

KÉVIN YVINEC

**UMA INVESTIGAÇÃO SOBRE A PRIORIDADE DA INVENÇÃO DO
PROCESSO DE SOLDAGEM A ARCO ELÉTRICO**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

2021

KÉVIN YVINEC

**UMA INVESTIGAÇÃO SOBRE A PRIORIDADE DA INVENÇÃO DO
PROCESSO DE SOLDAGEM A ARCO ELÉTRICO**

Projeto de conclusão de curso
apresentado ao Curso de graduação em
Engenharia Mecânica da Universidade
Federal de Uberlândia, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof.Dr.Volodymyr Ponomarov

Banca examinadora:

Prof. Dr. Volodymyr Ponomarov
Universidade Federal de Uberlândia

Profa. Dra. Anna Tokar
UNIGRAN, Dourados, MS

Prof. Dr. Leandro João da Silva
Universidade Federal de Uberlândia

Uberlândia – MG
2021

Agradecimentos

À Universidade Federal de Uberlândia e à Faculdade de Engenharia Mecânica pela oportunidade de realizar este curso.

Ao LAPROSOLDA para disposição do material necessário as experimentações.

Ao meu orientador, o Professor Volodymyr Ponomarov pela proposta de projeto, e pelo apoio e a dedicação na realização deste projeto.

YVINEC, K. **Uma investigação sobre a prioridade da invenção do processo de soldagem a arco elétrico**. 2021.68f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia.

Resumo

A soldagem como a conhecemos hoje na era moderna passou por muitos desenvolvimentos com o objetivo de ser cada vez mais eficiente e ter menores custos de fabricação. A invenção da soldagem a arco elétrico foi possível graças à revolução industrial que favoreceu o desenvolvimento de campos como eletricidade e engenharia elétrica. Assim começou no início do século XIX o que viria a ser uma das maiores invenções do período da revolução industrial: a descoberta do arco elétrico. Posteriormente, essa descoberta abrirá caminho para o desenvolvimento de tecnologias como iluminação pública, aquecimento e até soldagem a arco elétrico. Esta última nasceu tardiamente após a descoberta do arco elétrico, devido à falta de conhecimento na área de engenharia elétrica e principalmente sobre as fontes de energia para utilizar este processo. Assim, a soldagem a arco elétrico começará a ser desenvolvida a partir da descoberta do eletromagnetismo por Faraday e da criação dos primeiros geradores elétricos, possibilitando a obtenção de fontes de corrente potentes o suficiente para realizar o processo de soldagem dos metais, primeiramente por meio da soldagem a arco elétrico com eletrodo de carbono. A questão de quem criou a soldagem a arco elétrico é relativamente vaga e confusa, e é o foco deste trabalho para estabelecer quem realmente deu origem à ciência da soldagem elétrica de metais. Assim, é feita uma breve revisão da história da soldagem, desde sua origem até os tempos modernos, antes de focar mais extensivamente na descoberta do arco elétrico na Rússia por Vasily Petrov, depois no surgimento da soldagem a arco elétrico na Rússia e na França através dos inventores Nikolay Nikolaevich Bernardos e também de Auguste de Méritens, que são os dois principais protagonistas envolvidos na criação da soldagem a arco elétrico e que afirmam a originalidade do seu processo de soldagem. Assim, é feita uma análise cronológica dos fatos, com base nas observações e relatos disponíveis à época, de forma a poder resolver a questão da prioridade da invenção da soldagem elétrica. Depois de determinar quem foi realmente o autor da soldagem a arco elétrico, uma série de experimentos de soldagem a arco elétrico são realizados com equipamentos semelhantes ao da época, a fim de confirmar a viabilidade do processo de soldagem e poder comparar como os resultados apresentados na literatura técnica da época. Assim, experimentos de soldagem a arco elétrico com um eletrodo de carbono e um eletrodo revestido são realizados a fim de comparar os resultados.

Palavras chaves: Soldagem a arco elétrico. Prioridade de invenção. Nikolai Bernardos. Auguste de Méritens.

YVINEC, K. **An investigation of the priority of the invention of electric arc welding.**
2021.68p. B. Sc. Graduation Final Project, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia.

Abstract

Welding as we know it today in the modern era has undergone many developments with the aim of being increasingly efficient and having lower manufacturing costs. The invention of electric arc welding was made possible by the industrial revolution that increased the development of fields such as electricity and electrical engineering. Thus, began at the beginning of the 19th century what would become one of the greatest inventions of the period of the industrial revolution: the discovery of the electric arc. Later, this discovery will pave the way for the development of technologies such as public lighting, heating and even electric arc welding. The latter was born late after the discovery of the electric arc, due to the lack of knowledge in the field of electrical engineering and especially about the energy sources to use this process. Thus, electric arc welding will begin to be developed from the discovery of electromagnetism by Faraday and the creation of the first electrical generators, making it possible to obtain current sources powerful enough to carry out the metal welding process, primarily through the electric arc welding with carbon electrode. The question of who created electric arc welding is relatively vague and confusing, and it is the focus of this paper to establish who really originated the science of electric metal welding. Thus, a brief review of the history of welding from its origins to modern times is made, before focusing more extensively on the discovery of electric arc in Russia by Vasily Petrov, then on the emergence of electric arc welding in Russia and France through the inventors Nikolay Nikolaevich Bernardos and also Auguste de Méritens, who are the two main protagonists involved in the creation of electric arc welding and who affirm the originality of their welding process. Thus, a chronological analysis of the facts is made, based on observations and reports available at the time, in order to resolve the issue of the priority of the invention of electrical welding. After determining who was really the author of the electric arc welding, a series of electric arc welding experiments are carried out with equipment similar to the one at the time, in order to confirm the feasibility of the welding process and be able to compare the results presented in the technical literature of the time. Thus, electric arc welding experiments with a carbon electrode and a coated electrode are carried out in order to compare the results.

