

ESTUDO DO EFEITO DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE CHAPAS OBTIDAS PELO PROCESSO DE TAILOR WELDED BLANKS: UMA ABORDAGEM TEÓRICA

Etienne Pereira de Andrade

Guilherme Souza Assunção

Alexandre Queiroz Bracarense

Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica (PPGMEC) – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha – Belo Horizonte – MG, CEP 31270-901

etieneandrade@ufmg.br; guilhermeassuncao@ufmg.br; bracarense@mbweldworks.com

Wellington Augusto dos Santos

FCA FIAT CHRYSLER AUTOMOVEIS BRASIL LTDA (Stellantis South America), Avenida Do Contorno, 3.455, Distrito Industrial Paulo Camilo, Betim - MG, CEP 32669-900 MG

wellington.santos1@stellantis.com

Resumo: A indústria automobilística passa por constantes avanços, que permeiam desde os materiais utilizados a seus métodos e processos de fabricação. Busca-se segurança e eficiência. A fim de conciliar resistência mecânica à redução de massa, surge o Tailor Welded Blank (TWB): chapas de diferentes especificações (material, espessura e/ou revestimento), soldadas a topo, antes da conformação. Embora possam ser utilizadas diferentes técnicas de união, a soldagem a laser é a mais aplicada. Considerado relativamente recente, com aplicação em larga escala a partir dos anos 2000, o TWB tem como desafio a otimização da soldagem. A maioria dos trabalhos publicados foca, muitas vezes, apenas na melhoria da conformação. Há uma carência de pesquisas no que tange à análise dos parâmetros de soldagem e seu impacto nas propriedades mecânicas e no comportamento dos TWBs. Como neste caso a soldagem antecede a conformação, é fundamental compreender seus impactos na microestrutura do material e em seu comportamento mediante diferentes processos de fabricação. Este trabalho visa elaborar uma análise teórica sobre os diferentes parâmetros da soldagem a laser (velocidade, potência, distância focal, vazão do gás de proteção e tipo de laser) e sua influência no comportamento mecânico de chapas obtidas pelo processo de TWBs. Foram pesquisados diferentes artigos, na plataforma “Google Scholar”, filtrando-se o período de publicação entre 2018 e 2022, excluindo-se patentes e citações. Após leitura de resumos, consolidou-se uma base com diferentes trabalhos. Focou-se em relevância, metodologia, procedimento experimental e aderência dos resultados ao objetivo desta pesquisa. Constatou-se que ao se aumentar a velocidade de soldagem, o tempo necessário para completa fusão do material e dissipação de calor localizada pode ser insuficiente, ocasionando defeitos que levarão à falha do TWB na conformação. Ao se reduzir demasiadamente essa velocidade, perde-se em tempo e execução de projeto. Quanto à potência, quanto maior, mais se funde material e se dissipa calor; no entanto, mais se demanda do equipamento, o que pode reduzir sua vida útil. Com relação à distância focal, deve ser tal que permita a focalização do eixo incidente com menor índice de perdas de calor e maior eficiência do processo. A vazão do gás de proteção e o tipo de laser não influenciam no comportamento, caso o aporte térmico seja mantido. Não há um valor específico e determinado dos referidos parâmetros para todo e qualquer tipo de laser e/ou material: cada aplicação deve ser avaliada, sendo os testes feitos, muitas vezes, de forma empírica e experimental.

Palavras-chave: Tailor Welded Blank; Soldagem a laser; Caracterização mecânica; Otimização do processo

1. INTRODUÇÃO

A demanda por processos sustentáveis de produção, tecnologias mais eficientes e mecanismos de otimização no ramo industrial é crescente. Isso não é diferente quando se trabalha com automóveis: as pesquisas nesse meio envolvem desde motopropulsores elétricos e híbridos a novos materiais e tecnologias produtivas. O foco é atender demandas mais restritivas de emissão de poluentes e de consumo energético e de combustível. Busca-se materiais e processos que sejam capazes de conferir à carroceria automotiva mais segurança, desempenho estrutural e leveza, simultaneamente (BANDYOPADHYAY *et al.*, 2017; SU *et al.*, 2020; BUSTO *et al.*, 2021). Mas, mesmo que se trabalhe com diferentes materiais e métodos de união, os aços ainda são os metais mais usados na carroceria e a soldagem, em suas diferentes formas, o processo mais aplicado (KHAN; RAZMPOOSH; BIRO; ZHOU, 2020).

Para automóveis de passageiros, uma redução de peso de 10 % reduz o consumo de combustível em cerca de 6 a 7 %, com consequência direta de uma redução das emissões de CO₂ (BARBIERI *et al.*, 2016). Ao reduzir o peso, pode-se fazer mais 0,43 km/litro a cada 68 kg de redução (ANGGONO *et al.*, 2017; SURESH, 2018; BOBADE; BADGUJAR, 2017). Ainda que se reforce apenas as regiões de maior solicitação mecânica, o acréscimo de massa ainda é prejudicial à eficiência energética do veículo. Uma das maneiras de conciliar redução de massa ao desempenho estrutural é utilizar o processo de fabricação por Tailor Welded Blanks (TWBs), conforme apontado em estudos recentes (MARATHE; RAVAL, 2019; KHAN; RAZMPOOSH; BIRO; ZHOU, 2020; WANG; LIU; WANG; ZHOU, 2021). TWBs consistem basicamente em fabricar *blanks* semiacabados, compostos por ao menos duas chapas distintas (em termos de material, espessura, revestimentos e/ou propriedades físicas e químicas), antes da etapa de conformação final para obtenção do produto acabado (ANDRADE *et al.*, 2019).

Embora possam ser adotados inúmeros processos de união, a fim de reduzir a extensão das Zonas Termicamente Afetada (ZTA) e Fundida (ZF) e minimizar tensões residuais, o mais utilizado é a soldagem a laser (*Laser Beam Welding* - LBW) (XING; ZHAN; GAO; LI; DONG; HE, 2020; CARLONE; ASTARITA, 2019). A LBW tem sido amplamente utilizada para produzir peças estruturais em TWB, como pilar A, pilar B e reforços (SALLEH *et al.*, 2019), sendo que a qualidade da solda obtida é fortemente caracterizada pela geometria do cordão, o qual é denominado tecnicamente de linha de solda (*Weld Line* – WL), em função de suas reduzidas dimensões. Os TWBs permitem controle mais preciso da localização das propriedades requeridas de projeto durante o desenvolvimento. Antes de sua invenção, dois *blanks* diferentes eram conformados usando matrizes separadas e, em seguida, eram soldados. A soldagem antecede a conformação, que pode ser feita em uma única matriz, reduzindo custos e complexidade (LI; YU; HE; LI; LI; LI, 2019).

É importante encontrar abordagens para melhorar a ductilidade e a resistência mecânica das juntas soldadas de Tailor Welded Blanks, permitindo a conformação de peças com geometrias cada vez mais complexas (SONG; YU; YU; ZHAO, 2017). Nesse contexto, estudos de projeto de experimentos (DOE – *Design Of Experiments*), baseados em análise de variância (ANOVA – *Analysis Of Variance*) são realizados para encontrar o efeito dos parâmetros de soldagem em diversos aspectos, que vão desde o comportamento mecânico à movimentação e orientação da linha de solda. Pode-se trabalhar, em alguns casos, com o software estatístico MINITAB®.

