

SOLDAGEM GTAW COM ADIÇÃO DE ARAME QUENTE: UMA REVISÃO

Bárbara Bastos de Souto Silva ¹
Claudio Silva Araújo ²
Mathews Lima dos Santos ³
Marcos Mesquita da Silva ⁴
Luiz Fernando Alves Rodrigues ⁵

RESUMO

O objetivo deste trabalho é investigar o processo GTAW com adição de arame quente - através de uma revisão da literatura - fazendo uma análise quantitativa dos principais parâmetros desse processo praticados pela literatura. Para isso, foram realizadas pesquisas através de livros, artigos científicos, teses e dissertações em bases de dados tais como Scielo, Google acadêmico e Periódicos CAPES. Assim, foi feito um levantamento de dados em relação aos principais parâmetros do processo GTAW-AQ, sendo eles: a corrente do arco elétrico, corrente do arame quente, velocidade de soldagem, velocidade de alimentação do arame quente e tipos de gás de proteção. Para análise desses parâmetros, os dados foram coletados, tabulados/organizados e investigados, dando origem a gráficos para uma melhor interpretação. Os principais resultados mostraram que os valores mais empregados de corrente do arco elétrico estão numa faixa de 150 a 249 A, as corrente de arame quente mais usuais estão entre 51 a 100 A e o tipo de gás de proteção mais usado é o argônio. Além disso, as velocidades de soldagem mais usuais estão entre 10 e 30 cm/min e as velocidades de alimentação do arame mais utilizadas estão entre 1,51 a 3,00 m/min. Portanto, essa visão panorâmica e quantitativa dos principais parâmetros do processo GTAW-AQ, proposta por esse artigo, pode auxiliar pesquisadores e engenheiros industriais que desejem iniciar a aplicação desse processo em alguma pesquisa ou processo de fabricação.

Palavras-chave: Soldagem, GTAW, adição de arame quente, parâmetros.

INTRODUÇÃO

Artefatos comprovam o fato da soldagem por forjamento e brasagem terem sido utilizados desde épocas remotas, como exemplo, encontra-se no Museu do Louvre um pingente de ouro com indícios de ter sido soldado e fabricado na Pérsia, por volta de 4000 a.C. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011). Desde antes da Idade do Ferro, os antigos trabalhadores do ouro sabiam como aquecer duas peças e martelar até serem unidas. (WAINER; BRANDI; MELLO, 1992).

¹ Discente do Curso Técnico em Petróleo e Gás do IFPB -PB, bbastos854@gmail.com;

² Discente do Curso Técnico em Petróleo e Gás do IFPB -PB, claudinhosas@gmail.com;

³ Doutorando da Pós-Graduação em Eng. Mecânica da UFPE-PE, mathewslimads@gmail.com;

⁴ Doutor, Técnico em Petróleo e Gás do IFPB -PB, marcos.silva@ifpb.edu.br;

⁵ Professor orientador: Dr, IFPB- Campina Grande, luiz.rodrigues@ifpb.edu.br.

Segundo a Associação Americana de Soldagem (AWS) a soldagem pode ser definida como: "Processo de união de materiais empregado para obter a coalescência (união) localizada de metais e não-metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a utilização de pressão e/ou material de adição." A soldagem é um dos mais importantes processos de fabricação e recuperação de peças metálicas da indústria. Existem dois principais métodos de soldagem: Soldagem por deformação e Soldagem por fusão (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2011). Neste artigo será analisado uma variante do processo de soldagem a arco com eletrodo de tungstênio e proteção gasosa (GTAW). Isto é, será feita uma análise do processo GTAW com adição de arame quente.

O processo de soldagem GTAW com adição de arame quente (GTAW-AQ) destaca-se por proporcionar soldas de elevada qualidade, controle da poça de fusão, permitir a automação/mecanização, soldagem sem o uso do metal de adição, geração de pouco ou nenhum respingo, permite a soldagem em qualquer posição, excelente acabamento, alcança grandes taxas de deposição e baixas porcentagens de diluição (SILWAL, 2018).

