

# UM ESTUDO DO PROCESSO DE SOLDAGEM A LASER DE BLANKS AUTOMOTIVOS, COM E SEM REVESTIMENTO, NO AMBIENTE INDUSTRIAL VISANDO MELHORIAS INCREMENTAIS E REDUÇÃO DE CUSTOS

**Fabrcio Prieto Ladarío**

*fabrcio.ladarío@gmail.com*

Rio Negro Comércio e Indústria de Aço S.A., Av. dos Bandeirantes, 9000A, CEP 12031-020, Taubaté, SP, Brasil.

**Milton Sergio Fernandes de Lima**

*msflima@gmail.com*

Divisão de Fotônica, Instituto de Estudos Avançados (IEAv/CTA), Rodovia dos Tamoios, km 5,5, CEP 12228-001, São José dos Campos, SP, Brasil.

**José Carlos Magalhães**

**Laércio Franza**

**Dorival de Jesus Filho**

**Pedro Luiz Fogliene**

*jcmagalhaes@rionegro.ind.br*

Rio Negro Comércio e Indústria de Aço S.A., Av. dos Bandeirantes, 9000A, CEP 12031-020, Taubaté, SP, Brasil.

**Resumo.** *A soldagem a laser de blanks é um processo de fabricação maduro para a indústria automotiva. Usando a potência do laser é possível unir diferentes tipos de aço, diferentes espessuras, com ou sem camadas protetoras, com elevado nível de flexibilidade. Em comparação com os métodos tradicionais de soldagem, a soldagem a laser produz cordões de solda mais estreitos, permitindo melhor prevenção da corrosão e distorções térmicas mínimas. Embora o processo já tenha adquirido um alto grau de conhecimento industrial, alguns defeitos estocásticos, como porosidades e inconsistências, são verificados. Este estudo apresenta um estudo sistemático, dentro de condições reais de produção, para determinar a influência dos parâmetros do processo sobre os defeitos de soldagem e apresentar soluções. Primeiro, verifica-se que blanks galvanizados apresentam, em geral, menos porosidades no cordão que os blanks sem revestimento. Isto se deve a proteção do zinco na frente da poça de fusão. Segundo, foi elaborada uma carta de processamento que localiza as melhores condições onde a soldagem apresenta boa qualidade do ponto de vista da penetração e porosidades. A modificação dos parâmetros de processo permitiu diminuir a densidade de porosidades. Terceiro, uma modificação no bico do gás de proteção permitiu uma redução de mais de 25% no consumo do gás hélio. Isto mostra que um estudo do processo de soldagem permite aumentar a produtividade e diminuir custos, em relação ao rendimento obtido pelos parâmetros padrão das máquinas laser.*

**Palavras-chave:** *Laser, soldagem a laser, aço automotivo.*

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria de blanks automotivos soldados (*Tailor Welded Blank* - TWB) está em plena expansão. Virtualmente todas as montadoras de carros possuem aplicações de TWB e a taxa de crescimento das vendas de TWB varia entre 25% e 30% anuais nos Estados Unidos, Europa e Japão. Para estas empresas, os objetivos a serem alcançados continuamente são redução de custos, melhorias estruturais e redução no peso. Algumas empresas reconhecem as melhorias de acabamento como um objetivo maior, principalmente na soldagem de partes expostas do teto. Enquanto existem várias aplicações com soldas curtas (menos de 0,75m) de um passe, o crescimento se verifica na direção de produtos mais complexos e soldas mais longas. As principais empresas mundiais demandantes de TWB: GM, DaimlerChrysler, Volkswagen e Toyota, possuem aplicações de soldagem na parte interna da porta ou teto excedendo um metro de comprimento. Em outros casos, Mercedes, Volkswagen, e BMW preferem executar múltiplas soldagens em segmentos menores. De uma forma geral, as montadoras norte-americanas preferem uma única solda longa, enquanto empresas européias e japonesas preferem trabalhar com segmentos menores<sup>(1)</sup>.

Os lasers são a primeira escolha quanto à fonte de calor para aplicações de TWB. Atualmente existe um movimento significativo na direção de investigar as vantagens oferecidas pelas fontes de laser no estado-sólido (YAG, fibra ou disco) em detrimento aos lasers de CO<sub>2</sub>, quando os critérios de flexibilidade, entrega do feixe e custo de consumíveis são considerados. Com a queda contínua dos preços e o aumento das potências de feixe das estações com lasers no estado-sólido, existe um movimento claro do setor de serviços para testes de soldagem com as novas fontes. Vários fornecedores de primeiro nível (1st tier) no exterior, já declararam publicamente a vontade de trocar o tipo do ressonador laser para a nova geração de linhas de soldagem<sup>(2)</sup>.

No Brasil, os fornecedores de TWB são: Ferrolene, Galvasud para aços da CSN e Rio Negro para aços da Usiminas. O Brasil tem poucos fornecedores de TWB devido ao alto investimento inicial das estações de trabalho com laser e devido ao crescimento econômico pífio da economia nos últimos anos (média de 0,6% entre 1980 e 2000). No entanto, estas poucas companhias atingem níveis de qualidade similares ou superiores às companhias de TWB no exterior. Isto se deve, em grande parte, a mentalidade aberta das nossas empresas em incorporar inovações nos processos de soldagem, incluindo melhorias no processo de corte e manuseio das chapas, modificações na entrega do feixe e monitoramento em tempo real da soldagem.

