



ESTUDO DA DILUIÇÃO E APORTE TÉRMICO NA SOLDAGEM TIG, APLICADA NO MATERIAL VC131 SOB DIFERENTES TIPOS DE CORRENTE E POLARIDADE

Karollayne Pereira da Silva Pessoa ⁽¹⁾ (karolpereira13@outlook.com), Joandson Rodrigues de Souza ⁽²⁾ (jo.and.son@hotmail.com), Wellington Francisco da Silva ⁽³⁾ (frs.wellington@gmail.com)

⁽¹⁾ Centro Universitário Estácio do Recife (UNESA); Departamento de Engenharia Mecânica

⁽²⁾ Centro Universitário Unifbv Wyden (UNIFBV); Departamento de Engenharia de Controle e Automação

⁽³⁾ Centro Universitário Estácio do Recife (UNESA); Departamento de Engenharia Mecânica

RESUMO: *A soldagem é um método de união dos metais, muito utilizado na indústria automobilística, presente no processo de estampagem como meio de manutenção e reparo dos componentes que compõem as ferramentas. A soldagem em componentes como matrizes e facas de corte, constituídos de aço ferramenta, são suscetíveis a trincas devido a dureza e tenacidade do aço. Neste contexto, foi estudado as características do cordão de solda produzida com metal de adição Tec Dur 47 no aço ferramenta VC 131 a partir do processo de soldagem GTAW manual, alterando o tipo de corrente e variando a polaridade, com base na literatura no que se refere a soldagem em matrizes de corte e a soldagem em diferentes polaridades, buscou avaliar os cordões de solda obtidos levando em consideração o aporte térmico e a diluição calculados a partir das condições de soldagem. A soldagem realizada com polaridade negativa apresentou maiores valores de aporte térmico associado, devido a polaridade negativa produzir maior calor gerado na peça, proporcionou maior aporte térmico e consequentemente maior diluição e penetração de solda.*

PALAVRAS-CHAVE: GTAW, ESTAMPAGEM, POLARIDADE, AÇO FERRAMENTA.

STUDY OF DILUTION AND HEAT INPUT IN TIG WELDING, APPLIED TO THE VC131 MATERIAL UNDER DIFFERENT TYPES OF CURRENT AND POLARITY

ABSTRACT: Welding is a method of joining metals, widely used in the automotive industry, present in the stamping process as a means of maintenance and repair of the components that make up the tools. Welding components such as dies and cutting knives, made of tool steel, are susceptible to cracking due to the hardness and toughness of the steel. In this context, the characteristics of the weld bead produced with Tec Dur 47 filler metal in VC 131 tool steel from the manual GTAW welding process, changing the type of current and varying the polarity, were studied. refers to welding in cutting dies and welding in different polarities, sought to evaluate the weld beads obtained taking into account the heat input and dilution calculated from the welding conditions. Welding performed with negative polarity showed higher values of associated heat input, due to negative polarity producing greater heat generated in the part, providing greater heat input and consequently greater dilution and weld.

KEYWORDS: GTAW, STAMPING, POLARITY, TOOL STEEL.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

1. INTRODUÇÃO

Na indústria automobilística a soldagem compõe parte importante de seus processos produtivos. Tendo uma grande relevância, não somente pelo fundamento da soldagem em si, mas devido a sua ampla variedade de processos disponíveis, onde muitos destes apresentam elevado nível de tecnologia associada que permite a soldagem precisa e altamente robotizada, garantindo produtividade, consistência e controle dos parâmetros adotados.

A soldagem também se faz presente indiretamente em outros processos, como por exemplo no processo de estampagem a frio que produz peças para funilaria. A estampagem é um processo de conformação mecânica, de corte, dobra, e calibragem, no qual um determinado material é conformado em um molde (ferramenta que produz as peças), obtendo-se uma forma ou pré-forma desejada, podendo ainda ser aplicados na sequência outros processos de acabamento para obtenção da forma final. A soldagem neste processo pode estar presente na manutenção dos moldes, como principal ferramenta na recuperação de seus componentes.

Durante a produção de peças estampadas, os moldes estão suscetíveis a quebras inesperadas, seja por erro operacional (como por exemplo resetar o processo sem a devida análise do que ocasionou a falha), desgastes ou trincas dos componentes, gerando maiores índices de paradas improdutivas, sendo necessário intervenções corretivas, e/ou quebra de lote quando a parada compromete a condições de base do molde, sendo necessário a retirada para uma manutenção complexa. Portanto a soldagem é aplicada como uma restauração rápida e eficiente em componentes como faca e matrizes de corte, no qual seu desgaste compromete a aresta de corte, tornando viável a restauração com solda.

