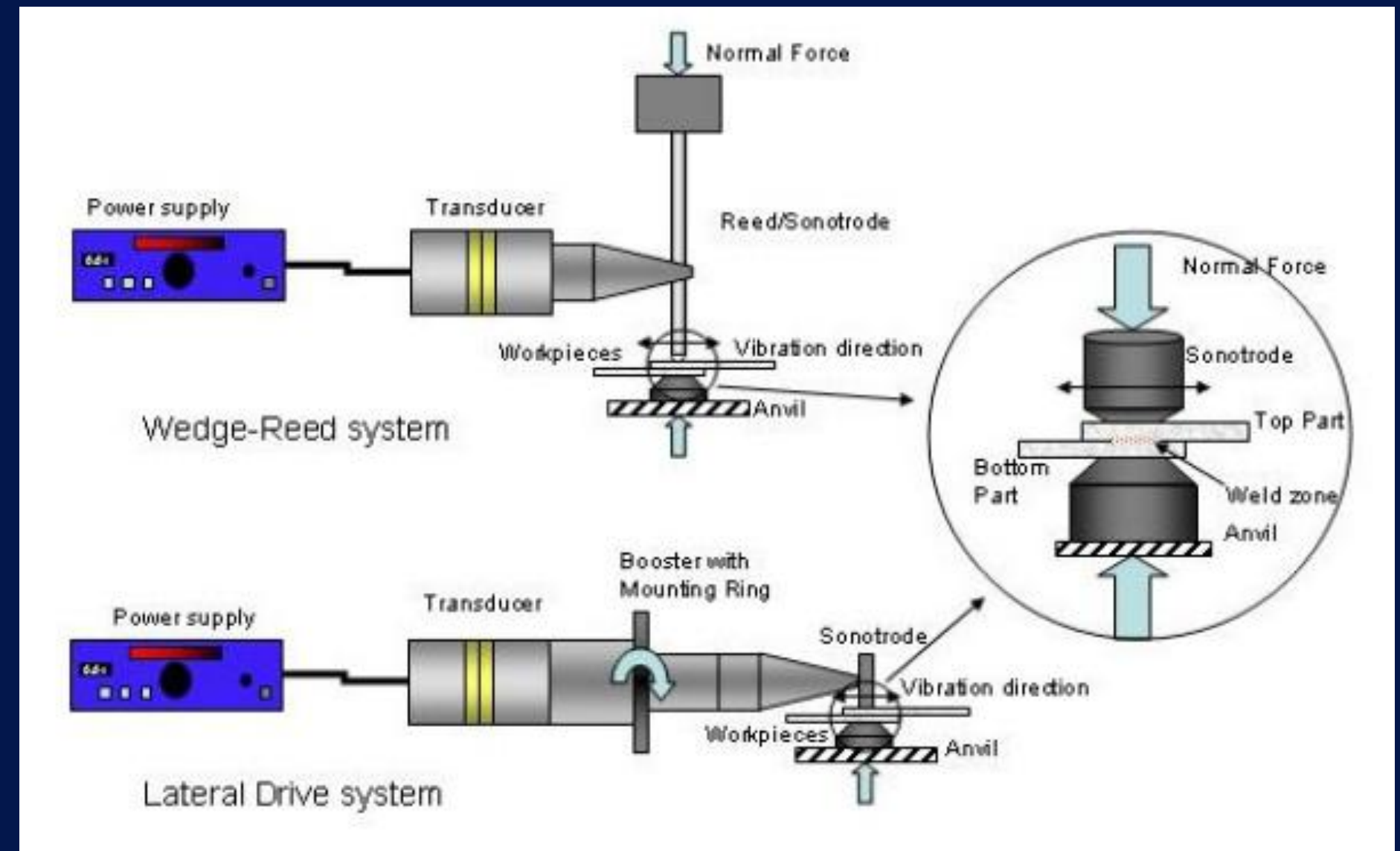
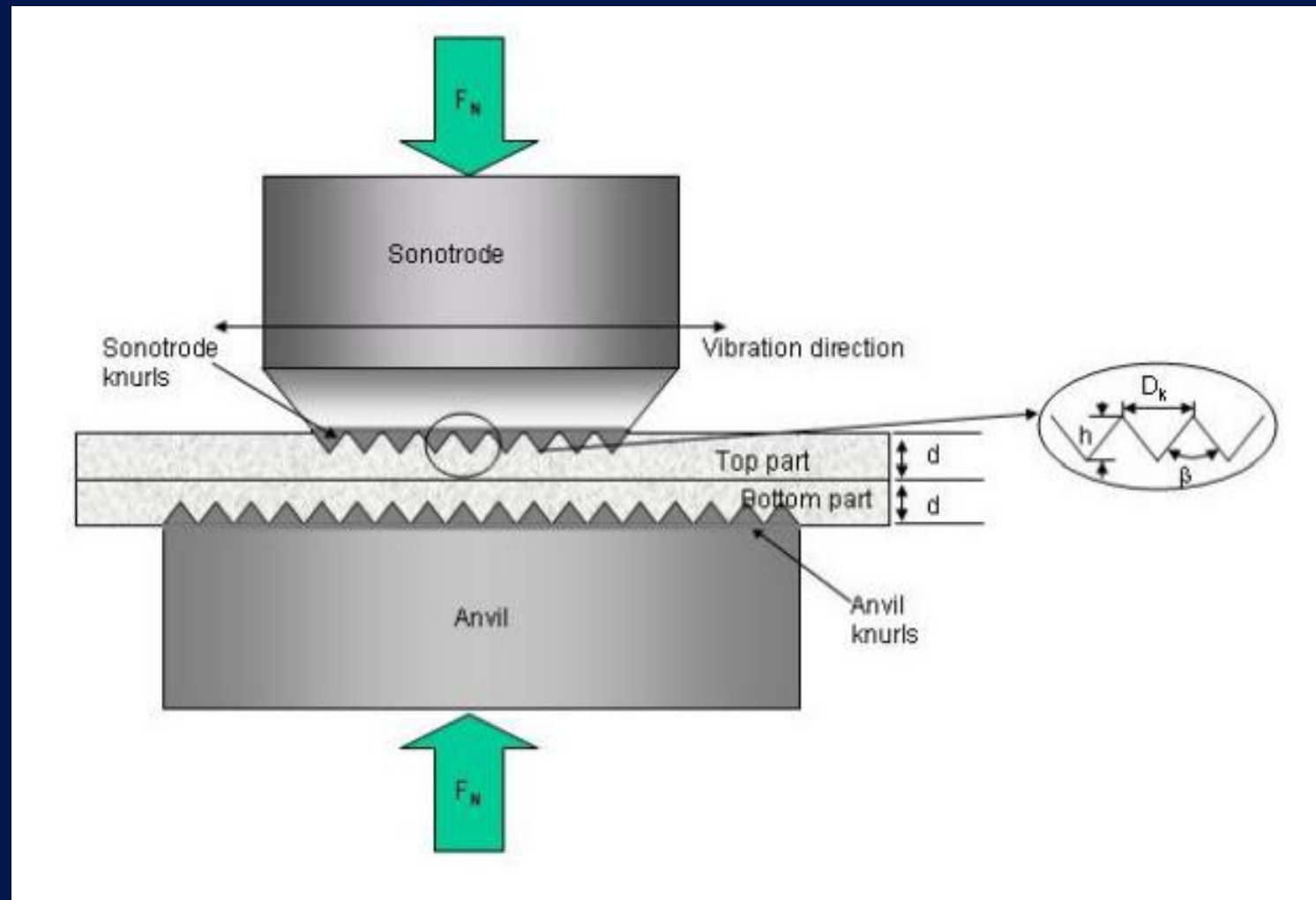
PRINCÍPIOS DA SOLDA POR ULTRASSOM

- O movimento de alta frequência causa cisalhamento (eliminação de óxidos e contaminantes) e deformação plástica (geração de calor) entre as superfícies metálicas. Isto pode causar difusão, recristalização ou ainda fusão

