

Soldagem Laser

Prof. Luiz Gimenes Jr.
Engº José Pinto Ramalho

INTRODUÇÃO

O nome LASER é a abreviatura da descrição do processo em inglês: ***Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.***

Em uma tradução livre para o português podemos dizer que seria: Amplificação da luz através da emissão estimulada de radiação.

Os primeiros trabalhos de pesquisa que conduziram à invenção do feixe de laser foram realizados por Albert Einstein e datam de 1917, versam sobre os fenômenos físicos de emissão espontânea e estimulada subjacentes ao funcionamento do laser.

Townes confirmou experimentalmente em 1954 o fenômeno através da aplicação da emissão estimulada à amplificação de ondas ultracurtas.

O primeiro LASER, um sólido de rubi, excitado por uma lâmpada fluorescente de vapor de mercúrio e filamento helicoidal, foi construído em 1960 por Maimann.

Poucos meses depois os Laboratórios da AT&T Bell desenvolveram um laser gasoso de He-Ne, e somente alguns anos depois surgiria um LASER de CO₂.

O feixe LASER se propaga no ar com pouca divergência, orientando-se por óticas sem perder ou alterar suas características físicas, fato este que impulsionou seu desenvolvimento.

Existem hoje vários tipos, indo do sólido ao gasoso, com comprimentos de onda na faixa do Infravermelho (IF) até o Ultravioleta (UV).

Em uma rápida definição, podemos dizer que o LASER é um dispositivo que produz um feixe de radiação.

Ao contrário do que se pensa, o que torna este processo altamente interessante não é a quantidade de radiação emitida, e sim a qualidade desta.

Devido a qualidade da radiação LASER, sua utilização em soldagem possibilitará a obtenção de determinadas características impossíveis de se obter com outros processos.

Entre estas características podemos citar:

- elevadíssimas velocidades de soldagem
- ausências de contato entre a fonte de calor e a peça a soldar.
- baixa entrega térmica, distorção e ZTA.

EQUIPAMENTOS

Para que se possa utilizar a radiação de forma otimizada, necessita-se uma definição do comprimento de onda e uma direção de propagação do feixe.

Basicamente, este é todo o esquema de funcionamento de um laser, ou seja, um dispositivo onde tenha-se condições de produzir emissão estimulada e formas de direcionar e calibrar o feixe de fótons produzidos.

O equipamento laser é composto basicamente de três sistemas, que são apresentados a seguir.

FONTE DE ALIMENTAÇÃO

Esta parte do equipamento é a que fornece a energia primária para a excitação dos átomos e principalmente é responsável pelo processo de produção da inversão de população, devido a um sistema de popular preferencialmente um nível específico de energia. Assim, a fonte de alimentação é na verdade uma fonte excitadora.

Um dado importante a ressaltar a respeito da alimentação é que: ao contrário do que se pensa e, principalmente é divulgado, o rendimento de um LASER é extremamente baixo.

Seu grande atrativo não é o rendimento, e sim as qualidades intrínsecas da radiação produzidas e a facilidade de controle que esta radiação vai apresentar.

MEIO ATIVO

Por meio ativo entende-se o material utilizado (gás, líquido, sólido ou semicondutor), para fazer a conversão de energia elétrica em radiante, uma vez que, devido a excitação e inversão de população, pode-se provocar emissão estimulada nestes materiais.

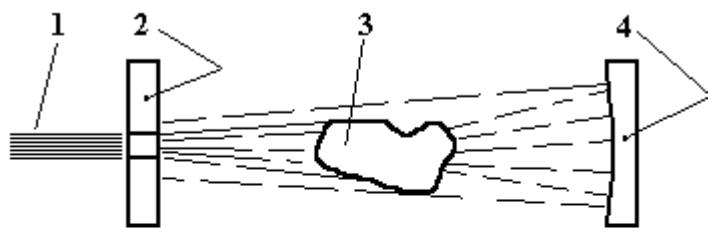
CAVIDADE RESSONANTE

É o local onde ocorre o processo de amplificação da radiação.

Este processo é mantido, devido a realimentação que ocorre em função da própria construção da cavidade, pois esta tem dois espelhos que refletem e amplificam o feixe.

Um destes espelhos é totalmente refletor, enquanto que o outro, tem um pequeno orifício central medindo aproximadamente 1% da área.

São montados de frente um para o outro, sendo que entre eles, será montado o meio ativo como pode ser visto na figura abaixo.



- 1 - feixe LASER
- 2 - lente plana e espelhada com furo
- 3 - meio ativo
- 4 - lente concava

Figura 1 - Princípio de funcionamento

Os fótons produzidos ressonarão dentro da cavidade até encontrarem-se em direção ao orifício. Quando isto ocorre, os fótons saem na forma de feixe LASER.

Este mecanismo, garante que o feixe seja extremamente direcionado.

Na cavidade pode-se encontrar também elementos dispersivos (prismas) que somente permitirão a passagem de determinados comprimentos de onda, uma vez que o meio ativo pode emitir radiação em diferentes comprimentos, o que para algumas aplicações que necessitam de radiação monocromática (ex. impressora LASER), não seria desejado.