Segundo Chiaverini (2005) e Mei (2006) as matrizes e facas de corte são construídas com material temperado e com alto grau de tenacidade. Devido a essas características a aplicação da soldagem é passível de complicações como trincas, porosidades dentre outras. A soldagem TIG (Tungsten Inert Gas) apresenta-se como a mais adequada pois suas características de aplicação contribui para aumentar a qualidade da solda, reduzir o volume de respingos durante a soldagem e proporciona um menor aquecimento na peça soldada. Porém, o risco de trincar as matrizes e facas com esse processo de soldagem não é descartado.

Desta maneira, fazem-se necessárias análises mais profundas, mudando parâmetros de soldagem como polaridade e comparar os resultados. Para obter parâmetros adequados e consequentemente aumentar a vida útil dos componentes, diminuindo as trincas proveniente da soldagem e reduzir o risco de fragilizá-los. Com a aplicação da análise de solda, como método de uma manutenção eficiente, espera-se termos o mínimo de paradas não programadas.

Neste contexto o objetivo desta pesquisa é avaliar e estudar os cordões de solda produzidos em diferentes polaridades, comparando os aspectos geométricos e estrutural.

2. PESQUISA

A soldagem TIG ou GTAW é um processo a arco elétrico que, é formado através de uma descarga elétrica entre o eletrodo não consumível e a peça. O eletrodo de tungstênio (não consumível) e a poça de fusão gerada na peça, são protegidos por uma atmosfera de gás inerte soprado pelo bocal da tocha. Utiliza-se como gás inerte: argônio; hélio ou mistura de ambos. A soldagem TIG pode ser realizada na corrente contínua e na corrente alternada. O tipo da corrente influencia na emissões dos elétrons e nas características da solda. As vantagens deste processo são: A utilização de um eletrodo não consumível permite soldar chapas finas, sem metal de adição; controle de energia transferida para a peça; Maior estabilidade do arco elétrico; Menor ZTA comparado ao eletrodo revestido (MODENESI; BRACARENSE; MARQUES, 2009).

As variáveis influenciam direta ou indiretamente no processo de soldagem TIG, seja no comportamento e intensidade do arco elétrico ou na qualidade e aspecto da solda. As variáveis são modificadas e controladas de forma independente, porém agem em conjunto, ou seja, um conjunto de variáveis interagem entre si (MACHADO, 1996).

De acordo com Modenesi, as principais variáveis envolvidas no processo de soldagem TIG são: Corrente de soldagem; tensão do arco; velocidade de soldagem; diâmetro e forma do eletrodo de tungstênio; gás de proteção e metal de adição.

A corrente de soldagem controla a penetração da solda proporcionalmente. O aumento da corrente afeta a tensão do arco, gerando um aumento no comprimento e tensão do arco. As soldagem realizadas em corrente contínua com polaridade negativa (CCEN), garante maior penetração que com polaridade positiva, devido ao calor gerado, onde é produzido 30% no eletrodo de tungstênio e 70% na peça. Resultando em uma poça de fusão estreita e profunda. Neste processo, não tem limpezas dos óxidos superficiais presentes na poça de fusão, e a mancha catódica é concentrada na extremidade do eletrodo, portanto o desgaste provocado na ponta é pequeno. É utilizado, eletrodo com tório, devido as suas características comparadas ao eletrodo de tungstênio puro que produz um arco instável devido a oscilações de pontos catódicos, na superfície da peça a ser soldada (CIRINO; DUTRA, 2009; MACHADO *et al.*, 1996).

Corrente contínua polaridade positiva (CCEP), nessa condição o eletrodo é conectado ao terminal positivo da máquina de solda. Na soldagem em CCEP o calor gerado no eletrodo é 70% e o calor gerado na peça 30% (MACHADO, 1996), devido ao sentido fluxo de elétrons, que incidem no eletrodo de tungstênio aquecendo o mesmo, e o sentido do fluxo de íons positivos, incidem na peça.