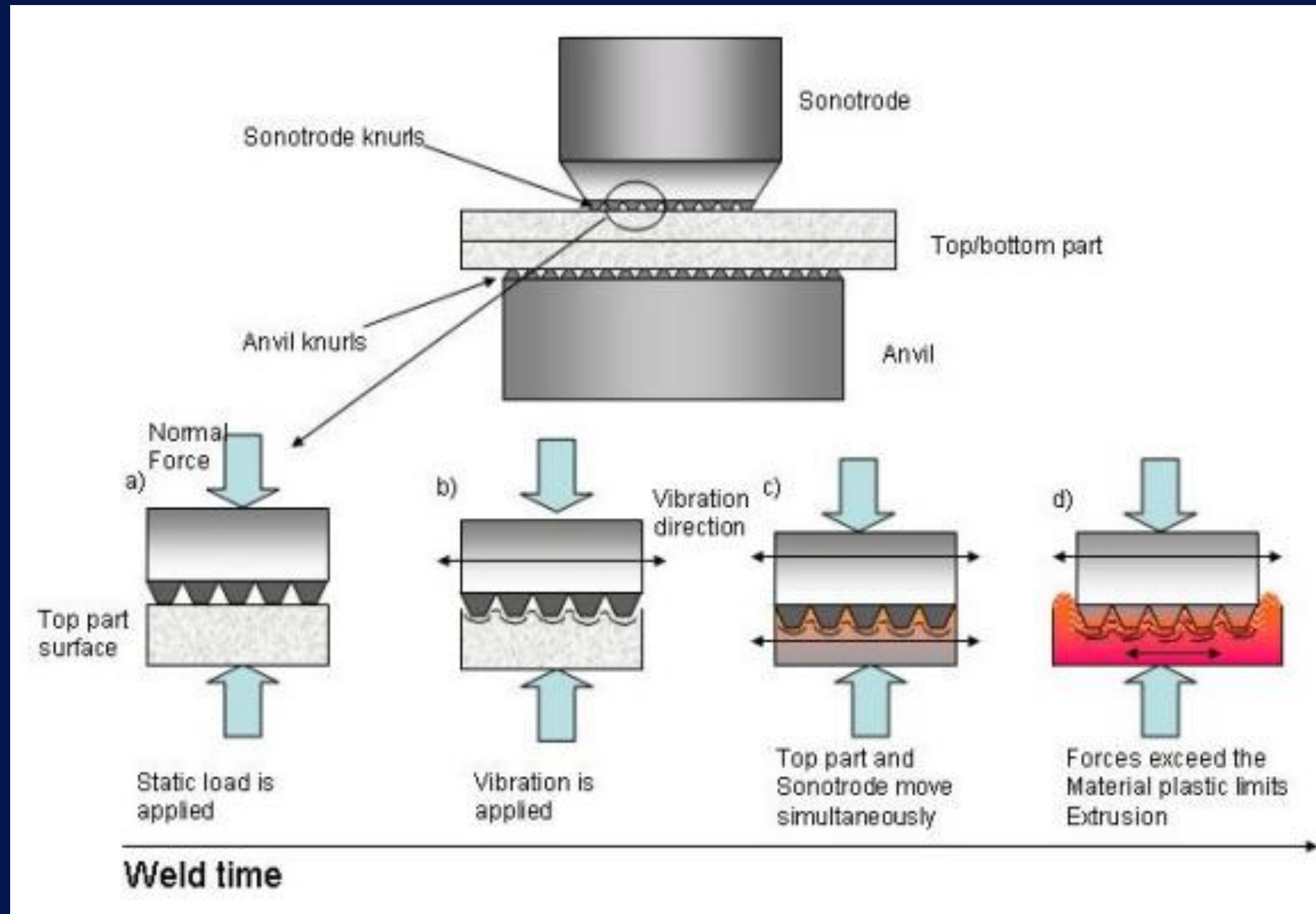


EQUIPAMENTOS COM SISTEMA DE VIBRAÇÃO LONGITUDINAL E TRANSVERSAL

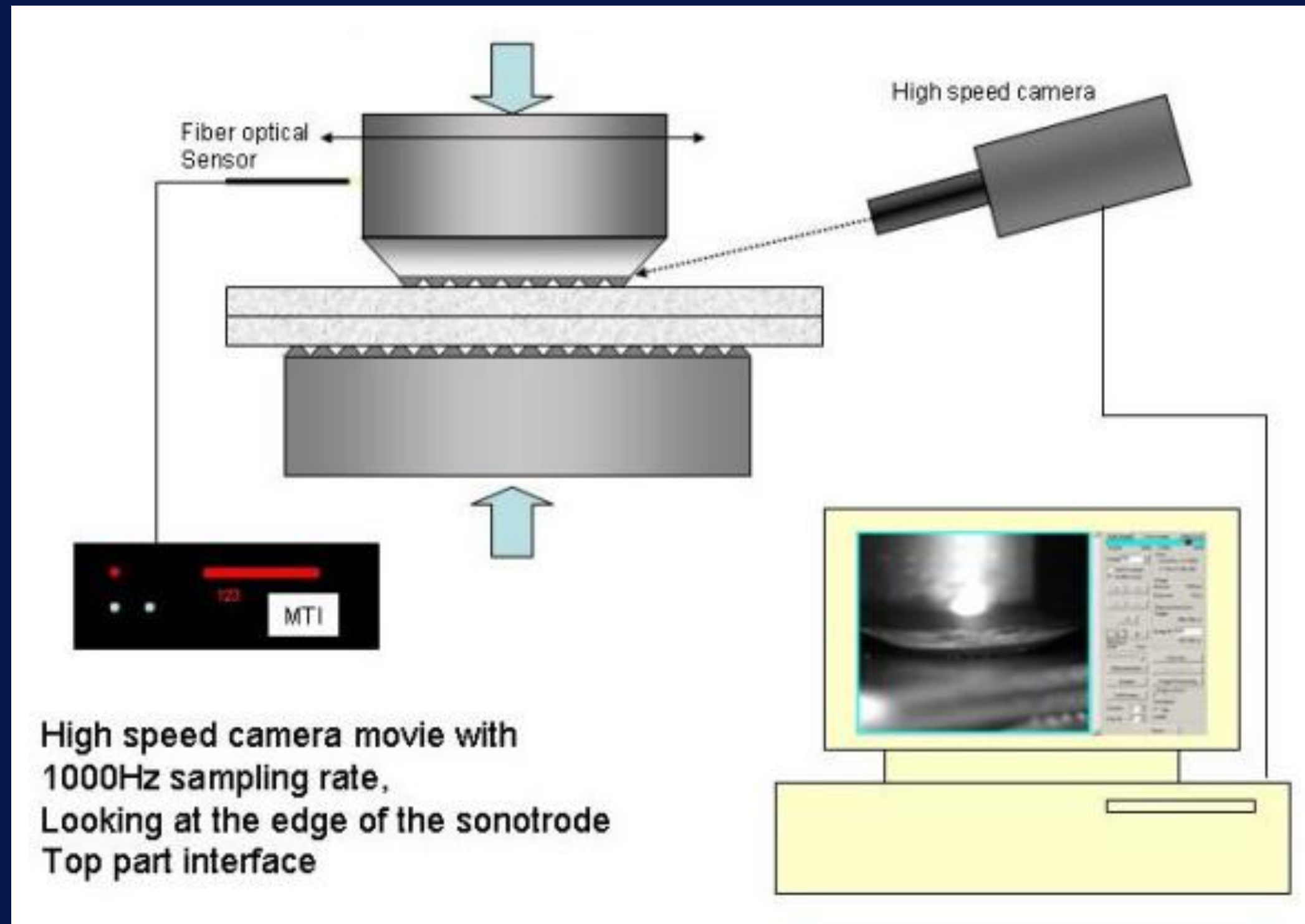
- Amplitude de vibração é na faixa de 10mm a 100mm
- Forças estáticas de compressão devem ser insuficientes para gerar deformação plástica



INTERAÇÃO DO SONOTRODO COM A SUPERFÍCIE



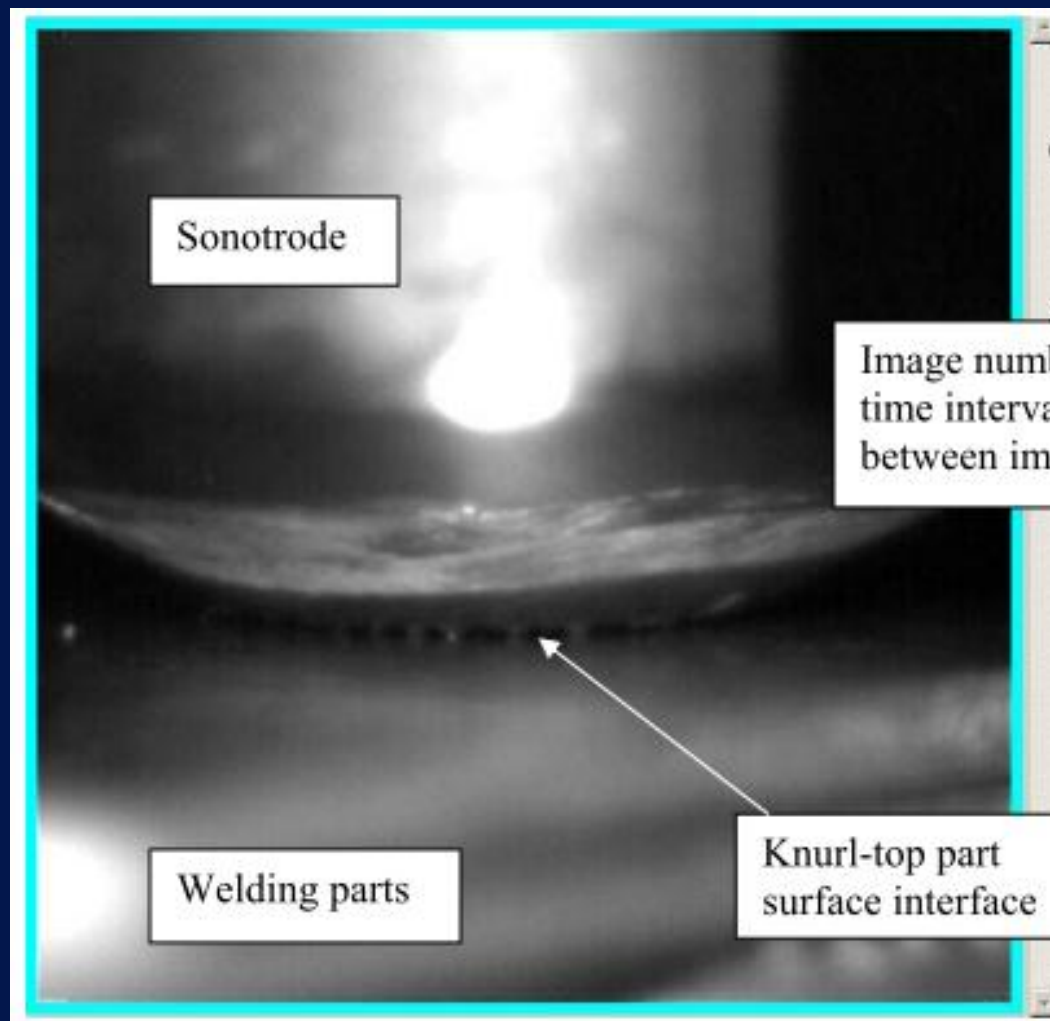
SETUP PARA DETERMINAÇÃO DOS PONTOS DE SOLDA PARA AL



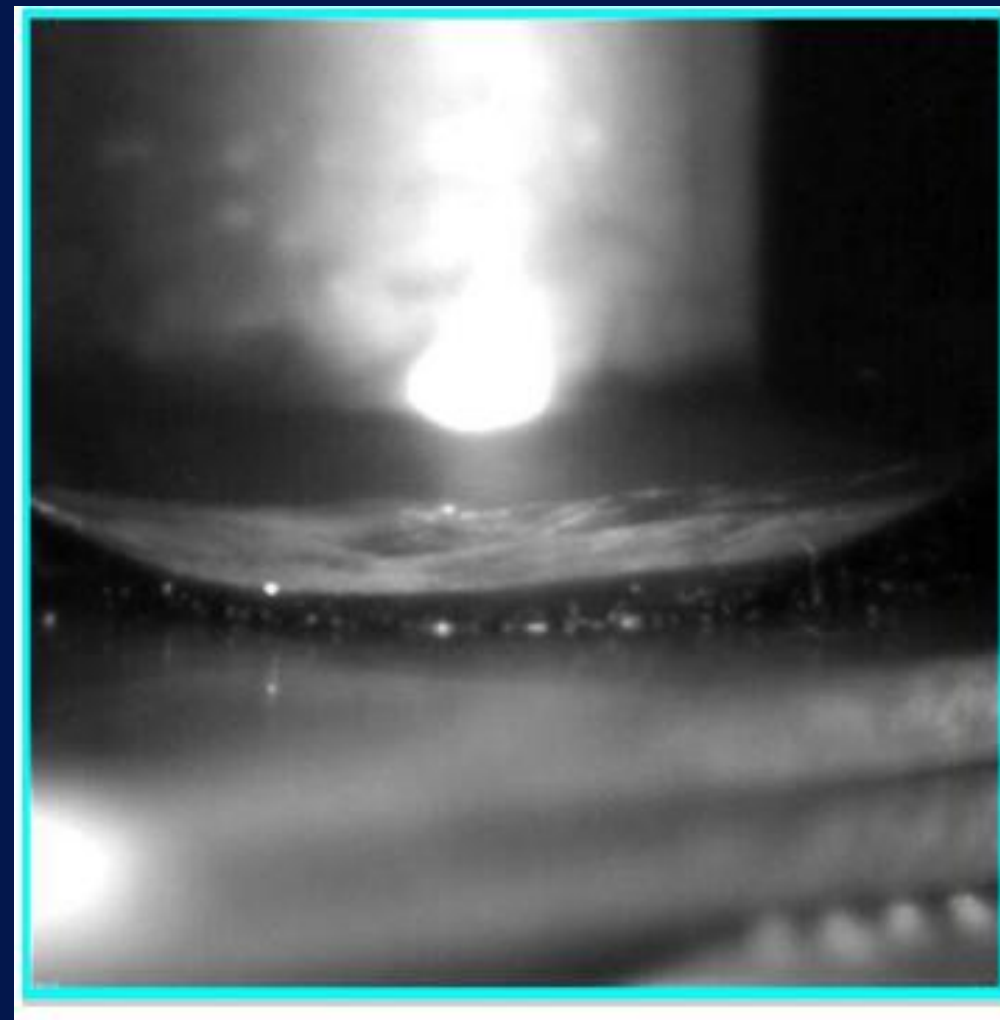
INTERAÇÃO ENTRE O SONOTRODO E A SUPERFÍCIE

- Início da solda se dá em poucos milissegundos e a amplitude de vibração aumenta até o valor máximo com poucos ciclos.

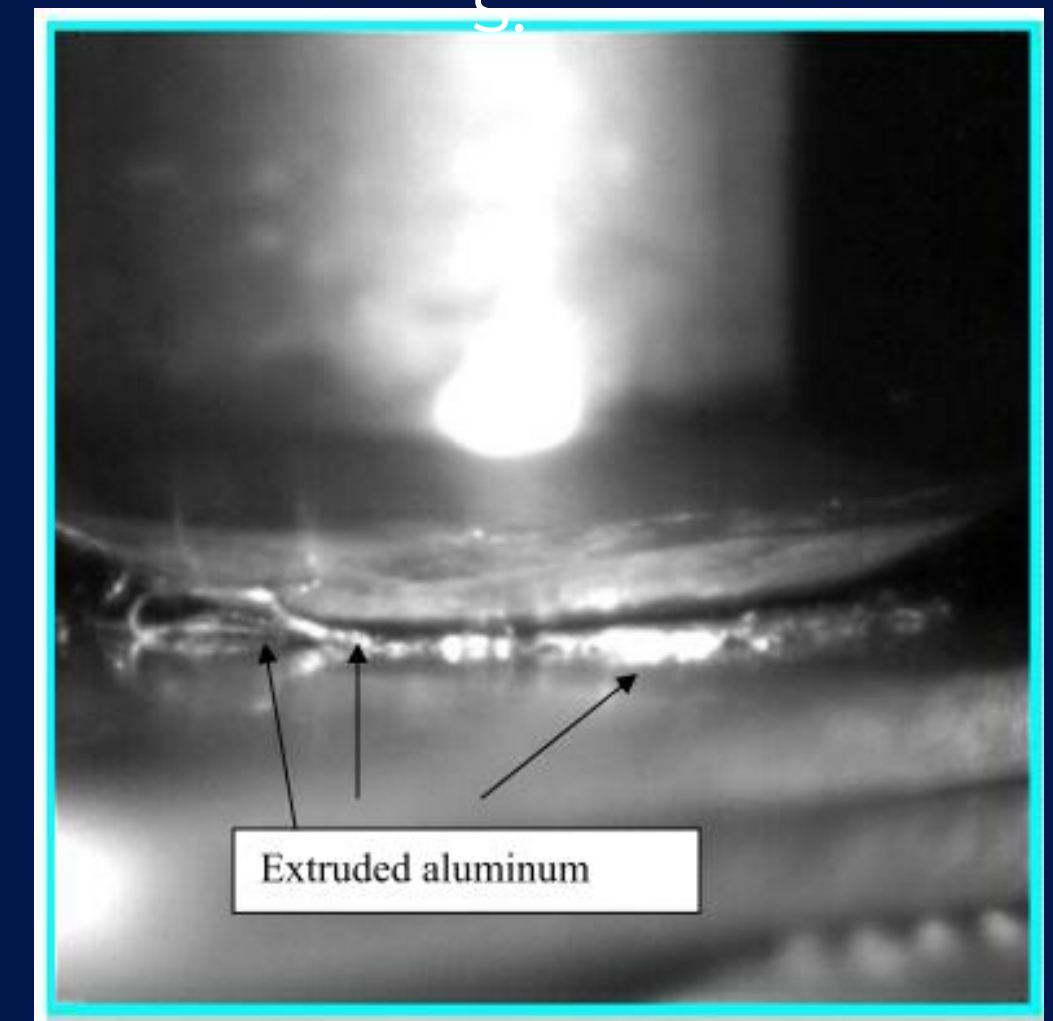
• $t = 0$ s.