Este mesmo mecanismo de "filtrar" somente o comprimento de onda desejado poderia ser também conseguido regulando-se a posição dos espelhos, porém teria que ser feito na construção do equipamento.

A diferença entre estes dois modos de se "filtrar" a radiação é que no primeiro pode-se ter regulagens na utilização do equipamento, enquanto que no segundo, escolhe-se um comprimento de onda na construção do equipamento, e este será utilizado em definitivo.

Além disto, a cavidade ressonante tem uma outra importante função que é aumentar a eficiência do LASER.

Isto ocorre porque, devido a pequena saída para os fótons que existe no espelho plano (1% da área), estes são obrigados a aumentar seu tempo de permanência dentro da cavidade.

Como esta é espelhada em seu interior, este aumento de tempo resultará em um incremento, uma vez que gerará outras emissões estimuladas.

Como característica da cavidade, esta deverá ter altíssima precisão ótica e mecânica, ausência total de contaminações de superfície, e altíssimo grau de acabamento nos espelhos.

Tudo isto para que o ganho que ocorrer na amplificação seja maior do que as perdas que fatalmente ocorrerão (irradiação de calor nas paredes).

CONSTRUÇÃO DO LASER DE CORPO SÓLIDO (LASER A RUBI, LASER YAG)

O cristal de rubi usado consiste de uma estrutura básica de Al₂O₃ na qual estão dispostas em locais de AL aproximadamente 0,05% de íons de Cr₃ (ativos).

Se o cristal de rubi receber, de fora, energia em forma de radiação eletromagnética (luz visível), irão ocupar um nível mais alto de energia; interrompido o estímulo, os elétrons ocuparão um nível de energia metaestável.

A geração do feixe laser propriamente dito ocorre então deste nível de energia para o nível básico, liberando luz coerente.

A descrição de um laser de corpo sólido, simplificadamente seria um cristal envolvido por uma lâmpada de flash, sendo as extremidades da cavidade são plano-paralelas e metalizadas, com uma superfície refletora e a outra parcialmente transparente.

Forma-se então o ressonador ótico, mostrado na figura abaixo.

Os íons de Cr atingem um valor limiar e um raio de luz (impulso) passa pela superfície final semitransparente.

Desta forma obtém-se um raio de luz em feixe estreito, paralelo, e coerente.

O raio de luz surgido desta forma é concentrado numa superfície muito pequena por apenas uma lente e serve como fonte de energia. O laser a rubi tem um grau de rendimento de aproximadamente 0,1%.

O laser YAG de ítrio-alumínio-granada é mais apropriado para solda. Seu grau de rendimento está entre 0,2% a 3%.

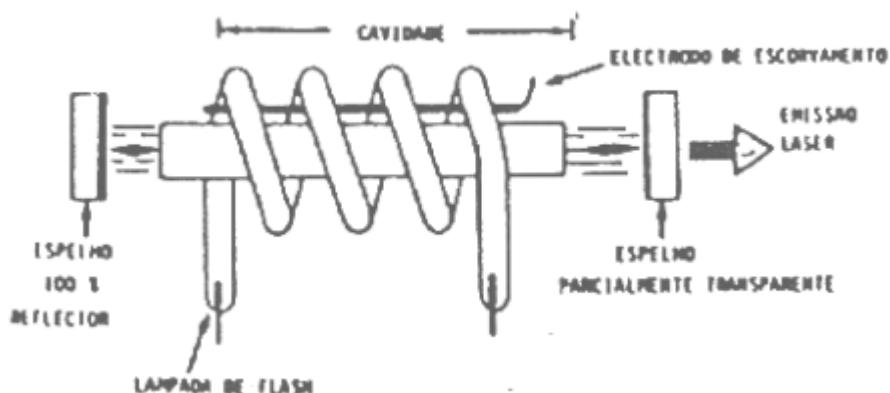


Figura 2 - diagrama esquemático de um ressonador

CONSTRUÇÃO DE LASER GASOSO (LASER DE CO₂)

O laser a CO₂, chamados de Lasers de alta potência, largamente empregados para solda e corte.

O ressonador ótico, neste caso, consiste de um tubo de descarga de gás pelo qual passa o gás de laser, aqui uma mistura de CO₂, N₂, He.

Neste é aplicada uma tensão contínua da ordem de dezenas de KV.

O meio laser tem uma pressão de operação de aproximadamente 100 mbar.

O calor de perda que surge na descarga elétrica deve ser eliminado pois o laser só trabalha de modo eficiente com uma temperatura abaixo de 200°C.

Por meio de descarga luminosa elétrica o CO₂ é estimulado.

Neste arranjo o raio laser tem uma potência de até 700 W/m de comprimento de ressonador.

De forma a se obter altas potências em uma construção compacta o tubo ressonador é "dobrado" em várias partes, como mostra a figura abaixo.