(WAINER; BRANDI; MELLO, 2004). O cordão de solda realizado nessas condições de soldagem, apresenta um cordão largo e com pouca penetração. E apresenta oscilações dos pontos catódicos do eletrodo (MACHADO, 1996).

A limpeza catódica é muito importante na soldagem em materiais como o alumínio, porém, na CC+ o arco apresenta instabilidade e desgaste excessivo no eletrodo, o que dificulta a realização da limpeza. Portanto é empregada na condição de CA, que permite a alternância entre os ciclos de tensão, gerando calor em torno de 50% na peça e no eletrodo. É eficaz em materiais como alumínio e magnésio. Na CA com polaridade de atuação negativa, apresenta maior amplitude de corrente, produzindo uma maior penetração. Quando imposta a polaridade de atuação positiva produz um cordão de solda com menor penetração e maior ação de limpeza dos óxidos (CIRINO; DUTRA, 2009).

Em relação a velocidade de soldagem, influencia na largura e penetração da solda, no caso de soldagem manualmente, a velocidade de soldagem é controlada pelo operador que delimita a largura da solda, e a velocidade com que ele avança varia a penetração. Na soldagem automatizada, a penetração e largura de soldagem é consequência dos parâmetros adotados. Em ambos os processos, o custo de soldagem pode influenciar na velocidade de soldagem (BRACARENSE, 2000).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O aço ferramenta VC-131 é muito utilizado para trabalho a frio. Tendo aplicações em matrizes e facas de corte, no processo de estampagem a frio. Este material se destaca pelo seu alto grau de indeformabilidade; temperabilidade e boa tenacidade. Conforme sua composição na Tabela 1 abaixo, possui um teor de carbono elevado, que dificulta a soldagem.

TABELA 1. Composição química do material VC-131.

COMPOSIÇÃO VC 131								
Elemento	C	Mn	P	S	Si	Cr	V	W
% em peso	2 à 2,25	0,2 à 0,6	0,03	0,03	0,2 à 0,4	11 à 13	0,15 à 0,3	0,8 à 1,25

Fonte: Os autores (2022).

TABELA 2. Composição do metal de adição.

Composição Química da Vareta TEC DUR 47										
Elemento	C	Cr	Ni	S	P	Si	Mo	V	Fe	Mn
% em peso	0,45	9,18	0,12	0,001	0,015	2,93	0,06	0,03	Bal.	0,33

Fonte: <http://techno-alloys.com> (2016).

Na Tabela 2 mostra a composição química do metal de adição classificado pela norma DIN WSG 6 GZ 60 ST, disponibilizado e utilizado na indústria automobilística no reparo de peças sujeitas a desgastes, estampos, punções e matrizes.

Para corrigir de forma grosseira as irregularidades presentes no material, foi fresado, deixando o mesmo com as seguintes dimensões: 75 mm x 62 mm x 25 mm de espessura. Os 4 primeiros cordões tiveram o comprimento de aproximadamente 59 mm, foi invertido o material e soldado a outra face paralela, com comprimento de cordões de solda de aproximadamente 33 mm e um de 59 mm (Soldados paralelamente a largura de 62 mm).

3.1 Parâmetros de Soldagem

Os cordões de solda foram depositados sobre o material fresado, foram realizados de forma manual, utilizando uma máquina inversora TIG. Com o intuito de analisar o aspecto do cordão de solda formado, sob as variações dos parâmetros. Realizados novos cordões a medida que os parâmetros foram modificados, para uma análise comparativa entre ambos. Foi estabelecido algumas variáveis efetivas, como gás, vazão do gás e metal de adição (Tabela 3).

A fonte de soldagem utilizada foi a inversora TIG 180P, 220V, monofásica, manual da HSOLDAS (Figura 1), ela permite soldagem TIG e eletrodo revestido. Cujas finalidades, é atribuída em reparos, pois não exige muita complexidade de tempo e controle do processo. Permite a regulagem do pós gás, da corrente e a inversão de polaridade.



FIGURA 1. Máquina inversora TIG 180P. Fonte: <https://hsoldas.com.br> (2017).

Parâmetros de soldagem adotados – Conforme Tabela 3, a cada cordão de solda varia o tipo de corrente, valor da corrente e polaridade.

TABELA 3. Parâmetros para soldagem TIG.