No entanto, para que esse processo de soldagem seja capaz de proporcionar todas essas vantagens é necessário um conhecimento apropriado dos mecanismos básicos do mesmo, dos equipamentos/componentes envolvidos e do controle dos principais parâmetros. Se um pesquisador de uma instituição ou um engenheiro de uma empresa deseja iniciar o emprego do processo GTAW-AQ em suas atividades, é necessário que se tenha o máximo de conhecimento desse processo. Ou seja, é necessário munir os profissionais da soldagem de informações técnicas de qualidade capazes de gerar elevados índices de desempenho/produzitividade em suas atividades.

Assim, o objetivo deste trabalho é investigar o processo GTAW com adição de arame quente - através de uma revisão da literatura - fazendo uma análise quantitativa dos principais parâmetros desse processo praticados pela literatura.

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste artigo foram analisados cerca de 32 trabalhos na literatura entre livros, artigos científicos, teses e dissertações. Para isso, algumas bases de dados foram utilizadas tais como Scielo, Google Acadêmico e Periódicos CAPES. Nessas buscas os seguintes termos técnicos foram empregados: soldagem, revestimento, corrosão, GTAW, TIG, arame quente, parâmetros entre outros.

Após as buscas nas bases de dados foi realizada uma seleção das fontes de dados baseada em 3 (três) critérios: pré-análise, exploração do material e resumo dos resultados obtidos.

Assim, foi feito um levantamento de dados em relação aos principais parâmetros do processo GTAW-AQ, sendo eles: a *corrente do arco elétrico*, *corrente do arame quente*, *velocidade de soldagem*, *velocidade de alimentação do arame quente* e *tipos de gás de proteção*. Para análise desses parâmetros, os dados foram coletados, tabulados/organizados, investigados e construídos gráficos para uma melhor interpretação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Principais Parâmetros do Processo GTAW-AQ

Corrente do arco elétrico

A *corrente do arco elétrico* é um dos parâmetros mais importante no processo de soldagem a arco em virtude da possibilidade de controlar a taxa de fusão metal de adição, a profundidade da poça de fusão e a geometria do cordão de solda. A corrente de soldagem tem influência direta na forma do cordão de solda, na velocidade de soldagem e na qualidade da solda (SILWAL, 2018).

Deve-se ser esperado que quando utilizado maiores *correntes do arco elétrico* pode ocorrer de haver respingos e danificar a peça, e caso seja empregadas baixas correntes o cordão de solda pode conter falhas e descontinuação. Portanto uma combinação de parâmetros é importante: corrente do arco, corrente do arame quente e polaridade.

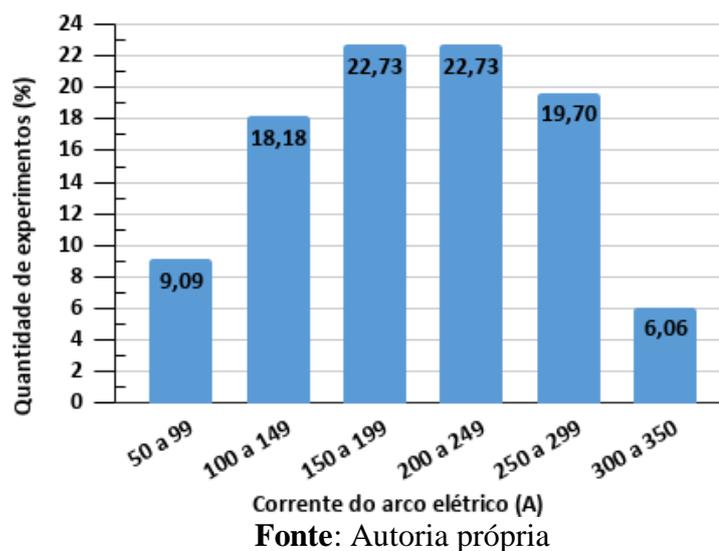
O tipo de corrente também é um fator significativo, visto que, pode afetar na distribuição de calor entre o eletrodo e a peça (metal de base, MB) como também na penetração. Os principais tipos de corrente empregados são: corrente contínua (polaridade negativa ou positiva), corrente pulsada e corrente alternada.