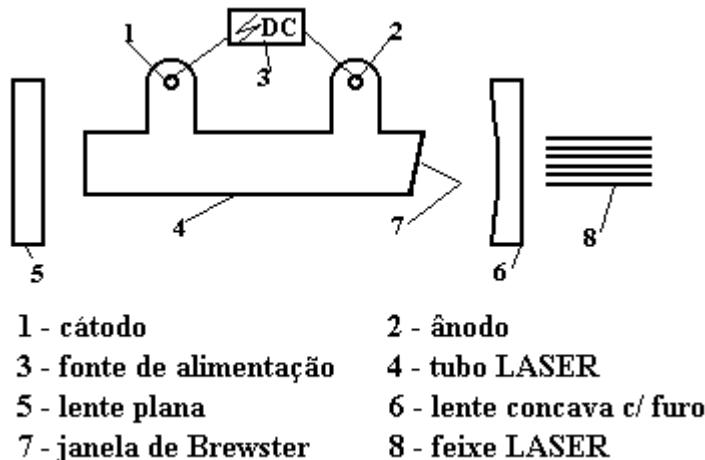


Figura 3 - diagrama esquemático de um ressonador

O laser a CO₂ trabalha em operação contínua ou pulsada.

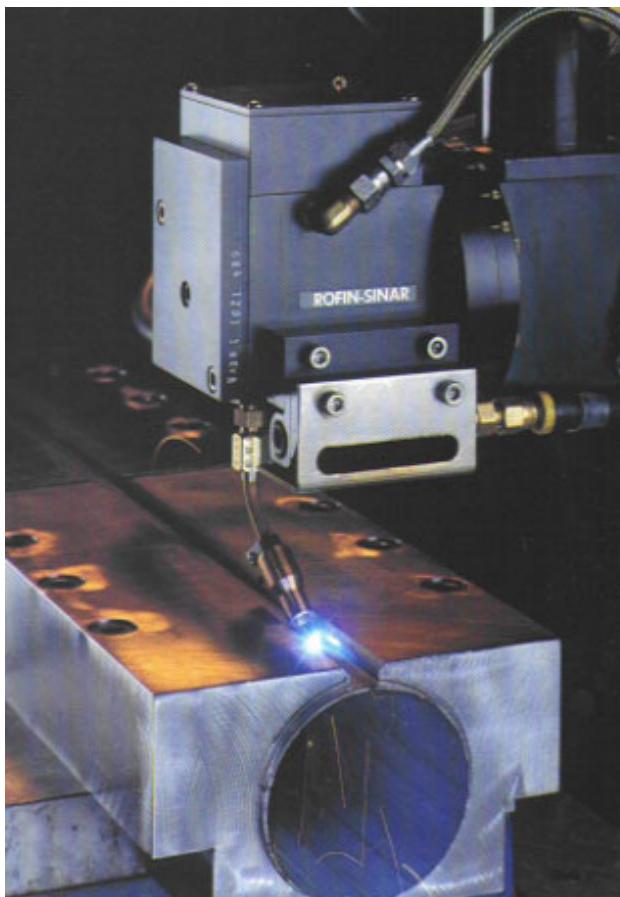
Devido à sua potência alta e do bom grau de rendimento, pode ser usado para soldar chapas mais espessas, no caso de aço, chega-se hoje até 38,0 mm com um laser de 45 KW, na Tabela abaixo descreve-se alguns tipos.

TABELA- CARACTERÍSTICAS DE DIFERENTES TIPOS DE LASERS DE CO₂

FLUXO DE GÁS	LENTO	AXIAL RÁPIDO	TRANSVERSAL
Descarga	DC	DC	AC
Potência (KW)	0,4-1,5	0,5-6,0	0,5-6,0
Modulação	muito boa	boa	muito boa
Flutuações de Potência	não	rápidas	não
Pulsável	sim	sim	sim
Estabilidade de Pulso	muito boa	regular	boa

CONSUMÍVEIS

Na maioria das aplicações laser, a soldagem é autógena, ou seja não há adição de metal á poça de fusão, certas aplicações especiais há adição de metais, cuja a classificação de materiais corresponde basicamente ao processo de soldagem TIG, ou mesmo associado á outros processos por fusão como o processo TIG, Plasma ou MIG, tendo como principal função o recobrimento, uma cobertura final, pois em grandes espessuras há um afundamento da poça de fusão e consequentemente é necessário uma pequena adição de metal.



VARIÁVEIS

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO PROCESSO

De posse de um feixe LASER, a soldagem ocorre da seguinte maneira: a radiação do feixe ao interagir com a matéria é parte absorvida, parte refletida.

A parte absorvida é de tal ordem de grandeza que aquece o material levando-o a fusão ou vaporização dependendo da densidade de energia.

No caso de ter-se a vaporização do material, forma-se uma coluna de vapores metálicos partindo do ponto de interação do feixe com o material e avançando em direção ao interior da peça.

Esta coluna, semelhante a um furo, recebe o nome de Key-hole e absorverá grande parte da radiação incidente na peça distribuindo-o posteriormente.

Como o processo é dinâmico, o deslocamento da peça garantirá a sustentação do key-hole, porém existirá uma velocidade de avanço mínima para que o processo se sustente.

Com o deslocamento do key-hole, a massa de material líquido vai se solidificando ocorrendo assim a soldagem.

Em oposição ao caso acima citado, quando a densidade de energia não for suficiente para a vaporização (e for apenas para fusão), ocorrerá a soldagem por condução, que terá um mecanismo extremamente semelhante aos processos de soldagem convencionais, com o calor sendo dissipado lateralmente.

