

## UMA ABORDAGEM INTRODUTÓRIA DAS NANOPARTÍCULAS NA SOLDAGEM<sup>1</sup>

Leonardo Pereira Manske<sup>2</sup>, Danielle Bond<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Vinculado ao projeto “Estudo do Processamento de Ligas Metálicas com Nanopartículas Utilizando Plasma por Arco Transferido (PTA) para Manufatura Aditiva”

<sup>2</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica – CCT – Bolsista PROIP/UDESC

<sup>3</sup> Orientadora, Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas – CCT – danielle.bond@udesc.br

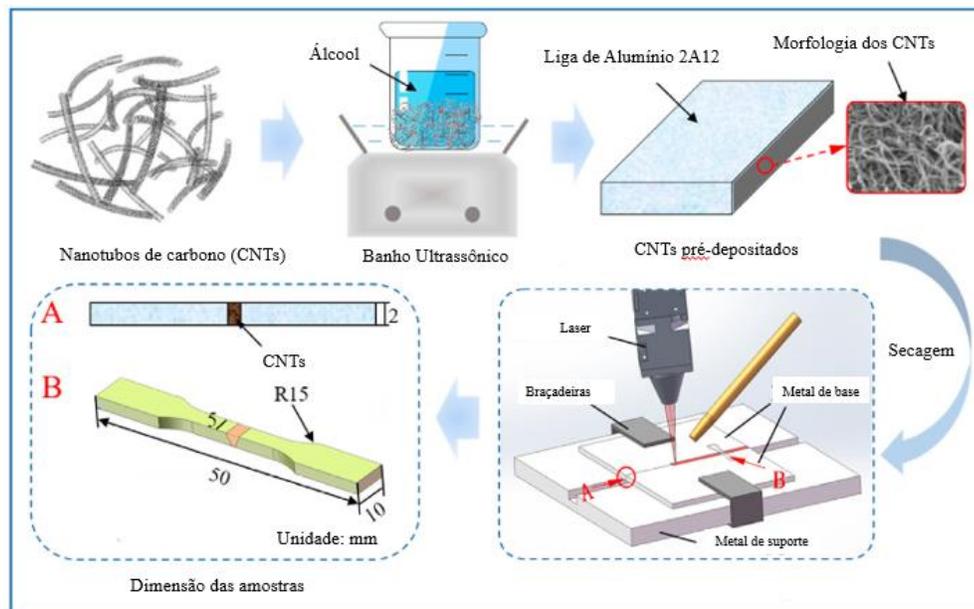
A nanotecnologia é uma área multidisciplinar que envolve diversas áreas tais como: engenharia, química, médica entre outras. O emprego de materiais em escala nanométrica proporciona propriedades elétricas e mecânicas diferenciadas aos materiais. Na engenharia destaca-se o desenvolvimento de novos materiais como os nanocompósitos, os quais podem ser obtidos por meio da soldagem. As nanopartículas (NPs) inseridas nos processos de soldagem podem ser de dois tipos: nanocerâmicas e nanotubos de carbono (CNTs). Destaca-se que os CNTs possuem propriedades únicas, tais como elevado módulo de elasticidade (aprox. 1.000 GPa), resistência à tração (150 GPa) e condutividade térmica (entre 3.000 e 6.000 W/mK) na sua direção longitudinal. A excelente condutividade térmica e mecânica combinadas com baixa densidade resultam materiais compósitos de alta performance. Contudo, existe uma grande dificuldade para a inserção destas partículas nanométricas na matriz metálica utilizada na soldagem, pois estas possuem uma elevada tendência a se aglomerarem devido às forças de Van der Waals, o que pode prejudicar a transferência de propriedades para o substrato. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão introdutória sobre a influência das NPs na soldagem, com foco principal na adição de CNTs na poça de fusão. Uma busca sistemática de literatura foi realizada e os resultados mostram que a inserção de NPs nas soldas pode promover um refinamento da microestrutura e alterar suas propriedades mecânicas (dureza, tenacidade e resistência mecânica, a corrosão e ao desgaste). Elas podem ser inseridas nos fluxos e/ou materiais de adição tais como pós, revestimentos dos eletrodos, nas superfícies das varetas, arames ou depositadas diretamente no material de base, assim como é mostrado na Figura 1, onde utilizou-se de uma suspensão em álcool para depositar os CNTs diretamente na chapa de alumínio. Algumas técnicas são utilizadas para a inserção e mitigação da aglomeração das NPs tais como: banhos ultrassônicos, moagem em moinho de bolas ou agitação mecânica. Para a utilização dos CNTs, outro fator importante é realizar técnicas que não danifiquem sua estrutura tubular, pois suas elevadas propriedades dependem do seu formato. As nanopartículas cerâmicas são muito utilizadas em processos à arco elétrico como o GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) e o PTA (*Plasma Transferred Arc*) (Tabela 1). Para os nanotubos de carbono os processos de soldagem mais utilizados são GTAW e LW (*Laser Welding*). Nesses processos por fusão as nanopartículas podem ser inseridas nos materiais de adição (nas varetas e nos pós) ou diretamente na superfície do substrato; já nos processos por fricção os processos mais utilizados são FSP (*Friction Stir Processing*) e FSW (*Friction Stir Welding*), os quais conseguem dispersar os CNTs durante o próprio processo. Destaca-se que a literatura aponta que a maioria das soldagens com CNTs são realizadas no alumínio por meio da soldagem por fricção, pois ao mesmo tempo em que ocorre a soldagem há a dispersão dos nanotubos evitando, portanto, sua aglomeração. Contudo, na soldagem por fricção, existe a chance de haver uma

redução do tamanho dos CNTs e ocorrer o desgaste das suas pontas devido a rotação da ferramenta, porém essas ocorrências podem ser mitigadas com a mudança de parâmetros de soldagem.

**Tabela 1.** Quadro resumo das nanocerâmicas na soldagem.

| Processo de soldagem | Nanopartícula    | Material de adição      | Material de base  | Alterações das propriedades da solda ao inserir as nanopartículas  | Autores                            |
|----------------------|------------------|-------------------------|-------------------|--|------------------------------------|
| GTAW                 | TiC              | TiC/Al                  | Al                | Maior taxa de nucleação, menor crescimento de grão, aumento da resistência à tração e microdureza.   | Fattahi <i>et al.</i> (2015)       |
| GTAW                 | ZrC/TiC          | ZrC/TiC/Al              | Al                | Aumento das propriedades mecânicas (resistência à tração e tensão de escoamento), redução do alongamento da junta.                                 | Ahmadi <i>et al.</i> (2017)        |
| GTAW                 | TiC              | TiC/Al-Mg-Mn            | Al                | Maior taxa de nucleação, menor crescimento de grão, aumento da resistência à tração e microdureza, aumento da resistência à propagação de trincas. | Murali, Sokoluk e Li (2021)        |
| PTA                  | WC               | WC/Ni                   | Aço baixo carbono | Aumento da resistência ao desgaste.  | Molina-Carlos <i>et al.</i> (2017) |
| PTA                  | ZrO <sub>2</sub> | Fe-ZrO <sub>2</sub> /Co | Cu (sem diluição) | Refino microestrutural.  | Bond <i>et al.</i> (2020)          |

**Figura 1.** Exemplo de inserção de CNTs no processo LW, imagem adaptada de Xu *et al.* (2022).



**Palavras-chave:** Nanotubos de carbono (CNTs). Inserção de NPs. FSP (*Friction Stir Processing*).