Observando a Figura 1, nota-se que a faixa de *corrente do arco elétrico* mais utilizada está entre 150A e 249A. Os dados obtidos também apontaram que o valor de corrente mínima para o arco foi 50A e o valor máximo foi 400A. Além disso, o valor de corrente mais usado com mais frequência foi 200A.

No trabalho realizado Chen (2012), a corrente do arco de 50 A foi empregada para diferentes correntes de arame quente de 100, 150 e 200 A, e os experimentos apresentaram uma geometria de cordão de solda estável, uniforme e sem respingos. Vale ressaltar que houve um

reajuste na velocidade de alimentação do arame para que o arame pudesse ser fundido constantemente.

Figura 1– Valores de *Corrente do arco elétrico* mais empregados no processo GTAW-AQ..



Spaniol (2020) utilizou a corrente do arco para alcançar maiores temperaturas na poça de fusão (400 A). Como forma de evitar problemas de precisão dimensional, tempos de descanso foram integrados durante a soldagem e soldagens em formato quadrado foram realizados a fim de alcançar diferentes direções de alimentação do arame quente em condições quase estacionárias. Provou-se que com uma combinação de parâmetros, é possível realizar uma superfície de cordão de solda liso e uniforme, independente da direção.

Os casos que apresentaram maiores correntes de soldagem, comumente acima de 300 A, é importante notar que também estão associadas a maiores velocidades de soldagem. E que na maioria dos casos, baixas correntes de soldagem produzem soldas não satisfatórias, como por exemplo, Silwal (2019) realizou experimentos com uma faixa de corrente do arco de 60 a 110, e os valores de 60 e 70A não apresentaram bons resultados.

Os experimentos que foram realizados com 200A, em geral, apresentam bons resultados, gerando uma geometria para o cordão de solda aceitável, dependendo também de alguns fatores que podem alterar no resultado final como a *corrente do arame quente*.

Corrente do arame quente

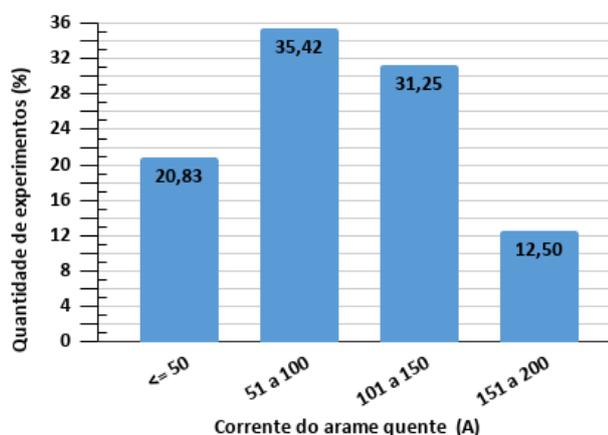
A *corrente do arame quente* é um parâmetro relevante visto que outros parâmetros como corrente do arco, tensão e velocidade de deslocamento, podem ser manipulados através de alterações de corrente do arame e na taxa de alimentação. Segundo Silwal (2019) correntes

inferiores a 50 A não é suficiente para fundir o arame, e ao utilizar uma corrente muito elevada poderá atingir a temperatura de fusão do arame. Além disso, se *corrente do arco elétrico* utilizada for baixa, na faixa de 70-80 A, fica mais difícil obter um cordão contínuo.

Em correntes elevadas necessitam de maiores cuidados devido a um fenômeno conhecido como sopro magnético, que ocorre devido a interação eletromagnética entre a *corrente do arame quente* e a *corrente do arco elétrico*.