PARÂMETROS DE SOLDAGEM								
Passe	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º
W	EWTh-2	EWTh-2	EWTh-2	EWTh-2	EWP	EWP	EWP	EWP
CORRENTE	CC	CA	CC	CA	CA	CC	CA	CC
CORRENTE SELECIONADA (A)	100	100	70	70	100	50	80	65
CORRENTE MEDIDA	98	85	65	73	102	52	70	72
GÁS / VAZÃO	Ar 99,99% - 5 l/min							
POLARIDADE	NEGATIVA				POSITIVA			

Fonte: Os autores (2022).

Primeiro foram realizados 4 cordões de solda, utilizando o eletrodo de tungstênio (W) de ponta vermelha (EWTh-2), com diâmetro de 2 mm e ângulo de afiação 30º, distância entre o eletrodo e a peça foi entre 2 e 3 mm, devido a soldagem realizada manualmente não se teve um padrão de distância exato, houve variação. Utilizado a mesma vazão do gás para ambos os cordões, e mesmo metal de adição conforme Tabela 2. Realizados com tempo de polaridade negativa: Os dois primeiros, foi utilizado o mesmo valor de corrente, porém o primeiro utilizando corrente contínua, e o outro alternada. Em seguida foi regulado o valor da corrente para 70 A, e realizado novamente um cordão com corrente contínua e outro com corrente alternada (Figura 2).

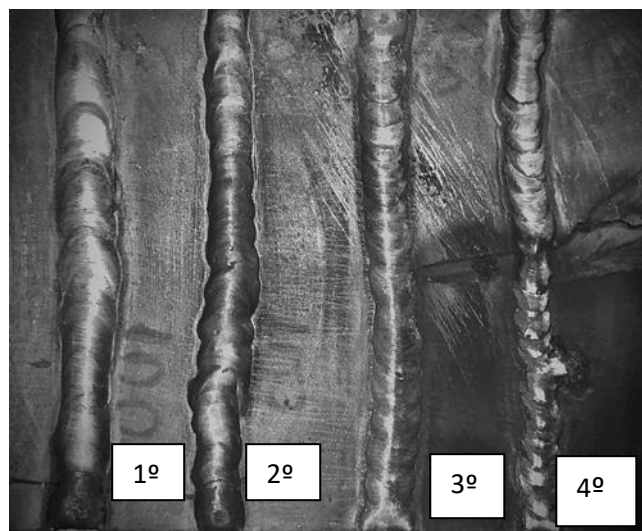


FIGURA 2. Cordões de solda realizado com polaridade negativa. Fonte: Os autores (2022).

Utilizando o eletrodo de tungstênio puro (EWP) com ângulo de afiação 30º, distância entre eletrodo e a peça entre 2 e 3mm. Conservando o mesmo valor da vazão do gás e o mesmo metal de adição, utilizados anteriormente. Com tempo de polaridade positiva: obteve apenas um cordão (5º) com valor de 100 A em corrente alternada, o sexto cordão foi regulado o valor da corrente (50 A) e

alterado para contínua. O sétimo em corrente alternada, alterou o valor para 80 A, um valor abaixo do 5º cordão obtido. O oitavo cordão, em corrente contínua, foi regulado o valor da corrente para 65 A (Figura 3).

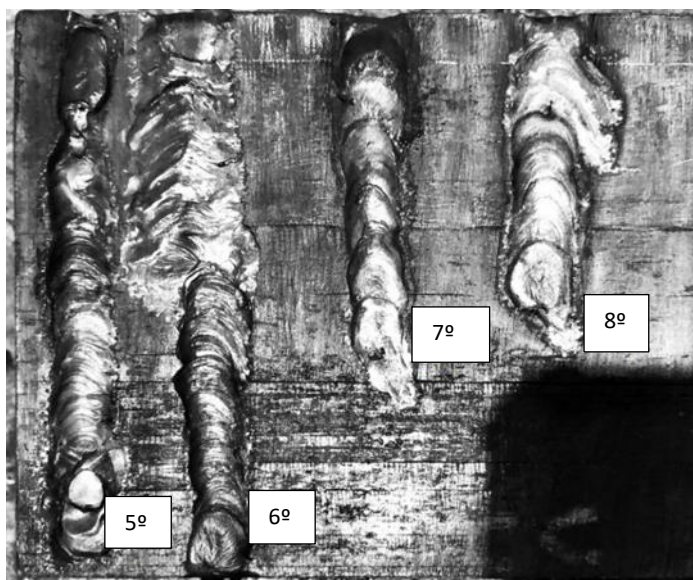


FIGURA 3. Cordões de solda realizados com polaridade positiva. Fonte: Os autores (2022).

