**O USO DE SISTEMAS DE MONITORAMENTO DA SOLDAGEM DE AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

**Leonardo Oliveira Passos da Silva1**; Francisco Magalhães dos Santos Junior2; Luã Fonseca Seixas³; Tiago Nunes Lima4; Bruno Caetano dos Santos Silva5; Rodrigo Santiago Coelho6

1 Bolsista de PD&I; Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (SENAI / PD&I); leooliveirap@gmail.com

2 Bolsista de PD&I; Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (SENAI / PD&I); magalhaesjun@gmail.com

3 Bolsista de PD&I; Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (SENAI / PD&I); lua.seixas03@gmail.com

4 MSC. Tiago Nunes Lima; SENAI CIMATEC; Salvador-BA; tiago.nunes@fieb.org.br

5 MSC. Bruno Caetano dos Santos Silva; SENAI CIMATEC; Salvador-BA; bruno.silva@fieb.org.br

6 Prof. Dr.-Ing. Rodrigo Santiago Coelho; SENAI CIMATEC; Salvador-BA; rodrigo.coelho@fieb.org.br

**RESUMO**

A soldagem dos aços inoxidáveis duplex é um processo complexo, pois pode promover o desbalanceamento microestrutural entre a ferrita e austenita e a precipitação de fases deletérias. O monitoramento dos principais parâmetros de soldagem é importante para minimizar os efeitos indesejados quando o material é exposto a temperatura por determinado tempo. Este trabalho apresenta uma revisão sistemática de patentes sobre o uso de sistemas de monitoramento da soldagem para registro, diagnóstico e plano de ação da junta soldada de um aço inoxidável duplex durante a soldagem GTAW e GMAW. A base de dados utilizada foi a de patentes publicadas na plataforma Derwent Innovation. De acordo com os resultados encontrados, constata-se que não há patentes de um sistema integrado que monitore os parâmetros de soldagem, identifique possíveis defeitos e indique plano de ação respectivo para sanar o defeito.

**PALAVRAS-CHAVE:** Revisão sistemática; Aço inoxidável duplex; Monitoramento da Soldagem.

**1. INTRODUÇÃO**

 Os aços inoxidáveis são materiais de grande interesse para a engenharia, principalmente pela sua resistência à corrosão, podendo ser encontrados nas indústrias química, petroquímica, *offshore* e óleo e gás.1 Dentre as categorias destes aços, o duplex se destaca em função da sua combinação favorável das propriedades dos inoxidáveis ferríticos e dos auteníticos, aliando elevada resistência mecânica, boa tenacidade, resistência a corrosão em meios agressivos.2

A presença de elementos de liga principalmente cromo, molibdênio e níquel, entre outros, estabiliza a relação 50/50 entre ferrita e austenita além de reduzir a suscetibilidade a corrosão desses aços.3,4 Por outro lado, existe potencial ataque corrosivo na região da zona termicamente afetada (ZTA), devido às mudanças metalúrgicas que ocorrem durante a soldagem.1,5 O alto teor de elementos de liga promove a precipitação de fases intermetálicas e desbalanceamento da fração microestrutural ferrita e austenita.3,6 Mas esses fenômenos deletérios podem ser evitados caso se tenha boas práticas de controle de processos desses aços, monitorando os parâmetros de soldagem, principalmente o aporte térmico (corrente, tensão e velocidade de soldagem) e temperatura interpasse.1,6

 A soldagem de aços inoxidáveis duplex, por ser um processo complexo, deve seguir algumas normas, dentre elas, destacam-se a N-133 e a I-ET-3010.90-1200-955-PPC-0027,8, que trata de especificações técnicas da Petrobras para soldagens. A primeira trata de soldagem de maneira geral de aços e ligas não ferrosas e a segunda de soldagem específica do Pré Sal. Dentre diversos requisitos e recomendações destas normas, destaca-se a necessidade de monitoramento dos parâmetros de soldagem, como o aporte térmico, porcentagem de oxigênio na purga e temperatura interpasse.

 Percebe-se, então, a necessidade de um sistema que monitore os parâmetros de soldagem, para melhor rastreabilidade e confiabilidade dos procedimentos de soldagem, indique não conformidades e identifique possíveis tipos de defeitos metalúrgicos ocorridos durante a soldagem, apresentando possíveis planos de ação e controle de processos de soldagem. O objetivo deste trabalho é realizar uma revisão sistemática para identificar se já existem patentes publicadas referentes a um sistema de monitoramento da soldagem em tempo real, nos processos a arco GTAW e GMAW, que prevê diagnóstico e plano de ação.