• $t = 8$ s.

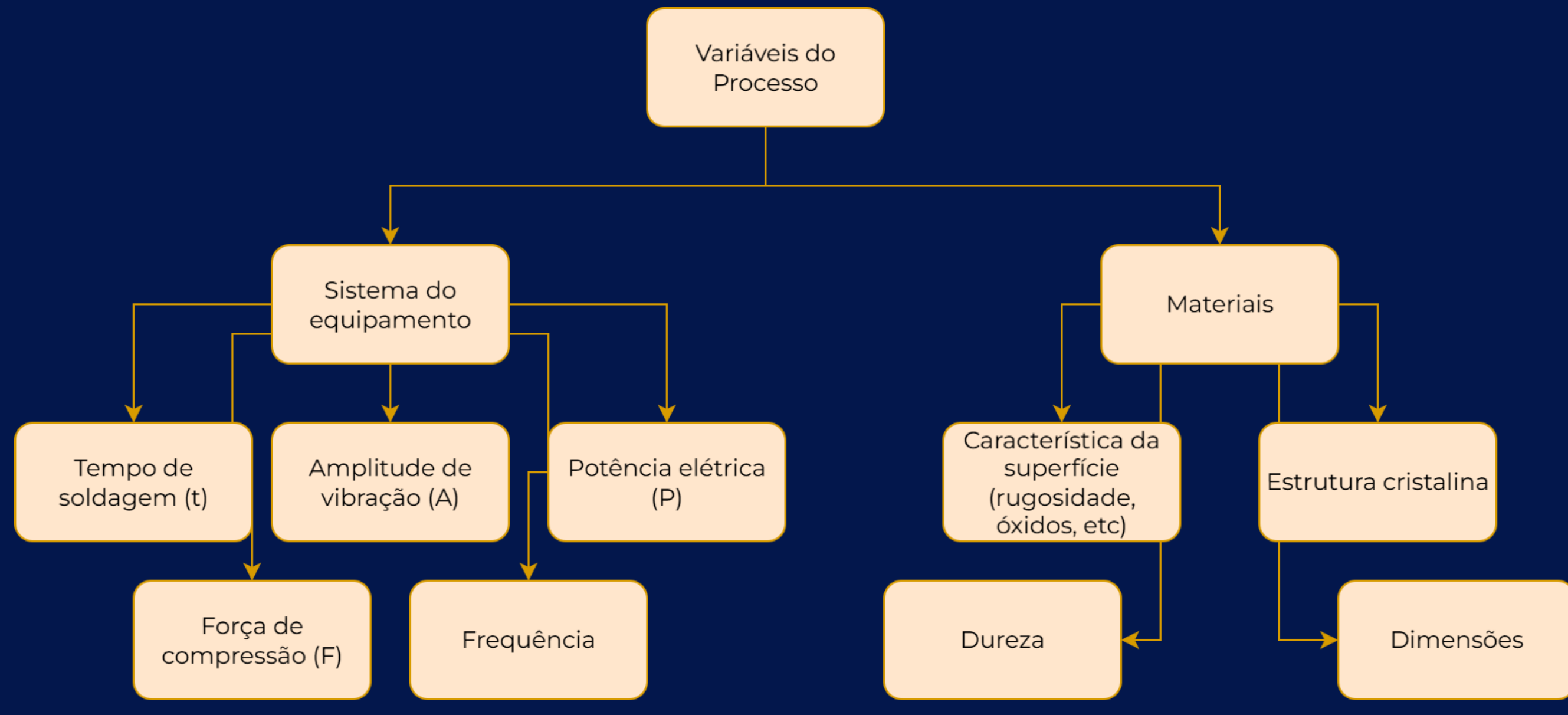


• $t = 522$
s.



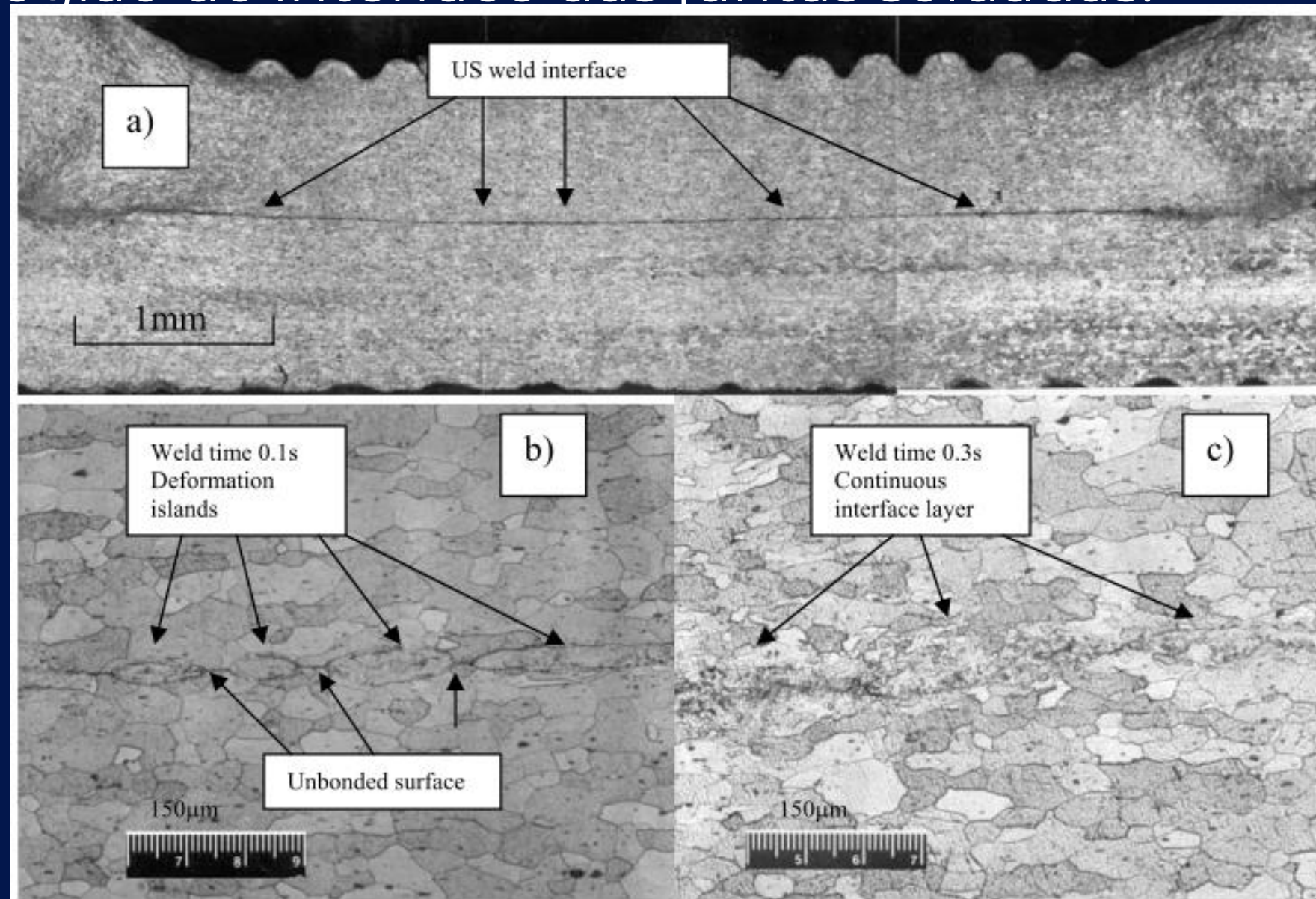
PRINCIPAIS PARÂMETROS DO PROCESSO

- Dependendo das dimensões da peça:
- Grande escala: Baixas frequências (< 20 kHz) e elevadas amplitudes (> 10 mm)
- Pequena escala: Elevadas frequências (> 20 kHz) e baixas amplitudes (< 10 mm)



SOLDAGEM POR ULTRASSOM – AL DA SÉRIE 6XXX

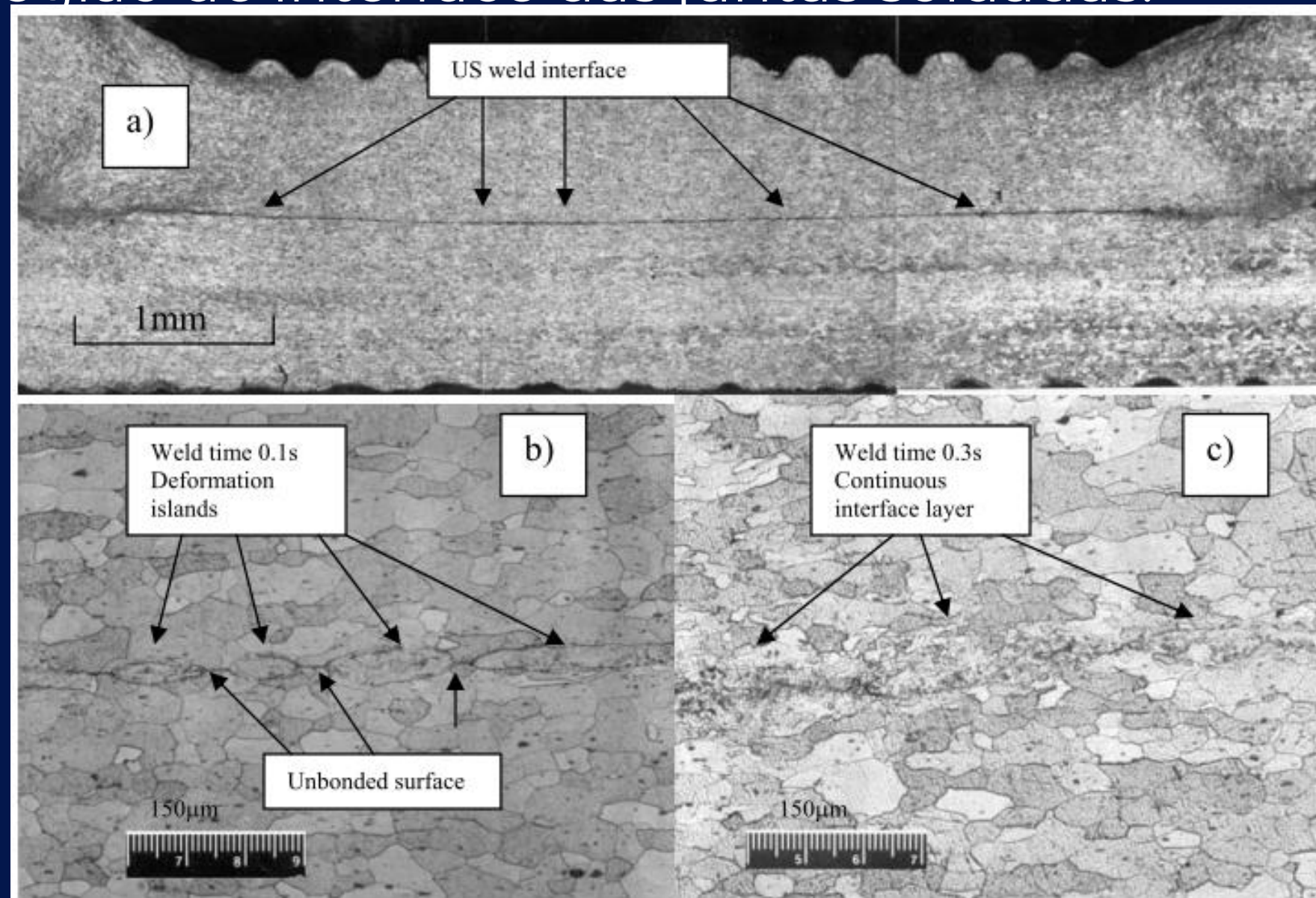
- a) interface entre as chapas soldadas com tempo de 0,3 s.
- b) ilhas de deformação após 0,1s de solda;
- c) região de interface das juntas soldadas.