3.1.2 Preparação Metalográfica

Foi utilizado a policorte (cut-off), com disco intensamente refrigerados, para evitar deformações consequentes de aquecimento, garantindo um corte seguro e livre de rebarbas. O corte foi realizado transversalmente e longitudinalmente, de forma a separar as faces soldadas, e posteriormente, seccionadas as amostras a serem analisadas (Figura 4).



FIGURA 4. Utilização da policorte para obtenção das amostras, seção de corte. Fonte: Os autores (2022).

Após realizado o corte, as amostras passaram por um processo de embutimento, para facilitar o manuseio das amostras, processos posteriores e durante a análise.

Portanto, as amostras foram submetidas a uma prensa de embutimento, na qual a superfície escolhida a que se pretende analisar fica em contato com o embolo da prensa (Figura 5). Em seguida, o embolo é baixado, e adiciona o polímero (baquelite), preenchendo todo o contorno visível da amostra. É fechado a tampa da câmara (região aonde fica o embolo) e iniciado o processo automaticamente (Figura 5), no qual o embolo mantém pressão sobre a amostra e a baquelite, a temperatura sobe até 170, ocasionando a polimerização da baquelite. Posteriormente, a pressão baixa aos poucos e é retirado toda umidade presente na baquelite, ocorre também o resfriamento através do trocador de calor. Quando a amostra chega a uma temperatura de 50 °C a prensa embutidora libera a saída do pistão, para a retirada da amostra.



FIGURA 5. Amostra sobre o pistão, prensa embutidora automática. Fonte: Os autores (2022).

Figura 5 mostra as amostras, que foram retiradas da prensa embutidora. Elas possuem diâmetro de 40 mm o mesmo diâmetro do pistão, formado obtido pela câmara de modelagem da prensa embutidora.

Foi utilizado uma máquina de lixamento semiautomático (Figura 6), iniciado lixa com granulometria de #100 e sequenciado com as demais (220, 320, 400, 600 e 1200). Utilizando água como fluido, a fim de evitar aquecimento ou marcas falsas nas amostras. As amostras foram lixadas conforme a técnica de lixamento girando a amostra a 90°, entre o intervalo de uma lixa e outra. Conforme a Figura 6, mostra uma das amostras, que passou pelo processo de lixamento. A superfície da amostra mostra-se espelhada, e livres das marcas que estava quando passou pelo processo de corte.



FIGURA 6. Amostras soldadas embutidas, Politriz, Amostra lixada. Fonte: Os autores (2022).

Após realizado o lixamento, foi limpa a amostra e iniciado o polimento. Foi utilizado a mesma máquina que utilizou para lixamento, a diferença é que ao invés de utilizar lixa, utiliza-se um pano de polimento e pasta diamantada. A ideia do polimento é obter uma superfície espelhada (Figura 7), livre de riscos obtidos pela lixa.



FIGURA 7. Amostra polida. Fonte: Os autores (2022).

Após o polimento, as amostras foram lavadas em água corrente.

Foi realizado o ataque químico nas amostras. Utilizando como reagente ácido o Nital 5% (5% em volume de ácido nítrico e 95% de álcool etílico). O ataque foi realizado duas vezes, o primeiro com tempo de 5 segundos, e o segundo com tempo de 2 minutos. Na Figura 8, é visível a olho nu, alguns contornos dos grãos presentes no metal base.



FIGURA 8. Amostras atacadas por 5 segundos. Fonte: Os Autores (2022).

4. RESULTADOS

Durante a soldagem foi possível verificar através da fonte as variações da corrente e tensão em cada passe, determinando a média de tensão e corrente entre o valor de pico e valor de base. Obtendo os valores foi possível calcular o aporte térmico para cada cordão de solda.

Conforme literatura de Modenesi, o aporte térmico ou energia de soldagem é o calor aplicado no material, é representado por H . O aporte térmico (H) é calculado em função da tensão (V), Corrente (I) e velocidade de soldagem. A energia de soldagem depende do processo e da técnica utilizada na soldagem. Seus parâmetros são definidos através de duas Equações:

$$H \approx \frac{VI}{v} \quad (1)$$

$$H_L = \eta H \quad (2)$$

A energia líquida de soldagem (H_L) depende do rendimento térmico (η). O rendimento térmico varia de acordo com cada processo de soldagem, na soldagem GTAW o rendimento varia de 56% a 81%, conforme a técnica utilizada e as condições de soldagem (GIEDT; TALLERICO; FUERSCHBACH, 1989; GONÇALVES *et al.*, 2006).