No caso da soldagem de chapas planas a serem estampadas, a principal preocupação reside na estampabilidade do blank soldado. Uma vez que as propriedades mecânicas da solda, como ductilidade e tenacidade, são bastante diferentes do aço de base, são necessários ensaios que permitam inferir a qualidade da solda. Como existem dezenas de variáveis de processo que podem variar de uma solda para outra, a estampabilidade precisa ser medida continuamente durante a produção, separando-se um TWB em um número dado de soldas efetuadas. Quando ocorre um problema, este está associado a defeitos de processo, como penetração insuficiente, ou metalúrgicos, como porosidades e trincas<sup>(3)</sup>.

O processo de soldagem a laser envolve a focalização de um feixe de alta potência sobre uma pequena área do material, gerando intensidades acima de  $10^4 \text{ W.mm}^{-2}$ . Nestes níveis de potência, o material vaporiza no ponto focal do laser criando uma cavidade chamada *keyhole*. Esta cavidade ajuda a transmitir o feixe para dentro do material por reflexões múltiplas, o que aumenta o acoplamento entre o feixe e o material (aumento da absortividade). Para que o *keyhole* seja estável, a pressão de vapor deve se contrapor a tensão superficial e a pressão hidrostática do líquido nas paredes do canal. Conforme o feixe de laser se desloca para criar o cordão, o material é continuamente fundido na frente do feixe, fluindo ao redor do *keyhole* e solidificando-se na parte posterior da poça de fusão. As características intrínsecas à soldagem por penetração estabelecem os máximos e mínimos para a velocidade de processo: velocidades muito altas provocam o desabamento do *keyhole*, enquanto velocidades muito baixas causam rebarbas e furos pelo escoamento do líquido.

Os defeitos durante a soldagem por penetração têm sido estudados nos últimos anos. Katayama et al.<sup>(4)</sup> associaram a formação de poros durante a solda ponto de aços 316S ao desabamento do *keyhole*. Segundo estes autores, o líquido desaba sobre o *keyhole* e cria uma bolha no líquido próximo a raiz da solda. Se não há tempo suficiente para que a bolha suba à superfície, ela fica aprisionada no interior da solda criando uma porosidade. Estes resultados foram corroborados recentemente<sup>(5)</sup> por análises de simulação. Outra fonte de porosidades reside nos gases aprisionados no metal, na qualidade do metal de adição (não usado aqui), nos contaminantes superficiais e nos próprios gases de proteção.

O presente estudo analisa de forma sistemática as melhores condições de soldagem segundo dois parâmetros de processo, a velocidade e a potência do laser, para a obtenção de cordões sem defeitos. O trabalho é realizado sob condições industriais e, em alguns casos, fora das condições normais de operação para forçar o aparecimento de defeitos. Assim, se estabelecem as melhores condições para a soldagem. Também, o efeito do fluxo da proteção gasosa é analisado, para redução dos custos do processo.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os materiais utilizados no presente estudo são chapas de aço-manganês de baixo carbono (0,0016 C, 0,13 Mn %peso) com espessuras de 0,7 e 1,4mm. O comprimento da solda foi de 1 metro em todos os casos. Três tipos de acabamento superficial foram realizados:

- Chapas galvanizadas com 45g/m<sup>2</sup> de zinco;
- Chapas onde a camada de zinco foi retirada por lixadeira manual;
- Chapas sem revestimento.

Em cada ensaio, duas chapas com espessuras diferentes e com a mesma condição de superfície (limpas previamente com álcool isopropílico) foram soldadas em topo, em um passe, sem arame, utilizando uma estação de trabalho com laser CO<sub>2</sub> *Soudronic* LPQ-2200 com potência máxima de 8 kW. O diâmetro do feixe de laser sobre a peça é de cerca de 0,5 mm. As variáveis do processo foram a velocidade e a porcentagem da potência máxima do laser. Não foi possível determinar exatamente a potência do laser sobre a peça, pois não há espaço útil para a inserção de um potenciômetro, e foi então necessário confiar na fabricante do laser (*Trumpf*) que assegura os níveis de potência por um sistema de calorímetro interno.

Durante o processo de soldagem as chapas são comprimidas por meio de um sistema chamado *Souka*, de propriedade da *Soudronic*. Um conjunto de roletes aplica uma pressão que esmaga a maior secção (a placa mais espessa) enquanto comprime uma contra a outra, permitindo um melhor controle do espaço entre elas (*gap*). Para a proteção da área de solda, foi utilizado gás hélio puro, com bico de perfil circular (diâmetro interno de 4mm) e vazão indicada pelo fabricante (15l/min). A inclinação do bico de gás foi de 45° e a sua distância da peça ficou em 3mm. Os parâmetros das coordenadas X, Y e Z, foram iguais para todas as soldas deste trabalho.