O presente estudo firma-se, portanto, na necessidade de se desenvolver procedimentos metodológicos, com embasamento científico e teórico, para otimização do processo de soldagem a laser de TWBs. Tem-se por objetivo elaborar uma análise teórica sobre os diferentes parâmetros da soldagem a laser (velocidade, potência, distância focal, vazão do gás de proteção e tipo de laser) e sua influência no comportamento mecânico de chapas obtidas pelo processo de TWBs.

2. METODOLOGIA

O presente artigo trata-se de um trabalho de revisão bibliográfica. O referencial teórico conterá os seguintes tópicos: Soldagem a laser; Otimização de parâmetros da soldagem a laser; Tailor Welded Blanks; Soldagem de Tailor Welded Blanks; Efeito dos parâmetros de soldagem a laser no comportamento mecânico de Tailor Welded Blanks.

A busca por artigos para escrever esta pesquisa teve como principal filtro (salvo exceções), trabalhos publicados após o ano de 2018. As bases de dados utilizadas foram a plataforma acadêmica de buscas da Google (*Google Scholar*), o serviço de periódicos Elsevier® e a plataforma CAPES da Comunidade Acadêmica Federada (CAFE).

Os artigos selecionados para compor o trabalho foram avaliados primeiramente com base em seu resumo. As expressões chave usadas na busca foram “*Laser Welding*”, “*Tailor Welded Blanks*”, “*Optimization of Laser Welding*”, “*Tensile Tests for Tailor Welded Blanks*”. Foram aplicados filtros para que os trabalhos avaliados datassem a partir de 2018, sendo excluídas patentes e citações. Buscou-se que cada trabalho selecionado pudesse corroborar com as hipóteses inicialmente levantadas, a saber:

- O aumento de velocidade gera ganhos de produtividade, mas prejudica a qualidade e o desempenho da solda (PRABAKARAN; KANNAN, 2019);
- O aumento de potência permite que se aumente a velocidade sem perdas de qualidade, mas pode alterar o tempo de ciclo e a vida útil do equipamento de soldagem (KUMAR *et al.*, 2020; SILVEIRA, 2012);
- A distância focal reflete na propagação do eixo incidente e na área útil para troca de calor, influenciando a extensão da ZTA e o modo de soldagem (condução ou *keyhole*) (MAGALHÃES *et al.*, 2018).

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Soldagem a laser

Em 1960, o primeiro laser foi desenvolvido pelo americano Theodore Maiman. O material do protótipo era um cristal de rubi (cristal de Al₂O₃ com Cr₂O₃, que tem um nível de energia metaestável apropriado) no qual o efeito do laser atuava e para excitação era usada uma luz estroboscópica (KOVACS, 2018). Em função da possibilidade de se direcionar a energia do feixe de laser para fundir materiais, uma de suas aplicações é a soldagem. Esse processo, conhecido como LBW (*Laser Beam Welding* – Soldagem por feixe de laser), é classificado como uma técnica por fusão de alta densidade

de energia, a qual varia entre (10^3 a 10^5) W/mm² (MARTIN-ROOT, 2020). A densidade de energia varia de acordo com o que se espera da junta soldada e com o modo de operação selecionado, condução ou *keyhole*, conforme se apresenta na Figura 1.

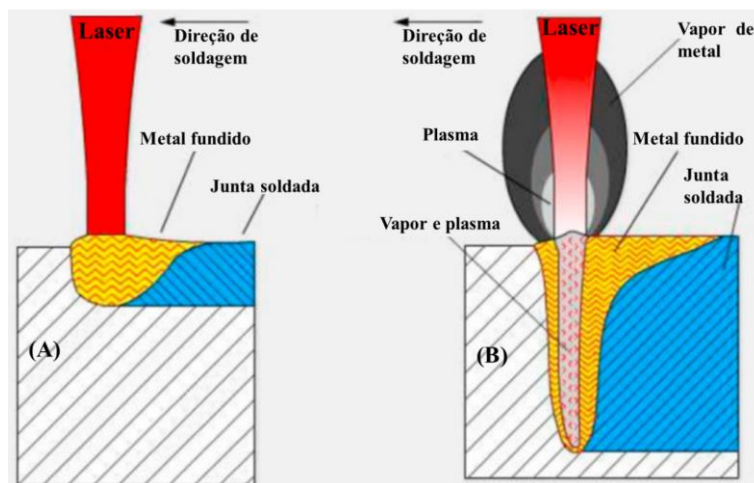


Figura 1 – Juntas soldadas a laser nos modos de (A) condução e (B) keyhole (Adaptado de Kovacs (2018)).

Normalmente, o processo é conduzido sob um fluxo de gás inerte com ou sem adição de material na linha de solda. O volume fundido móvel é denominado poça de fusão. As características dessa poça controlam diretamente a qualidade da solda, alvo de diferentes estudos que visam entender sua relação com os parâmetros do processo (CAI *et al.*, 2019; KHAN *et al.*, 2021; GENG *et al.*, 2019). A profundidade de penetração, a dinâmica da poça de fusão e o desempenho da junta soldada dependem da velocidade de soldagem, do nível de potência do laser e da posição e distância focal. Esses parâmetros, em geral, podem ser determinados por meio de resultados de experimentos empíricos (FOTOVVATI; WAYNE; LEWIS; ASADI, 2018).

Os referidos parâmetros influem na penetração, impactando na qualidade e desempenho da junta soldada. A soldabilidade pode variar em termos de materiais e aplicações. Quando se aplica o LBW a TWBs, por exemplo, essa propriedade pode ser definida em termos de penetração, perfil de solda, defeitos e perfil de microdureza (BAGHERI; ABBASI; HAMZELOO, 2020). Pode haver muitas outras combinações ideais, que serão aplicadas apenas se puderem ser determinadas. Há diversas ferramentas e tratamentos estatísticos de dados que auxiliam na confecção de um planejamento experimental focado nessa otimização.

Muitos dos estudos baseiam-se na hipótese de que o método de soldagem adequado é de grande importância para garantir a qualidade de TWBs, por exemplo, e satisfazer aos requisitos de produção. Durante as últimas duas décadas, o uso do projeto de experimento (DOE) cresceu rapidamente e foi adaptado à soldagem (LI *et al.*, 2020; SALLAMAND; TOMASHCHUK; GAIED, 2017). De acordo com Yaakob; Ishak; Quazi; Salleha (2019), a abordagem estatística é a melhor forma de trabalhar, sendo aplicável a processos em ambiente laboratorial e também em escala industrial. Nesse âmbito, pode-se utilizar o DOE associado a outros métodos estatísticos, resultando na determinação das condições de soldagem mais adequadas.

3.1. Otimização de parâmetros da soldagem a laser

Magalhães *et al.* (2018), ponderam que parâmetros de soldagem inadequados podem induzir defeitos nas juntas, que afetam a integridade da estrutura e dificultam sua aplicação. Para otimizar esses parâmetros, a abordagem empírica é geralmente preferida. No entanto, isso limita os esforços de experimentação devido ao alto custo envolvido com equipamentos e consumíveis, além da necessidade de especialistas para operar os sistemas, que tendem a ser mais complexos quanto mais refinado for o equipamento de soldagem a laser (PRABAKARAN; KANNAN, 2019).

