

PRINCIPAIS ASPECTOS DE SOLDAGEM DE TECIDOS VIVOS: UMA REVISÃO

Kerolaine de Jesus Tavares

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, CEP 70910-900, Brasília-DF.
tavares.kerolaine@gmail.com

Volodymyr Ponomarov

Universidade Federal de Uberlândia, FEMEC, Av. João Naves de Ávila, nº 2121, Bairro Santa Mônica, CEP 38400-902, Uberlândia-MG.
vladimir@ufu.br

Maksym Ziberov

Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, CEP 70910-900, Brasília-DF.
mziberov@unb.br

Resumo. O desenvolvimento de novos processos de soldagem segue certos princípios, como: a necessidade de aumentar a produção e a produtividade, melhorar a qualidade da junta soldada, conseguir soldar materiais novos, usualmente de baixa soldabilidade, e outros. Apesar de pouco usual, tecidos vivos também podem ser sujeitos à “soldagem”, mas o processo de união deve ser muito específico considerando as características do “material de base”, principalmente o fato que a temperatura da área ativa tem que ser limitada a, aproximadamente, 70°C (temperatura de início da desnaturação de moléculas de proteína). Ou seja, mesmo com certas perdas de proteínas nas faces da linha de junta, os tecidos têm que permanecer vivos. A desnaturação de moléculas de proteína é acompanhada pela coagulação de proteína, o fenômeno que serve como uma cola para unir as bordas da junta (sutura cirúrgica) sem necessidade de usar fios. Tal processo foi desenvolvido no Instituto de Soldagem Elétrica de Paton em Kiev (Ucrânia) junto com o Ministério da Saúde da Ucrânia e com o Consortium Service Management Group, Inc. (CSMG) Corpus Christi (EUA) nos anos 90 do século XX. O objetivo desse artigo é realizar uma revisão bibliográfica sobre os principais aspectos de soldagem de tecidos vivos expondo a sua descoberta, os princípios de funcionamento, equipamentos necessários e aplicações.

Palavras chave: Soldagem. Soldagem de tecidos vivos. Ferramentas de soldagem. Proteínas. Sutura cirúrgica.

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia envolvida no processo de soldagem está ligada ao avanço de ciências como química, física, eletrônica e principalmente a eletricidade. O descobrimento do arco elétrico, como uma fonte de calor, viabilizou o processo de soldagem. Atribuem-se as primeiras observações do arco elétrico ao Sir Humphrey Davy (Inglaterra, 1801) e ao Prof. Vasilii Petrov (Império Russo, 1802). Todavia, Sir Humphry Davy observou um arco instantâneo, enquanto Vasilii Petrov conseguiu mantê-lo por tempo longo o bastante (Weldfabtech, 2017). Esta evolução continuou com o desenvolvimento da soldagem a arco com um eletrodo de carvão de Nikolai Benardos e Stanislaw Olszewski em 1885, passando por contínuas melhorias nos anos e décadas a seguir: soldagem a arco com eletrodo consumível do Nikolai Slavianov em 1888 e C. L. Coffin em 1890, soldagem com eletrodos revestidos de O. Kjellberg em 1905, aplicação do gás inerte como proteção do arco elétrico por Henry M. Hobart e Philip K. Denvers em 1926. Mesmo nos dias de hoje, o processo de soldagem elétrica continua sua evolução permanente (Machado, 2007). Nota-se que diversos saltos tecnológicos contribuíram muito no desenvolvimento da soldagem, como: automação, computerização, introdução da tecnologia inversora, e outros. Atualmente, a soldagem está presente na indústria de construção naval, ferroviária, aeronáutica, aeroespacial, automobilística, química, petrolífera, nuclear, construção civil, bem como na criação de peças de artesanato e joias.

Segundo a American Welding Society (AWS), soldagem é um processo de união de materiais, usado para obter a união localizada dos mesmos, produzida com ou sem aquecimento, com ou sem o uso de pressão e com ou sem material de adição. A Figura 1 apresenta exemplos de soldagem em diferentes áreas.