De acordo com a Figura 2 verifica-se que a faixa de *corrente de arame quente* com os valores mais utilizados na literatura está entre 51 e 150A. Além disso, o menor valor de corrente empregado para aquecer o arame, registrado na literatura investigada neste artigo, foi de 30A e a corrente máxima foi de 200A. Já a corrente usada com maior frequência foi de 150A, embora a corrente de 70A ter apresentado a segunda maior frequência..

Figura 2 – Valores de *corrente do arame quente* mais usados no processo GTAW-AQ.



Fonte: Autoria própria

Padmanaban (2017) no seu trabalho utilizou correntes de arame de 30, 40, 60, 80 A para diferentes velocidades de soldagem e *correntes do arco elétrico*. Observou-se que independente da *corrente do arame quente* ser alta ou baixa, o arco era estável apenas em *corrente de arco elétrico* maior que 150 A.

Gases de proteção

De acordo com Machado (1995) a escolha do gás de proteção pode afetar significativamente a qualidade e o custo da solda. O propósito do gás de proteção é impedir a oxidação do eletrodo e proteger a poça de fusão, também pode ser utilizado como “back-up” para proteção do lado contrário da solda da oxidação durante a soldagem. O gás de proteção

utilizado, geralmente, é fornecido em cilindros de 4 a 10 m³ e pressão em torno de 190bars (MACHADO, 1995).

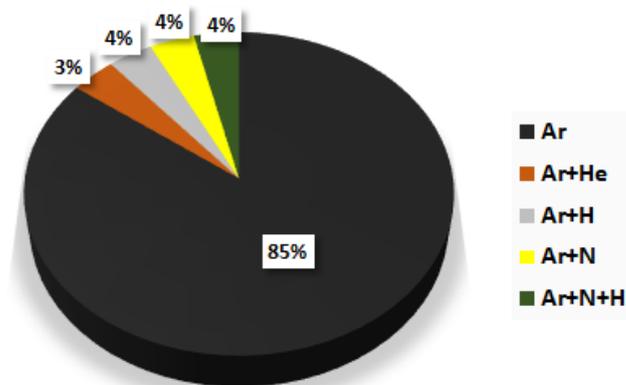
Os tipos de gases mais utilizados, registrados na literatura aqui investigada, para o processo de soldagem GTAW-AQ são: argônio (Ar), hélio (He) e misturas de He, hidrogênio (H) e nitrogênio (N) em argônio.

Analisando a Figura 3 é possível perceber que o gás mais utilizado na literatura é o Argônio, totalizando um percentual de 85%. Caso outro tipo de gás seja empregado, em geral, é realizado uma mistura com o Argônio. O argônio sendo um dos mais utilizados, possui uma pureza de 99,95%. Segundo Bracarense (2000) o argônio se destaca por ser utilizado pela maioria dos metais (comparado com o Hélio) e isso acontece por suas qualidades, entre elas:

- Possibilidade de arco mais suave;
- Penetração reduzida;
- Ação de limpeza quando da soldagem de alumínio ou magnésio;
- Baixo custo e alta disponibilidade.

As principais misturas registradas como gases de proteção empregados no processo GTAW foram: Ar+He, Ar+H, Ar+N e Ar+N+H. Geralmente, os pesquisadores variam o percentual de algum gás (He, H e/ou N) em argônio e verificam a influência dessa variação nas propriedades da solda.

Figura 3 - Gases de proteção mais utilizados no processo GTAW-AQ.