- A interface é composta de uma camada bem fina (aproximadamente 50 nm) de material deformado, cujos grãos se mostram bastante refinados devido à intensa deformação plástica.

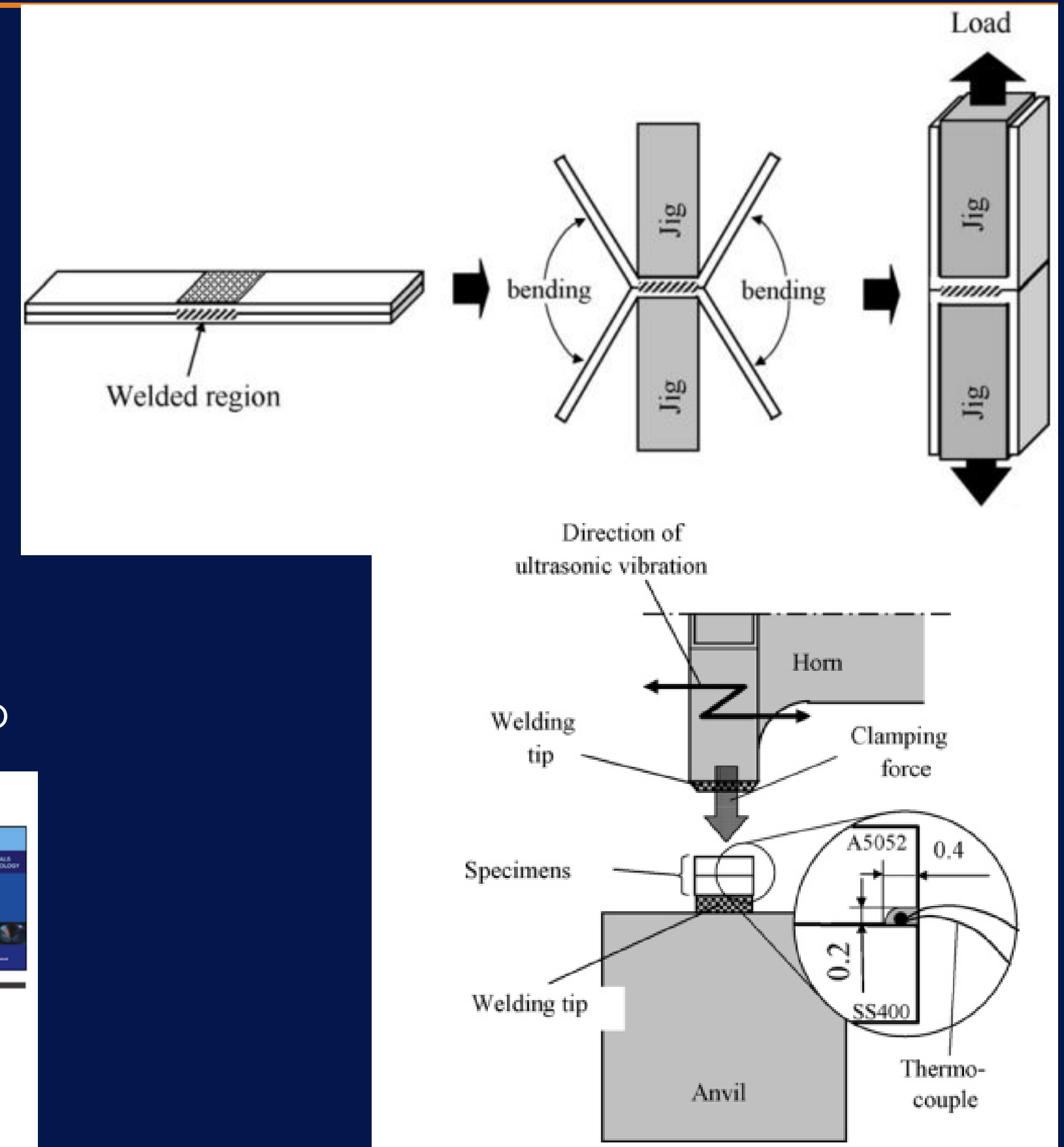
REGIÃO DA SOLDADA – AL DA SÉRIE 6XXX

- a) interface entre as chapas soldadas com tempo de 0,3 s.
- b) ilhas de deformação após 0,1s de solda;
- c) região de interface das juntas soldadas.



- Deformação localizada da chapa (10-15%).
- Deve ser evitada!!

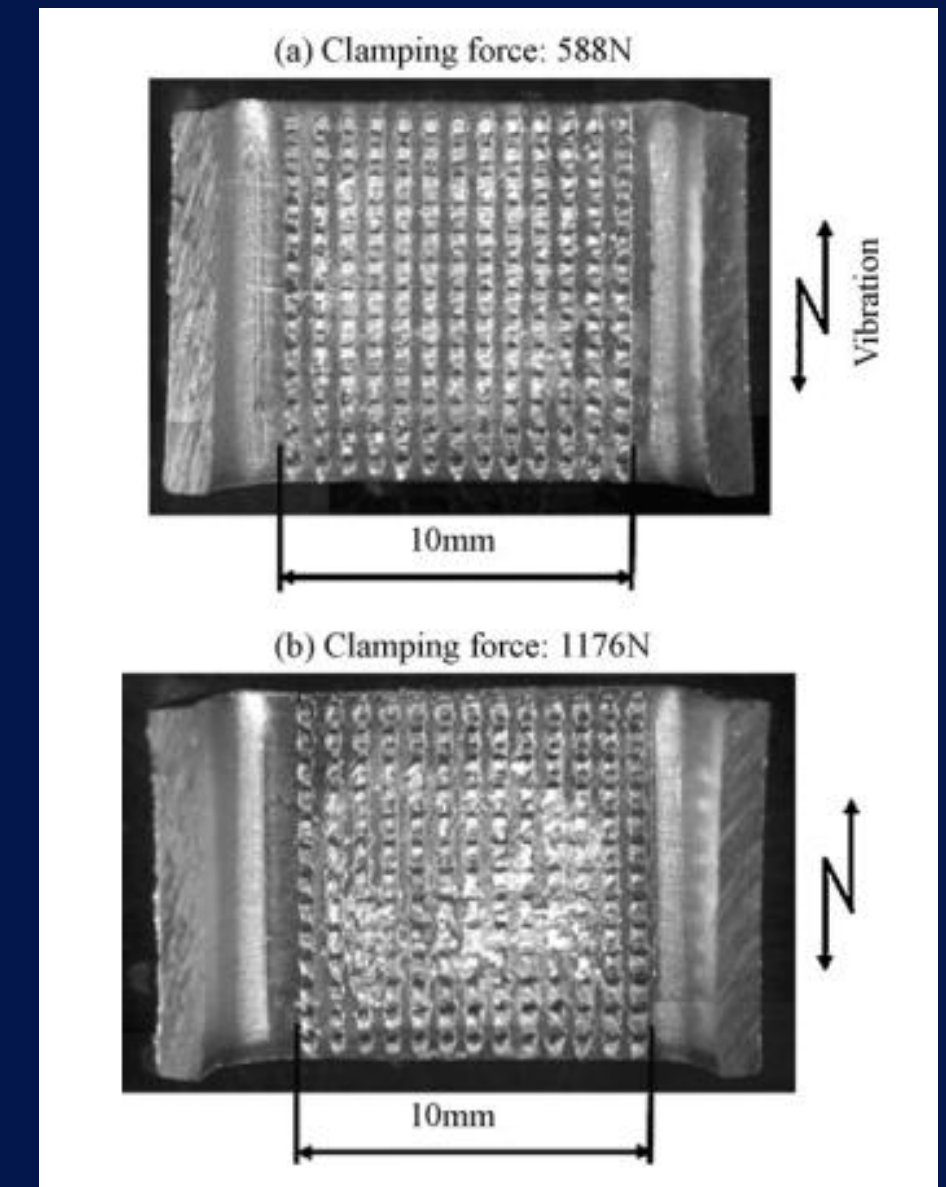
- **Aço SS400 (equivalente ao aço A36)**
 - 0,8 mm de espessura
 - LRT = 375 MPa
 - Rugosidade = 0,58 mm
 - Polimento eletrolítico
- **Liga de Alumínio A5052 (Al-Mg)**
 - 1,2 mm de espessura
 - LRT = 250 MPa
 - Rugosidade = 0,34 mm
 - Polimento eletrolítico
- **Condições na solda:**
 - Potência: 2400 W
 - Frequência: 15 Hz
 - Amplitude de vibração: 53 mm de pico a pico
 - Área da junta soldada = 100 mm²



EFEITO DA FORÇA DE COMPRESSÃO “CLAMPING FORCE”

- Tempo de soldagem: 1 segundo.
- Forças de compressão muito baixas resultam em uma resistência muito pequena
- Forças altas resulta em um atrito excessivo que supera a movimento relativo entre as superfícies, causando deformações
- Condição ideal foi de 588 N

Fig. 4. The appearances of scratches on A5052 surface formed by a welding tip with pyramidal projections: (a) clamping force of 588 N and (b) clamping force of 1176 N.



- Indentações indicam que houve movimento entre o apoio (welding tip) e a superfície de solda da chapa (faying surface)

ANÁLISE DA SUPERFÍCIE DE FRATURA

- Quanto maior a proporção de **W**, quer dizer que maior área da junta foi soldada. **S** indica a superfície arranhada e **EP** indica regiões onde o acabamento eletrolítico foi mantido (ou seja, onde não houve solda).