A soldagem pode ser classificada, conforme o principal fator de operação, em dois grupos: por pressão (ou por deformação) e por fusão. No primeiro grupo um material é pressionado sobre outro material, assim aplicando uma tensão mecânica no material de base, produzindo a solubilização das partes ainda na fase sólida. Essa pressão age sobre as superfícies que devem ser soldadas e, normalmente está assistida pelo aquecimento local gerado pela passagem de

corrente elétrica ou pelo atrito ou pela outra fonte de calor. Este grupo de processos inclui soldagem por forjamento, por ultrassom, por fricção, por difusão, por explosão, entre outros (Bracarense, *et al.* 2009), ou seja, são os processos de soldagem que não usam o metal de adição. Já no segundo grupo de processos, os materiais são unidos via a fase líquida (fundida) deles, o que implica o uso da energia térmica. Neste caso, a união entre os dois materiais pode ocorrer com ou sem material de adição. Este grupo de processos abrange soldagem por eletro-escória, arco submerso, eletrodo revestido, arame tubular, MIG/MAG, a plasma, TIG, por feixe de elétrons, a laser, entre outros (Bracarense, *et al.* 2009).



Figura 1. Os mais usados processos de soldagem a arco: soldagem por eletrodo revestido (à esquerda), soldagem TIG/GTAW (no centro) e soldagem MIG/MAG (à direita) (ESAB, 2020)

Considerando esta grande variedade de processos, percebe-se que a soldagem possui um potencial a ser usada não somente na indústria metal mecânica, mas também em áreas mais específicas como, por exemplo:

- para soldagem subaquática: muito empregada em situações de reparos emergenciais em cascos de navios e estruturas submersas; atualmente tem como sua principal aplicação na construção de plataformas *off-shore* de extração de petróleo. De acordo com Pessoa (2007), a soldagem subaquática pode ainda ser aplicada em reparo de estruturas imersas na indústria naval, no setor de gás e nas usinas hidrelétricas;
- para soldagem no espaço (fora da gravidade): Naden e Prater (2020) comentam que o primeiro registro de soldagem no espaço foi feito por pesquisadores soviéticos do Instituto de Soldagem Elétrica de Paton em Kyiv (Ucrânia) em 1969;
- para soldagem escultural (artes): Para Ziegelmaier (2012), a escultura é a arte que transforma materiais em figuras ou formas que tenham largura, altura e profundidade, ou seja, uma linguagem tridimensional. De acordo com Santana (2012), a escultura moderna utiliza-se da técnica de soldagem para criação de uma obra arte com o auxílio de materiais novos ou recicláveis.

Há, no entanto, mais uma área de aplicação da soldagem, que não é muito conhecida, a união de tecidos vivos, para formar a sutura cirúrgica, como mostrado na Figura 2. O processo de referência para a soldagem “cirúrgica” é a soldagem por resistência elétrica desenvolvida por Elihu Thomson em 1885, cujos princípios de aquecimento local pelo efeito Joule assistido pela pressão são muito adequados para soldagem de tecidos vivos. Considerando-se a escassez de informações sobre esta aplicação de soldagem, o objetivo desse artigo é apresentar uma revisão acerca do assunto em epígrafe, abordando o desenvolvimento do processo de soldagem de tecidos vivos, princípios de funcionamento, equipamentos necessários e suas aplicações.

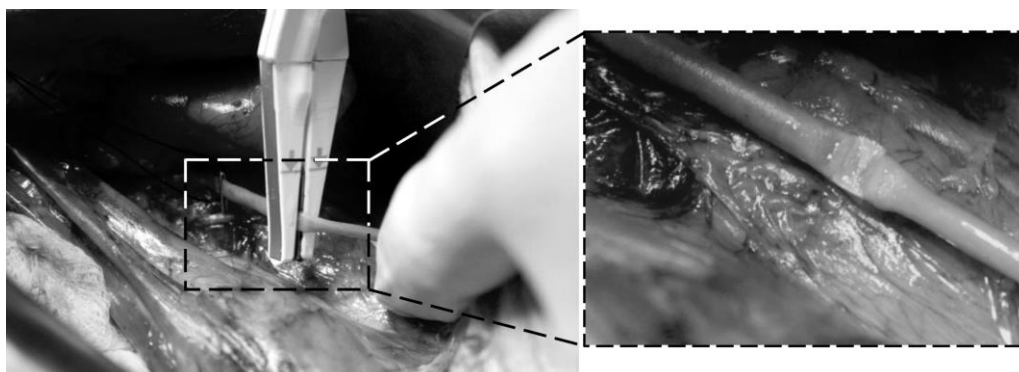


Figura 2. Um exemplo de soldagem de tecidos vivos: no caso, de uma artéria humana (adaptado de Lebedev e Dubko, 2020)