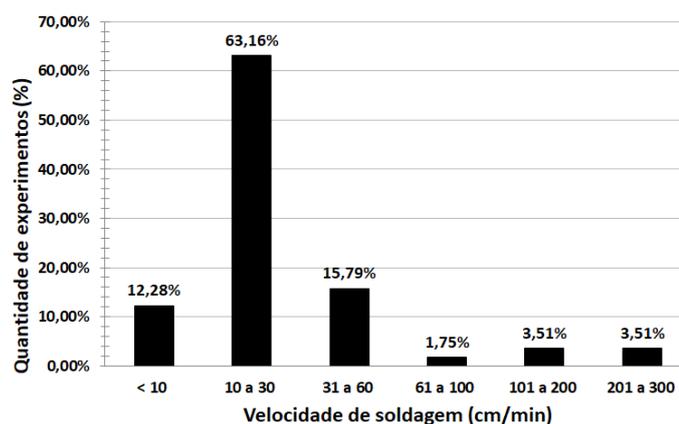
Fonte: Autoria própria

A vazão do gás também é considerada um parâmetro significativo. Deve-se atentar devido ao fato que, tanto uma vazão extremamente alta quanto baixa, pode resultar em descontinuidades no cordão de solda. Para obter uma vazão aceitável alguns parâmetros devem ser verificados, como exemplo: tipo de gás de proteção, distância do bocal a peça, tipo de junta, geometria do bocal, intensidade da corrente, existência de deslocamento de ar, inclinação da tocha, comprimento do arco, velocidade de soldagem, posição de soldagem e tipo do metal de base (MACHADO, 1995).

Velocidade de soldagem

A *velocidade de soldagem* atua diretamente na penetração e na largura do cordão de solda. Com o aumento da *velocidade de soldagem*, a penetração e o cordão diminuem, acontecendo o mesmo com o reforço (altura). Ao realizar uma solda com adição de metal, uma velocidade maior pode ser necessária. Nesse caso, uma velocidade elevada melhora a eficiência e a produtividade da soldagem, resultando em um menor custo de produção. É recomendado atenção, uma vez que, velocidades muito elevadas podem causar descontinuidades: a falta de penetração e as mordeduras em alguns cordões de solda.

Figura 4 – Valores de *velocidade de soldagem* mais empregados no processo GTAW-AQ.



Fonte: Autoria Própria

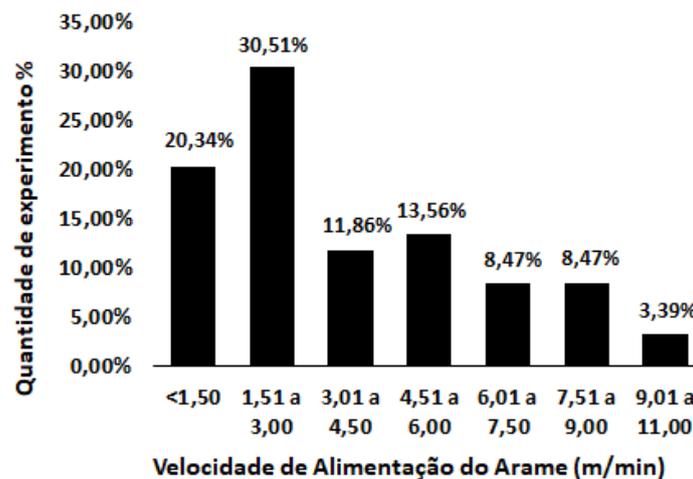
Observando a Figura 4 é possível notar que a faixa de valores de *velocidade de soldagem* mais usadas na literatura para o processo GTAW-AQ estão entre 10 e 30 cm/min totalizando um percentual de 63,16%. A faixa mais usada é de 31 a 60 cm/min totalizando um percentual de 15,79%. A menor *velocidade de soldagem* registrada na literatura, para o processo em estudo, foi de 6,75cm/min. Já o maior valor foi de 300cm/min. Além disso, a *velocidade de soldagem* usada com mais frequência foi 30cm/min.

Velocidade de alimentação do arame

A *velocidade de alimentação do arame* atua de maneira significativa no processo de soldagem GTAW-AQ. Bracarense (2000) afirma que a maiores *velocidade de alimentação do arame* produz soldas com menor penetração e perfis convexos. Caso diminua a *velocidade de alimentação do arame* ocorrerá menores taxas de alimentação e com cordões de perfis mais achatados (para uma mesma *corrente de arco elétrico*). Ainda em relação a redução de velocidade de alimentação, existe uma limitação, dado que velocidades muito baixas podem ocasionar fissuras e falta de material no cordão de solda.