**2. METODOLOGIA**

 Este presente estudo trata-se de uma revisão sistemática de patentes, sobre o uso de sistemas de monitoramento de soldagem em aços inoxidáveis duplex. A metodologia utilizada consiste no levantamento de patentes e aplicando a estratégia que obedece a sistemática descrita a seguir:9

I. Elaboração da pergunta norteadora: Há disponível patente de um sistema que monitore a execução de soldagem a arco GTAW e GMAW, em específico o aço inoxidável duplex, e que dê diagnóstico da junta soldada e plano de ação caso algum defeito seja identificado;

II. Seleção da plataforma de busca: Derwent Innovation (www.derwentinnovation.com);

III. Definição da estratégia de busca de acordo com a Tabela 1;

IV. Filtragem das patentes após leitura de título e resumo, e uma segunda filtragem após leitura integral;

V. Análise quantitativa dos dados coletados;

VI. Identificação de quais trabalhos respondem parcial ou totalmente às perguntas norteadoras.

**Tabela 1. Relação das palavras-chave na plataforma Derwentinnovation®. Fonte: Autores.**

|  |  |
| --- | --- |
| **#** | **Palavras-chave** |
| **1** | (welding monitoring software) AND (welding data processing) |
| **2** | (welding monitoring software) AND (welding data processing) AND (welding process control) |
| **3** | (welding monitoring software) AND (welding data processing) AND (welding process control) AND (GTAW AND GMAW) |

A busca de anterioridade foi realizada pelo Núcleo de Propriedade Intelectual (NPI) do SENAI CIMATEC e é essencial para a definição das estratégias de desenvolvimento de um novo projeto referente ao tema proposto. Esta busca é uma amostragem e não verifica os documentos de patentes que estão em período de sigilo a partir da data de pedido de depósito nos escritórios oficiais, que é de 18 meses. Portanto, se algum documento similar ou igual estiver no período de sigilo, não estará disponível nos bancos de dados de patentes e artigos científicos. Além disso, a busca prévia não garante a abrangência do campo de pesquisa bibliográfica na totalidade da literatura técnica publicada no mundo. O resultado da pesquisa é referente a data de 04 de abril de 2019.

**3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

 A primeira estratégia relacionou duas palavras-chave principais relacionadas com o objeto de pesquisa a fim de listar e filtrar patentes que tivessem uma relação significativa com o tema e maior possibilidade de comparação entre o objeto patenteado e o objeto de estudo, obtendo-se um total de 97 patentes. Os dados encontrados revelam uma crescente busca do desenvolvimento de tecnologias relacionadas ao monitoramento da soldagem, destacando-se a China como maior portadora de patentes com esta classificação e as empresas Lincoln Global Inc e Illinois Tool Works Inc como as maiores desenvolvedoras. A Tabela 2 apresenta as patentes que mais se aproximam ao tema proposto.

 **Tabela 2. Principais patentes separadas conforme a primeira estratégia de busca. Fonte: Autores.**

|  |  |
| --- | --- |
| **Código e Título da Patente** | **Principais Características** |
| CN106232280 (A): [System for method of monitoring and characterizing manual welding operations](https://pt.espacenet.com/publicationDetails/biblio?FT=D&date=20161214&DB=&locale=pt_PT&CC=CN&NR=106232280A&KC=A&ND=4) [versão em chinês]US2015056585 (A1): [System and method monitoring and characterizing manual welding operations](https://pt.espacenet.com/publicationDetails/biblio?FT=D&date=20150226&DB=&locale=pt_PT&CC=US&NR=2015056585A1&KC=A1&ND=4) [versão em inglês] | * Inclui Hardware e Software;
* Analisa soldas dos tipos SMAW, GMAW, FCAW e GTAW;
* Processa informações em tempo real;
* Analisa variáveis de controle e limites aceitáveis;
* Indica o fim da atividade e oferece um feedback imediato em tempo real;
* Avalia a performance e a qualidade do soldador, oferecendo uma ação de remediação se necessário;
 |
| CN200947611 (Y): [Wireless data collection and process device for quality monitoring in welding process](https://pt.espacenet.com/publicationDetails/biblio?FT=D&date=20070912&DB=&locale=pt_PT&CC=CN&NR=200947611Y&KC=Y&ND=4) | * Monitora em tempo real;
* Transmissão de data por wireless;
* Tem um computador na composição do produto;
* Não especifica quais variáveis analisa, se possui software ou qual tipo de solda analisa.
 |

A segunda estratégia limitou a relação entre as patentes com o tema, visando encontrar aquelas que mais se assemelham a este, assim como o comportamento do mercado no desenvolvimento deste tipo de tecnologia, em criação de patentes, obtendo-se 39 patentes. Destaca-se novamente a China como maior portadora deste tipo de patente, possuindo cerca de 92% das patentes encontradas por esta estratégia. Com a segunda estratégia de pesquisa foi possível filtrar algumas patentes que se demonstraram relevantes em termos de similaridade com o objetivo proposto, vide Tabela 3.