2. SOLDAGEM DE TECIDOS VIVOS

Os procedimentos convencionais para a junção de tecidos dispõem da utilização de materiais de sutura, grampos, dispositivos de costura, dispositivos de compressão, composições adesivas, entre outros. Ainda assim, em alguns casos os métodos convencionais podem resultar em risco ao paciente. Uma busca permanente no cenário tecnológico das ciências médicas é indispensável para minimizar tais riscos (Paton, 2004).

Dentre estas evoluções, destaca-se a soldagem elétrica de tecidos vivos usada na fase final de procedimentos cirúrgicos. Esta técnica foi desenvolvida no Instituto de Soldagem Elétrica de Paton em Kiev (Ucrânia) junto com o Ministério da Saúde da Ucrânia e com o Consortium Service Management Group, Inc. (CSMG) Corpus Christi (EUA) nos anos 90 do século XX. Paton *et al.* (2003) patentearam este método de soldagem do tecido mole de animais e seres humanos (*method for welding soft animal and human fabrics*) em 2003. No ano de 2004, os mesmos requerentes solicitaram a patente da invenção do sistema e método para controle de soldagem de tecidos vivos (*system and method for control of tissue welding*) (Paton *et al.*, 2004).

Como mencionado, conforme os princípios de funcionamento, este método de soldagem de tecidos vivos é similar à soldagem de metais por resistência e, em particular, usando correntes elétricas de alta frequência (HFRW). A Figura 3 ilustra esta similaridade.

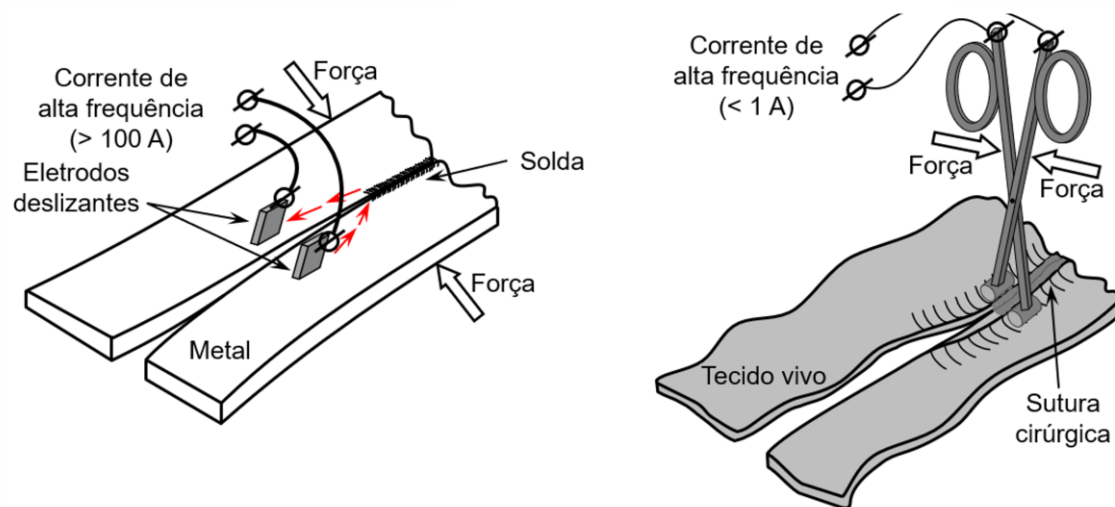


Figura 3. Acerca da similaridade entre os princípios de funcionamento da soldagem de metais por resistência usando correntes elétricas de alta frequência (HFRW) (à esquerda) e o método de soldagem de tecidos vivos (à direita) (Figura de autoria própria, 2021)