Kollár; Kövesdi; Vigh; Horváth (2019) defendem que a otimização pode ser ainda mais eficiente quando se consolidam modelos matemáticos computacionais: reduz-se a quantidade de experimentos e os custos operacionais, melhorando o processo, além de se ganhar em tempo e produtividade. Trabalha-se então com a estatística, proposta nos modelos de Taguchi, para otimização dos parâmetros de processo com o objetivo de produzir uma junta com penetração completa, tamanho mínimo da ZTA e da ZF e perfil aceitável (NEJAD; GHOREISHI; KHORRAM, 2017).

Anawa e Olabi (2008) exploraram que a resistência da junta dissimilar pode ser limitada através da potência do laser e da velocidade de soldagem. A otimização desses parâmetros pode levar a peças com melhor comportamento mecânico e contribuir, no caso de TWBs, para sua conformação. Baseados nos referidos estudos, os autores Prabakaran e Kannan (2017) propuseram a Equação 1:

$$\text{LRT} = 218,75705 + 0,15203.P - 2,22929.DF + 89,16274.V + 1,39667 \cdot 10^{-4}.P.DF - 3,15333 \cdot 10^{-3}.P.V + 0,87850.DF.V - 3,35717 \cdot 10^{-5}.P^2 + 0,10122.DF^2 - 17,15182.V^2 \quad (1)$$

Na qual:

LRT: Limite de Resistência à Tração da junta soldada [MPa]

P: Potência do feixe de laser [W]

DF: Distância focal do feixe de laser [mm]

V: Velocidade de soldagem [m/min]

A partir do método RSM, por meio da Equação (1) propõe-se uma forma de avaliar o efeito dos parâmetros de soldagem a laser no comportamento mecânico da junta soldada, especialmente quando se trabalha com TWBs. A fim de aprimorar os resultados e análises iniciais, novos trabalhos foram feitos por Prabakaran e Kannan (2019), usando a Análise Relacional de Grey (GRA – *Grey Relational Analysis*), baseada em Taguchi, para soldagem. As soldas foram cortadas na direção transversal para estudar as propriedades mecânicas e metalúrgicas.

Assim como apontado nos trabalhos de Andrade *et al.* (2019), a junta ideal tem região de fusão completa resultando em uma solda com ZTA e ZF contínuas e mais resistentes mecanicamente. A seleção e otimização dos parâmetros de soldagem podem fazer diferença no desempenho da junta soldada, principalmente quando se trabalha com materiais dissimilares. Guan *et al.* (2019) dizem que o principal desafio para soldagem de Fe-Al foi a determinação dos parâmetros que produziram uma “excelente junta”. A velocidade foi o mais significativo.

A otimização pode ser aplicada inclusive quando se trabalha com materiais dissimilares, como alumínio e aço ou magnésio, por exemplo. Nos estudos de Song; Yu; Wang; Liu (2018), a carga de ruptura em tração reduziu com a diminuição do aporte de calor. Usando parâmetros ótimos, a carga máxima de tração das juntas soldadas foi inclusive maior que a do aço de base. Várias tentativas têm sido feitas para simular o processo de soldagem a laser usando métodos numéricos e estudos experimentais com técnicas DOE. Há efeito da potência do laser, velocidade de soldagem e posição do ponto focal na geometria do cordão.

Pode-se associar o DOE a uma matriz de projeto composta por três fatores (potência, velocidade e diâmetro do feixe ou posição focal, por exemplo). A partir da definição das variáveis, trabalha-se com diferentes níveis ($-\alpha$, -1 , 0 , $+1$, $+\alpha$) para as variáveis de trabalho consideradas. A conjugação do DOE a diferentes variáveis, com avaliação em níveis e condições distintas pode gerar a ANOVA. Estabelece-se um critério de resposta (que pode ser a penetração ou a resistência mecânica da junta soldada, por exemplo), usado para separar a variação total em um conjunto de dados em dois ou mais componentes.

Outra ferramenta útil é a GRA, para otimização multiobjetivo, quando se quer, de forma simultânea, otimizar mais de um parâmetro (MARATHE; RAVAL, 2020). Podem ser construídos gráficos matrizes tridimensionais, conforme se apresenta na Figura 2, para correlacionar o efeito dos parâmetros de soldagem na extensão das zonas fundida e termicamente afetada.

GRÁFICOS DE CONTORNO 3D DO EFEITO DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM NAS ZONAS FUNDIDA (a) E TERMICAMENTE AFETADA (b)

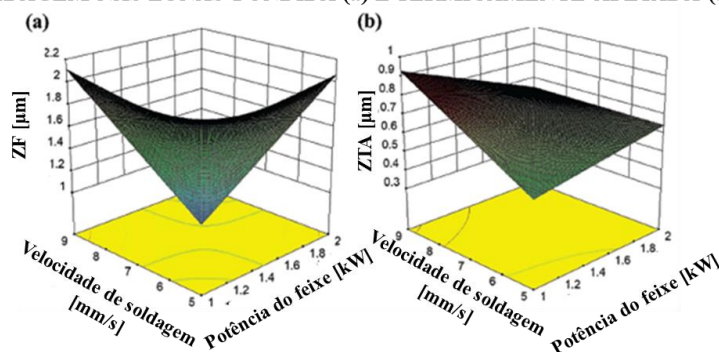


Figura 2 - Gráficos de contorno 3D do efeito dos parâmetros de soldagem em diferentes zonas da solda (Adaptado de Anuradha; Venkateswarlu; Cheepu, 2019).

Para otimização deve-se trabalhar com parâmetros isolados e também de forma combinada (GAUTAM; RAUT; KUMAR, 2016). Os estudos são feitos, em geral, verificando a resistência mecânica da junta mediante ensaios de tração. Na Figura 3 apresenta-se um gráfico que sumariza os efeitos de diferentes parâmetros de soldagem nessa resistência.

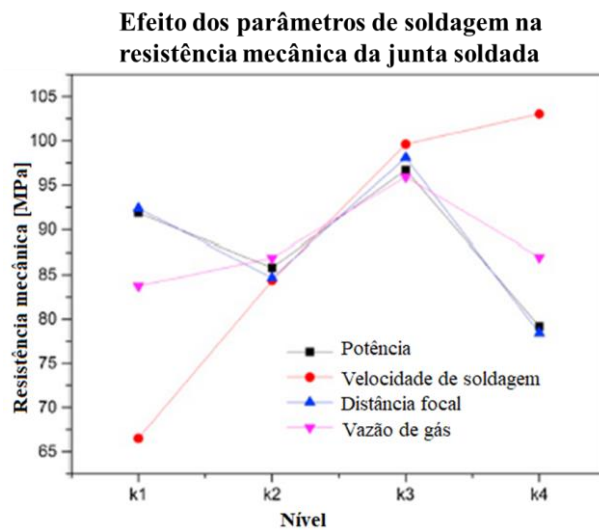


Figura 3- Avaliação do efeito dos parâmetros de soldagem na resistência mecânica da junta soldada (Adaptado de Guan *et al.*, 2019).