**Tabela 3. Principais patentes separadas conforme a segunda estratégia de busca. Fonte: Autores.**

|  |  |
| --- | --- |
| **Código e Título da Patente** | **Principais Características** |
| CN105345247B: Resistance welding machine welding quality on-line monitoring system comprises power supply module, data collecting module, digital process module, communication module, welding machine main board and welding machine control switch. | * Monitora qualidade da solda;
* On-line;
* Analisa parâmetros de input e output, no resumo não especifica quais;
* Armazena informações;
* Não especifica onde é utilizado, se possui software ou qual tipo de solda analisa.
 |
| CN107081533A e CN107081533B: Online quantitative evaluation method for determining stability of welding process comprises e.g. arc voltage U, welding current I during welding process for monitoring, obtaining results and drawing corresponding U-I period phase diagram | * Plota o gráfico de fases correspondentes;
* Processa e avalia a estabilidade da solda;
* Para determinar consistência e estabilidade do processo de solda se comunica com o software MATLAB;
* Analisa soldas MIG e MAG, o gás de solda e outros parâmetros;
* Mostra informações de output, sem especificar quais no resumo.
 |

Com a terceira estratégia de busca obteve-se um total de 10 patentes, mas nenhuma das apresentadas pode ser considerada relevante ao tema. Com isso constata-se que não há patentes de sistema que monitore os parâmetros de soldagem, identifique possíveis defeitos e indique plano de ação respectivo para sanar o defeito.

**4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste estudo foi realizada uma revisão sistemática na plataforma Derwent Innovation com o objetivo de mapear patentes referente a sistemas que monitoram os parâmetros de soldagem, como corrente, tensão, velocidade de soldagem, aporte térmico, temperatura de interpasse, entre outros. De acordo com a pesquisa, não foram encontrados nenhuma patente relacionada ao monitoramento de soldagem em tempo real e que dê diagnóstico e plano de ação. Do universo de 97 patentes referentes a primeira estratégia, somente foram encontradas 2 patentes que se aproximam ao tema pesquisado. Também foram encontradas 2 patentes referente a segunda estratégia, de um total de 39. Já com a terceira estratégia, mais restritiva, não foram encontradas patentes que se enquadram com um sistema completo de monitoramento da soldagem.

**5. REFERÊNCIAS**

1 GUNN, R. N. **Duplex stainless steels: Microstructure, properties and applications.** Abington Publishing, 2002.

2 SILVA, A. L. V. DA C. E & MEI, P. R. **Aços e Ligas Especiais**. Edgard Blücher, 2006.

3 PAULRAJ, P. & GARG, R. **Effect of welding parameters on pitting behavior of GTAW of DSS and super DSS weldments.** Eng. Sci. Technol. an Int. J. 19, 1076–1083, 2016.

4 ARUN, D., DEVENDRANATH RAMKUMAR, K. & VIMALA, R. **Multi-pass arc welding techniques of 12 mm thick super-duplex stainless steel**. J. Mater. Process. Technol. 271, 126–143 (2019).

5 OLIVEIRA, P. M. DE, BIGHETTI, W. C. & FONSECA, G. S. DA. **Estudo Da Formação Da Fase Sigma Em Aço Inoxidável Superduplex Uns S32750 a 800oc**. 43–51, 2018.

6 VARBAI, B., PICKLE, T. & MÁJLINGER, K. **Effect of heat input and role of nitrogen on the phase evolution of 2205 duplex stainless steel weldment.** Int. J. Press. Vessel. Pip. 176, 2019.

7 Petrobras. **N-133 Soldagem**, 2017.

8 Petrobras. **TECHNICAL SPECIFICATION I-ET-3010.90-1200-955-PPC-002**.

9 Silva, L. O. P. da *et al.* **Simulação numérica e física na soldagem dos aços inoxidáveis duplex: uma revisão sistemática**. p. 373-380 . In: Anais do V Simpósio Internacional de Inovação e Tecnologia. São Paulo: Blucher, 2019.