Assim, no primeiro caso então a forma do cordão será mais próxima de um furo, enquanto que no segundo, a forma será mais parecida com um "V".

Para aumentar a potência (e consequentemente a penetração), um recurso usado é a utilização de modo pulsado.

Neste modo, o equipamento fornece a potência em dois diferentes patamares, em um mecanismo semelhante ao MIG pulsado. Este mecanismo é bastante útil na soldagem de materiais como Al e Cu, que por serem extremamente reflexivos, e difíceis de soldar com este processo.

PARÂMETROS DE CONTROLE DO PROCESSO

Ao contrário dos demais processos de soldagem, com exceção do feixe de elétrons, o processo de soldagem por LASER apresenta parâmetros de controle em diferentes pontos. Estes pontos são apresentados a seguir.

PARÂMETROS DA FONTE LASER

Sem dúvida, a potência do feixe é o fator mais importante a ser considerado neste grupo, uma vez que, está diretamente ligado com a espessura máxima a ser soldada.

Além deste, é importante também conhecer o comprimento de onda da radiação emitida uma vez um mesmo comprimento de onda apresentará facilidade em soldar alguns materiais e dificuldade para outros.

O modo do feixe é a forma como a potência é distribuída ao longo do feixe.

O sistema ótico é o que determinará a diferença entre a potência gerada e a que efetivamente vai atingir a peça, uma vez que o feixe perde potência em cada espelho refletor utilizado.

Além disto, este sistema atua também na determinação do diâmetro do feixe na zona de interação.

Por último o modo de funcionamento do LASER determinará a potência máxima e a simetria do feixe.

MODO DO FEIXE

Para melhor determinar o diâmetro incidente, é necessário conhecer as características e estrutura do modo.

Na cavidade ressonante existem o modo axial e transversal, sendo que as ondas nos axiais circulam exatamente ao longo do eixo dos espelhos, nos transversos, as ondas giram circularmente a este eixo, refletindo indiretamente entre os espelhos.

No modo axial não há preocupação, pois estão todos no centro, já no transverso, tem muitas variáveis, para determinar este modo convencionou como TEM_{mn} (modo transverso eletromagnético), e a identificação dos dois dígitos "m" e "n" de como essa energia se distribui na figura abaixo tem-se como exemplo temos o TEM₀₀, com uma distribuição gaussiana, com a melhor qualidade de raio.

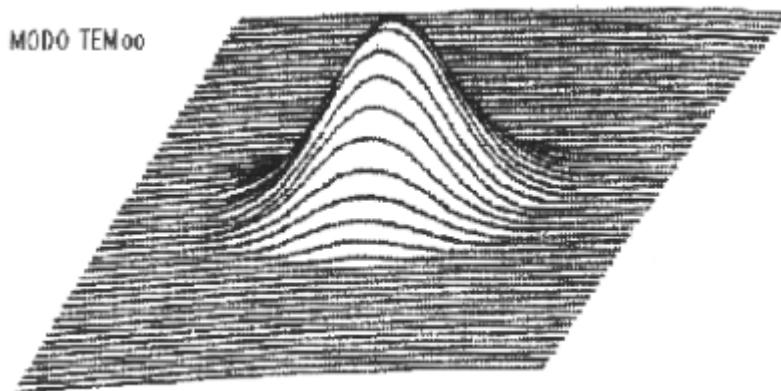


Figura 4 - Característica do Modo do Feixe

PARÂMETROS DO PROCESSO DE SOLDAGEM

As principais variáveis primárias independem do tipo de LASER e são as seguintes:

- Potência do Raio LASER
- Diâmetro do Raio incidente
- Absorção
- Velocidade de Soldagem
- Outros Parâmetros, como: Proteção gasosa, distância focal, pulso, geometria e abertura da junta

As variáveis secundárias são consideradas:

- Profundidade da Penetração
- Propriedade físicas e metalúrgicas.

Potência do raio LASER

A penetração é diretamente relacionada com a densidade de potência, a qual esta relacionada com a potência e o diâmetro do raio.

Para se medir a energia de saída da cavidade ressonante, usa-se calorímetros de corpos negros.

Diâmetro do raio incidente

É o parâmetro mais importante pois determina a densidade de energia, porém muito difícil de medir-se para altas potências de laser.

Consideremos uma distribuição gaussiana do feixe pois é o modo mais vantajoso TEM00, para uma determinação precisa, faz-se medições experimentais.

Absorção

A absorção é a que determina a eficiência do feixe de luz incidente na peça, qualquer cálculo da energia transferida para a soldagem laser é baseada na energia absorvida pela peça, para superfícies polidas determinou que absorção é proporcional a raiz quadrada da resistividade elétrica.

Outros fatores também influenciam, como a temperatura, qualidade da superfície, o gás de proteção, o que dificulta muito a determinação experimental, para ter-se uma idéia, a absorção para aços fica em 90% no estado fundido.

Velocidade de soldagem

Para uma dada potência, um decréscimo na velocidade de soldagem , origina um aumento da penetração.

Elevadas velocidades podem originar insuficientes penetrações, enquanto baixas velocidades conduzem a fusões excessivas do metal, provocando vaporização e perda de material com a consequente formação de defeitos, na figura abaixo mostra-se a influência da velocidade para diferentes potências de laser.