Ayoola; Suder; Williams (2017) afirmam que muitos autores tentaram otimizar os parâmetros do processo para obter bons perfis de soldagem, os quais são altamente dependentes da potência do laser, velocidade e distância focal. Um dos métodos mais apropriados para otimização é o baseado em abordagens estatísticas. Pode-se, com isso, correlacionar os parâmetros de soldagem e os perfis resultantes. Essa abordagem pode ser útil principalmente porque não há uma maneira única e exata de definir quais exatamente os valores ideais de velocidade de soldagem e suas variações, tampouco dos demais parâmetros. A estatística possibilita, a exemplo da Equação 1, criar formulações que permitem a combinação otimizada de fatores de forma a se obter a resposta estipulada a projeto.

Há trabalhos, como o apresentado por Li *et al.* (2020), que focaram apenas na velocidade, trazendo maiores variações deste parâmetro. Verificou-se, com base nos valores utilizados, que juntas de solda com boa qualidade foram obtidas para todas as velocidades testadas. Embora velocidades mais elevadas possibilitem maior produtividade, Li *et al.* (2019) constataram que a redução adequada da velocidade de soldagem é benéfica para uma transição mais suave em ambos os lados da linha de solda, o que pode melhorar a conformabilidade de TWBs.

De acordo com Bagheri; Abbasi; Hamzeloo (2020), valores não ótimos dos parâmetros de soldagem podem resultar no crescimento do grão devido ao resfriamento lento na solda e ZTA (quando o aporte térmico é elevado), falta de difusão e falta de fusão (quando o aporte térmico é baixo) ou desenvolvimento de poros e porosidades. Quanto à potência, quanto maior, mais se funde material e se dissipa calor; no entanto, mais se demanda do equipamento, o que pode reduzir sua vida útil (SILVEIRA, 2012).

3.2. Tailor Welded Blanks

Tailor Welded Blanks (TWB) tratam-se de produtos desenvolvidos pela união de dois ou mais materiais com especificações distintas (espessura, propriedades mecânicas, composição química e/ou revestimento), antes da etapa de conformação (MARATHE; RAVAL, 2019). Antes dos TWBs, dois *blanks* diferentes eram conformados usando matrizes distintas. Somente após as devidas etapas de conformação eram soldados (via de regra, por soldagem a ponto por resistência elétrica – RSW). Por meio dos tailor blanks pode-se reduzir a quantidade de matrizes e etapas de conformação, reduzindo custos e complexidade de processo (ANDRADE *et al.*, 2019; XING *et al.*, 2020).

Alguns benefícios de aplicar o TWB em diferentes componentes automotivos estampados são, de acordo com Khan; Razmpoosh; Biro; Zhou (2020):

- A tecnologia simplifica significativamente o processo de fabricação, gerando redução de custos e de tempo;
- Ao unir diferentes tipos de aços com espessuras variadas, a peça pode ser otimizada reduzindo sua massa sem prejudicar seu desempenho estrutural;
- Duas ou três partes que antes eram confeccionadas separadamente podem ser potencialmente consolidadas em um único *blank*.

Outro benefício, apontado por Peister *et al.* (2017) é que a ductilidade de peças estampadas a quente pode ser melhorada usando TWBs. As vantagens, a redução de massa e de complexidade dependem do projeto e da peça em questão. Uma aplicação típica, apresentada por Andrade (2019) e reafirmada por Marathe; Raval (2019) trata-se do painel interno de portas automotivas, conforme apresentado na Figura 4.

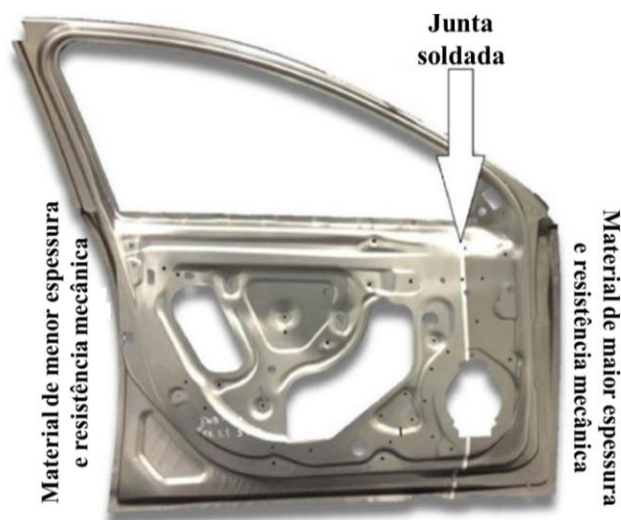


Figura 4 - Aplicação típica de TWB no painel interno de porta automotiva (Adaptado de Marathe; Raval, 2019).

O projeto de um TWB, independentemente de sua aplicação, leva em consideração que as regiões submetidas a maiores solicitações mecânicas devem ser compostas por materiais mais resistentes mecanicamente. Para a porta apresentada na Figura 4, por exemplo, a parte articulada é feita de um material mais espesso, pois mais tensão será gerada durante a aplicação de forças e o funcionamento do veículo. O lado mais afastado da dobradiça é composto pelo material de menor resistência mecânica, pois essa região é menos solicitada.

Talvez uma das maiores complexidades e dificuldades ao se trabalhar com TWBs é que suas propriedades mecânicas dependem de muitos fatores. Ponderam-se: material, método de soldagem, orientação da linha de solda e razão da espessura das chapas que compõem o TWB (WANG; LIU; WANG; ZHOU, 2021). A fim de minimizar os danos causados a um TWB, uma das operações cruciais é a união das chapas. Há diferentes métodos que podem ser utilizados, mas a soldagem a laser é o mais aplicado. O processo LBW permite, ao ser aplicado em Tailor Welded Blanks, redução dos impactos causados pela ZTA e elevada produtividade. Há ainda possibilidade de se trabalhar com soldagem por fricção (FSW – *Friction Stir Welding*). No entanto, em função da menor produtividade e do desgaste acelerado da ferramenta para trabalho com aços e ligas de alta resistência, ainda não é aplicada em larga escala, como na indústria automotiva (SAFDARIAN; TAVANA, 2018; HABIBI; HASHEMI; TAFTI; ASEMPOUR, 2017; ANGGONO *et al.*, 2017).

3.3. Soldagem de Tailor Welded Blanks

A técnica de união é uma das rotas de fabricação mais importantes quando se fala em Tailor Welded Blanks. A soldagem a laser é a mais aplicada para esse fim. Suas principais vantagens, segundo Wu *et al* (2018), são uma ZTA estreita, grãos mais refinados, menores distorções, alta eficiência e flexibilidade do processo e melhor precisão e qualidade de soldagem. Devido às diferenças físicas, térmicas e químicas entre materiais diferentes, como condutividade térmica, ponto de fusão e expansão térmica de dois metais, a soldagem de dois materiais diferentes é um processo complicado (GENG *et al*, 2019). Outra questão, abordada por Li *et al.* (2019), é que a soldagem de ligas dissimilares pode ocasionar defeitos como o padrão de solda assimétrico, formação de fases frágeis intermetálicas e dissolução inadequada dos metais de base. Tratam-se, portanto, de sérios desafios.