Keywords: Electric arc welding. Priority of the invention. Nikolai Benardos. Auguste de Méritens

Lista de figuras

Figura 1: Humphry Davy - Wikipedia.....	7
Figura 2: A.P. Strohmenger - Alustir	9
Figura 3: Oscar Kjellberg - ESAB.....	9
Figura 4: Soldagem laser - Autodata	10
Figura 5: Vasily Petrov - Wikipedia.....	11
Figura 6: Patente de Auguste de Méritens-1892- Fonte: Patente de 1892	16
Figura 7: Patente de um porta eletrodo de máquina de soldar-1887- Fonte: Patente de 1887 ..	20
Figura 8: Desenhos para a descrição da patente atribuída a Benardos – Weldworld.ru	22
Figura 9: Diferentes tipos de juntas desenvolvidas por Benardos – Weldworld.ru	23
Figura 10: Diferentes tipos de eletrodos desenvolvidos por Benardos – Weldworld.ru.....	23
Figura 11: Circuito de potência de Benardos para a soldagem a arco elétrico – weldworld.ru	24
Figura 12: Porta eletrodo de carbono – Weldworld.ru	25
Figura 13: Aparelho de soldagem vertical ascendente – Weldworld.ru.....	25
Figura 14: Dispositivo de soldagem a arco indireto com regulador automático de comprimento de arco – Weldworld.ru	26
Figura 15: Suporte para soldagem a arco direto de carbono com gás de proteção – Weldworld.ru.....	27
Figura 16: Suporte para soldagem a arco independente em atmosfera blindada – Weldworld.ru	27
Figura 17: Revestimento a arco combinado com carbono e metal – Weldworld.ru	28
Figura 18: Soldagem com eletrodo metálico com abertura de arco em um suporte de carbono – Weldworld.ru.....	29
Figura 19: D.A.Lachinov - Wikipedia.....	34
Figura 20: Richard Rühlmann - Wikipedia	36
Figura 21: Porta eletrodo para soldagem a arco metálico (Hamilton,1918).....	46
Figura 22 : Custos de operações de soldagem a arco elétrico - Hamilton 1918.....	46
Figura 23: Porta eletrodo com eletrodo de grafite.....	49
Figura 24: Solda processo de Benardos - Sem metal de adição	49
Figura 25: Vareta de metal de adição	50
Figura 26: Disposição da vareta de metal de adição na folga das chapas	50
Figura 27: Soldagem processo de Benardos - Com metal de adição.....	51
Figura 28: ER Rutilico (7018), ER Básico (6013)	51
Figura 29: ER Rutilico(7018), ER Básico (6013)	52
Figura 30: Solda com o processo de Benardos - Com metal de adição – 120 A.....	52
Figura 31: Solda sem metal de adição (esquerda) – Solda com metal de adição (direita)	53
Figura 32: Auguste de Méritens – United States Lighthouse Society.....	60
Figura 33: Gerador eletro magnético de Méritens- DEE-UFRJ.....	61
Figura 34: Nikolay Benardos – Welding history.....	62

Sumario

Agradecimentos	2
Resumo	3
Abstract.....	4
Lista de figuras	4
Capítulo I.....	7
Introdução.....	7
1.1 História da soldagem a arco elétrico como apresentada na maioria das publicações.....	7
1.2 A prioridade da descoberta do arco elétrico	10
Capítulo II.....	15
Revisão Bibliográfica	15
2.1 Herança de Auguste de Méritens	15
2.2 Herança do Nikolai Benardos	17
Capítulo III	30
Metodologia.....	30
Capítulo IV	31
Resultados.....	31
4.1. A aceitação da invenção do Auguste de Méritens pela indústria	31
4.2. A aceitação do processo de soldagem do Nikolai Benardos	32
4.2.1. A aceitação no período da invenção.....	32
4.2.2 A aceitação pela adaptação da indústria no século XX.....	43
4.2.3. Comprovação experimental.....	48
Capítulo V	54
Discussão Dos Resultados.....	54
Capítulo VI.....	58
Conclusão	58
Capítulo VII.....	60
Epilogo	60
Capítulo VIII	64
Referências Bibliográficas.....	64

Capítulo I

Introdução

1.1 História da soldagem a arco elétrico como apresentada na maioria das publicações

A união de peças de metal é um processo que existe desde os primeiros tempos da usinagem até os dias da Idade do Ferro. Então, naquela época a união das peças de metal era feita principalmente a partir do forjamento de metais em alta temperatura.

Este processo mudou relativamente pouco ao longo do tempo, exceto pela descoberta de novos metais e ligas, bem como pelo tratamento térmico. Assim, a soldagem como a conhecemos hoje, a soldagem a arco elétrico não apareceu até o século XIX de nossa era.

O grande período da revolução industrial permitiu um avanço técnico em muitos campos, em particular o da soldagem. Assim, no início do século XIX, a descoberta do arco elétrico foi atribuída ao físico inglês Humphry Davy (Fig. 1), que conseguiu criar um arco elétrico entre dois pedaços de carvão ligados a uma bateria. Porém, essa descoberta do arco elétrico só foi validada em 1808, quando Humphry Davy apresentou um experimento na Royal Society de Londres onde demonstrou o surgimento de um arco elétrico aproximando duas hastes de carbono conectadas a uma bateria. No entanto, o arco elétrico não foi utilizado por muitos anos, principalmente



Figura 1: Humphry Davy - Wikipedia

devido a equipamentos elétricos pouco desenvolvidos e também ao desconhecimento da soldagem a arco elétrico. Assim, não foi até a década de 1880 para ver o nascimento da soldagem a arco elétrico, desenvolvida pelo barão francês Auguste de Méritens, que

trabalhando no laboratório Cabot em Paris, apresentou um método de soldagem de metais usando arco elétrico. Assim, mostrou a possibilidade de aproveitar o calor produzido por um arco elétrico para soldar placas de chumbo, no âmbito da realização de acumuladores.