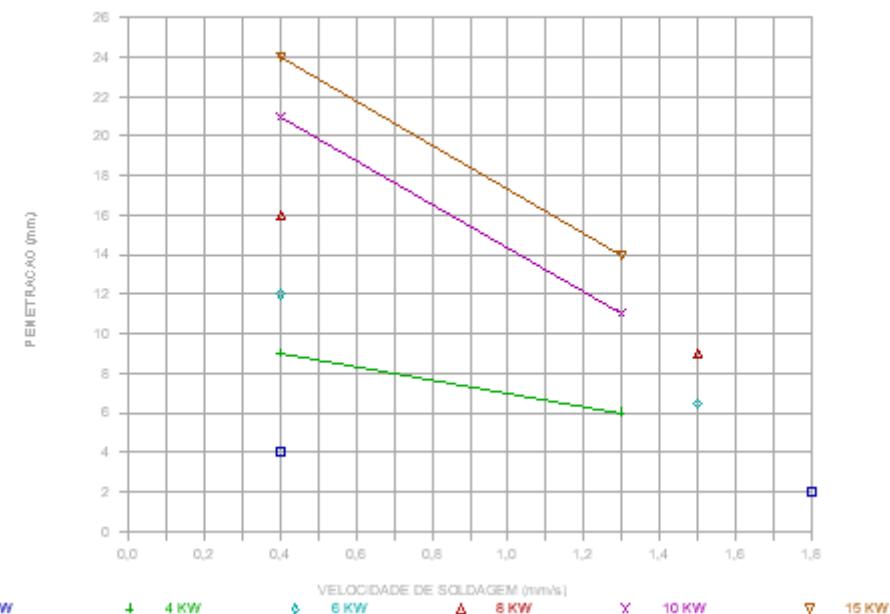


Figura 5 - Velocidade de Soldagem X Penetração para diferentes potências Laser Outros parâmetros

O Gás de Proteção

O gás de proteção serve para remover o plasma formado na fusão (ou vaporização) do material.

Caso não seja feita esta remoção, o plasma absorve e desvia o raio laser, sendo necessário remover o plasma formado.

O tipo de gás utilizado e seus diferentes potenciais de ionização, proporcionarão diferenças na interação feixe-materia, alterando a transferência da energia.

Nos casos de soldagem de materiais reativos como Ti, ou para soldagem onde partes da poça de fusão fiquem expostas sem proteção como soldagem de raiz, utiliza-se os mesmos mecanismos conhecidos nos processos MIG/MAG e TIG para proteções adicionais.

No processo LASER, para diferenciar do outro gás utilizado, este recebe o nome de gás de assistência. A composição e a vazão do gás influenciam na penetração.

A Posição Focal, é considerada como o máximo ponto de convergência do feixe, considera-se como um ponto ótimo 1 mm abaixo do nível da superfície da peça, mas pode variar dependendo da espessura a ser soldada.

O Pulso, muito empregado na soldagem, é usado principalmente para aumentar a penetração, os parâmetros de pulso são a duração, geralmente em ms, e a frequência de pulso em Hz.

PARÂMETROS DO MATERIAL E SUA PREPARAÇÃO.

A localização da peça a soldar na direção perpendicular ao feixe é extremamente importante pois a focalização do feixe faz com que este tenha sua densidade ótima em uma dada distância.

Fora dela, o feixe já não é tão concentrado e consequentemente, para a mesma potência, apresentará maior dimensão de sangria e menor penetração.

A configuração das juntas a ser soldadas e as tolerâncias dimensionais da preparação assumem fundamental importância neste processo, uma vez que, como o feixe é extremamente colimado, qualquer falha na preparação da junta a soldar fará com que o feixe passe pela falha sem interagir com a peça.

O material a ser soldado apresenta diferentes propriedades e entre elas a absorvidade do material é extremamente importante pois dará uma indicação para determinar quanto de radiação será refletida ou absorvida pelo material e com isto qual a potência de feixe necessária e se será pulsado ou não.

TÉCNICAS

APLICAÇÕES

A alta concentração do feixe proporciona uma radiação de excelente qualidade, que terá diversas aplicações entre as quais, apenas na área metal-mecânica podemos citar: corte e furação de materiais 60% (peças de geometrias complexas), soldagem 25% (ex. Baterias de Lítio), marcação 10% (instrumentos de medição), tratamento térmico de componentes (válvulas de motores de combustão) e demais utilizações 5%.

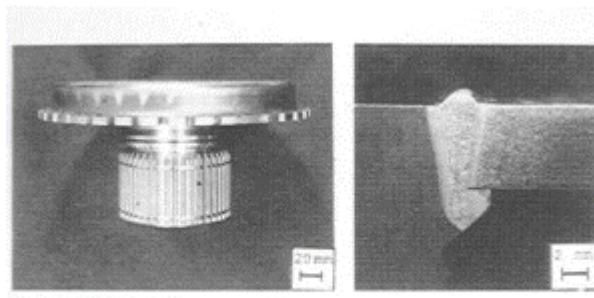
A soldagem a laser possui um aporte de energia muito concentrado, produzindo uma solda estreita e profunda.