O processo de soldagem de tecidos vivos ocorre conforme os passos descritos a seguir: inicialmente as bordas de tecidos são unidas e pressionadas uma contra outra com o auxílio da ferramenta de soldagem (uma pinça ou um fórceps). Em seguida, o médico cirurgião liga a fonte de alimentação por um tempo determinado (usualmente menos do que 1 segundo). Depois, o sistema de controle de soldagem é desligado e o “ponto soldado” é liberado. Tal procedimento é repetido até que a lesão seja totalmente fechada com uma sutura do tipo “costura” (sequência dos pontos soldados). A junta é formada usando o princípio da desnaturação eletrotérmica das proteínas moleculares, que devido a coagulação consequente da proteína dos tecidos se unem formando a solda (Paton *et al.*, 2013).

Para que exista uma junção confiável torna-se essencial uma combinação de fatores como: frequência de corrente, valor de corrente, temperatura alcançada pelo tecido-alvo (não pode ser maior do que 60°C – 80°C), pressão dos eletrodos, tempo de aquecimento do tecido, que deve ser o mais curto possível, usualmente menos que 1 segundo, entre outros fatores. Sabe-se que existe o risco de que correntes elétricas de baixa frequência, em contato com o tecido humano, estimulem o tecido nervoso, que é dotado de um sistema elétrico também de baixa frequência (Trindade *et al.*, 1998). O tecido nervoso, estimulado, provoca contração do tecido muscular. Entretanto, à medida que a frequência da corrente elétrica aumenta, diminui a sensibilidade do tecido nervoso. Correntes elétricas acima de 10 000 ciclos por segundo, já não estimulam o tecido nervoso. Assim, são utilizadas correntes elétricas da frequência entre 60 e 500 kHz. Correntes elétricas de frequência muito alta devem ser evitadas, já que podem ter comportamento imprevisível, errático, com possibilidade de perda de eficácia do sistema, e ainda, com o risco de produzir queimaduras indesejáveis, tanto para o paciente, quanto para o cirurgião (Trindade *et al.*, 1998).

Também, leva-se em consideração que o equipamento e as ferramentas de soldagem sejam simples e convenientes para o manuseio do cirurgião. Os eletrodos devem poder ser utilizados a longo prazo de maneira que não ocorra superaquecimento. De acordo com Sydorets e Dubko (2016), aumentando a área de seção transversal pode-se reduzir-se o superaquecimento dos eletrodos e do tecido-alvo ao realizar a soldagem em tecidos.

Basicamente, o ferramental desenvolvido é composto por uma fonte de alimentação e instrumentos eletrocirúrgicos mostradas nas Figuras 4 e 5. A fonte de alimentação EKVZ-300 permite modificar os algoritmos operacionais e os parâmetros de trabalho, de acordo com a necessidade do procedimento cirúrgico. Sua frequência de operação é igual a 440 kHz, contando com uma potência que varia do zero ao valor máximo de 300 W. Todos os instrumentos eletrocirúrgicos (pinças, fórceps e outros) são do tipo bipolar.

O equipamento EKVZ-300 serviu como base para o desenvolvimento do equipamento móvel EKVZ-300M e EKVZ-MDU (Figura 6). Eles possuem uma massa inferior a 6,50 kg e podem ser usados em postos de primeiros socorros, serviço médico aéreo, medicina de emergência (Patonmed, 2021).



Figura 4. Aparelho multifuncional EKVZ-300 para soldagem de tecido vivo, onde: 1 - fonte, 2 - pedal ligar/deligar e 3 - “eletrodos” pinças e fórceps (adaptado de Patonmed, 2021)