A Figura 5 mostra que os valores de *velocidade de alimentação de arame* mais utilizados para o processo GTAW-AQ estão entre 1,51 a 3,00 m/min, com os cordões de solda efetuados com um bom desempenho. Segundo Voigt (2019) a taxa de fusão permaneceu equilibrada com essa taxa de alimentação do arame. A menor *velocidade de alimentação de arame* registrada na literatura, para o processo GTAW-AQ, foi de 0,5 m/min. Já o maior valor foi de 11,0 m/min. Além disso, a *velocidade de alimentação de arame* usada com mais frequência foi 2,0 m/min.

Figura 5 – Valores de velocidade alimentação do arame mais usados no processo GTAW-AQ.



Fonte: Autoria Própria

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como proposta principal, definir e destacar, quantitativamente, os principais parâmetros da soldagem GTAW-AQ. Par isso, dados foram coletados, organizados, tabulados e, finalmente, apresentados em forma de gráficos. A partir desses gráficos foi possível

obter um panorama quantitativo de como os principais parâmetros do processo GTAW-AQ foram empregados na literatura. Ou seja, foi possível mostrar dados como valores mais empregados com mais frequência, menores e maiores valores possíveis de aplicar, etc.

Os levantamentos de dados apontam que a faixa de *corrente do arco elétrico* mais utilizada varia de 150 a 249 A. Já as *correntes do arame quente* mais empregadas encontram-se na faixa entre 51 e 150 A e o gás de proteção mais utilizado é o argônio, embora a mistura de outros gases em argônio também possam ser utilizadas.

As *velocidades de soldagem* mais empregadas estão entre 10 a 30 cm/min e as *velocidades de alimentação do arame quente* mais usadas situam-se entre 1,51 a 3,00 m/min.

Essa visão panorâmica e quantitativa dos principais parâmetros do processo GTAW-AQ, proposta por esse artigo, pode auxiliar pesquisadores e engenheiros industriais que desejem iniciar a aplicação desse processo em alguma pesquisa ou processo de fabricação.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal da Paraíba (IFPB), Campus Campina Grande, pelo apoio a essa pesquisa através de edital Interconecta Edital N ° 01/2020.

REFERÊNCIAS

UEGURI, S et al. Control of deposition rates in hot wire TIG welding. **Welding International**, v. 1, n. 8, p. 736-742, jan. 1987. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/09507118709451085>.

BRACARENSE, Alexandre Queiroz. Processo de soldagem TIG-GTAW. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2000.

EGERLAND, Stephan Alfred. Status and Perspectives in Overlaying under Particular Consideration of Sophisticated Welding Processes. **Quarterly Journal of the Japan Welding Society**, v. 27, n. 2, p. 50-54, nov. 2009.

CHEN, J. S. *et al.* Gas Tungsten Arc Welding Using an Arcing Wire. **Supplement To The Welding Journal**, v. 91, n. 10-12, p. 261-270, ago. 2012.

EGERLAND, Stephan et al. Advanced Gas Tungsten Arc Weld Surfacing Current Status and Application. **Soldagem & Inspeção**, v. 20, n. 3, p. 300-314, set. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0104-9224/si2003.05>.

MR, Anantha Padmanaban; NEELAKANDAN, Baskar; KANDASAMY, Devakumaran. A Study on Process Characteristics and Performance of Hot Wire Gas Tungsten Arc Welding

Process for High Temperature Materials. **Materials Research**, v. 20, n. 1, p. 76-87, 28 nov. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2016-0321>.

SILWAL, Bishal; SANTANGELO, Michalel. Effect of vibration and hot-wire gas tungsten arc (GTA) on the geometric shape. **Journal Of Materials Processing Technology**, v. 251, p. 138-145, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.08.010>.