Em função da média da corrente e tensão apuradas, e o rendimento definido com base nos resultados obtidos em outros trabalhos (PEREIRA; FRAGA, 2020), com esses parâmetros foram calculados os respectivos aportes térmico presente na Tabela 4.

TABELA 4. Parâmetros obtidos.

Polaridade	Passe	Gás de proteção	Tipo de corrente	Corrente média (A)	Tensão média (V)	Velocidade (mm/s)	η	H (kJ/mm)	HL (Kj/mm)
Negativa	1º	99,9%Ar	CC	98	10	1,32	56%	0,742	0,416
	2º		CA	101	11	1,52	56%	0,731	0,409
	3º		CC	68	12	1,30	56%	0,628	0,352
	4º		CA	71	10,9	1,00	56%	0,773	0,433
Positiva	5º	99,9%Ar	CA	96	11	1,68	56%	0,628	0,352
	6º		CC	52	8	1,4	56%	0,297	0,166
	7º		CA	75	11	1,70	56%	0,485	0,272
	8º		CC	72	9	1,20	56%	0,540	0,302

Fonte: Os autores (2022).

Apesar de aplicar uma corrente menor no quarto cordão comparado ao segundo cordão, apresentou um aporte térmico maior, devido a velocidade de soldagem imposta ter sido inferior ao segundo cordão. Condição de aporte também encontrada por Araújo (2020), utilizando GTAW manual.

O sexto cordão apresentou menor aporte térmico, realizado com corrente e tensão baixa, mesmo apresentando uma velocidade de soldagem média, o calor gerado foi dissipado em maior quantidade no eletrodo de tungstênio do que na poça de fusão, resultando um menor aporte térmico.

4.1 Análise Macrográfica

A Figura 10 apresenta as macrografias referente aos 8 cordões de solda, obtidas após o ataque químico realizado em temperatura ambiente, utilizando o reagente Nital 5%. A partir das macrografias foram possíveis identificar a área de diluída, área de reforço e penetração de Solda.

A diluição é a composição fundida, localizada no intermédio entre o metal base e a área de reforço, e pode estar relacionada ao fator de velocidade de soldagem, quanto maior a velocidade, menor será a penetração e consequentemente a diluição (KEJELIN, 2006). A diluição normalmente atinge 50%, podendo ser controlada na maioria dos processos de soldagem (LIPPOLD, 2015).

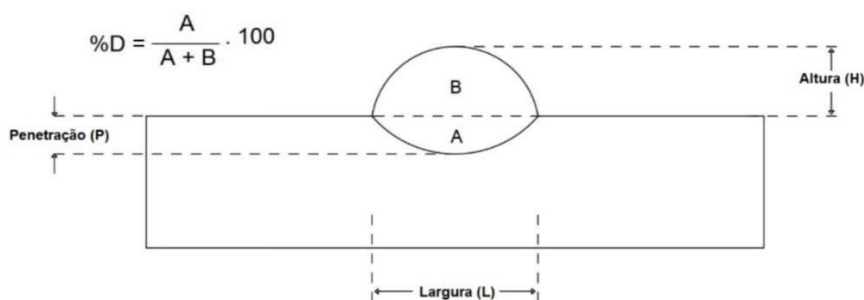


FIGURA 9. Cálculo da diluição e ilustração referente a seção transversal do cordão Fonte: APOLINARIO et al., (2019).

Com referência ao cálculo apresentado na Figura 9 e ilustração da mesma, foi calculado as áreas de diluição apresentadas na Tabela 5.