As soldas obtidas foram analisadas por inspeção óptica, microscopia e ensaios de conformação *Erichsen*<sup>(6)</sup>. Em todos os ensaios, os corpos de prova analisados foram obtidos aproximadamente na metade da extensão da solda. A inspeção óptica oferece um índice de qualidade sobre a penetração e de porosidades abertas (furos passantes), os quais são evidentes na extensão do cordão. No caso da microscopia óptica, as amostras são obtidas longitudinalmente (o corte segue o meio da solda) e são observadas as fissuras e porosidades internas, quando elas existem. As amostras foram atacadas quimicamente com Nital 4%.

O ensaio de embutimento *Erichsen* é o único processo mundialmente normalizado para os ensaios de tenacidade da junta soldada<sup>(1)</sup>. O ensaio de embutimento serve para avaliar a capacidade de conformação das chapas, dentro dos limites impostos pelas condições de ensaio. O ensaio consiste em comprimir um punção esférico contra uma chapa, presa entre um suporte e uma matriz, até se obter uma ruptura. A profundidade de penetração deve ser medida como valor do embutimento. As normas aplicáveis para a análise dos ensaios são DIN 50101 e DIN 50102. Waddell et al.<sup>(6)</sup> indicam que o critério mais comum de aprovação em blanks de aço soldado é

quando a profundidade do embutimento sobre a solda está acima de 70% do valor da altura obtida sobre a chapa inteiriça. Este critério de conformabilidade é utilizado também neste estudo.

Também foram feitos ensaios de microdureza *Vicker* (HV) em cortes transversais dos blanks soldados. A carga aplicada foi de 50gf e o tempo de aplicação da força foi de 9s.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Presença de porosidades durante a soldagem

A presença de porosidades nas soldas é algo que ocorre esporadicamente, mas é incomum durante o processo de soldagem sob as condições que foram estudadas. Na Figura 1 são apresentados dois cortes longitudinais de cordões, onde foram induzidos defeitos. No caso da Figura 1a são porosidades internas ao cordão, as quais apenas são visíveis após o processo metalográfico e se refletem exteriormente por um baixo índice de conformabilidade (*Erichsen*) nos blanks soldados. Por outro lado, os furos como aqueles da Figura 1b são evidentes mesmo na inspeção visual.

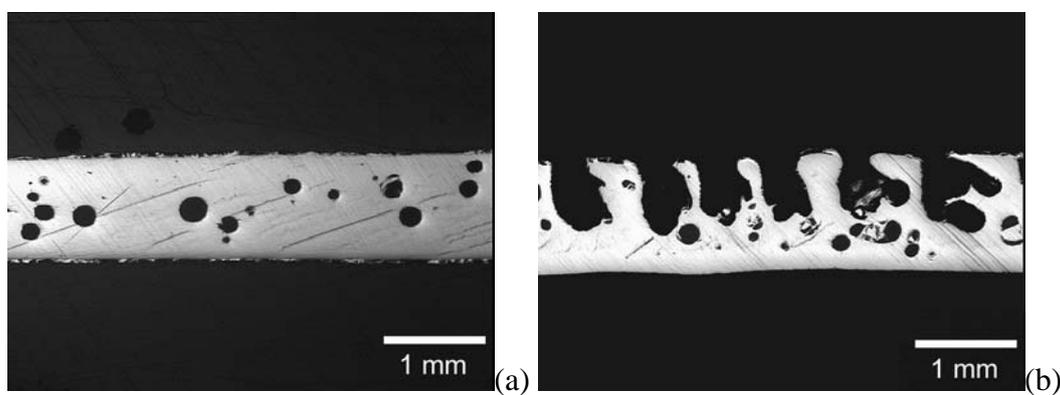


Figura 1 – Defeitos em soldagem. (a) porosidade interna e (b) furos.

O formato esférico das porosidades está ligado a captura e liberação de gases<sup>(7)</sup>. Nas condições de soldagem onde estes defeitos ocorrem a dinâmica do *keyhole* é instável e existe o desabamento da parede líquida sobre o vapor.

Tanto o tamanho dos poros quanto a sua distribuição permitiram controlar a qualidade da solda sob os índices aprovada ou reprovada. A norma aplicável foi a ISO 13919-1. Em termos dos tamanhos das porosidades foi utilizada a classe (B) mais restritiva possível, em acordo com as normas da empresa que realizou as soldagens, onde a solda fica reprovada caso o diâmetro do maior poro for superior a 30% da espessura da menor placa. Outro parâmetro que classifica a soldagem como reprovada é a distância mínima entre poros. Caso a distância entre um poro e outro, mesmo tendo sido aprovado no critério diâmetro, seja inferior a espessura da menor chapa, a solda é reprovada. Considerando os critérios acima, a Figura 1 apresenta duas soldas reprovadas em ambos quesitos.

#### 3.2 Carta de processo

O processo de soldagem só ocorre em condições muito particulares, sendo sempre necessário verificar se as condições de serviço estão dentro da janela de processo. Uma janela de processo típica de um laser contínuo associa duas variáveis de processo com uma determinada qualidade do cordão. O estudo das cartas de processo para três casos: sem revestimento de zinco, com revestimento e com a superfície lixada depois do revestimento, são apresentados a seguir. Nestes casos, dois tipos de cartas são apresentadas para cada condição de superfície e para duas variáveis no bico do gás de proteção: i) conformabilidade segundo o ensaio *Erichsen* e ii) qualidade segundo a inspeção visual e por metalografia óptica. No caso da conformabilidade foi calculado um valor porcentual entre a penetração da junta soldada pela penetração da chapa inteiriça. No critério

qualidade, quatro opções são possíveis: aprovado, reprovado por poros, reprovado por furos ou reprovado por falta de penetração.