A penetração é facilmente controlada pelo ajuste dos principais parâmetros, como: potência e taxa de pulso.

Fazendo isto é possível executar uma solda interna ou externa aos painéis do automóvel, sem distorções ou descoloração da parte externa do painel do mesmo.

Em algumas aplicações o uso do robô para laser de CO₂ tem propiciado uma movimentação e posicionamento sobre a peça de trabalho muito precisa.

Esta vantagem da soldagem com laser é que tem propiciado a popularização de sua utilização na indústria automobilística.



Truck transmission component and corresponding weld section

EBW-NV Weld Parameters: 24.5kW, 85mm/sec

O interesse em soldagem laser de chapas metálicas tem aumentado consideravelmente, devido possuir um alto potencial de redução de custos.

Algumas vantagens resultam da alta flexibilidade do processo, outras resultam da natureza do processo de não possuir contato com a peça, enquanto que outras advém do resultado de soldas de qualidade com altas velocidades.

Outros benefícios incluem o fato da inexistência de retrabalho.

O processo laser permite soldagem por um só lado, com isto abrem-se novas soluções em projetos.

Outra vantagem é a eliminação da flange de 15 mm necessário à soldagem por resistência. Isto pode causar redução de peso da ordem de 40 Kg em um corpo de um carro típico.

Acredita-se que será possível eliminar uma parcela significativa dos 2.000 a 4.000 pontos de solda a resistência por carro.

A flange não é necessário quando a soldagem laser é usada. Uma solda a laser contínua também aumenta a integridade estrutural.

A resistência da solda é usualmente maior que a resistência do metal base.

SOLDAGEM A LASER DE AÇOS GALVANIZADOS É VIÁVEL

A soldagem de topo de aços com revestimentos de zinco tem sido uma área estudada por alguns laboratórios.

Quando solda-se aços com revestimento a base de zinco, há a formação de um plasma muito forte, devido ao baixo ponto de fusão do zinco e a alta pressão de vapor.

O plasma formado afeta a absorção da energia envolvida na soldagem, com isto tem-se a formação e/ou aumento de respingos e porosidade na solda.

Soluções para estes problemas incluem controle da proteção gasosa e o controle da abertura entre as peças, uma das soluções é encontrar uma frequência de pulso para o raio laser, minimizar o efeito nocivo do plasma formado.

O método mais usual é o controle da distância entre as chapas a soldar, afim de que os vapores escapem pela zona de fusão.

PROBLEMÁTICA ENVOLVENDO APLICAÇÕES LASER

Enquanto as instalações de soldagem a laser continuam a aumentar em número, a mesma proporção de problemas aumentam também.

Alguns deles podem ser resumidos a seguir:

- Sistemas robotizados, ópticas flutuantes ou articuladas em braços de robôs, devem ser empregadas para guiar o raio laser, com sistemas de espelhos refletores. Fibras ópticas não podem ser usadas atualmente por laser de alta potência de dióxido de carbono.
- As juntas para o raio laser devem ter tolerâncias muito estreitas. A focalização do raio tem que ser normal à superfície e a posição da distância focal deve ser exata e durante todo o tempo deve ser mantida. Isto necessita um sistema de sensores de alta performance e em alguns casos também um sistema de sensoreamento por contato.
- O alto nível de automação requer produção em larga escala. É necessário mão-de-obra especializada.
- O alto custo do sistema de laser (está decaindo lentamente a razão de 7% ao ano), requer uma cuidadosa análise econômica, para os benefícios das aplicações oferecidas.
- A tecnologia enfrenta problemas de expansão devido ao alto investimento inicial comparado a processos convencionais, além disso os sistemas lasers são vistos como complexos e caros para se comprar e fazer a manutenção.

ASPECTOS ECONÔMICOS DA SOLDAGEM LASER

Os preços dos ressonadores laser tem diminuído, devido ao resultado positivo de desenvolvimentos técnicos e aumento de vendas.

O preço vem diminuindo a uma taxa de 6 a 7 % por ano.

Porém, o investimento total em uma estação de soldagem a laser, em alguns casos gira na faixa de US\$4 milhões para um laser de 5 eixos e potência de 6KW, com velocidades de soldagem de 8 m/min em chapa de 2 mm de espessura.

O custo horário deste investimento é baseado em vários fatores, que giram em torno de US\$400,00 por hora, sendo que 85% deste custo é o investimento feito no equipamento.

Usando estes exemplos é possível calcular o custo de um metro de solda.

O custo gira em torno de US\$2,50 incluindo mão-de-obra e custos de operação. Os preços variam de fabricante para fabricante, e são estimativas grosseiras de empresas suecas.

O custo de um laser de dioxido de carbono de alta potência, tem geralmente decrescido significativamente nestes ultimos cinco anos.

Os preços hoje disponíveis são menores que US\$50,00/W, é bom notar porém que, o custo do laser só, constitui metade do total do investimento.

CARACTERÍSTICAS

Antes de se entrar em contato com a utilização do LASER para soldagem, é importante compreender o principio físico deste processo.

Para isto, são necessários rever alguns conceitos de Físico-Química.

A matéria é uma associação de átomos, e como estes estão unidos em função de sua energia, a matéria é uma das formas de energia.