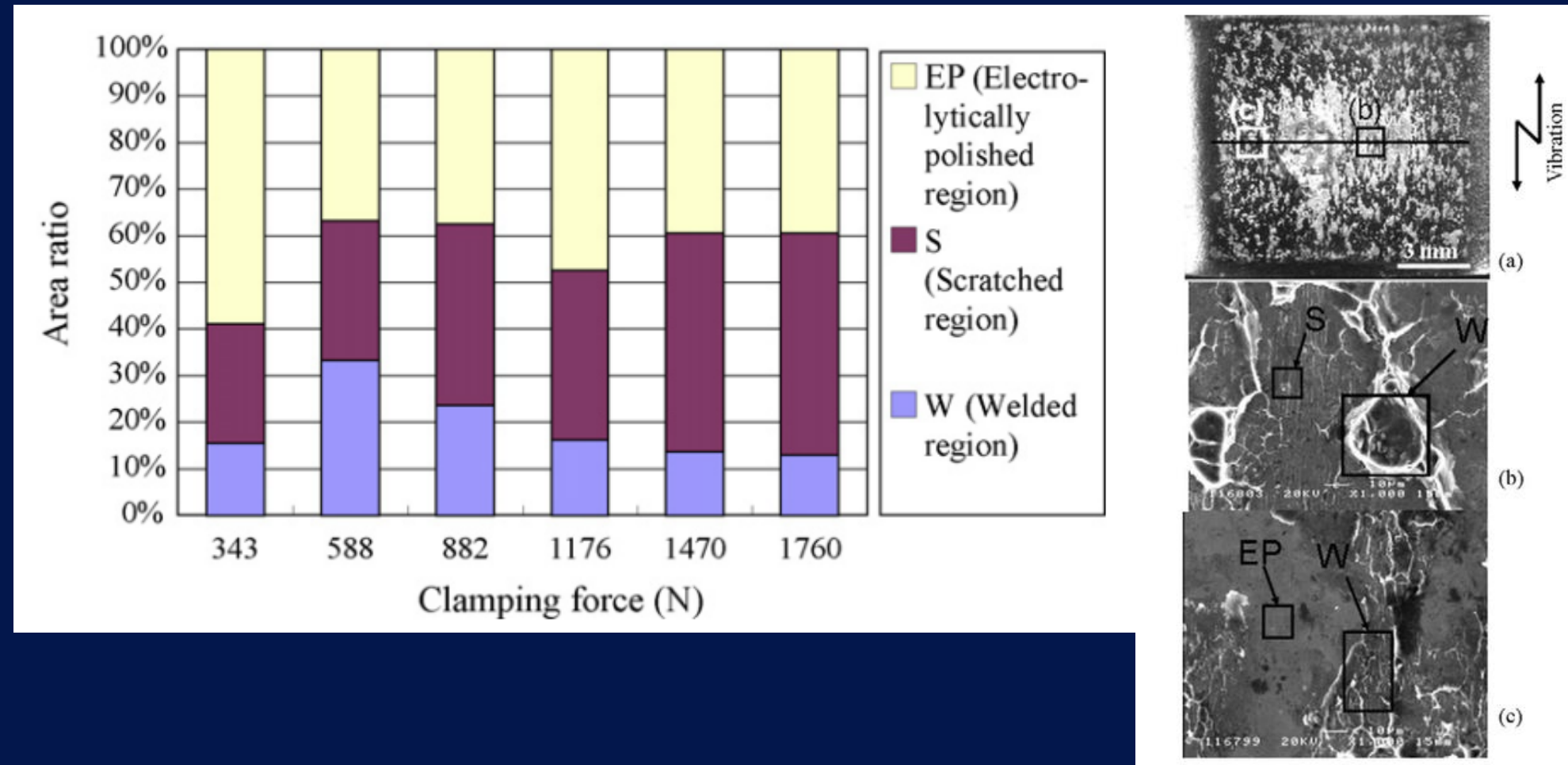
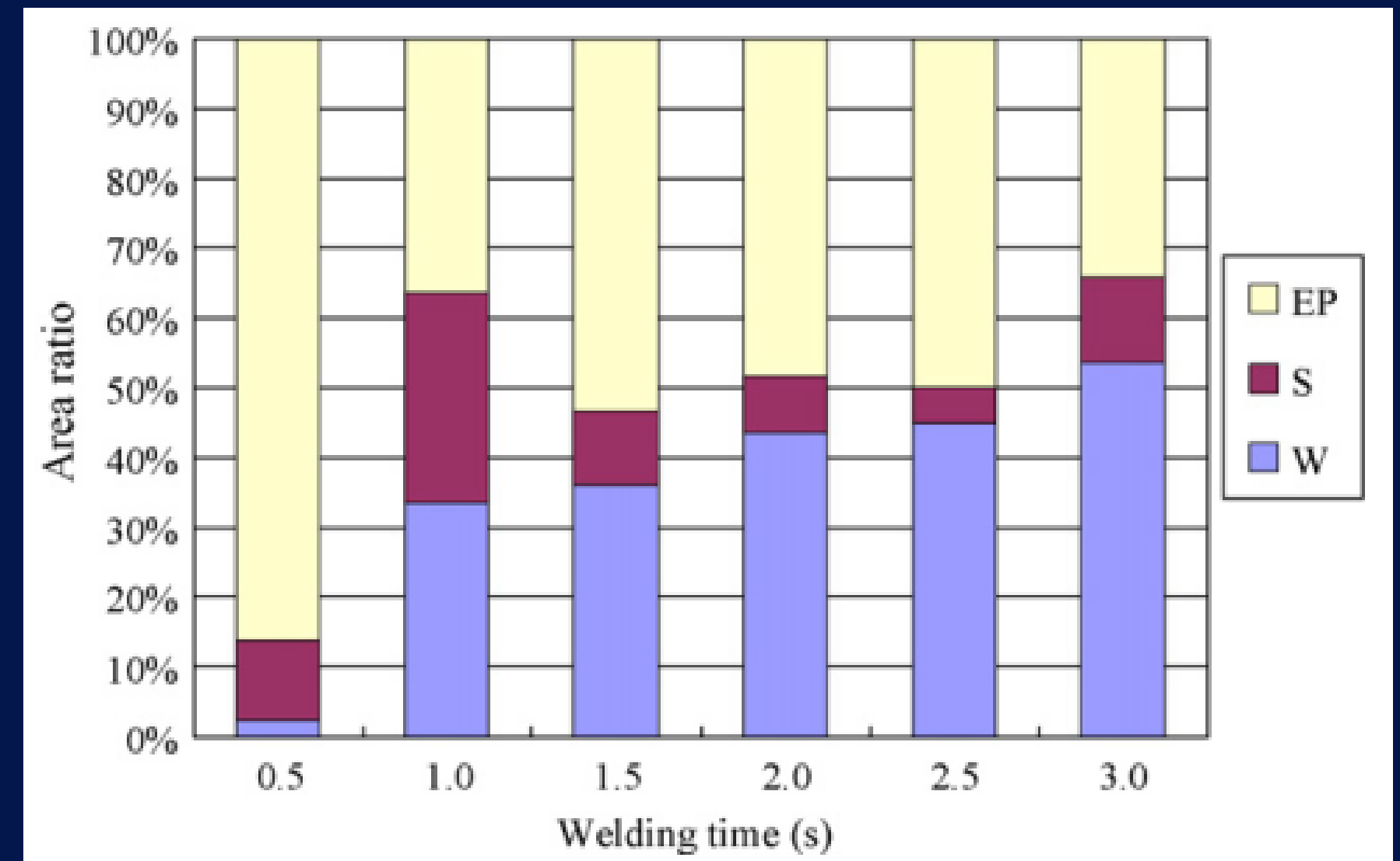
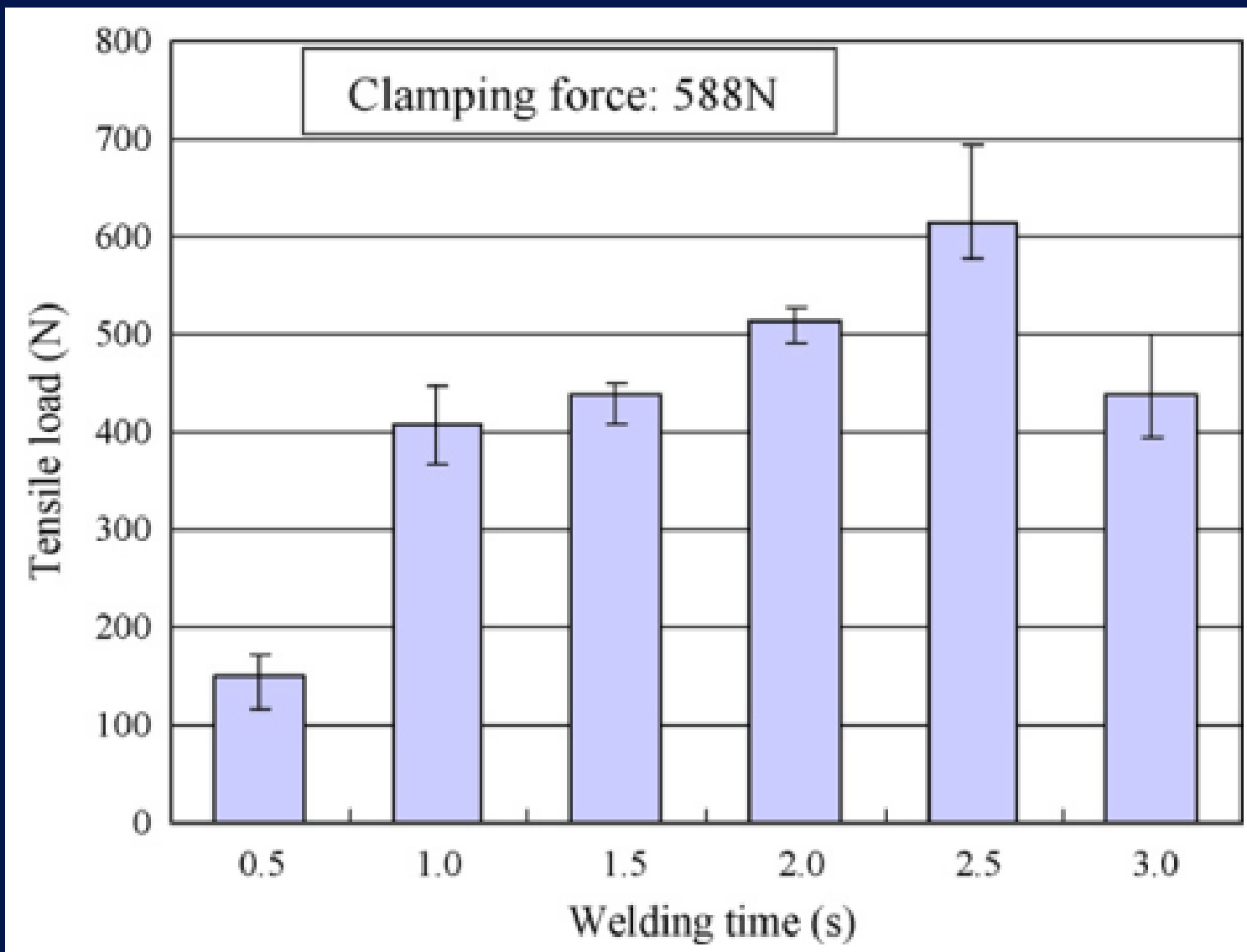