### 3.2.1 Sem revestimento

A Figura 2 apresenta os resultados das chapas sem revestimento soldadas segundo: (a) conformabilidade e (b) qualidade da solda. Verifica-se na Figura 3 que a região onde os ensaios de conformação obtiveram índices superiores a 70% se estende na transversal desde 50%P/5mm.s<sup>-1</sup> até 90%P/8mm.s<sup>-1</sup>. A qualidade da solda (Fig. 3b) também reflete esta tendência com uma região relativamente larga, centrada em 65%P/6mm.s<sup>-1</sup>.

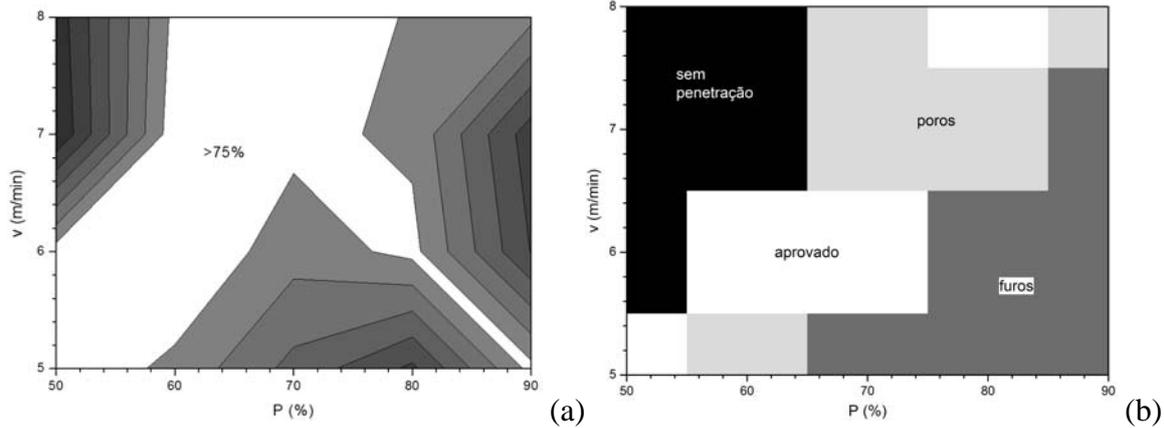


Figura 2 – Resultado dos ensaios realizados na solda da chapas sem revestimento soldadas: (a) conformabilidade e (b) qualidade.

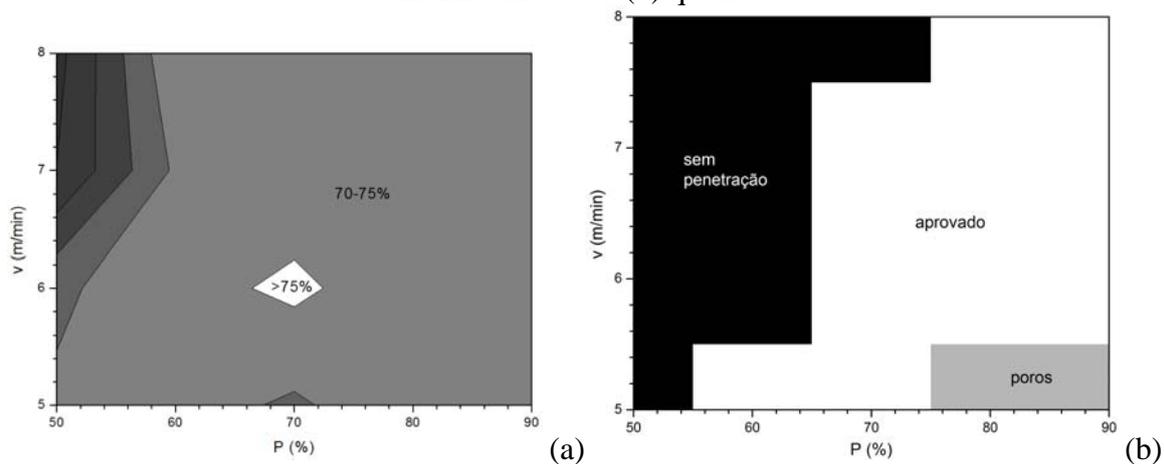


Figura 3 – Resultado dos ensaios realizados na solda da chapas com revestimento soldadas: (a) conformabilidade e (b) qualidade.