Do mesmo modo, a radiação eletromagnética é outra forma de energia, sendo que, seu comprimento de onda (0.4 a 0.8 ?m), ativa-nos o sentido da visão, causando-nos a sensação que chamamos de luz.

Para nós, esta sensação varia do vermelho ao violeta, de acordo com o comprimento de onda.

Assim, visualmente identificamos pela cor o comprimento de uma onda.

Entre a matéria e a radiação eletromagnética pode ocorrer interação mútua, de forma que uma onda eletromagnética pode perturbar o campo, ou seja, a distribuição de cargas de um átomo.

Esta interação porém, é função da probabilidade de ter-se o átomo, ou melhor seus elétrons, em um estado energético superior ao seu estado mínimo, que é o que chamamos átomo excitado.

Quando ocorre a interação energética, ocorre absorção de energia por parte do elétron do átomo, que com o aumento energético, passará de seu estado básico fundamental para um estado de maior energia.

Como o mecanismo é reversível, o elétron quando regressar a seu estado básico fundamental, restituirá esta energia na forma de emissão de fóton, como pode ser observado nas figuras a seguir.

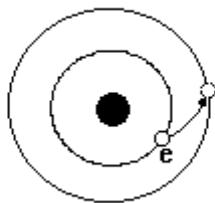


Figura 6 - Passagem do elétron para um nível superior de energia

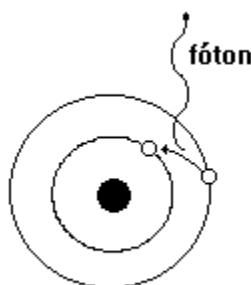


Figura 7 - Elétron excitado voltando a seu nível normal de energia, emitindo um fóton

A absorção de radiação por parte do átomo, é uma característica intrínseca deste, ou seja, é uma propriedade de forma que o define.

Alguns sofisticados testes de análise química do material partem deste princípio.

ESTRUTURA ATÔMICA

A estrutura de um átomo no modelo proposto por Bohr é identica ao sistema solar.

O núcleo do átomo, que mede entre 10-15 e 10-14 m de raio, seria o sol.

Os elétrons que medem aproximadamente 10-15 m de raio, seriam os planetas ocupando as diferentes órbitas em torno do núcleo, conforme seu nível energético e de acordo com a probabilidade conhecida como "coeficiente de Einstein".

Os elétrons giram extremamente rápidos com velocidades da ordem de 106 m/s, e quando estão na temperatura de zero Kelvin, encontram-se em seu nível energético mais baixo.

A grandeza média de sua órbita é de 10-10m (ou 1Å), e sua massa em repouso é de 9.3-31 Kg, que vem a ser 1840 vezes menor que a massa de cada componente do núcleo (prótons e neutrons).

EXCITAÇÃO

Quando aplicamos no átomo uma certa energia por aquecimento, descarga elétrica, radiação luminosa, reação química ou outra forma qualquer, aumentamos seu nível energético e consequentemente os elétrons passarão a girar em órbitas mais externas.

Este processo chama-se excitação e é a base para o funcionamento dos lasers.

EMISSÃO ESTIMULADA E EMISSÃO ESPONTÂNEA

O acréscimo energético causado pela excitação acabará sendo liberado de alguma forma pois o elétron sempre tende a voltar a seu nível energético original.

Esta liberação energética poderá ser através de colisões com outros elétrons ou mesmo átomos, ou ainda através da emissão de fótons.

Matematicamente, esta emissão fotônica traduz-se pela seguinte expressão

$$E = h * v$$

onde:

E = energia do foton

v = frequência de radiação emitida correspondente a radiação energética

h = constante de Plank (6.624-34 J*s)

O processo é muito semelhante com o decaimento de radioisótopos, porém em um tempo muito menor (fração de segundo).

O elétron volta a seu nível energético menor, após a liberação do fóton.

Esta emissão fotônica ocorre sempre que há retorno para níveis energéticos inferiores.

É o que chamamos de emissão espontânea.

Porém, esta emissão poderá ser criada, ou melhor, poderemos criar e condições para que ela aconteça.

Neste caso o nome dado é emissão estimulada.

A emissão estimulada ocorre quando tem-se um átomo excitado e este recebe o impacto de um fóton.

Este fóton pode ser proveniente de emissão espontânea.

Como este processo pode ser provocado (o aumento de energia pode causar a emissão espontânea e a excitação dos elétrons), tem-se a emissão provocada, ou como é denominada, emissão estimulada.

O fóton recebido causará a emissão de outro.

Este processo passa a ser interessante pois, um único fóton pode estimular a emissão de mais que um, caracterizando com isto um ganho real.

Porém para que isto ocorra, é necessário que tenha-se mais elétrons excitados do que não excitados.

A isto denomina-se inversão de população, que é descrito a seguir.

INVERSÃO DE POPULAÇÃO

Em condições normais, a distribuição da população de elétrons em função da energia ocorre da forma apresentada na figura abaixo.