SILWAL, Bishal; WALKER, James; WEST, Daniel. Hot-wire GTAW cladding: inconel 625 on 347 stainless steel. **The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology**, v. 102, n. 9-12, p. 3839-3848, 1 mar. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-019-03448-0>.

MARTINS, Alexssander Marzzona Fernandes et al. ESTUDO COMPARATIVO DOS PROCESSOS TIG -HOT WIRE E TIG COLD WIRE VISANDO ALTA PRODUTIVIDADE. **VII Encontro da Rede de Cooperação em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação em Materiais e Equipamentos Para Setor Industrial Brasileiro (Rede Pdimat): Encontro de Caxias do Sul, Sc**, p. 1-9, mar. 2019.

SPANIOL, E.; UNGETHÜM, T.; TRAUTMANN, M.; ANDRUSCH, K.; HERTEL, M.; FÜSSEL, U.. Development of a novel TIG hot-wire process for wire and arc additive manufacturing. **Welding In The World**, v. 64, n. 8, p. 1329-1340, 10 mar. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40194-020-00871-w>.

KEJELIN, Norton Zanette. **SOLDAGEM DE REVESTIMENTO DE AÇOS COMUNS C-Mn COM SUPERLIGA A BASE DE NÍQUEL INCONEL 625**. 2012. 183 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

LIMA, C.R.C. *et al.* Wear and corrosion performance of Stellite 6® coatings applied by HVOF spraying and GTAW hotwire cladding. **Journal Of Materials Processing Technology**, v. 284, p. 116734, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2020.116734>.

VOIGT, Anna Louise. **DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE MÉTODO DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO DO ARAME PARA O PROCESSO DE SOLDAGEM TIG "HOT WIRE"**. 2019. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

VOIGT, Anna Louise; CUNHA, Tiago Vieira da; NIÑO, Carlos Enrique. Conception, implementation and evaluation of induction wire heating system applied to hot wire GTAW (IHW-GTAW). **Journal Of Materials Processing Technology**, v. 281, p. 116615, jul. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2020.116615>.

HORI, K; WATANABE, H; MYOGA, T; KUSANO, K. Development of hot wire TIG welding methods using pulsed current to heat filler wire – research on pulse heated hot wire TIG welding processes. **Welding International**, v. 18, n. 6, p. 456-468, jun. 2004. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1533/wint.2004.3281>.

SANTANGELO, Michael; SILWAL, Bishal; PURDY, Alexander. VIBRATION ASSISTED ROBOTIC HOT-WIRE GAS TUNGSTEN ARC WELDING (GTAW) FOR ADDITIVE MANUFACTURING OF LARGE METALLIC PARTS. **Solid Freeform Fabrication Symposium – An Additive Manufacturing Conference**, p. 1548-1556, set. 2016.

SHINOZAKI, Kenji; YAMAMOTO, Motomichi; MITSUHATA, Koichi; NAGASHIMA, Toshiharu; KANAZAWA, Tatsunori; ARASHIN, Hitoshi. Bead formation and wire temperature distribution during ULTRA-HIGH-SPEED GTA WELDING using pulse-heated hot-wire. **Welding In The World**, v. 55, n. 3-4, p. 12-18, mar. 2011. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf03321281>.

CANTARIN, Tadeu Noveli. **CHARACTERIZAÇÕES MECÂNICAS E MICROESTRUTURAIS DO AÇO AISI 8630 MODIFICADO REVESTIDO COM A LIGA DE NÍQUEL 625 POR SOLDAGEM “GTAW”**. 2011. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso da Área de Tecnologia Nuclear – Materiais., Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SHINOZAKI, K.; YAMAMOTO, M.; NAGAMITSU, Y.; UCHIDA, T.; MITSUHATA, K.; NAGASHIMA, T.; KANAZAWA, T.; ARASHIN, H.. Melting Phenomenon during Ultra-High-Speed GTA Welding Method using Pulse-heated Hot-wire. **Quarterly Journal Of The Japan Welding Society**, [S.L.], v. 27, n. 2, p. 22-26, 2009. Japan Welding Society. <http://dx.doi.org/10.2207/qjjws.27.22s>.