Refere-se aquele Augusto de Méritens, que obteve a primeira patente relativa à soldagem a arco elétrico. Porém, até o momento, não conseguimos encontrar na literatura a primeira patente do Méritens, impossibilitando a emissão de julgamentos sobre a originalidade do processo de soldagem.

Deve-se notar que o uso do processo de soldagem de Méritens só poderia ser usado para a soldagem de metais com um ponto de fusão relativamente baixo, como o chumbo, em particular porque o arco gerado não produzia calor suficiente para fundir metais com alto ponto de fusão. Esse problema foi posteriormente resolvido, graças ao uso de baterias conectadas em série, possibilitando a produção de uma corrente maior, e permitindo que o arco elétrico produza um calor ainda maior para fundir metais com um ponto de fusão superior, como por exemplo aço ou alumínio.

A invenção de Auguste de Méritens foi posteriormente aprimorada por seu aluno, também trabalhando no laboratório Cabot, Nikolai Nikolaievich Benardos, bem como seu amigo Stanislaw Olszewzky que patentearam o processo de soldagem com eletrodo de carbono ou soldagem manual de carbono na Europa em 1885, bem como em 1887 nos Estados Unidos. Estas primeiras patentes mostram, assim, um dispositivo porta-eletrodo que possibilita a soldagem manual.

Foi assim graças a Nikolai Benardos que a soldagem a arco elétrico se popularizou ao longo do final do século XIX e se democratizou em muitas indústrias, principalmente na indústria ferroviária, bem como na reparação de peças metálicas. O processo tem recebido muitas melhorias ao longo dos anos, aproximando-se gradativamente dos processos de soldagem que conhecemos hoje.

Assim, uma das primeiras melhorias do processo de Benardos foi a substituição dos eletrodos de carbono não consumíveis pelo uso de hastes de metal, que foram consumidas e incorporadas à solda. Esse avanço foi possibilitado pelo compatriota russo Nikolai Slavianov, que percebeu os defeitos causados pelo uso de eletrodos de carbono, que em particular induziam a contaminação da solda pelo carbono do eletrodo, tornando a solda rica em carbono, refletindo assim uma sua microestrutura quebradiça, que não atendia aos requisitos de utilização da parte mecânica.

Esta invenção possibilitou a obtenção de soldas de melhor qualidade, porém estas ainda não eram de boa qualidade devido à contaminação da solda por gases presentes na atmosfera, como oxigênio e nitrogênio, que respectivamente levaram à oxidação do cordão de solda e ao aparecimento de nitreto tornando a solda quebradiça.

Assim foi desenvolvido no início do século XIX por A.P. Strohmenger (Fig. 2) e Oscar Kjelberg (Fig. 3) o eletrodo revestido, que era um eletrodo recoberto por uma fina camada de argila (calcário), cuja função era facilitar a abertura e a manutenção do arco, ao fornecer elementos que facilitam a ionização do arco elétrico. Além disso, outra função do eletrodo revestido era proteger a solda do ambiente circundante, graças aos elementos químicos que reagiam com os gases da atmosfera para que estes não entrem na solda. Além disso, o eletrodo revestido produzia uma escória, que possibilitava a retenção dos gases dissolvidos durante a fusão do metal, no objetivo de proteger a solda de elementos indesejáveis e impedir a formação de poros.



Figura 2: A.P. Strohmenger - Alustir



Figura 3: Oscar Kjelberg - ESAB

Os eletrodos revestidos eram produzidos principalmente pela imersão de um fio de metal em um banho de carbonatos e silicatos, permitindo a seguir que o revestimento secasse no eletrodo.

Posteriormente, os processos de soldagem evoluíram relativamente pouco durante o período da Primeira Guerra Mundial, no entanto, a demanda na indústria de soldagem aumentou rapidamente.

Foi durante a Segunda Guerra Mundial que o processo de soldagem TIG foi desenvolvido. As necessidades de materiais de soldagem como alumínio e magnésio levaram à invenção da soldagem com eletrodo de tungstênio protegido por um gás inerte. No mesmo tempo, o processo foi modificado para substituir o eletrodo de tungstênio por um fio metálico consumível e a utilização de um gás ativo (CO₂), que deu origem ao processo de soldagem MAG (Metal Activ Gas) e, em seguida, ao MIG (Metal Activ Gas) Soldagem por Gás Inerte, processos que

permitiram aumentar a capacidade e velocidade de soldagem, resolvendo alguns problemas como a geração de respingos.

Ao longo dos anos e da inovação tecnológica, outros processos como a soldagem a laser (Fig. 4) ou a soldagem por feixe de elétrons foram desenvolvidos, tornando possível resolver problemas de soldagem cada vez mais complexos.



Figura 4: Soldagem laser - Autodata

Embora essa história da soldagem a arco elétrico seja apresentada de forma comum na literatura, ela levanta dúvidas sobre a prioridade da invenção da soldagem a arco elétrico e a relação entre Auguste de Méritens e Nikolai Benardos, objeto do presente estudo.