3.4. Efeito dos parâmetros de soldagem a laser no comportamento mecânico de Tailor Welded Blanks

É importante determinar como os parâmetros de soldagem influenciam na solda e, consequentemente, no comportamento mecânico de TWBs. Dentre o que se pode variar pontua-se: forma e potência do laser; duração, frequência e sobreposição do pulso e também o diâmetro do feixe. Para avaliar a resposta da junta normalmente se trabalha com testes de tração e microdureza (ASSUNÇÃO *et al.*, 2019; TAYEBI; FAZLI; ASADI; SOLTANPOUR, 2021).

Os efeitos dos parâmetros do laser, como ângulo de contato do feixe, comprimento focal, velocidade de soldagem, vazão do gás de proteção, dentre outros, devem ser avaliados, garantindo bom desempenho da junta soldada (HAMIDINEJAD; HASANNIYA; SALARI; VALIZADEH, 2012). Como há possibilidade de se trabalhar com diferentes equipamentos e variáveis, nos trabalhos avaliados neste referencial teórico verificou-se que os principais parâmetros que podem ser variados durante a soldagem a laser são:

- Velocidade de soldagem: influencia de forma direta no aporte térmico e na convecção da poça de fusão. Geralmente, ao aumentar a velocidade de soldagem, a temperatura medida ao redor da poça de fusão diminui

claramente. Consequentemente, pode afetar no modo de soldagem (condução ou *keyhole*), que impacta no comportamento mecânico da junta soldada, conforme se apresenta na Figura 5 e na Tabela 1.

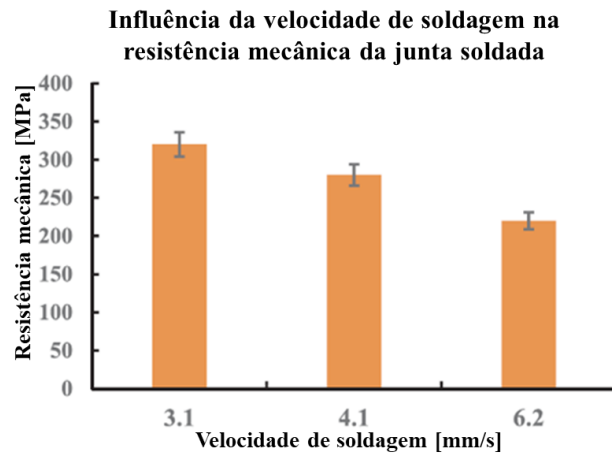


Figura 5 - Resistência à tração das amostras soldadas em diferentes velocidades de soldagem, pulso de 12 ms e distância focal de 0 mm e frequência de 10 Hz (Adaptado de Geng *et al.*, 2019).

Tabela 1 - Influência da velocidade de soldagem no alongamento de juntas soldadas (Adaptado de Li *et al.* (2019)

Velocidade de Soldagem	Alongamento uniforme total (%)
18 mm/s	46,54
30 mm/s	42,18
40 mm/s	45,43
METAL DE BASE	54,85

- Potência do feixe: parâmetro diretamente relacionado à quantidade de energia que se imputa à junta soldada. Tem correlação direta com o aporte térmico (*heat input* ou a quantidade de energia fornecida por unidade de comprimento da peça soldada) e com outra variável denominada de densidade de potência. Apesar dos estudos avaliados levarem, em sua grande maioria, a velocidade como maior responsável pela resistência mecânica da junta soldada, Yaakob; Ishak; Quazi; Salleh (2019) defendem que a potência tem papel fundamental. Na Figura 6 apresenta-se um gráfico que correlaciona esse parâmetro com o comportamento mecânico.

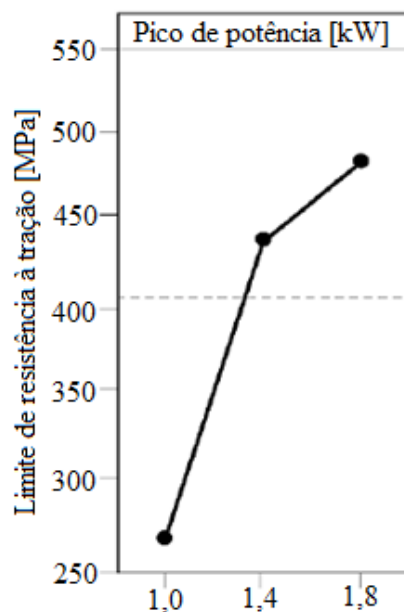


Figura 6 - Gráfico de correlação entre a resistência mecânica da junta soldada e o pico de potência aplicado na soldagem a laser (Adaptado de Yaakob; Ishak; Quazi; Salleh, 2019).

Xing *et al.* (2019) também avaliaram o efeito da potência de entrada do feixe de laser no comportamento mecânico de TWBs feitos de aços DP. Nesses materiais pode ocorrer fenômenos complexos na ZTA, como formação de fases dispersas, fragilização e “amaciamento”. Essas alterações são avaliadas, num primeiro momento, com auxílio de microdureza Vickers (HMV). Na Figura 7 apresenta-se um gráfico que correlaciona a potência de entrada aos valores encontrados para HMV.

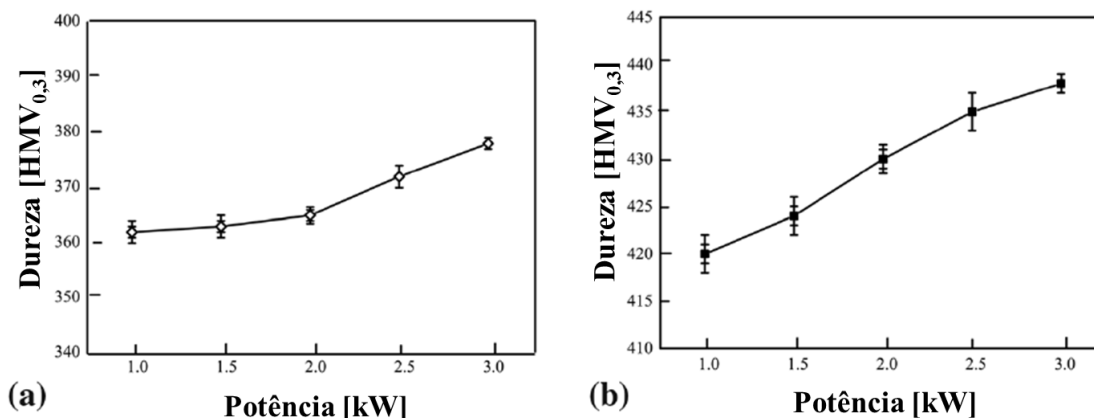


Figura 7 - Efeito da potência de entrada do feixe de laser na microdureza da zona de fusão em (a) soldas DP1180-DP590; (b) soldas DP1180-DP1180 (Adaptado de Xing *et al.* (2019).

- Distância ou posição focal: trata-se da distância entre o ponto focal e a superfície superior da peça de trabalho. A mudança no ponto focal leva à uma mudança na profundidade de penetração e na largura da solda, afetando seu comportamento mecânico. Na soldagem a laser, a mesma energia pode ser aplicada com diferentes diâmetros de feixe, oriundo de distâncias focais distintas. Isso resulta em diferentes distribuições espaciais do calor na peça de trabalho, o que levará a perfis de solda dissimilares (AYOOLA; SUDER; WILLIAMS, 2017). A variação do comprimento focal altera a densidade de potência, o que resulta na alteração do campo de temperatura e da absorção do feixe de laser na poça de fusão. Ao alterar o ponto focal cerca de 1 mm da subsuperfície da amostra para a superfície, o pico de temperatura pode aumentar (GENG *et al.*, 2019).