JORGE, Vinícius Lemes; SANTOS, César Henrique Alves; SCOTTI, Fernando Matos; LARQUER, Thiago Resende; MOTA, Carolina Pimenta; REIS, Ruham Pablo; SCOTTI, Américo. Desenvolvimento e Avaliação de Técnicas para Pulsação da Alimentação de Arame em Soldagem a Arco. **Soldagem & Inspeção**, v. 23, n. 3, p. 326-339, set. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0104-9224/si2303.03>.

OLIVEIRA, Waldemiro Eccard de. **ESTUDO DO REPARO DO REVESTIMENTO DE INCONEL 625 EM AÇOS BAIXA LIGA SEM TRATAMENTO TÉRMICO PÓS-SOLDAGEM**. 2014. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica e Tecnologia dos Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Cefet/Rj, Rio de Janeiro, 2014.

BRAGA, Flávio José Villela. **REVESTIMENTO DE INCONEL 625 SOBRE AÇO CARBONO ABL UTILIZANDO VARIANTES DO PROCESSO TIG VISANDO ALTA PRODUTIVIDADE E BAIXA DILUIÇÃO**. 2017. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais., Universidade Estadual do Norte Fluminense – Uenf, Campos dos Goytacazes, 2017.

GANDELMAN, Ariel Dov Ber. **DUREZA AO RISCAMENTO E COEFICIENTE DE ATRITO DE REVESTIMENTOS DE INCONEL 625 DEPOSITADOS PELO PROCESSO TIG ALIMENTADO COM DUPLO ARAME AQUECIDO**. 2017. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

ONSOIEN, By M. et al. Effect of Hydrogen in an Argon GTAW Shielding Gas:: arc characteristics and bead morphology. **Welding Research Supplement**, Philadelphia, Pa., v. 74, n. 1, p. 10-15, abr. 1994.

CHAVES, Paulo Nunez. **INFLUÊNCIA DO NITROGÊNIO E DO HIDROGÊNIO NO GÁS DE PROTEÇÃO ARGÔNIO NA SOLDAGEM TIG AUTÓGENA DE AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX**. 2004. 107 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SCHWEDERSKY, Mateus Barancelli et al. Soldagem TIG de elevada produtividade: influência dos gases de proteção na velocidade limite para formação de defeitos. **Soldagem & Inspeção**, v. 16, n. 4, p. 333-340, dez. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-92242011000400004>.

PIMENTA, André Rocha et al. Nitrogen Addition to the Shielding Gas for Welding Hyperduplex Stainless Steel. **Soldagem & Inspeção**, v. 25, p. 1-8, maio 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0104-9224/si25.12>.

CHENG, Shanghua et al. Effects of N₂-mixed shielding gas on the ferrite number and microstructure of 304L multi-pass GTAW joint. **Sādhanā**, v. 45, n. 1, p. 1-10, 18 jul. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12046-020-01429-8>.

MODENESI, Paulo José; MARQUES, Paulo Villani. **Introdução aos processos de soldagem**. Disponível em: https://infosolda.com.br/wp-content/uploads/Downloads/Artigos/processos_solda/introduo-aos-processos-de-soldagem.pdf. Acesso em: 26 abr. 2021.

VILLANI, Paulo; MODENESI, Paulo José; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. 3. ed. Belo Horizonte: Ufmg, 2011. 363.p

WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; MELLO, Fábio Décourt Homem de (ed.). **SOLDAGEM: processos e metalurgia**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1992. 494 p.

MACHADO, Ivan Guerra. **SOLSAGEM E TÉCNICAS CONEXAS: processos**. Porto Alegre: Ed. do Autor, 1996. 475 p.