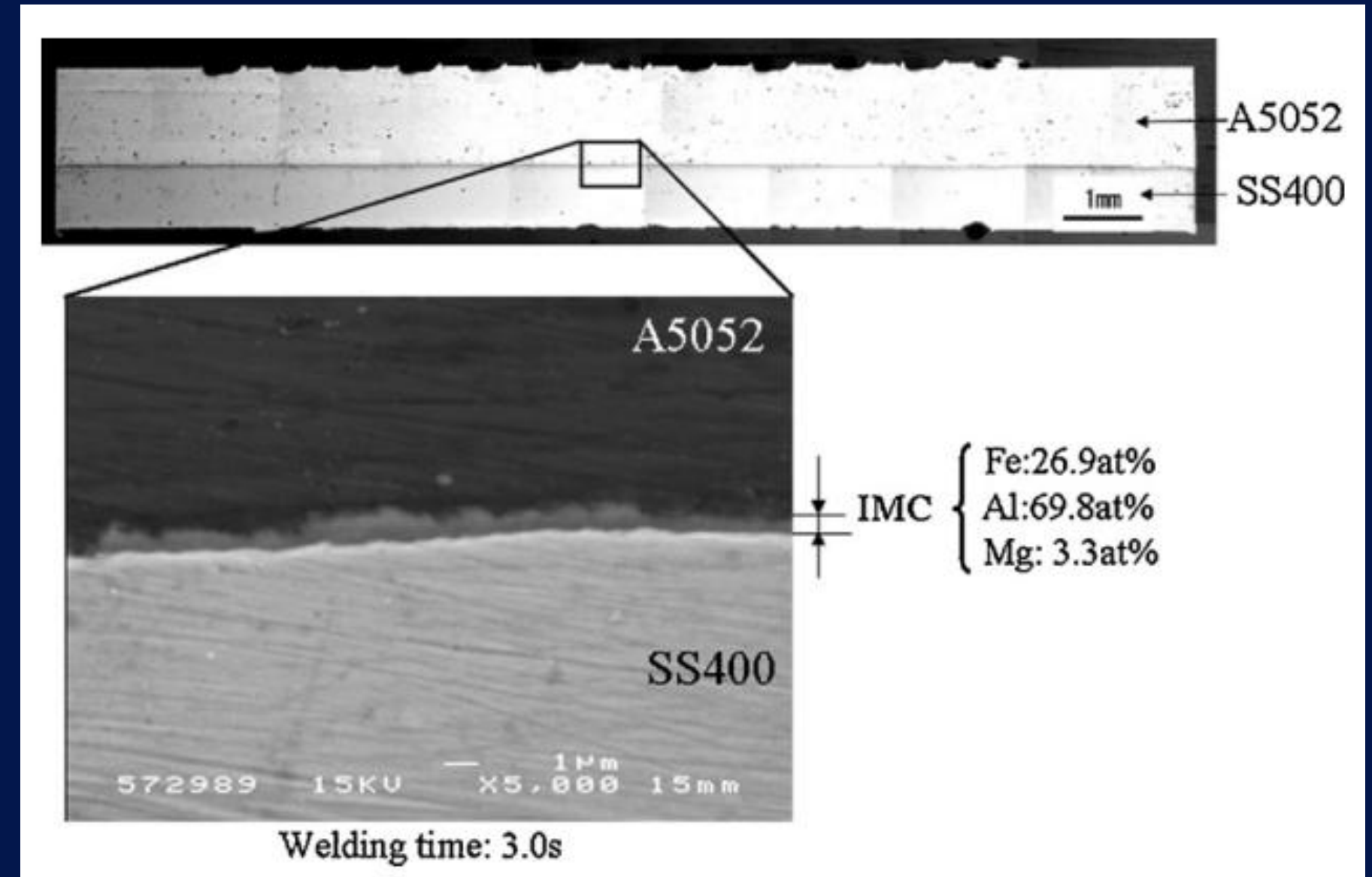
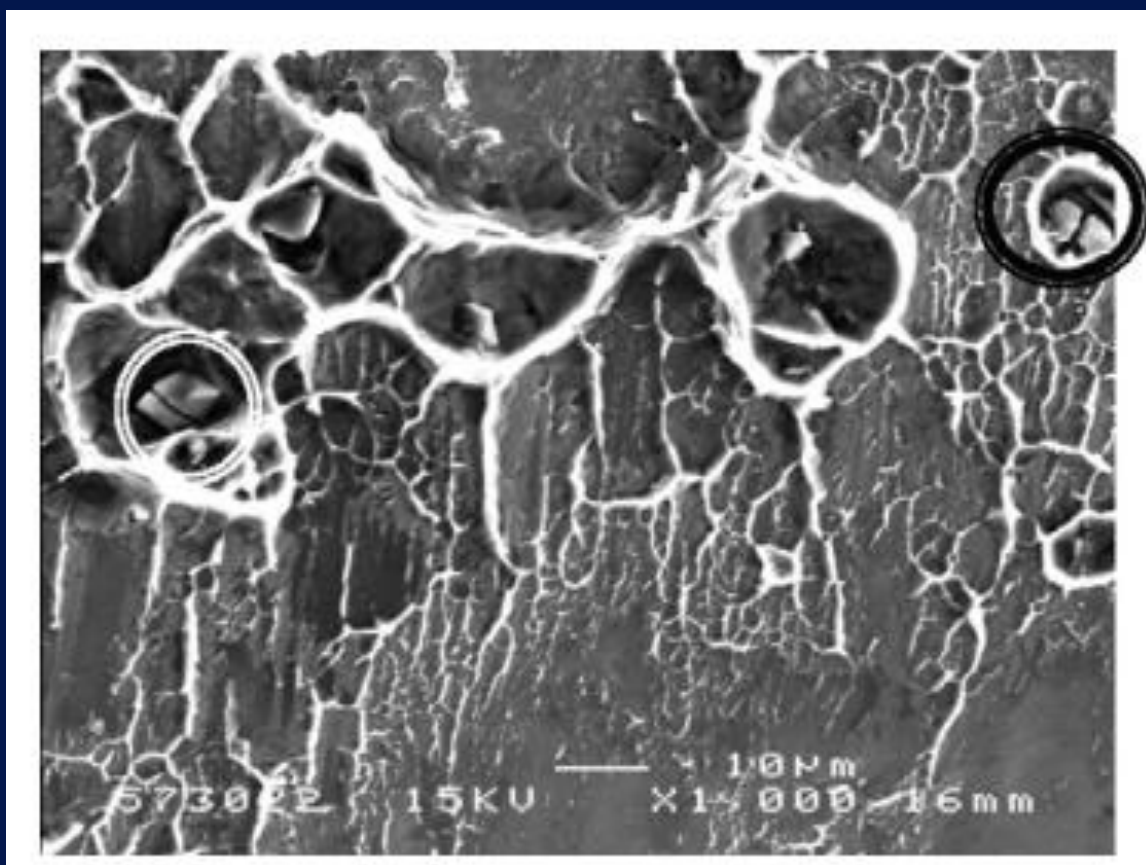
Fig. 6. Fracture surface of SS400 (a). Photographs (b) and (c) are SEM micrographs of white part (b) and dark part (c) in the photograph of (a), respectively.

AVALIAÇÃO DO TEMPO DE SOLDA



AVALIAÇÃO DA JUNTA SOLDADA

- Formação de um intermetálico (Fe₂Al₅) na interface de solda que diminui a resistência.
- Tal intermetálico de 1 mm de largura foi encontrado quando o tempo de 3 s de solda foi utilizado

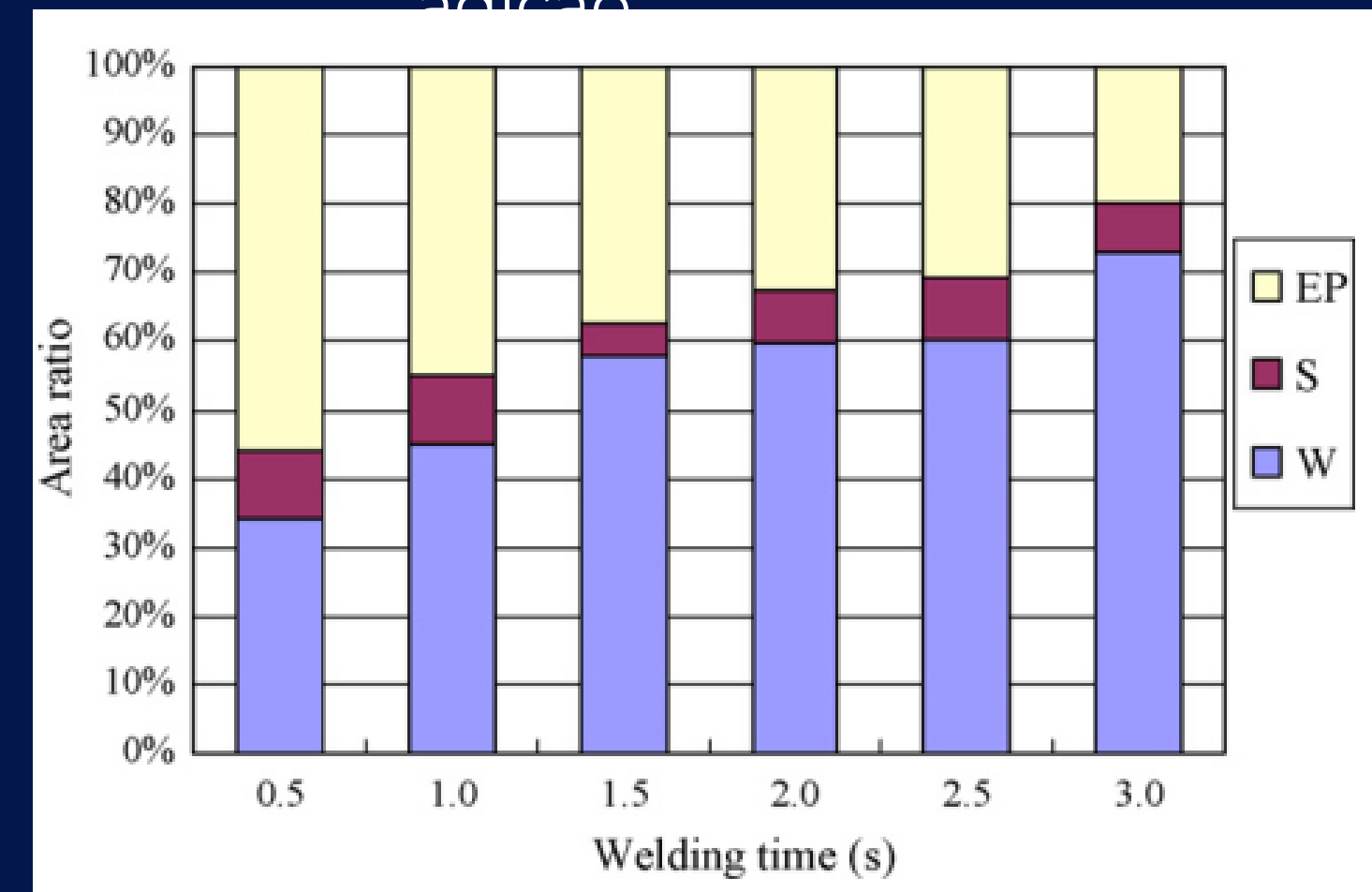
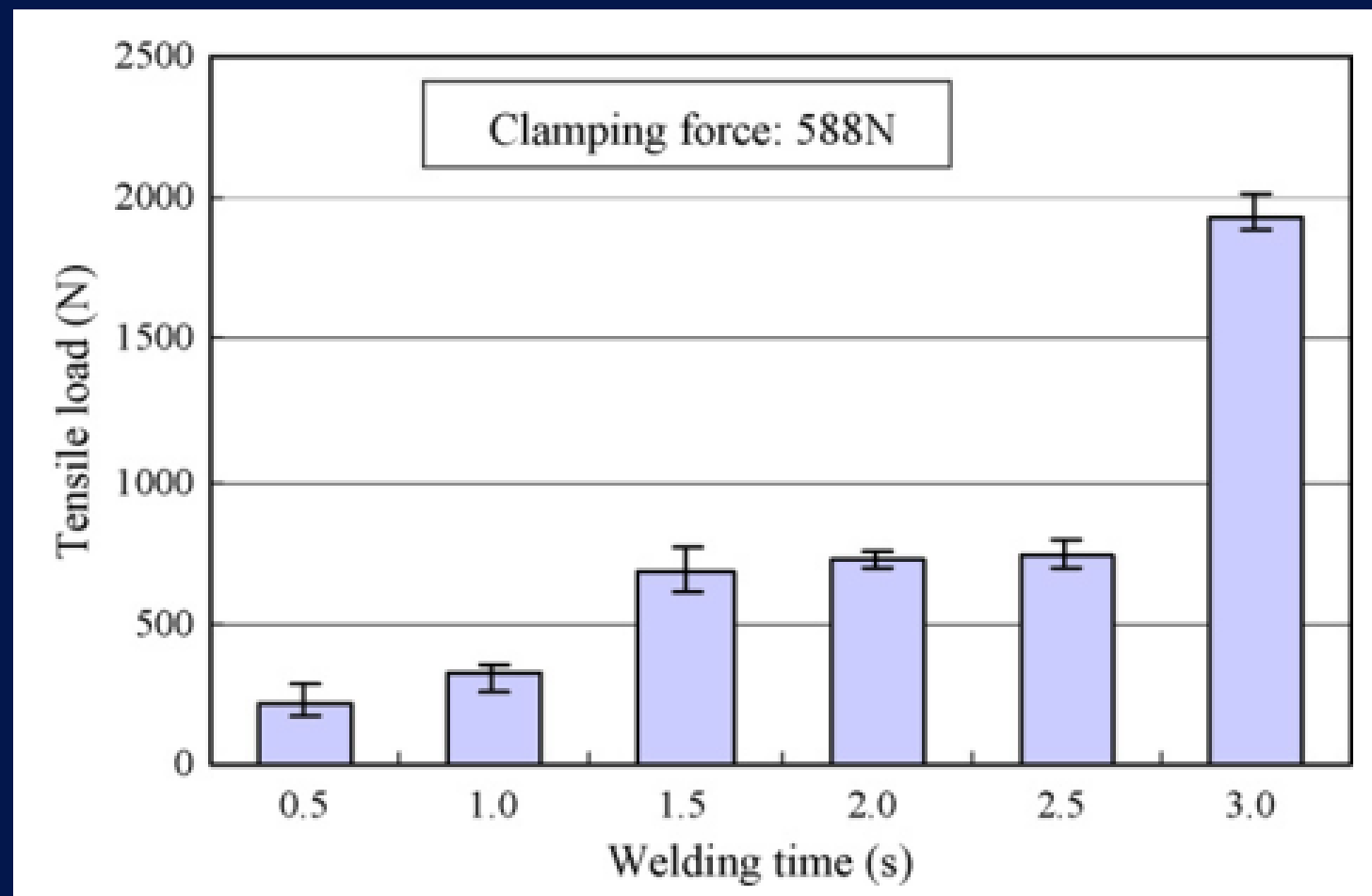


- Segregação de Mg

PARA EVITAR A SEGREGAÇÃO DE Mg...