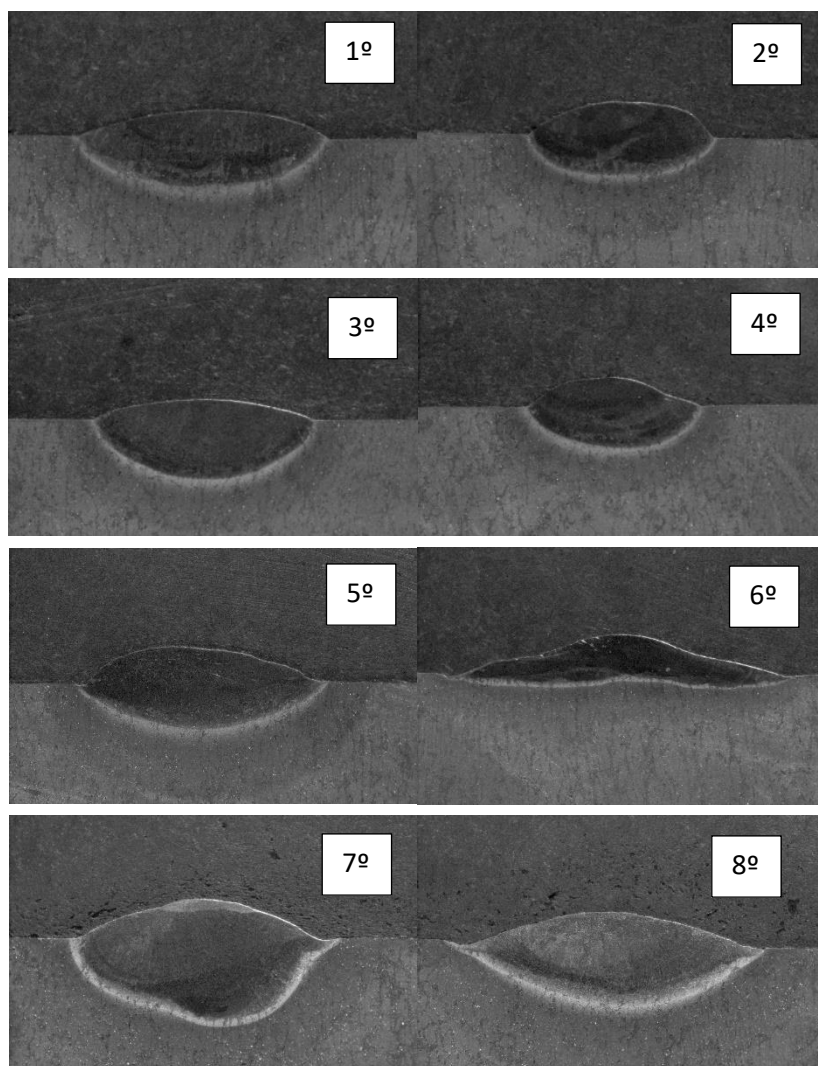


FIGURA 10. Macrografia referent a cordões de solda obtidos. Fonte: Os autores (2022).

TABELA 5. Dimensões das áreas e Porcentagem de diluição.

Cordão	Área Fundida (mm ²)	Área de reforço (mm ²)	Penetração (mm)	Largura	%D
1º	48,4	24,7	1,3	6,5	66
2º	29,6	24,5	1	5	55
3º	50,6	15,4	1,59	6	76
4º	29,3	16,5	1,12	4,7	64
5º	26,1	19,4	1,25	6,7	57
6º	8	13,4	0,5	7,1	37
7º	54,6	17,7	2,4	7,17	76
8º	38,8	20,6	1,59	8,3	65

Fonte: Os autores (2022).

A Tabela 5 apresenta as dimensões da solda em relação as condições de soldagem, e a porcentagem de diluição calculada. Comparando o 1º, 2º e 5º cordão (destacados na Tabela 5) que foram realizados com o mesmo valor de corrente selecionada (100 A). Conforme baseado na literatura de Machado, no qual diz respeito aos tipos de polaridade e seus efeito, pode-se confirmar que o 1º cordão realizado em CCEN, tem maior penetração, o 2º cordão em CCEP tem menor penetração e o 5º realizado em CA com atuação de polaridade positiva obteve penetração intermediária.

Segundo Wainer, a tensão de soldagem está associada ao comprimento e largura do arco elétrico. O aumento da tensão para um mesmo valor de corrente, proporciona um incremento na largura da solda e uma redução na penetração.

Na soldagem realizada em corrente com polaridade negativa, obteve um aumento da diluição em baixa corrente. O primeiro cordão realizado com 100 A em CC, resultou em uma diluição de 66% (Tabela 5), o quarto cordão também realizado em CC, em 70 A teve um aumento de aproximadamente 10% em relação ao primeiro cordão. Analisando o segundo e quarto cordão realizado em CA, com a diminuição da corrente de 100 A para 70 A, houve um aumento na diluição de aproximadamente 9%. O aumento da diluição, se deve a tensão do arco que, em baixa corrente não houve redução da tensão e sim, aumento da mesma, resultando em um aumento na diluição.