1.2 A prioridade da descoberta do arco elétrico

Hoje em dia, a tecnologia moderna é amplamente utilizada na área de soldagem de materiais. Dentre os diversos métodos de soldagem existentes, os principais indicadores da eficiência desses processos são a quantidade e o custo dos produtos, o número de trabalhadores necessários e as instalações necessárias. O processo com mais vantagens é o da soldagem a arco elétrico. A soldagem a arco elétrico como a conhecemos hoje é relativamente pouca diferente de quando foi criada. O lugar de liderança na formação e desenvolvimento deste processo tecnológico mais importante na indústria moderna pertence, aos cientistas e inventores da Rússia. Em meados do século XVIII, M.V. Lomonosov já havia previsto a importância do surgimento da ciência da eletricidade. Assim, ele afirmou que "a energia elétrica abre uma grande esperança para o bem-estar humano." Seu parceiro, o acadêmico G.V. Richman, ao estudar a eletricidade atmosférica, já havia salientado em 1753 a possibilidade de uma aplicação prática das faíscas elétricas para a fusão de metais (RICHAMN,1956).

No entanto, antes de chegarmos à soldagem a arco elétrico como a conhecemos, devemos primeiro voltar à descoberta do arco elétrico. Portanto, foi na primavera de 1802 em São

Petersburgo que um homem se sentou em uma grande sala cheia de dispositivos físicos. À sua frente, em um banco com pernas de vidro, a uma curta distância uma da outra, três carvões são colocados em uma única linha. Isso levará alguns minutos. E esses pequenos pedaços de carvão comum farão uma grande revolução na ciência. Mas isso provavelmente não poderia ter sido previsto pelo próprio experimentador, o físico Vasily Petrov (Fig. 5), que dedicou muitos anos ao estudo da condutividade elétrica de várias substâncias (POPOV,1887).



Figura 5: Vasily Petrov - Wikipedia

Ele pega os carvões extremos em suas mãos e os amarra. E então ocorre um milagre: uma chama brilhante irrompe entre os pedaços de carvão. Vasily Petrov tinha acabado de descobrir o arco elétrico. A natureza extraordinária desse fenômeno impressionou o cientista - afinal, até agora físicos de diferentes países do mundo, equipados com pequenas baterias galvânicas, só podiam observar descargas de faíscas mais ou menos potentes, mas nunca haviam recebido um arco elétrico. Então, Petrov começou um estudo aprofundado dessa luz incomum, fazendo experiências com todos os tipos de materiais (POPOV,1887).

Em primeiro lugar, chamou a atenção para os efeitos de luz do arco, que mais tarde escreveu para dar uma chama, "a partir da qual a calma escura pode ser iluminada com muita clareza". Foi a primeira vez que se comprovou a possibilidade do uso prático da eletricidade para iluminação. Os experimentos continuaram. Substituindo um dos carvões por um fio de metal, V.V.Petrov notou que conforme o carvão se aproxima do fio, "uma chama cada vez mais fraca aparece entre eles, da qual ... o metal derrete instantaneamente". Então o cientista chegou a outra conclusão muito importante - sobre a possibilidade de usar um arco elétrico para fundir os metais (POPOV,1887).

Quando o físico italiano Alessandro Volta descobriu a pilha voltaica em 1799, muitos o viram como uma oportunidade para gerar uma corrente elétrica. Eles descobriram rapidamente a pilha voltaica em Londres, Paris e São Petersburgo. A paixão pelo estudo dos fenômenos galvânicos começou. No entanto, na prática, esse achado não encontrou aplicação por um longo tempo. Petrov, compreendendo plenamente as vantagens de uma fonte de corrente de alta tensão, construiu uma enorme bateria galvânica, composta de 2.100 células de cobre-zinco. Sua força eletromotriz era de cerca de 1700 volts. Uma instalação tão poderosa permitiu ao cientista

fazer experimentos eficientes com eletricidade, cujo resultado foi a engenhosa descoberta do arco elétrico. Em 17 de maio de 1802, V.V. Petrov "na presença de uma faculdade de medicina e muitas personalidades" demonstrou publicamente pela primeira vez o fenômeno de um arco elétrico. Petrov descreveu seus experimentos com um arco elétrico no livro, publicado em novembro de 1803, "The News of Galvanic-Volt Experiments", que foram realizados pelo professor Petrov usando uma enorme bateria, que às vezes consistia em 4.200 células de cobre e zinco e está localizada na Academia Médica e Cirúrgica de São Petersburgo, que se tornou uma contribuição valiosa para a literatura científica mundial do início do século XIX. Foi o primeiro livro em russo sobre galvanismo. O livro esgotou rapidamente. Em breve, muitas resenhas do livro foram publicadas e os cientistas se referiram a ele em seus trabalhos. Parece que os resultados dos experimentos de Petrov são amplamente conhecidos na comunidade científica e tecnológica da era russa. No entanto, o tempo passou e o livro de Petrov foi esquecido na Rússia. O livro foi esquecido tão rapidamente que N. Popov o anotou na revista "Electricité". "Tão recentemente", escreveu Popov, em particular, "um trabalho esquecido sobre o galvanismo pelo Professor V. Petrov foi trazido à minha atenção, intitulado como segue:" Notícias dos experimentos galvânico-voltaicos do prof. Physics Mediko-Hir. Ak. Vasily Petrov. SPb., 1803 "(POPOV,1887). De acordo com Popov, "um estudante da Universidade de São Petersburgo, M. Gershun (mais tarde um proeminente engenheiro elétrico doméstico - A. Ch.), que chamou minha atenção para este ensaio, viu na biblioteca de Vilna". Considerando que este livro é de interesse histórico, Popov apresenta brevemente o seu conteúdo aos leitores da revista "Electricité". Em conclusão, ele destaca a prioridade científica da descoberta de Petrov: "Notemos aqui que a descoberta do arco voltaico é geralmente atribuída ao físico inglês Humphry Davy no trabalho sobre engenharia elétrica e se refere a 1813. O professor V.V. Petrov pode justamente ser creditado a primazia na observação do fenômeno do arco voltaico, já descrito por ele em uma obra impressa em 1803, e deve-se reconhecer que um dos primeiros passos no campo da eletrotécnica pertence ao nosso compatriota, cujo nome, com toda a franqueza, ocupa o lugar ao lado dos nomes de Jacobi e Schilling" (POPOV,1887). Assim, N. Popov reforça o fato de que a invenção do arco elétrico é atribuída a Vasily Petrov, que publicou em 1803 uma obra sobre o galvanismo, enquanto o Humphry Davy estudou e só descobriu o arco elétrico por volta de 1810.