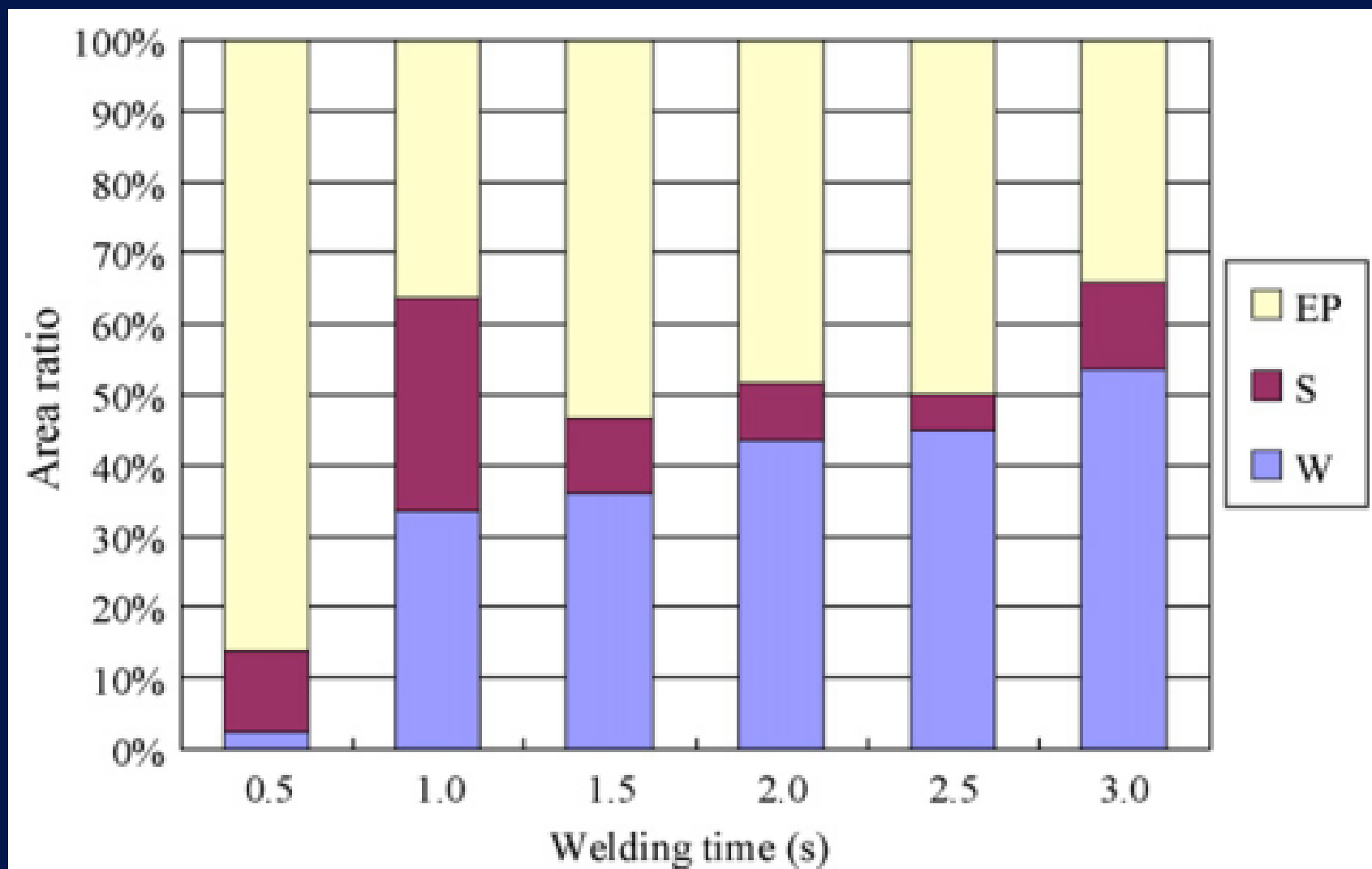
- ...foi adicionado um metal de adição de Al praticamente puro (A1050):
- 25 mm x 10 mm x 1,2 mm
- Condições de soldagem consideradas ideais:
- Clamping force: 588 N, variação do tempo de soldagem

- Com metal de adição

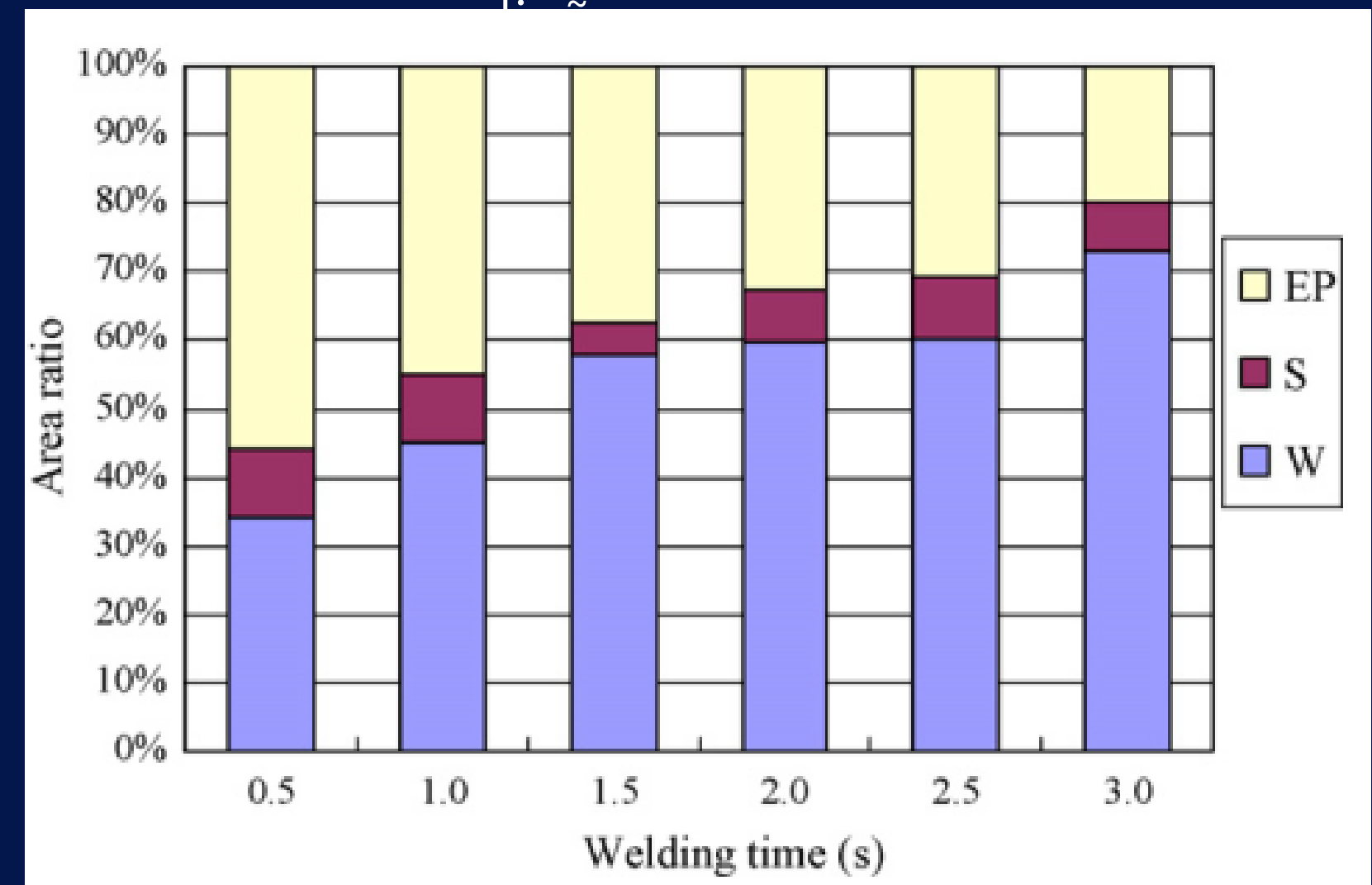


EFEITO DO METAL DE ADIÇÃO

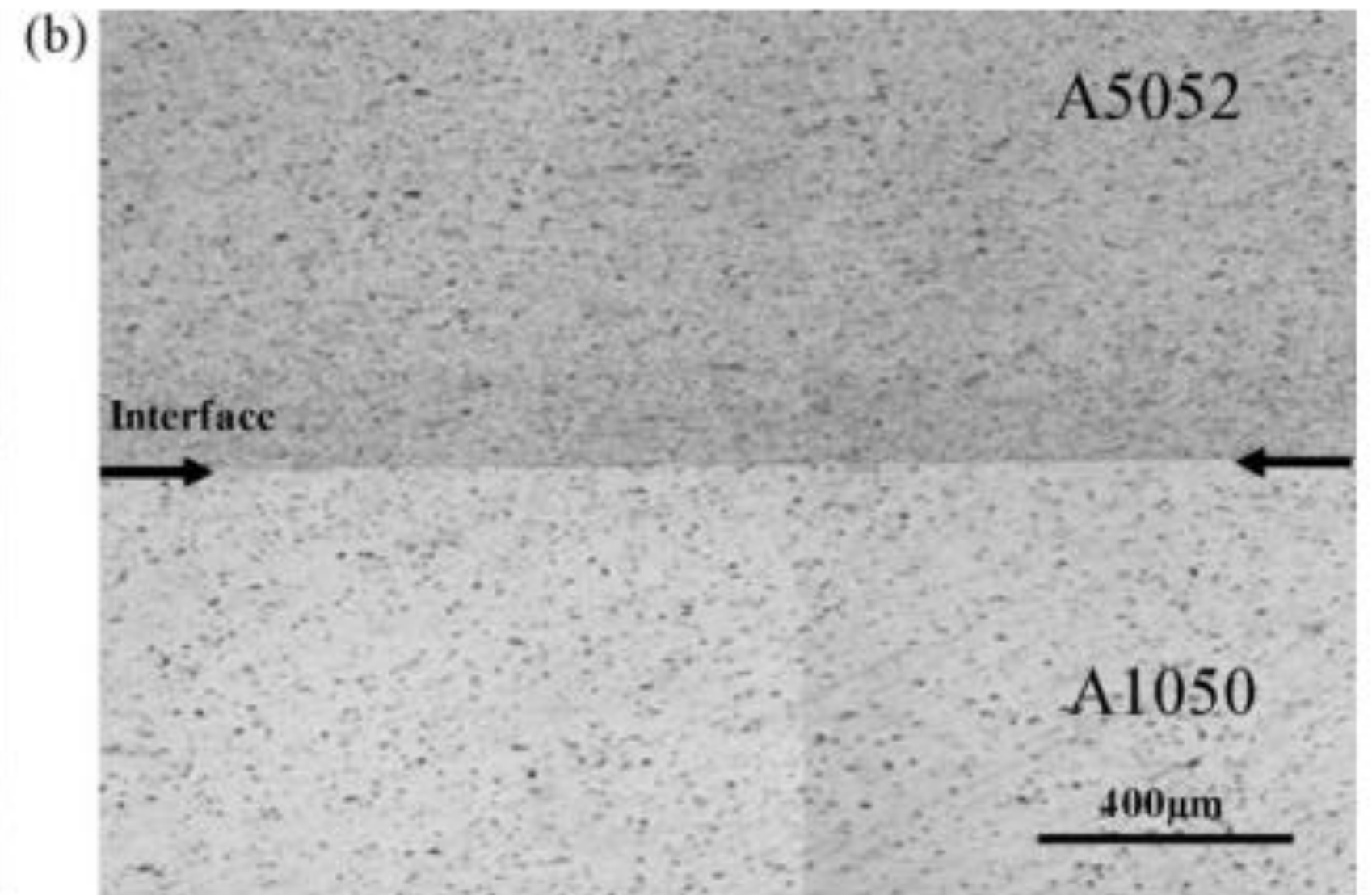
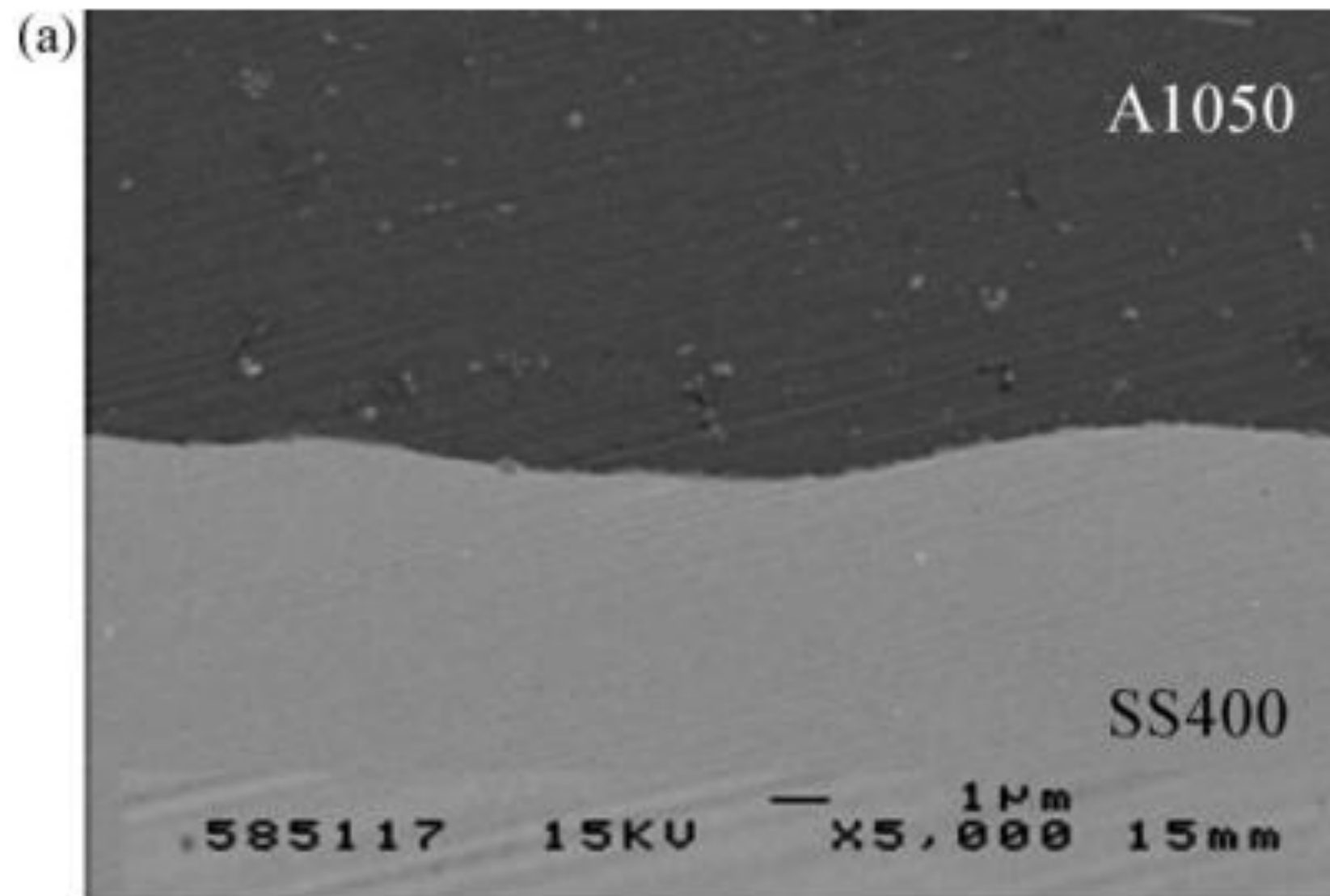
- Sem metal de adição