Na soldagem realizada em polaridade positiva, pode-se analisar o sétimo e o oitavo cordão, ambos com corrente média de soldagem aproximadas. O principal fator que influenciou a diferença de dimensões entre a soldas 7 e 8 foi a tensão do arco, apesar do oitavo ter menor velocidade de soldagem, o que resultaria em uma maior penetração, porém a tensão do arco no sétimo é superior ao oitavo cordão, caracterizando em uma maior penetração e menor largura.

O sexto cordão, apresenta menor penetração obtida devido ao menor aporte térmico, onde houve maior calor dissipado no eletrodo, e largura intermediária.

5. CONCLUSÕES

Conclui-se que a partir da adoção de alguns parâmetros, foram obtidas condições diversas para cada cordão, com o objetivo de produzir cordões em diferentes polaridades e verificar a influência de cada um deles, mesmo não imprimindo um padrão na velocidade de soldagem e tensão, foi possível analisar a diluição e aporte térmico.

A soldagem com polaridade negativa apresentou, em relação à área depositada, uma diluição média entre 55 e 66% e uma diluição máxima de 76%, esta porcentagem de diluição é resultante da influência da tensão e velocidade não controlada, portanto, não atendendo aos critérios definidos na literatura.

Na soldagem com polaridade positiva apresentou, em relação à área depositada, uma diluição média de 57 e 65%, uma diluição máxima de 76%, e uma diluição de 37% atendendo aos critérios da literatura a respeito da diluição, as demais não atendem aos critérios.

A partir dos valores apurados de aporte térmico associado a cada processo, foi possível verificar que na soldagem com polaridade negativa apresenta maior energia térmica transferida a peça.

REFERÊNCIAS

APOLINARIO, L. H. R. et al. Predominant Solidification Modes of 316 Austenitic Stainless Steel Coatings Deposited by Laser Cladding on 304 Stainless Steel Substrates. *Metallurgical and Materials Transactions A*, v. 50, n. 8, p. 3617–3628, 1 ago. 2019.

ARAÚJO, H. R. Efeito da soldagem GMAW por curto-circuito controlado na execução do passe de raiz em aço inoxidável AISI A304. *masterThesis*—[s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 30 jul. 2020.

BRACARENSE, A. Q. Processo de Soldagem TIG - GTAW. [s.l.] UFMG, 2000.

CIRINO, L. M.; DUTRA, J. C. A influência do tempo de atuação da polaridade positiva na soldagem TIG CA do alumínio. *Soldagem & Inspeção*, v. 14, n. 2, p. 131–139, jun. 2009.

CHIAVERINI, V. Aços e Ferros Fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, Principais tipos. 7. ed. Sao Paulo: ABM, 2005.

DA COSTA E SILVA, A. L. V.; MEI, P. R. Aços e ligas especiais. 2. ed. [s.l.] Editora Blucher, 2006.

GIEDT, W. H.; TALLERICO, L. N.; FUERSCHBACH, P. W. GTA Welding Efficiency: Calorimetric and Temperature Field Measurements. p. 3, 1989.

GONÇALVES, C. V. et al. Estimation of heat source and thermal efficiency in GTAW process by using inverse techniques. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 172, n. 1, p. 42–51, 2006.

KEJELIN, N. Z. Influência dos parâmetros de soldagem na formação de zonas parcialmente diluídas em soldas de metais dissimilares. *Dissertação*—Florianópolis: UFSC, 2006.

LIPPOLD, J. C. Welding Metallurgy and Weldability. Hoboken: New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2015.

MACHADO, I. G. Soldagem & técnicas conexas: processos. UFRGS: Ed. Autor, 1996.

MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q.; MARQUES, P. V. Soldagem: fundamentos e tecnologia. 3. ed. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2009.

MODENESI, P. J. Fontes de Energia para a Soldagem a Arco. p. 37, 2009.

PEREIRA, G. B. A.; FRAGA, F. E. N. METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO TÉRMICO DE UM PROCESSO DE SOLDAGEM. Mossoró - RN: UFERSA, 2020.

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H. DE. Soldagem: Processos e metalurgia. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.