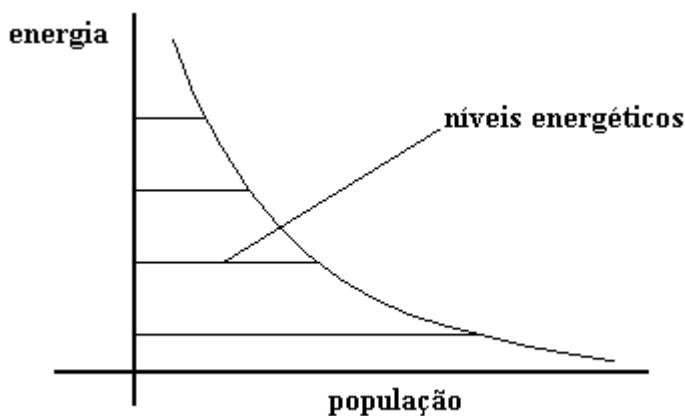


Figura 8 - Distribuição de população de elétrons X energia

Nestas condições, um fóton tem uma probabilidade muito maior de ser absorvido por um elétron de baixo nível energético.

Assim, só teremos emissão espontânea.

A inversão de população, necessária para a ocorrência da emissão estimulada, pode ser representada da forma mostrada na figura abaixo.

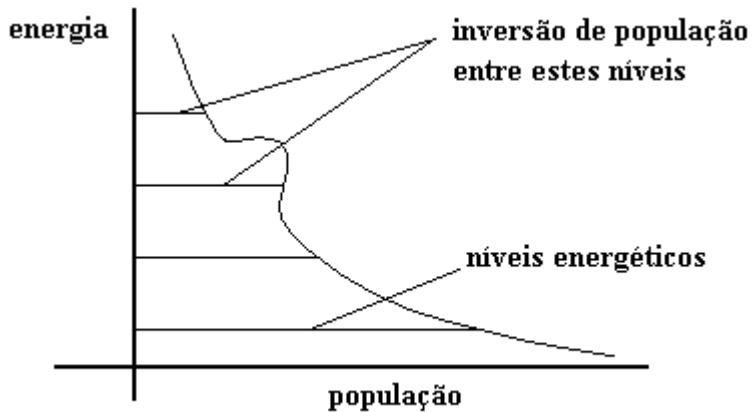


Figura 9 - Inversão de população X energia

Na condição mostrada, o fóton tem grande probabilidade de ser absorvido por elétrons do alto nível energético que liberarão outros fótons caracterizando o ganho ganho citado. Isto pode ser visto na Figura abaixo.

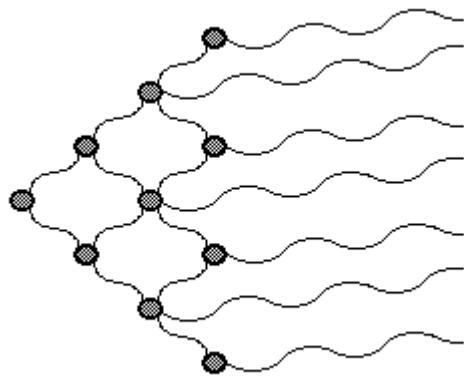


Figura 10 - Cadeia de excitação de elétrons

Entretanto, no mecanismo descrito, esta radiação na forma de fótons é emitida de modo desorientado e policromático, ou seja, sem direções particularmente privilegiadas e sem que o feixe apresente um comprimento de onda definido.

Estes passam a ser os principais problemas da construção do laser, que serão vistos a seguir.

OUTROS INFORMAÇÕES

VANTAGENS

- Aporte de Energia concentrado, minimiza os efeitos metalurgicos sofridos pela ZTA, e muito menos distorções.
- Soldagens em um único passe.
- Não requer metal de adição, sendo livre de eventuais contaminações por este.
- Como é um processo que não há contato com a peça, favorece a soldagem em locais de difícil acesso.
- Permite soldar peças muito finas, e em pequenas distâncias, entre cortes.
- O laser pode ser automatizado.

LIMITAÇÕES

- Baixa eficiência aproximadamente menos que 10%.
- Oferece dificuldade para mudar o ponto focal.
- O equipamento é de baixa potência.
- Limitação de espessura pela potência do equipamento.
- Problemas com refletividade em alguns materiais.
- As juntas tem estreitas tolerâncias de ajuste

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

RAMALHO, José e JOAQUIM, Roberto. Comparação entre LASER CO2 e Jato de

Água. Anais do 1º Congresso Mercosul de Soldagem. Caxias do Sul - RS – 1995

OLIVEIRA SANTOS, J. F e outros. "Processamento de materiais por Feixe de Electrões, LASER e Jacto de Água". Publicação do ISQ - Instituto de Soldadura e Qualidade - Lisboa 1991

RAMALHO, José . Notas de aula da disciplina Novas Tecnologias da Produção, do curso de pós-graduação em Engª Industrial. Lisboa – 1990

ARATA, Y. "LASER Welding". Technocrat nº5, volume 2 – 1978

GIMENES JR., Luiz, RAMALHO, José e JOAQUIM, Roberto Comparação entre os Processos Laser e Feixe de Elétrons Aplicado a Soldagem de Aços, Revista Tecnologia & Soldagem, set,out,nov/94

GIMENES JR., Luiz e TREMONTI, Marcos Antonio, Aplicações de Laser na Indústria Automobilística, Revista Soldagem & Materiais, Vol 2 no.4 1994