- Com metal de



AVALIAÇÃO DA JUNTA SOLDADA



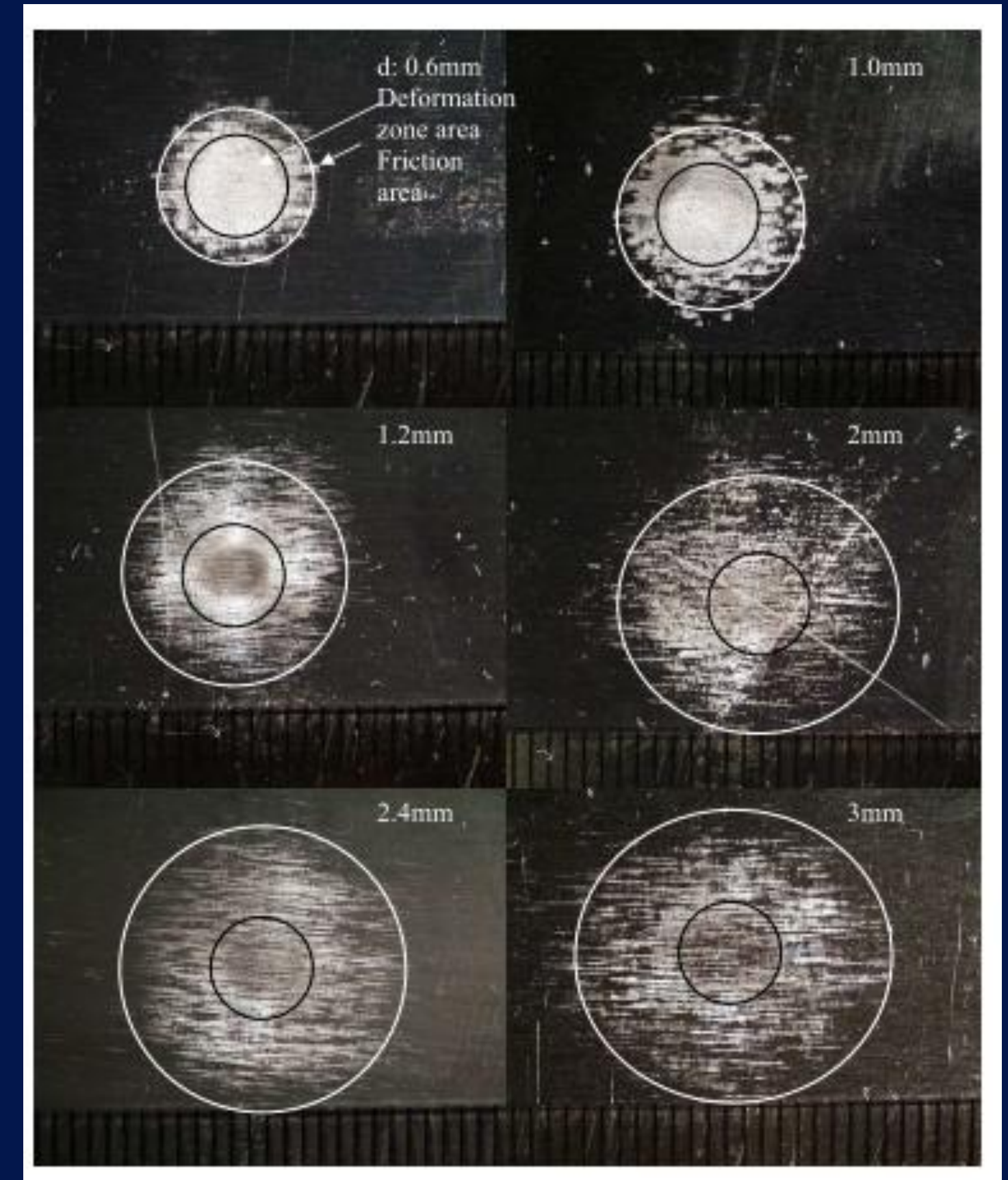
ANÁLISE DA ÁREA DE CONTATO

Parâmetros de soldagem:

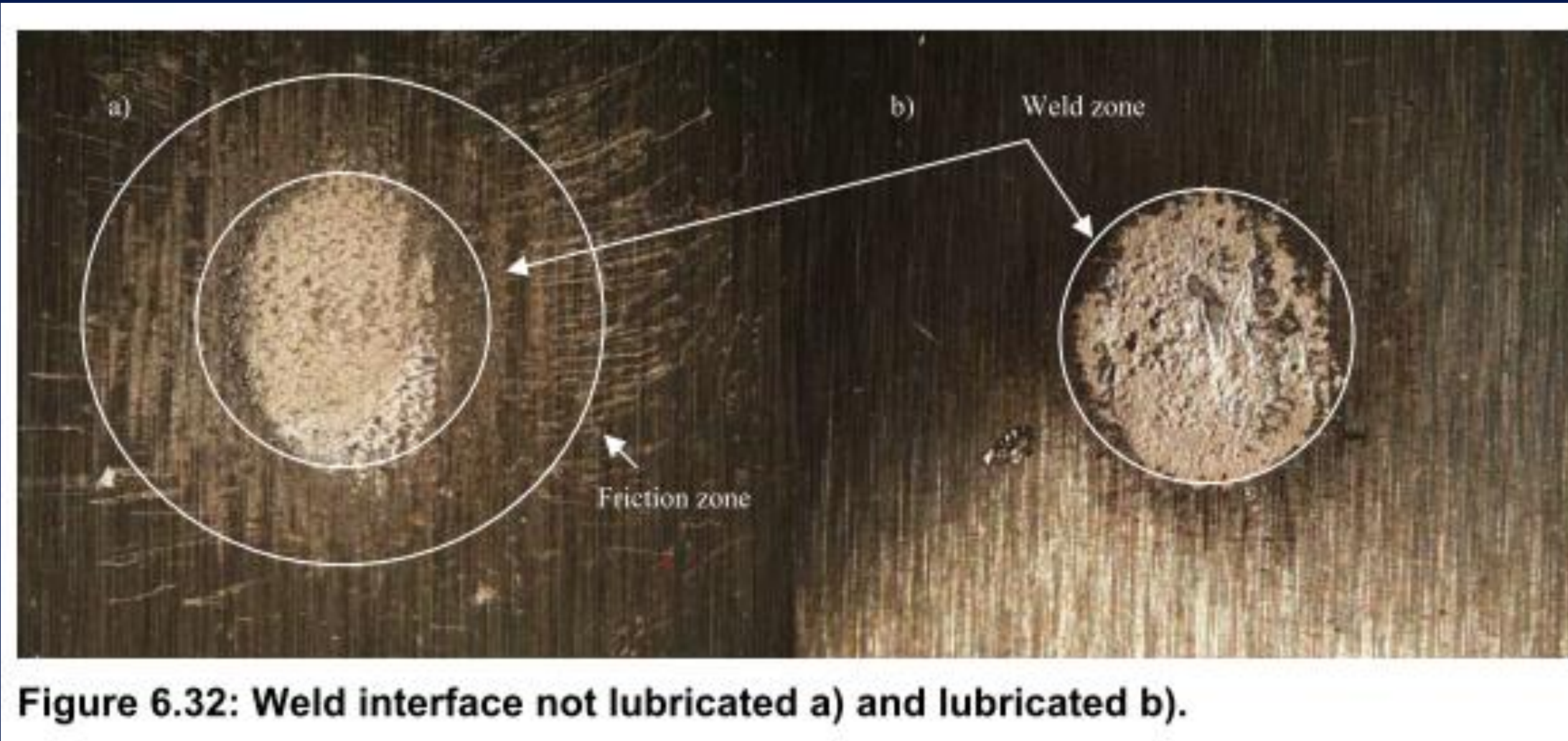
- Clamping force - 100psi
- Power setting - 10
- Weld time - 0,02s a 1s

Análise das superfícies de contato após soldagem:

- Superfície preta é a original do material
- Ranhuras brancas representam as áreas de contato danificadas
- Os círculos pretos indicam a área de deformação onde ocorreu a solda
- Os círculos brancos indicam a área de fricção onde não há solda



USO DE LUBRIFICANTE



Lubrificante: 3-36*
* CRC Industries, Inc. No.
03005

VANTAGENS E DESAFIOS

Vantagens	Desafios
Menor consumo de energia: <ul style="list-style-type: none">• solda por ultrassom: 0,3kW.h por 1000 juntas• solda ponto: 20kW.h• solda por fricção: 2kW.h.	Grande variabilidade da qualidade da solda, mesmo utilizando parâmetros de processo semelhantes
Menor tempo de execução: < 4s	Adesão entre as partes soldadas e o sonotrodo
Menor distorção e deformação da região soldada	Soldagem de aços
Solda no estado sólido	
Microestrutura refinada na junta soldada	

APLICAÇÕES EM POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS

Envolve fusão do termoplástico (diferentemente da solda US em metais)

- Processo rápido e barato
- Estanqueidade e acabamento superficial muito bom
 - Substituindo colas e outros tipos de adesivos