V.V.Petrov não só descobriu o fenômeno do arco elétrico, estudou e descreveu suas características, mas também destacou as possíveis áreas de sua aplicação prática, abrindo caminho para a introdução e o desenvolvimento da iluminação elétrica, da soldagem elétrica e

da eletrometalurgia. Foi sob a influência desta descoberta que o inventor da "vela elétrica" - a lâmpada de arco P.N. Yablochkov usou um arco elétrico para a iluminação, e N.N. Benardos usou-o para soldar e cortar metais. O que lidou em uma revolução completa na técnica dos processos de engenharia mecânica e de construção. Deve-se notar que, na época dessas invenções na Rússia, um grande número de trabalhos foram realizados no campo do estudo das propriedades de um arco elétrico. Em primeiro lugar, estes devem incluir os estudos de D.A. Lachinov, N.P. Sluginov, A.N. Lodygin, N.P. Bulygin, e de muitos cientistas russos e naturalistas amadores. Como resultado, ao resolver uma série de problemas nessa área, eles estavam significativamente à frente de seus colegas estrangeiros. Isso foi facilitado, em particular, pelo fato de que, no início do século XIX, a Rússia possuía as maiores baterias galvânicas. Isso reforça o fato de que o conhecimento em engenharia elétrica era então muito mais avançado na Rússia do que em qualquer outra parte do mundo. No entanto, apesar deste avanço no campo da eletricidade, a escassez de conhecimentos sobre a eletricidade e a falta de fontes suficientemente potentes de eletricidade barata determinaram a impossibilidade da sua aplicação para fins práticos, por exemplo no tratamento de metais. Com a ajuda de uma coluna voltaica, era possível obter quantidades muito pequenas de eletricidade, e as primeiras baterias de células galvânicas criadas com base nela eram extremamente difíceis de manter e produziam eletricidade cara e em quantidades limitadas. E a própria indústria subdesenvolvida não sentia necessidade de processamento elétrico de metais (CHEKANOV,1983).

Foram necessários muitos anos de esforços conjuntos de eletricitistas e físicos de todo o mundo para criar geradores elétricos econômicos e fáceis de usar, que geram eletricidade relativamente barata em grandes quantidades. Isso foi facilitado por inúmeras descobertas e invenções no campo do magnetismo e da eletricidade, entre as quais deve ser colocada em primeiro lugar a descoberta em 1831 pelo famoso cientista inglês Faraday do princípio da indução eletromagnética. A criação de geradores eletromagnéticos em meados da década de 1870, bem como uma série de descobertas e invenções notáveis de físicos e eletricitistas, foram um poderoso ímpeto para o uso prático e generalizado da corrente elétrica na indústria e nos transportes. Foi aqui que, em primeiro lugar, a eletricidade se tornou uma fonte confiável de energia, luz e calor. Nesse sentido, não é por acaso o surgimento da soldagem elétrica na segunda metade do século XIX por N.N. Benardos. O desenvolvimento da tecnologia, da indústria e do transporte ferroviário precisava urgentemente de um método rápido e relativamente barato de produzir e reparar peças quebradas. Os principais métodos de união de metais praticados na época - soldagem por forjamento e rebitagem - não atendiam às

necessidades de produção, nem em termos de produtividade, nem em termos de custos de mão de obra. A baixa produtividade desses métodos retardou o desenvolvimento das indústrias técnicas, e principalmente da engenharia mecânica, onde novas e mais eficientes tecnologias para a produção de compostos metálicos permanentes eram necessárias (CHEKANOV,1983).

Nos anos 70-80 do século XIX, com o aumento do uso de eletricidade na indústria e nos transportes, a atenção de cientistas e inventores em muitos países foi atraída para o uso de arcos elétricos em alta temperatura para soldagem e fusão de metais. É verdade que tentativas individuais nesta área foram feitas em um período anterior. Mas foi só em 1881 que o inventor russo N.N.Benardos propôs "um método para unir e separar metais com firmeza pela ação direta de uma corrente elétrica", que lançou as bases para uma inovação fundamental no desenvolvimento da tecnologia de soldagem. A engenharia elétrica levou várias décadas, após ter percorrido um longo caminho de desenvolvimento, para garantir o uso de um arco elétrico para fins práticos (CHEKANOV,1983).

Capítulo II

Revisão Bibliográfica

2.1 Herança de Auguste de Méritens

Muitos artigos apontam para o fato de o Barão Auguste de Méritens ter sido o primeiro a usar a soldagem a arco elétrico com eletrodo de carbono que constitui um dos polos do circuito e a peça de metal a soldar formando o outro polo. A fonte de energia utilizada era então uma bateria recarregável.

Foi em 1881, então trabalhando no laboratório Cabot, que ele demonstrou o uso do calor produzido por um arco elétrico para soldar duas placas de chumbo com um eletrodo de grafite. No entanto, o processo de soldagem proposto por de Méritens sofria de uma falha: o arco elétrico não transmitia calor o suficiente, o que impossibilitava a aplicação desse processo na soldagem de metais como o aço ou o alumínio que tem um ponto de fusão mais elevado do que o chumbo e o estanho.