A resposta da junta soldada varia, então, de acordo com os parâmetros selecionados. Há uma relação de tais variáveis com a largura das zonas de fusão (ZF) e termicamente afetada (ZTA), refletindo em diferentes microestruturas. Portanto, levam a propriedades mecânicas distintas (YAAKOB *et al.*, 2017). Para verificar essa influência de forma mais direta são feitos ensaios de tração uniaxial, nos quais a orientação da linha de solda deve ser a mesma em todos, a fim de padronizar as análises. Na Figura 8 apresenta-se um exemplo de diferentes corpos de prova, extraídos de TWBs fabricados com soldas feitas com parâmetros distintos.

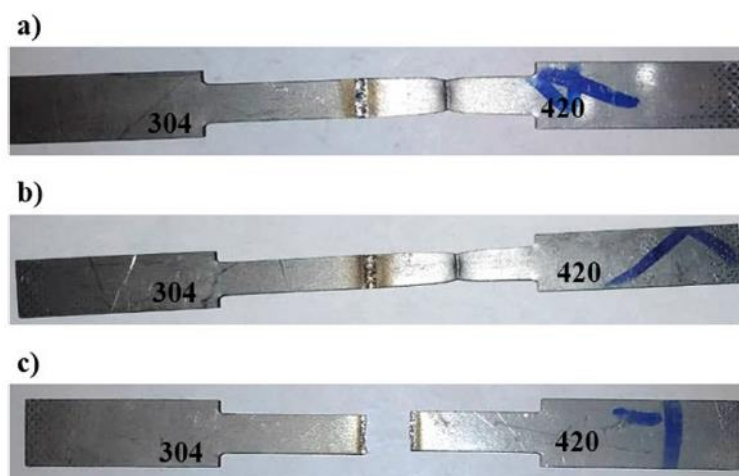


Figura 8 - Fratura dos corpos de prova após testes de tração, para soldas efetuadas com velocidade de soldagem de 3,1 mm/s e distância focal de (a) 0 mm, (b) -1 mm, (c) velocidade de soldagem de 6,2 mm/s e distância focal de 0 mm (Geng *et al.*, 2019)

Outros parâmetros, como o tipo e a vazão do gás proteção não se mostraram relevantes nos trabalhos de SATHIYA *et al.* (2011), sendo que se concluiu que a potência do feixe, a velocidade de deslocamento e as posições focais afetam significativamente a penetração, alterando a incidência de defeitos na junta e, consequentemente, suas propriedades mecânicas. Liu *et al.* (2017) apontaram em seus trabalhos que a geometria da solda pode variar em toda a espessura das chapas e o modo de solidificação pode mudar quando a velocidade varia, o que justifica a alteração de propriedades mecânicas da junta mediante oscilações desse parâmetro.

No entanto, ainda que pareça haver uma relação direta entre as propriedades mecânicas da junta soldada a laser e os parâmetros utilizados no processo, de acordo com Liu *et al.* (2017), ainda é um trabalho árduo investigar sistematicamente a soldagem a laser e seus efeitos no desempenho da junta. Igualmente complexa é a análise de qualidade da junta soldada, pois são envolvidas tão ou mais variáveis além das necessárias para padronização e melhoria do processo.

Enquanto há referências que citam apenas penetração completa, ausência de porosidades e bom aspecto visual (ZADPOOR; SINKE; BENEDICTUS, 2007; ANDRADE *et al.*, 2019; WANG; LIU; WANG; ZHOU, 2021), Sabitha *et al.* (2018) defendem uma análise mais completa, focada na aplicação final do componente soldada. Para isso deve-se levar em consideração diferentes aspectos. Alguns cuidados e observações devem ser levados em consideração, principalmente quando se trabalha com Tailor Welded Blanks (FERNANDES; OLIVEIRA; PEREIRA, 2017):

- É necessário cortar com precisão as chapas que serão soldadas, a fim de diminuir os efeitos causados pela diferença de espessura entre as chapas;
- É necessário controlar a vazão e a direção do gás para realizar uma solda de boa qualidade;
- As deformações transversais e longitudinais não são consistentes devido à ZTA e à ZF e às diferenças de propriedades entre as chapas que compõem o TWB. É necessária uma boa fixação das chapas soldadas e controle da orientação da linha de solda;
- A depender dos materiais, a junta forma fases muito mais duras, inconsistentes com a microestrutura dos materiais de base, o que pode causar fragilização.

Portanto, as análises são mais complexas do que se aparenta num primeiro momento. Os efeitos dos parâmetros de soldagem na geometria da solda e na distribuição da microestrutura correspondente, bem como na transformação de fases, na composição química e na evolução da textura podem ser diversos (PRABAKARAN; KANNAN, 2019).

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho objetivou a confecção de um referencial teórico acerca do efeito dos parâmetros de soldagem no comportamento mecânico de Tailor Welded Blanks. A partir das leituras e estudos realizados pôde-se concluir que:

- Não há um único método de avaliação do efeito de parâmetros de soldagem no comportamento mecânico de juntas soldadas a laser, com foco em TWBs. A abordagem estatística, focada em otimização, pode ser uma boa alternativa;
- TWBs podem se comportar de maneira diferenciada de acordo com o processo e as condições de conformação. Esse fenômeno é ainda mais agravado em função da presença da linha de solda, que maximiza as heterogeneidades do blank;
- De modo geral não é de todo incorreto afirmar que quanto maior a velocidade de soldagem, maior a produtividade, porém maior a probabilidade de ocorrência de descontinuidades. Quanto maior a potência do laser, mais se funde material e se dissipa calor; no entanto, mais se demanda do equipamento. Com relação à distância focal, deve ser tal que permita a focalização do eixo incidente com menor índice de perdas de calor e maior eficiência do processo. A vazão do gás de proteção e o tipo de laser não influenciam no comportamento, caso o aporte térmico seja mantido.

5. REFERÊNCIAS

ANAWA, E.M.; OLABI, A.G.. Optimization of tensile strength of ferritic/austenitic laser-welded components. Optics And Lasers In Engineering, [S.L.], v. 46, n. 8, p. 571-577, ago. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.optlaseng.2008.04.014>.

ANDRADE, Etienne Pereira de. Caracterização mecânica e análise microestrutural de chapas obtidas pelo processo de Tailor Welded Blank (TWB). 2019. 114 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

ANDRADE, Etienne Pereira de; ASSUNÇÃO, Guilherme Souza; SANTOS, Wellington Augusto dos; FELIZARDO, Ivanilza; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. Caracterização mecânica e análise microestrutural de chapas obtidas pelo processo de Tailor Welded Blank (TWB).. Soldagem & Inspeção, [s.l.], v. 24, p.1-10, nov. 2019.

ANGGONO, Agus Dwi; SUGITO, Bibit; HARIYANTO, Agus; SUBROTO; SARJITO. Mechanical Behaviour Investigation Of Aluminium Alloy Tailor Welded Blank Developed By Using Friction Stir Welding Technique. *Journal Of Physics: Conference Series*, [S.L.], v. 914, p. 012031, out. 2017. IOP Publishing.