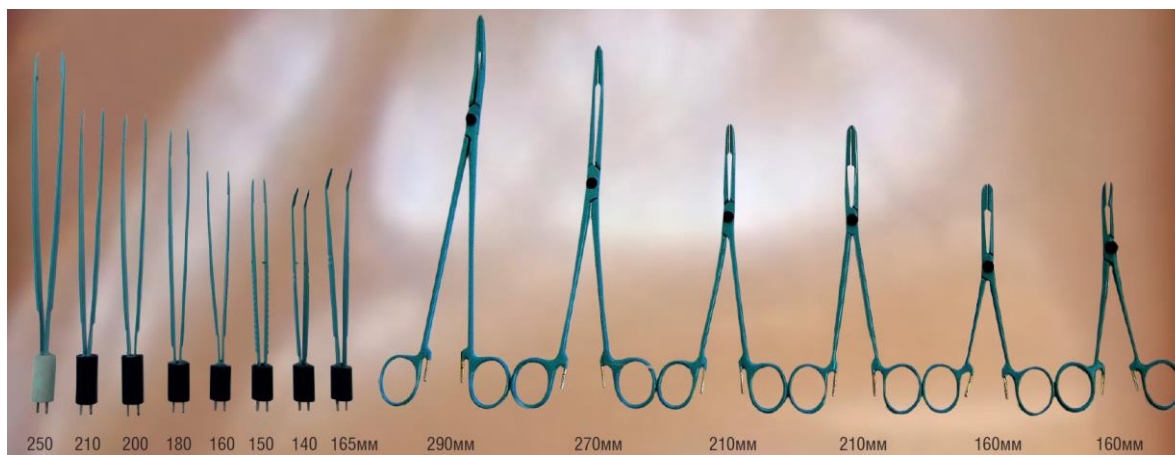


Figura 5. Pinças e fórceps eletrocirúrgicas bipolares (Patonmed, 2021)



Figura 6. Aparelhos móveis multifuncionais para soldagem de tecido vivo por alta frequência com painel de controle integrado EKVZ-300M (a), remoto EKVZ-MDU (b) e em condição de armazenamento (c) (adaptado de Patonmed, 2021)

Os equipamentos desenvolvidos podem ser aplicados para a união, a hemostasia e a incisão de tecidos, na oncologia, ginecologia, pediatria, laparoscopia, politrauma, oftalmologia, proctologia, otorrinolaringologia, urologia, em combate do câncer, em transplante de órgãos, no tratamento de hernias, em cirurgias veterinárias, entre outras aplicações (Lebedev e Dubko, 2020).

Segundo Lebedev e Dubko (2020), a soldagem de tecidos vivos diminui as complicações pós-operatórias, sendo conveniente para locais de difícil ou impossível acesso para os meios convencionais, por ser um procedimento pouco invasivo, além de diminuir o tempo de duração da cirurgia. Paton *et al.* (2013) indica que esse método de soldagem proporciona uma redução da perda de sangue em 50% ou mais e redução do tempo de operação em 20-50% comparado com a cirurgia convencional, além da possibilidade de tratamento cirúrgico de pacientes que são considerados inoperáveis. A reabilitação pós-operatória também é bem mais rápida.

O processo de soldagem de tecidos vivos, apresentado acima, não deve ser confundido com o processo parecido chamado a eletrocirurgia, também denominada como a diatermia. Este processo também aproveita de calor gerado nos tecidos humanos devido à passagem de uma corrente elétrica de alta frequência (Palomares, 2005). Variando o valor desta corrente e o formato da onda de corrente, o cirurgião pode utilizá-los com a finalidade de produzir aquecimento local instantâneo e controlado para obter efeitos específicos de coagulação ou até corte. A eletrocirurgia promove a coagulação do sangue (hemóstase) resultando na redução de sangramento, possibilita o efeito simultâneo de corte e coagulação, permite destruir células no local da cirurgia (através do calor). Mas este processo não oferece a possibilidade de unir tecidos vivos, o que é uma importante vantagem do processo anterior.