Méritens obteve a primeira patente relativa à invenção da soldagem a arco elétrico. Patente que não conseguimos encontrar até hoje pela dificuldade de obtenção de informação.

No entanto, Méritens terá deixado na história a patente de uma de suas invenções, datada de 1892, na qual oferece um dispositivo de soldagem em uma caixa conforme ilustrado na Fig. 6 abaixo:

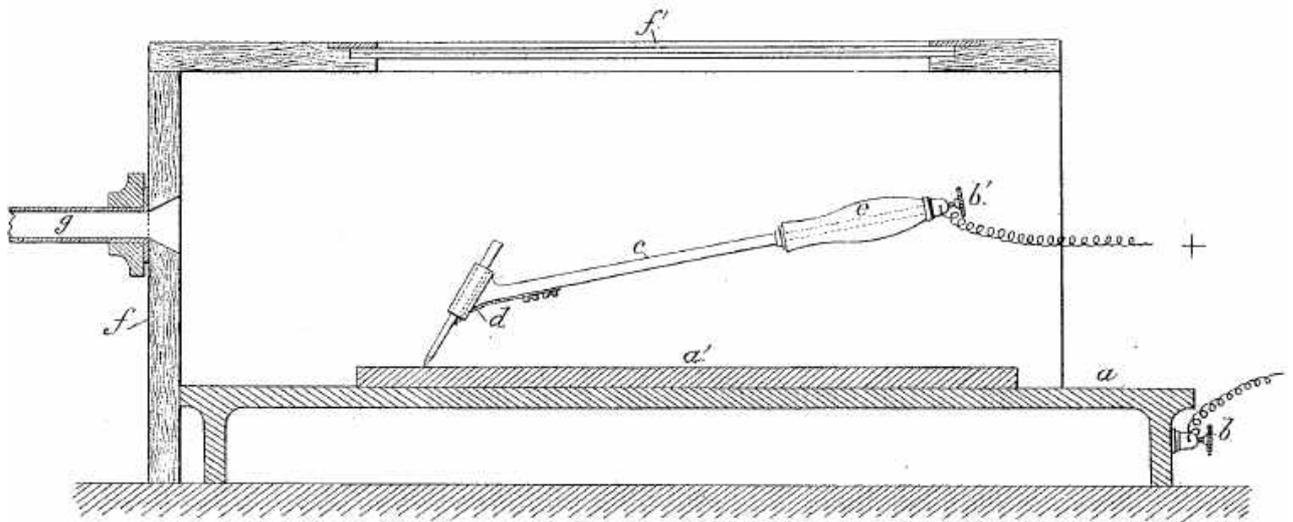


Figura 6: Patente de Auguste de Méritens-1892- Fonte: Patente de 1892

Podemos ler na patente depositada por De Méritens, que a sua invenção consiste na união de duas placas de metal, através da aplicação de um arco voltaico na junção das duas placas, o que induz a fusão dos dois materiais a serem unidos.

De Méritens ressalta que é possível realizar esta operação de soldagem desde que a fonte de corrente seja capaz de fornecer potência suficiente, sem especificar os valores de tensão e corrente fornecidos durante a operação.

A ilustração presente mostra as duas placas de solda *a* e *a'*, uma das quais constitui um eletrodo, sendo conectada ao polo negativo da bateria por meio de um parafuso.

Notamos também na foto a tocha (*c,d,e,b'*) que é utilizada para realizar a operação de soldagem, bem como o porta-eletrodo *d* no qual está inserido o eletrodo de carbono a ser utilizado. A tocha constitui o segundo eletrodo do circuito, cujo cabo é conectado à bateria por um parafuso. É importante notar que na patente original de 1881, o porta eletrodo era fixo enquanto na patente de 1892, o porta eletrodo pode ser deslocado pelo soldador.

Todo o dispositivo é inserido em uma caixa *f* através da qual pode-se ver através de um painel de vidro *f'*. A caixa onde é colocado o dispositivo possui também um dispositivo de evacuação de fumos *g*, que permite evacuar as partículas tóxicas geradas durante a fusão do chumbo.

Méritens relata que a velocidade com que o processo é realizado depende do material utilizado e também do valor da corrente, quanto maior a corrente, mais rápida a operação. A soldagem é realizada movendo gradualmente a tocha até o final da linha de soldagem (MERITENS,1892).

A profundidade da solda é determinada pela distância que separa a peça do eletrodo. Quanto mais próximo o eletrodo estiver da peça de trabalho, mais profunda será a solda (MERITENS,1892).

Embora o Méritens ser apresentado como a pessoa que inventou a soldagem a arco elétrico em várias revistas, principalmente de origem francesa, muitos cientistas da época recusam dar para ele o privilegio da invenção da soldagem a arco elétrico, por ter proposto somente um conceito teórico, porém não propôs uma verdadeira aplicação como o fez o N.N.Benardos como nós veremos na secção dos resultados.

2.2 Herança do Nikolai Benardos

Uma das invenções mais importantes do período da revolução industrial é a da soldagem elétrica, na segunda metade do século XIX, associada ao nome do inventor russo Nikolai Nikolaevich Benardos, que foi o primeiro no mundo a realizar este processo. Benardos é o principal criador dos diferentes tipos de soldagem que conhecemos hoje, tanto que a maioria deles são apenas melhorias dos processos originais e que são amplamente desenvolvidos nos países industrializados.