ANURADHA, M.; DAS, Vemulapalli Chittaranjan; VENKATESWARLU, D.; CHEEPU, Muralimohan. Parameter Optimization for Laser Welding of High Strength Dissimilar Materials. *Materials Science Forum*, [S.L.], v. 969, p. 558-564, ago. 2019. Trans Tech Publications, Ltd.

AYOOLA, W.A.; SUDER, W.J.; WILLIAMS, S.W.. Parameters controlling weld bead profile in conduction laser welding. *Journal Of Materials Processing Technology*, [S.L.], v. 249, p. 522-530, nov. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.06.026>.

BAGHERI, Behrouz; ABBASI, Mahmoud; HAMZELOO, Reza. Comparison of different welding methods on mechanical properties and formability behaviors of tailor welded blanks (TWB) made from AA6061 alloys. *Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, [S.L.], v. 235, n. 12, p. 2225-2237, 27 ago. 2020. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0954406220952504>.

BANDYOPADHYAY, Kaushik; LEE, M. G.; PANDA, S. K.; SAHA, P.; LEE, J. H.. "Formability Assessment and Failure Prediction of Laser Welded Dual Phase Steel Blanks Using Anisotropic Plastic Properties". *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 126, junho de 2017, p. 203-252.

BARBIERI, Giuseppe; COGNINI, Francesco; MONCADA, Massimo; RINALDI, Antonio; LAPI, Gabriele. Welding of Automotive Aluminum Alloys by Laser Wobbling Processing. *Materials Science Forum*, [S.L.], v. 879, p. 1057-1062, 15 nov. 2016. Trans Tech Publications, LTD..

BOBADE, Satish A.; BADGUJAR, Tushar Y.. Tailor welded Blanks (TWBs) for a Sheet Metal Industry an Overview. *The International Journal Of Advance Research and innovative Ideas In Education*, [S.L.], v. 3, n. 3, p. 3771-3779, 2017.

BUSTO, Vito; COVIELLO, Donato; LOMBARDI, Andrea; DE VITO, Mariarosaria; SORGENTE, Donato. "Thermal Finite Element Modelling of the Laser Beam Welding of Tailor Welded Blanks through an Equivalent Volumetric Heat Source". Preprint, 2021.

CAI, Wang; WANG, Jianzhuang; CAO, Longchao; MI, Gaoyang; SHU, Leshi; ZHOU, Qi; JIANG, Ping. Predicting the weld width from high-speed successive images of the weld zone using different machine learning algorithms during laser welding. *Mathematical Biosciences And Engineering*, [S.L.], v. 16, n. 5, p. 5595-5612, 2019. American Institute of Mathematical Sciences (AIMS). <http://dx.doi.org/10.3934/mbe.2019278>.

CARLONE, Pierpaolo; ASTARITA, Antonello. Dissimilar Metal Welding. *Metals*, [S.L.], v. 9, n. 11, p. 1206, 9 nov. 2019. MDPI AG.

FERNANDES, F.A.O.; OLIVEIRA, D.F.; PEREIRA, A.B.. Optimal parameters for laser welding of advanced high-strength steels used in the automotive industry. *Procedia Manufacturing*, [S.L.], v. 13, p. 219-226, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.052>.

FOTOVVATI, Behzad; WAYNE, Steven F.; LEWIS, Gladius; ASADI, Ebrahim. A Review on Melt-Pool Characteristics in Laser Welding of Metals. *Advances In Materials Science And Engineering*, [S.L.], v. 2018, p. 1-18, 2018. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2018/4920718>.

GAUTAM, Vijay; RAUT, Vinayak Manohar; KUMAR, D Ravi. Analytical prediction of springback in bending of tailor-welded blanks incorporating effect of anisotropy and weld zone properties. *Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials*, [S.L.], v. 232, n. 4, p. 294-306, 4 jan. 2016. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/1464420715624261>.

GENG, Yuancheng; AKBARI, Mohammad; KARIMIPOUR, Arash; KARIMI, Alireza; SOLEIMANI, Ahmad; AFRAND, Masoud. Effects of the laser parameters on the mechanical properties and microstructure of weld joint in dissimilar pulsed laser welding of AISI 304 and AISI 420. *Infrared Physics & Technology*, [S.L.], v. 103, p. 103081, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.infrared.2019.103081>

HABIBI, M.; HASHEMI, R.; TAFTI, M. Fallah; ASEMPOUR, A. Experimental investigation of mechanical properties, formability and forming limit diagrams for tailor-welded blanks produced by friction stir welding. *Journal of Manufacturing Processes*, [S.L.], v. 31, p. 310-323, 2017. Elsevier BV.

HAMIDINEJAD, Seyed Mahdi; HASANNIYA, M. H.; SALARI, Nooshin; VALIZADEH, E.. CO2 laser welding of interstitial free galvanized steel sheets used in tailor welded blanks. *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, [S.L.], v. 64, n. 1-4, p. 195-206, 1 mar. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-012-4005-7>.

KHAN, M. Shehryar; RAZMPOOSH, M. H.; BIRO, E.; ZHOU, Y.. A review on the laser welding of coated 22MnB5 press-hardened steel and its impact on the production of tailor-welded blanks. *Science And Technology Of Welding And Joining*, [S.L.], v. 25, n. 6, p. 447-467, 26 mar. 2020. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/13621718.2020.1742472>.

KOVACS, Tunde. Laser welding process specification base on welding theories. *Procedia Manufacturing*, [S.L.], v. 22, p. 147-153, 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.023.a>

LI, Zhiyong; YU, Gang; HE, Xiuli; LI, Shaoxia; LI, Haiming; LI, Qingyu. Study of thermal behavior and solidification characteristics during laser welding of dissimilar metals. *Results In Physics*, [S.L.], v. 12, p. 1062-1072, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rinp.2018.12.017>.

MAGALHÃES, Elisan dos Santos; PAES, Luiz Eduardo dos Santos; PEREIRA, Milton; SILVEIRA, Claudio Abilio da; PEREIRA, Adriano de Souza Pinto; SILVA, Sandro Metrevelle Marcondes Lima e. A thermal analysis in laser welding using inverse problems. *International Communications In Heat And Mass Transfer*, [S.L.], v. 92, p. 112-119, mar. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2018.02.014>.

MARATHE, Shalin Prakashbhai; RAVAL, Harit Kishorchandra. Numerical investigation on forming behavior of friction stir tailor welded blanks (FSTWBs) during single-point incremental forming (SPIF) process. *Journal Of The Brazilian Society Of Mechanical Sciences And Engineering*, [S.L.], v. 41, n. 10, p. 1-18, 16 set. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40430-019-1929-y>.

PEISTER, C; GEORGE, R; OMER, K; WORSWICK, M J; MALCOLM, S; DYKEMAN, J; YAU, C; SOLDAAT, R; BERNERT, W. Forming of an axially tailored automotive channel section through hot stamping of tailor-welded blanks. *Journal Of Physics: Conference Series*, [S.L.], v. 896, p. 012052, set. 2017. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/896/1/012052>.