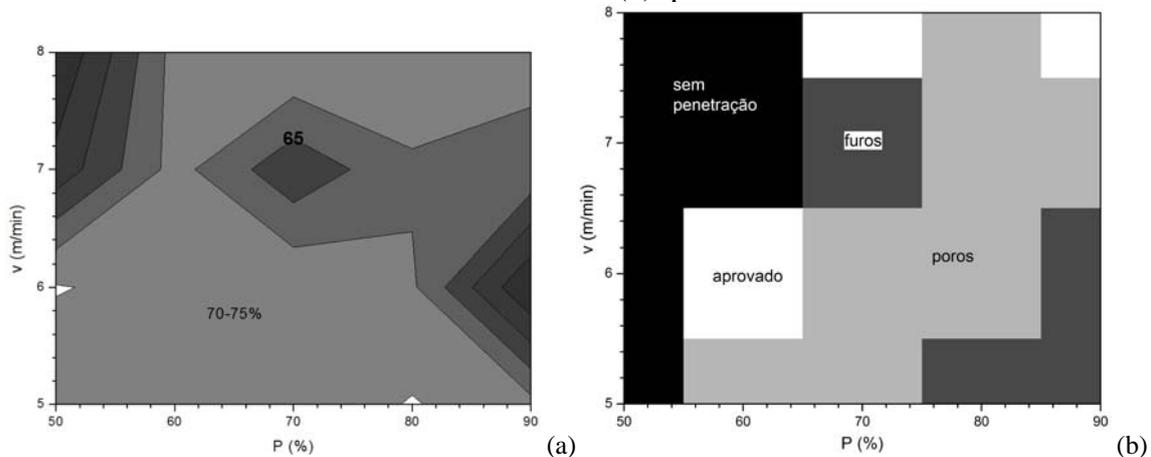


Figura 4 – Resultado dos ensaios realizados na solda da chapas lixadas e soldadas: (a) conformabilidade e (b) qualidade.

### 3.2.2 Com revestimento

A Figura 3 apresenta os resultados das chapas com revestimento de Zn soldadas segundo: (a) conformabilidade e (b) qualidade da solda. Verifica-se na Figura 4a que a região onde o resultado do teste *Erichsen* apresenta performance de 70% ou superior toma praticamente todo o diagrama. Observando a Figura 4b, pode-se dizer que a conformabilidade da solda foi inferior apenas onde a penetração do cordão não foi suficiente. Ainda na carta de qualidade (Fig. 3b) observa-se um região de porosidade em altas potências/baixas velocidades. Nestes casos, a intensidade do feixe deve ter diminuído muito a viscosidade do líquido nas paredes do *keyhole*, com o conseqüente desabamento e retenção de poros.

### 3.2.3 Lixadas

A Figura 4 apresenta os resultados das chapas com revestimento de Zn, mas que foram lixadas para a sua eliminação, e soldadas segundo: (a) conformabilidade e (b) qualidade da solda. A eliminação da camada de Zn por lixamento e a posterior soldagem aparentemente pioram a situação tanto do ponto de vista da conformabilidade da solda quanto da sua qualidade. Comparando-se a Figura 4a com as Figuras 2a e 3a, observa-se claramente uma diminuição nos índices do ensaio *Erichsen* nos quais a conformabilidade está acima de 70%. Ademais existe uma faixa de propriedades reprovadas no meio da carta de conformabilidade, centrada em cerca de 70%P/7 mm.s<sup>-1</sup>. Também na carta apresentada na Figura 4b fica evidente a perda da qualidade quando a chapa é lixada, em comparação com as chapas revestidas ou não com Zn.

### 3.3 Microdureza

A Figura 5 mostra um perfil de entalhes de microdureza *Vicker* (HV) de uma solda realizada a 7m/min com 70%P em chapas revestidas. A região da solda sempre se apresenta mais dura que as chapas independentemente da condição da superfície, conforme mostra a Figura 6. Enquanto tanto a chapa grossa quanto a fina possuem microdurezas da ordem de 130HV, a região soldada chega a 270HV, com média de 235HV.

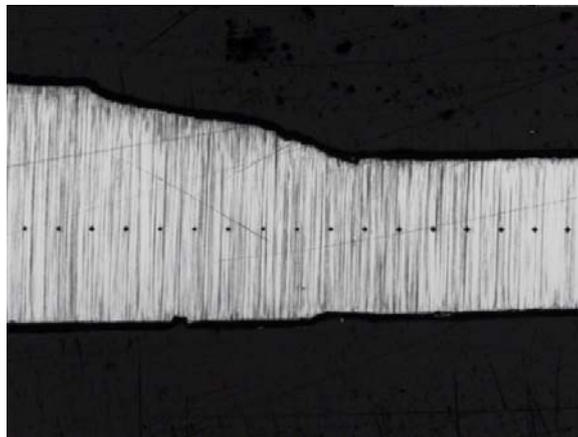


Figura 5 – Marcas das pirâmides de microdureza *Vicker* sobre um perfil transversal de uma solda.

### 3.4 Entrega de gás de proteção

Os resultados apresentados até agora foram realizados com as condições fornecidas pelo fabricante do equipamento de soldagem (bico circular de 4mm e com fluxo de 15l/min). Agora, uma nova variável será introduzida: o formato do bico do gás de proteção, feito especialmente para este estudo. Estes estudos da entrega do gás foram realizados nas chapas revestidas. Aqui foram feitas duas modificações na forma do bico de entrega de gás de proteção: i) foi usado um outro tubo com mudança no diâmetro interno (diâmetro de 3mm). ii) este mesmo bico, foi esmagado em uma das extremidades de forma a produzir uma secção transversal aproximadamente retangular. Para se manter os mesmos níveis do número de Reynolds, o fluxo foi reduzido de 15l/min para 11 l/min.