Existem duas técnicas diferentes de eletrocirurgia de alta frequência que se distinguem pelo caminho por onde segue a corrente elétrica: a técnica (bisturi) monopolar e a técnica (bisturi) bipolar (Figura 7). Na técnica bisturi monopolar, são utilizados dois eletrodos, um chamado ativo e outro de volta. O eletrodo de volta está distante do eletrodo ativo, de forma que a corrente elétrica deve atravessar o corpo humano. Na técnica bisturi bipolar, os dois eletrodos são iguais unidos numa pinça ou numa tesoura, ou seja, formam um só instrumento bipolar. Os dois eletrodos são bastante próximos, limitando o fluxo da corrente elétrica no corpo humano. Chama-se atenção que devido ao fato de ser uma área que é longe da eletricidade, os termos aplicados podem ser bem equívocos. Por exemplo, no sistema bisturi monopolar, o eletrodo em contato com o tecido-alvo pode ter os nomes “eletrodo positivo” ou “eletrodo ativo” e outro, que fica em contato com a pele do paciente, “eletrodo neutro”, “eletrodo dispersivo” ou “eletrodo de retorno”. O que não é correto, pois o tipo da corrente aplicada é alternado, logo os eletrodos não podem ser nem “positivos”, nem “neutros”.

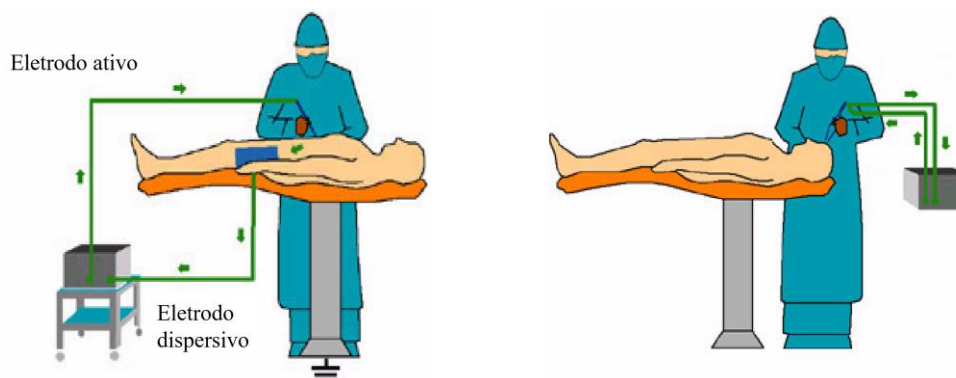


Figura 7. Eletrocirurgia, as técnicas: monopolar (à esquerda) e bipolar (à direita) (adaptado de Palomares, 2005)

3. CONCLUSÕES

A partir desta revisão as seguintes conclusões podem ser obtidas:

- O desenvolvimento da soldagem de tecidos vivos foi proposto pelo Instituto de Soldagem Elétrica de Paton (Kiev, Ucrânia) e surgiu diante da necessidade de substituir os métodos convencionais usados nos processos cirúrgicos.
- São disponíveis equipamentos específicos desenvolvidos para realização de soldagem em tecidos vivos.
- A soldagem de tecidos vivos continua em evolução e esta revisão contribui com a literatura uma vez que não há publicações em português sobre o tema, o que pode fomentar o estudo e o desenvolvimento da área.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Departamento da Engenharia Mecânica da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília (UnB).