O desenvolvimento da soldagem a arco elétrico foi possível durante a segunda metade do século XIX, graças à formação e ao rápido desenvolvimento da engenharia elétrica, que desempenhará um papel importante no desenvolvimento dos processos industriais. Assim, em 1955, o engenheiro elétrico e membro da Academia de Ciências da URSS M.A.Chatelen escreveu: “É necessário observar um ramo da tecnologia, onde, como no caso da iluminação elétrica, o trabalho dos eletricitistas russos foi de grande importância. Este é o campo da soldagem elétrica "(CHATELEN,1955). Destacando, assim, o principal ponto de partida para o desenvolvimento da eletricidade sendo a Rússia. O cientista também destaca que os métodos de soldagem a arco elétrico, inventados por N.N. Benardos e posteriormente aprimorados por N.G. Slavyanov, foram os únicos usados na prática por muitos anos. Assim, Chatelen observa: "Até hoje, muitas inovações neste campo são, em essência, apenas melhorias distintas, embora

muitas vezes bastante significativas, dos métodos de Benardos e Slavyanov" (CHATELEN,1955).

Nas décadas de 1870 e 1880, o uso crescente de eletricidade na indústria e transporte atraiu a atenção de cientistas e inventores em muitos países para o uso de arcos elétricos de alta temperatura para soldagem e fundição de metal. Muitas tentativas individuais nesta área foram feitas em um período anterior. No entanto, foi somente em 1881 que o inventor russo N.N. Benardos propôs "um método para unir e separar metais com firmeza pela ação direta de uma corrente elétrica" e, assim, estabelecer as bases para uma nova direção no desenvolvimento da tecnologia de soldagem. No entanto, foram necessárias várias décadas para a engenharia elétrica, após um longo desenvolvimento, garantir o uso de um arco elétrico para fins industriais (CHEKANOV,1983).

Assim, esse problema atraiu rapidamente a atenção de muitos representantes russos da física teórica e experimental. Assim, a descoberta do arco elétrico por Vasily Petrov permitiu ver o nascimento da soldagem elétrica, do calor elétrico, da eletrometalurgia ou mesmo do acionamento elétrico (POPOV,1887). Todo isso levava a criação da soldagem a arco elétrico pelo N.N.Benardos.

Benardos terá dedicado grande parte de sua vida ao desenvolvimento da engenharia elétrica e à aplicação prática da eletricidade principalmente graças ao seu método de conexão e separação de metais pela ação direta de uma corrente elétrica, batizado pelo inventor "Electrohephaestus", em homenagem ao deus grego Héphaïstos (Arquivo URSS). O Nikolai Benardos, em homenagem da sua origem grega, incorporou no título da sua invenção principal o nome do deus do fogo, dos metais, da metalurgia e do forjamento da mitologia grega, **Hefesto** (Eletrohefesto, Elektrogefest). Assim, para aprimorar sua invenção feita em 1881, Benardos trabalhou até o fim de sua vida (Arquivo URSS). O trabalho de Benardos terá permitido o desenvolvimento de novos ramos da tecnologia e das ciências técnicas, começando pela tecnologia de soldagem e produção.

Assim, a partir dos anos 70, Benardos teve uma grande oportunidade de experimentar um arco elétrico, para trabalhar no campo de pesquisa de direções específicas para o uso prático da eletricidade, principalmente nas oficinas de seu domínio privado de Privolnoye. Lá ele recebia eletricidade para recarregar as baterias dos geradores movidos por locomotivas. Ele também desenvolveu outras invenções que requerem a criação de estruturas metálicas em grande escala para implementação prática. É feita referência a um barco a vapor todo-o-terreno, baterias, rodas de pás, etc (KORNIENKO,1981).

Após a Feira Mundial de 1881 em Paris, Benardos voltou a São Petersburgo em 1884, onde já era conhecido como um especialista na área de engenharia de baterias. Lá ele trabalhou com entusiasmo para melhorar o método de soldagem a arco elétrico, prevendo um futuro brilhante para ele. Ele não depositou a primeira patente até 1885, após ter desenvolvido e trazido seu método de soldagem à possibilidade de aplicação industrial. Em seguida, dirigiu-se ao Ministério do Comércio e Indústrias com um pedido de concessão do privilégio de "Método de ligação e separação de metais por ação direta da corrente elétrica". Em 31 de dezembro de 1886, recebeu o privilégio nº 11982 por um período de 10 anos na Rússia (KORNIENKO,1981).

Em um esforço para melhorar sua invenção e desenvolver a ciência da soldagem, Benardos estabeleceu em 1885 a parceria "Electrohephaestus" em São Petersburgo para operar e implementar o processo de soldagem de Benardos. Este é um workshop de demonstração onde cientistas e engenheiros elétricos vêm de todo o mundo para testemunhar o método de Benardos (CHEKANOV,1983).

Embora inicialmente patenteado na França em 1885, Electrohephaestus recebeu patentes em 1886 na Rússia. Seu método foi então patenteado em 1887 em Espanha, Bélgica, EUA, Suécia, Áustria-Hungria, Noruega e Suíça (Fig. 7) (CHEKANOV,1983).

"O objeto da invenção é indicado na descrição, ilustrada por 25 figuras (Fig. 8), - constitui um processo de ligação e separação de metais pela ação de uma corrente elétrica, denominado "electrohephaestus" e baseia-se na formação direta de um arco voltaico entre o local de processamento do metal, que constitui um eletrodo, e uma alça trazida para este local contendo outro eletrodo conectado ao pólo de corrente elétrica correspondente. Usando este método, os seguintes trabalhos podem ser realizados: unir peças, separar ou cortar metais em peças, perfurar ou fazer orifícios e cavidades e fundir em camadas" (Arquivo URSS).

O privilégio também indica as amplas possibilidades de utilização do método de Benardos para o corte de metais: "O corte de metais consiste em cortar e dividir geralmente as partes por meio de um arco elétrico. Sob a influência da alta temperatura do arco voltaico, o metal funde instantaneamente e suas partes podem ser separadas ... "(Arquivo URSS).