A Figura 7 apresenta os resultados das chapas com revestimento de Zn soldadas com o bico de gás circular com diâmetro interno modificado, segundo: (a) conformabilidade e (b) qualidade da solda. Tanto os ensaios de conformabilidade quanto a qualidade da solda mostram resultados melhores do que aqueles obtidos quando as chapas foram soldadas com o bico recomendado pelo fabricante. Excluindo-se as condições onde normalmente a penetração não é completa, a maioria da faixa estudada, entre 65 e 90% de potência e 6 e 9m/min, apresentam resultados satisfatórios.

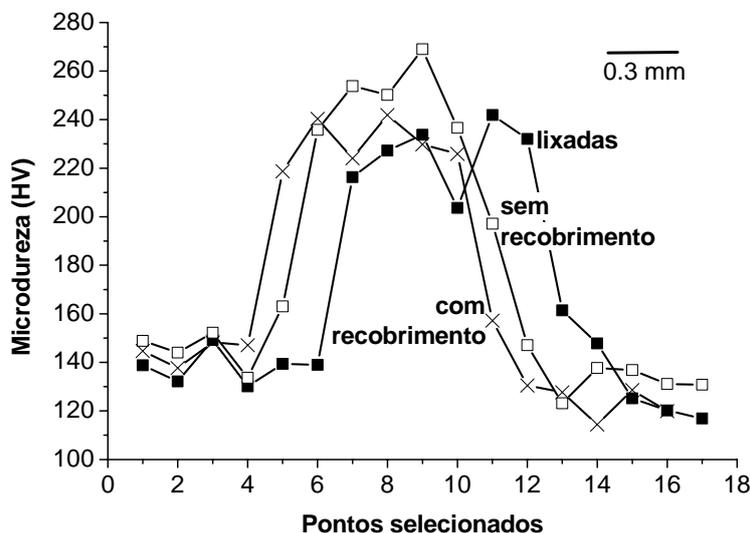


Figura 6 – Perfil de microdureza *Vicker* sobre uma solda e adjacências em diferentes condições de acabamento das chapas.

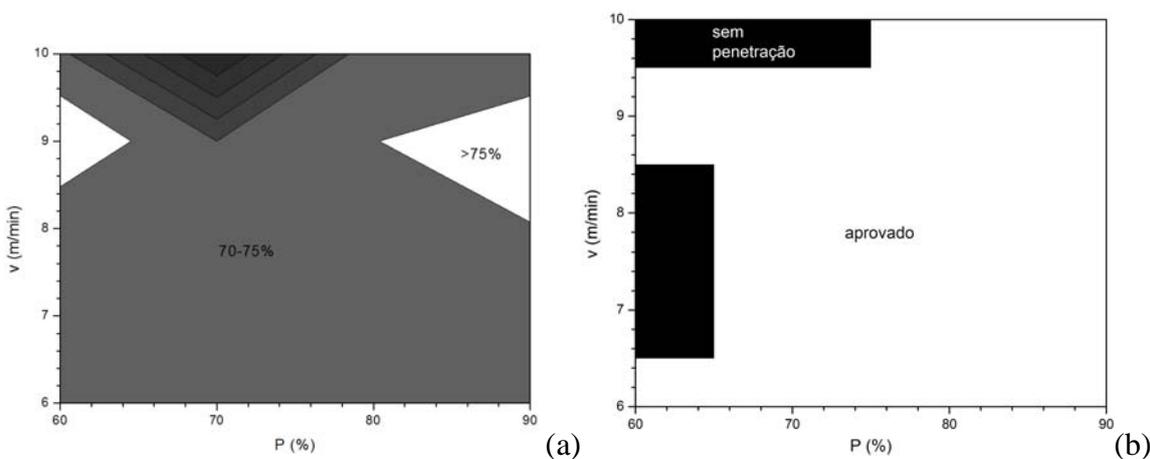


Figura 7 – Resultado dos ensaios realizados na solda da chapas revestidas soldadas com bico de diâmetro modificado: (a) conformabilidade e (b) qualidade.

A Figura 8 apresenta os resultados das chapas com revestimento de Zn soldadas com o bico de gás ovalado, segundo: (a) conformabilidade e (b) qualidade da solda.