5. REFERÊNCIAS

- Bracarense, A.Q., Marques, P.V. e Modenesi, P.J., 2009. “Soldagem Fundamentos e Tecnologias”. 3ª edição. Belo Horizonte, Brasil.
- ESAB. 2020. “Catálogo de Consumíveis”. Brasil, p. 1-208.
<https://www.esab.com.br/br/pt/support/documentation/upload/1902600_rev15_consumiveis_handbook.pdf>.
- Lebedev, A.V., and Dubko, A.G., 2020. “Use of Electric Welding of Living Tissues in Sugery (review)”. *Biomedical Engineering*, Vol. 54, No. 1, p. 73-78.
- Machado, I.G., 2007. “Soldagem & Técnicas Conexas: Processos”. Porto Alegre, Brasil.
- Naden. N. and Prater T.J., 2020. “A Review of Welding in Space and Related Technologies”. *Technical Memorandum – NASA*. p. 1-36.
- Palomares, R.P.A. 2005. *Confiabilidade Metrológica de Unidades Eletrocirúrgicas de Alta Frequência*. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil.
- Paton, B.E., 2004. “Electric Welding of Soft Tissues in Surgery”. *The Paton Welding Journal*. Vol. 9, p. 6-10.
- Paton, B.E., Krivtsun, I.V., Marinsky, G.S., Khudetsky, I.Yu., Lankin, Yu.N. And Chernets, A.V. 2013. “Welding, Cutting and Heat Treatment of Live Tissues”. *The Paton Welding Journal*. Vol. 10-11, p. 142-153.
- Paton, B.E., Lebedev, V.K., Lebedev, A.V., Masalov, Y.A., Ivanova, O.N., Zakharash, M.P. and Furmanov, Y.A. 2003. “*Method for Welding Soft Animal and Human Fabrics*”. Patent RU2003135514A. 02 Jan. 2021
<<https://patents.google.com/patent/RU2003135514A/en>>.
- Paton, B.E., Lebedev, V.K., Lebedev, A.V., Masalov, Y.A., Ivanova, O.N., Zakharash, M.P. and Furmanov, Y.A. 2004. “*System and Method for Control of Tissue Welding*”. Patent US6733498B2. 02 Jan. 2021
<<https://patents.google.com/patent/US6733498>>.
- Patonmed. 2021. “Live Tissue Welding Apparatuses of EKVZ-300 PATONMED® Series”. 01 Jan. 2021
<<http://patonmed.com.ua/en/home>>.
- Pessoa, E.C.P., 2007. *Estudo da Variação da Porosidade ao Longo do Cordão em Soldas Subaquáticas Molhadas*. Tese de doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.
- Santana, E., 2012. *CORPO – INSTRUMENTO esculturas em metal e suas articulações na contemporaneidade*. Tese de mestrado, Universidade Federal da Bahia, Brasil.
- Sydorets, V. and Dubko, A., 2016. “Increase of Efficiency of Electrosurgical Tools for Welding of Live Biological Tissues”. In *2nd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS)*. Kyiv, Ukraine.
- Trindade, M.R.M., Grazziotin, R.U. e Grazziotin, R.U. 1998. “Eletrocirurgia: Sistemas Mono e Bipolar em Cirurgia Videolaparoscópica”. *Acta Cir. Bras*. Vol. 13, No. 3.
- Weldfabtech. 2017. “Birth of Welding”. 09 Jan. 2021 <<http://www.weldfabtechtimes.com/flash-back/birth-of-welding>>.
- Ziegelmaier, R.S., 2012. *O Espaço como Elemento da Escultura: do Moderno ao Virtual*. Tese de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

MAIN ASPECTS OF WELDING OF LIVING TISSUES: A REVIEW

Kerolaine de Jesus Tavares

University of Brasilia, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Zip code 70910-900, Brasilia-DF.
tavares.kerolaine@gmail.com

Volodymyr Ponomarov

Federal University of Uberlandia, FEMEC, Av. João Naves de Ávila, nº 2121, Bairro Santa Mônica, Zip code 38400-902, Uberlandia-MG.
vladimir@ufu.br

Maksym Ziberov

University of Brasilia, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Zip code 70910-900, Brasilia-DF.
mziberov@unb.br

Abstract. *The development of new welding processes follows certain principles, as the need to increase production and productivity, to improve the quality of the welded joint, to be able to weld new materials, that usually has low weldability, and others. Besides being unusual, living tissue can also be subject to "welding", but the joining process has to be very specific considering the characteristics of the "base material", especially the fact that the temperature of the active area has to be limited at approximately 70°C (temperature at which protein molecules are denatured). That is, even with certain losses of protein on the faces of the joint line, the tissues must remain alive. The denaturation of protein molecules is accompanied by protein coagulation, the phenomenon that serves as a glue to join the edges of the joint (surgical suture) without the need to use threads. Such a process was developed at the Paton Electric Welding Institute in Kyiv (Ukraine) together with the Ministry of Health of Ukraine and the Consortium Service Management Group, Inc. (CSMG) Corpus Christi (USA) in the 90s of the 20th century. The objective of this article is to carry out a bibliographic review on the main aspects of welding living tissue, exposing its discovery, the principles of operation, necessary equipment, and applications.*

Keywords: Welding, Welding of Living Tissues, Welding Tools, Protein, Surgical suture.

RESPONSIBILITY NOTICE

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