PRABAKARAN, M. P.; KANNAN, G. R.. Optimization of CO2 Laser Beam Welding Process Parameters to Attain Maximum Weld Strength in Dissimilar Metals. *Materials Today: Proceedings*, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 6607-6616, mar. 2017.

SABITHA, K.C.; REDDY, P. Ravinder; KRISHNAIAH, A.; KUMAR, R. Uday. Evaluation of Mechanical Properties of Tailor Welded Sheet Metal Blanks. *Iop Conference Series: Materials Science and Engineering*, [S.L.], v. 455, p. 012061, 19 dez. 2018. IOP Publishing.

SAFDARIAN, R.; TAVANA, O. Habibian. Effect of Friction Stir Welding Parameters on the Ultimate Tensile Strength of Al-Cu Tailor Welded Blanks. *Iranian Journal Of Materials Forming*, [S.L.], v. 5, n. 2, p. 84-95, out. 2018.

SAFDARIAN, Rasoul. Forming Limit Diagram Prediction of AISI 304–St 12

SALLAMAND, P.; TOMASHCHUK, I.; GAIED, S.. Effect of material gauge on laser weld pool mixing between dissimilar steels. In: *LASERS IN MANUFACTURING CONFERENCE*, 5., 2017, Berlim. *Proceedings [...]*. Berlim: WLT, 2017. p. 1-7.

SALLEH, M. N. M.; ISHAK, M.; AIMAN, M. H.; QUAZI, M. M.; HANAFI, A.M.. Weld Geometry Investigation on Dissimilar Boron Steel Laser Welded for TWB Application. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*. [s.l.], v. 16, n. 4, p. 7364-7374. 2019.

SILVEIRA, Gustavo Veloso da. Efeito da alteração dos parâmetros do processo laser sobre a geometria do cordão de solda. 2012. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SONG, Yanli; HUA, Lin; CHU, Dongning; LAN, Jian. Characterization of the inhomogeneous constitutive properties of laser welding beams by the micro-Vickers hardness test and the rule of mixture. *Materials & Design*, [S.L.], v. 37, p. 19-27, maio 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2011.12.029>.

SU, Jiahao; YANG, Jin; LI, Yulong; YU, Zhishui; CHEN, Jieshi; ZHAO, Wanqin; LIU, Hongbing; TAN, Caiwang. Microstructure and mechanical properties of laser fusion welded Al/steel joints using a Zn-based filler wire. *Optics & Laser Technology*, [S.L.], v. 122, p. 105882, fev. 2020. Elsevier BV.

SURESH, V. V. N. Satya; REGALLA, Srinivasa Prakash; GUPTA, Amit

TAYEBI, Payam; FAZLI, Ali; ASADI, Parviz; SOLTANPOUR, Mahdi. Formability study and metallurgical properties analysis of FSWed AA 6061 blank by the SPIF process. *Sn Applied Sciences*, [S.L.], v. 3, n. 3, p. 1-23, 23 fev. 2021. Springer Science and Business Media LLC.

WANG, Hui; LIU, Lizi; WANG, Haibao; ZHOU, Jie. Control of Defects in Deep Drawing of Tailor-welded Blanks for Complex Shape Automotive Panel. *Journal of Advanced Manufacturing Technology*, [S.L.], p. 1-20, 16 fev. 2021. Research Square. <http://dx.doi.org/10.21203/rs.3.rs-230410/v1>.

WU, Jiazhu; WEI, Haiying; YUAN, Fengbo; ZHAO, Penghui; ZHANG, Yi. Effect of beam profile on heat and mass transfer in filler powder laser welding. *Journal Of Materials Processing Technology*, [S.L.], v. 258, p. 47-57, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2018.03.011>.

XING, L.; ZHAN, M.; GAO, P.F.; LI, M.; DONG, Y.D.; HE, W.W.. The interactive effect of microstructure and stress state on the microscopic damage development of aluminum alloy tailor-welded blank. *Materials & Design*, [S.L.], v. 193, p. 108836, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108836>.

YAAKOB, K I; ISHAK, M; A IDRIS, S R; AIMAN, M H; KHALIL, N Z. Hardness variation of welded boron steel using continuous wave (CW) and pulse wave (PW) mode of fiber laser. *Iop Conference Series: Materials Science and Engineering*, [S.L.], v. 238, p. 012007, set. 2017. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/238/1/012007>.

ZADPOOR, A.A.; SINKE, J.; BENEDICTUS, R.. Mechanics of Tailor Welded Blanks: An Overview. *Key Engineering Materials*, [s.l.], v. 344, p.373-382, jul. 2007. Trans Tech Publications.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

STUDY OF THE EFFECT OF WELDING PARAMETERS ON THE MECHANICAL BEHAVIOR OF PLATES OBTAINED BY THE TAILOR WELDED BLANKS PROCESS: A THEORETICAL APPROACH

Etienne Pereira de Andrade

Guilherme Souza Assunção

Alexandre Queiroz Bracarense

Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica (PPGMEC) – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha – Belo Horizonte – MG, CEP 31270-901
etieneandrade@ufmg.br; guilhermeassuncao@ufmg.br; bracarense@mbweldworks.com

Wellington Augusto dos Santos

FCA FIAT CHRYSLER AUTOMOVEIS BRASIL LTDA (Stellantis South America), Avenida Do Contorno, 3.455, Distrito Industrial Paulo Camilo, Betim - MG, CEP 32669-900 MG
wellington.santos1@stellantis.com

Abstract: The automobile industry is undergoing constant advances, which range from the materials used to its manufacturing methods and processes. Security and efficiency are sought. In order to reconcile mechanical strength with mass reduction, the Tailor Welded Blank (TWB) appears: sheets of different specifications (material, thickness and/or coating), butt-welded before forming. Although different joining techniques can be used, laser welding is the most applied. Considered relatively recent, with large-scale application starting in the 2000s, the challenge of TWB is the optimization of welding. Most of the published works often focus only on conformation improvement. There is a lack of research regarding the analysis of welding parameters and their impact on the mechanical properties and behavior of TWBs. As in this case, welding precedes forming, it is essential to understand its impacts on the microstructure of the material and its behavior through different manufacturing processes. This work aims to elaborate a theoretical analysis on the different parameters of laser welding (speed, power, focal length, shielding gas flow and type of laser) and their influence on the mechanical behavior of sheets obtained by the TWB process. Different articles were searched on the “Google Scholar” platform, filtering the period of publication between 2018 and 2022, excluding patents and citations. After reading the abstracts, a base with different works was consolidated. It focused on relevance, methodology, experimental procedure and adherence of the results to the objective of this research. It was found that by increasing the welding speed, the time required for complete melting of the material and localized heat dissipation may be insufficient, causing defects that will lead to TWB failure in conformation. By reducing this speed too much, time and project execution are wasted. As for power, the higher it is, the more material melts and heat is dissipated; however, more demand is placed on the equipment, which can reduce its useful life. With regard to the focal length, it must be such that it allows focusing on the incident axis with a lower rate of heat loss and greater process efficiency. The flow of shielding gas and the type of laser do not influence the behavior, if the thermal input is maintained. There is no specific and determined value of these parameters for each and every type of laser and/or material: each application must be evaluated, and tests are often carried out empirically and experimentally.

Keywords: Tailor Welded Blank; Laser Welding; Mechanical characterization; Process Optimization

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.