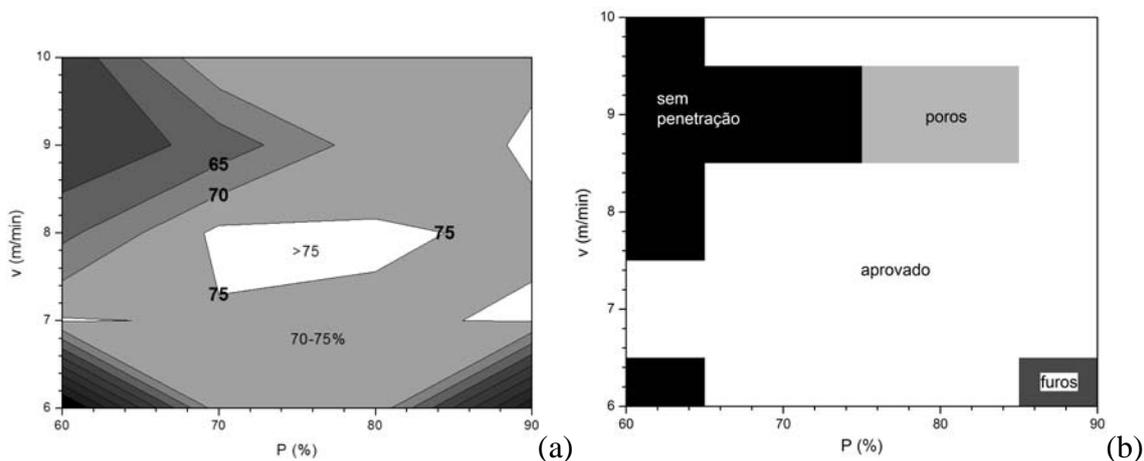


Figura 8 – Resultado dos ensaios realizados na solda da chapas revestidas soldadas com bico ovalado: (a) conformabilidade e (b) qualidade.

### 3.5 Discussão geral

Através das cartas de *Erichsen* e soldabilidade, pode-se observar que existem regiões que apresentam valores aceitáveis segundo a norma NBR 5902 (Determinação do índice de embutimento em chapas de aço pelo método de *Erichsen*), mas pode ser reprovada no critério qualidade, um exemplo, está na Figura 2, na condição 65%P/7mm.s<sup>-1</sup>. Se sobrepostas, as cartas *Erichsen* e soldabilidade, pode-se otimizar o processo, para a produção de blanks soldados a laser e trabalhar em regiões que apresentam as melhores condições de cada carta (Figura 8, 75%P/7,8mm.s<sup>-1</sup>), pode-se também trabalhar com potência e velocidade elevada, sem comprometer a qualidade do produto fornecido ao cliente, além de diminuir o tempo de produção e o prazo de entrega (Figura 3, 90%P/8mm.s<sup>-1</sup>). Isto equivale, na prática, a um aumento de 14% na produtividade por blank.

Os blanks galvanizados apresentaram soldabilidade melhor, se comparados com os outros blanks aqui estudados. Isso ocorre porque o Zinco (Zn) presente na superfície dos blanks, funde e evapora antes que o próprio aço venha a se fundir, atuando assim como um escudo a oxidação. Nos ensaios realizados de soldagem interrompida, onde o feixe é desligado no meio do blank, Figura 9, fica evidente o borbulhamento do Zn defronte a poça de solda .

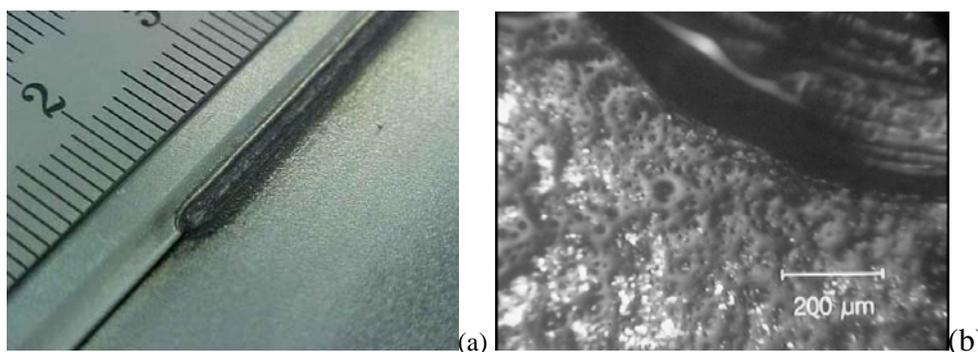


Figura 9 – Fotos obtidas após o ensaio de soldagem interrompida, mostrando o aspecto geral do cordão (a) e detalhe mostrando a condição da camada de Zn (b).

Para os três blanks, os valores de microdureza, foram semelhantes. Pode-se observar um aumento da dureza, a medida que aproxima do ZTA (zona termicamente afetada) e o valor máximo de dureza foi encontrado no interior do cordão de solda. Este comportamento de dureza é considerado normal para juntas soldadas a laser, onde a microestrutura da ZF (zona fundida) é constituída por martensita e bainita superior. O fato de se verificar valores de HV similares em condições diferentes de acabamento superficial mostra uma consistência entre as microestruturas obtidas. As amostras apresentaram uma macroestrutura homogênea no cordão de solda, sendo esta região formada por grãos colunares direcionados para a superfície superior do material soldado.

Vários parâmetros podem ser alterados em uma estação de solda a laser, entre os mais importantes podemos destacar: velocidade, potência, focalização e gás de proteção. Com o aumento da velocidade, a produtividade melhora, porém há uma diminuição na largura do cordão e dependendo da velocidade não haverá penetração da solda, para que haja penetração a potência deve ser aumentada, podendo gerar respingos além de aumentar ainda mais a dureza no cordão, o que nem sempre é vantajoso para blanks que serão estampados. O gás de proteção tem um fator importante, pois protege o material fundido da oxidação, cria uma atmosfera inerte na região no momento da solda e minimiza o efeito do plasma. O hélio é o melhor gás para soldagem do aço com laser de CO<sub>2</sub> devido ao seu alto potencial de ionização e sua alta condutividade térmica, permitindo manter a transparência do plasma. Porém este gás possui um custo elevado, então foi estudada a possibilidade da diminuição do diâmetro interno do bico de entrega do gás e de outro bico com geometria de saída aproximadamente retangular. Sem afetar no tipo de escoamento, foi diminuída a vazão, de 15 para 11 l/min, gerando economia no gás hélio em cerca de 25%. Os resultados foram satisfatórios e estão sendo aplicados atualmente.

#### 4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizado um estudo sistemático do processo de soldagem de blanks de aço C-Mn em diferentes condições de acabamento superficial e sob a perspectiva da influência da potência e velocidade de soldagem sobre a qualidade e conformabilidade da solda. Foram encontradas regiões onde a solda se apresenta de boa qualidade (sem poros e com penetração suficiente) e conforme a norma NBR 6902 no que tange aos ensaios *Erichsen*. Viu-se que existe espaço para um aumento da produtividade da soldagem aumentando-se a velocidade e potência no processo, conservando tanto a conformabilidade quanto a qualidade da solda. De uma forma geral, os blanks revestidos com zinco apresentam uma área de aprovação superior aos blanks não-revestidos ou lixados. A hipótese levantada é a que o Zn protege o aço de oxidação, evaporando-se pouco antes da criação da poça de fusão, sem contaminar a solda. Os ensaios de microdureza indicam que, independentemente do revestimento, a microestrutura das soldas é aproximadamente a mesma. Também foi visto que o consumo de gás pode ser reduzido em 25% com a modificação do bico de injeção.

#### 5. REFERÊNCIAS

1. TWBPT - TAILOR WELDED BLANK PROJECT TEAM. **Tailor welded blank applications and manufacturing: a state-of-the art survey**, Relatório técnico do Auto/Steel Partnership, 2001, 91p.
2. BELFORTE, D. Tailor blank welding in Europe. **Industrial Laser Solutions**, USA, v. March, 2002. Disponível em <<http://ils.pennnet.com/home.cfm>>. Acesso em: 23/08/2006.
3. CHUNG, B.G. et al. The effect of shielding gas types on CO<sub>2</sub> laser tailored blank weldability of low carbon automotive galvanized steel. **Materials Science and Engineering A**, USA, vol. 272, n. 2, p. 357-362, 1999.
4. KATAYAMA, S. et al. Pulse shape optimization for defect prevention in pulsed laser welding of stainless steels. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLICATIONS OF LASERS AND ELECTRO-OPTICS (ICALEO), 1993, p. 487-497.
5. ZHANG, W.H., **Modeling the formation and collapse of a keyhole during laser welding process**, 2002, 141f. Tese (Ph.D.), University of Missouri-Rolla, USA, 2002.
6. WADDELL, W. et alli. Forming and performance of tailor welded blanks. In EXPLOITATION OPPORTUNITIES FOR LASER CUTTING AND LASER WELDING OF STEEL, 1998, Birmingham, The Institute of Materials, London, U.K, 1998. p. 1-10.
7. KATAYAMA, S. et alli. Elucidation of laser welding phenomena and porosity formation mechanism. **Transactions of the Japanese Welding Research Institute**, vol. 23, n. 1, p. 1-3, 2003.

# **A LASER BEAM WELDING STUDY FOR AUTOMOTIVE BLANKS, WITH AND WITHOUT COATING, UNDER INDUSTRIAL ENVIRONMENT AIMING INCREASE PRODUCTIVITY AND REDUCE COSTS**

**Fabrcio Prieto Ladarío**

*fabricio.ladario@gmail.com*

Rio Negro Comércio e Indústria de Aço S.A., Av. dos Bandeirantes, 9000A, CEP 12031-020, Taubaté, SP, Brasil.

**Milton Sergio Fernandes de Lima**

*msflima@gmail.com*

Photonics Division, Institute for Advanced Studies (IEAv/CTA), Rodovia dos Tamoios, km 5,5, CEP 12228-001, São José dos Campos, SP, Brazil.

**José Carlos Magalhães**

*jcmagalhaes@rionegro.ind.br*

Rio Negro Comércio e Indústria de Aço S.A., Av. dos Bandeirantes, 9000A, CEP 12031-020, Taubaté, SP, Brasil.

**Laércio Franza**

**Dorival de Jesus Filho**

**Pedro Luiz Fogliene**

***Abstract.** Laser blank welding is a mature technology for the automotive industry. Using laser beam power, it is possible to join different types and thicknesses of steel, coated or uncoated, with high flexibility. Compared to the conventional welding process lasers produce narrower weld beads allowing enhanced corrosion prevention and minimizing thermal distortions. Although the process has already obtained high degree of industrial knowledge, some welding defects such as porosities and inconsistent penetration still occur. This study intends to present a systematic study, under a real industrial environment, about the effect of the process parameters on the defect generation and present some solutions. First, galvanized steels welding generally presented less porosity than uncoated blanks. This was associated to a Zn protection of the region just ahead the fusion zone. Second, the weldability processing charts, linking porosities and penetration depth to the welding speed and laser power, were established. The use of these charts allowed decreases the appearance and the density of porosities in the welds as well as increase the productivity. Third, a modified protection gas nozzle decreased the helium consumption by 25%. This clearly shows that a systematic study of the laser blank welding process permits increase productivity and reduces costs in comparison with standard equipment parameters.*

***Keywords:** Laser, laser beam welding, laser blank welding, automotive steel.*