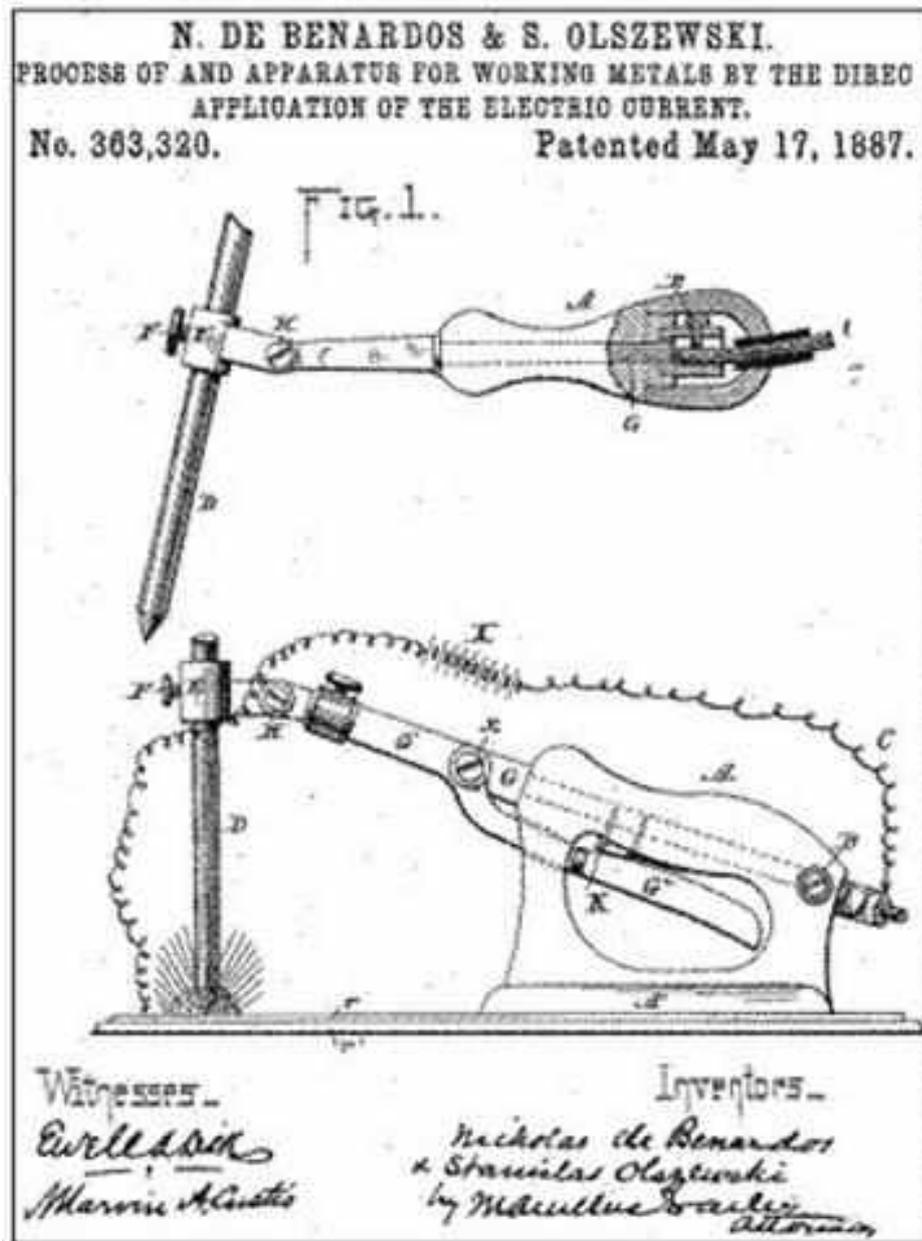


Figura 7: Patente de um porta eletrodo de máquina de soldar-1887- Fonte: Patente de 1887

Em particular, o inventor propôs vários dispositivos (dispositivos semiautomáticos) para soldagem mecanizada. Assim, Benardos é o inventor de muitas soluções tecnológicas e de design modernas no campo da soldagem a arco elétrico, corte e revestimento.

Ele criou dispositivos mecanizados como dispositivos semiautomáticos de tempo integral, a fonte de energia do arco e a capacidade de obter juntas no plano vertical pelo método de formação forçada.

Benardos desenvolveu todos os tipos de juntas soldadas em uso hoje (Fig. 9), demonstrou a racionalidade de usar gases de proteção na soldagem a arco elétrico e silicatos como fundentes, bem como a conveniência de forjar juntas imediatamente após a soldagem para

aumentar suas propriedades de resistência; criou um regulador automático do comprimento do arco de soldagem e vários tipos de pistolas de soldagem por resistência; realizou experimentos de corte de metais subaquáticos. A fim de aumentar a produtividade do método "electrohephaestus" e otimizar o processo de soldagem, Benardos inventou muitos eletrodos originais de carbono e metal de alto desempenho em diferentes formas - cilíndricos, discos, espirais, cônicos e tubulares, ou seja, ocos. Estes últimos foram preenchidos com uma mistura fluida de pós metálicos e fundentes para se obter um revestimento com propriedades especiais, na maioria das vezes resistente ao desgaste (Arquivo URSS).

Para melhorar a qualidade da soldagem, o inventor usou com sucesso fundentes: na soldagem de aços - areia de quartzo e mármore, na soldagem de cobre - bórax e amônia.

Benardos, em particular, desenvolveu um grande número de eletrodos de carbono e metal específicos de diferentes formatos (Fig. 10). Muitos modelos de porta-eletrodos desenvolvidos por ele ainda estão em uso.

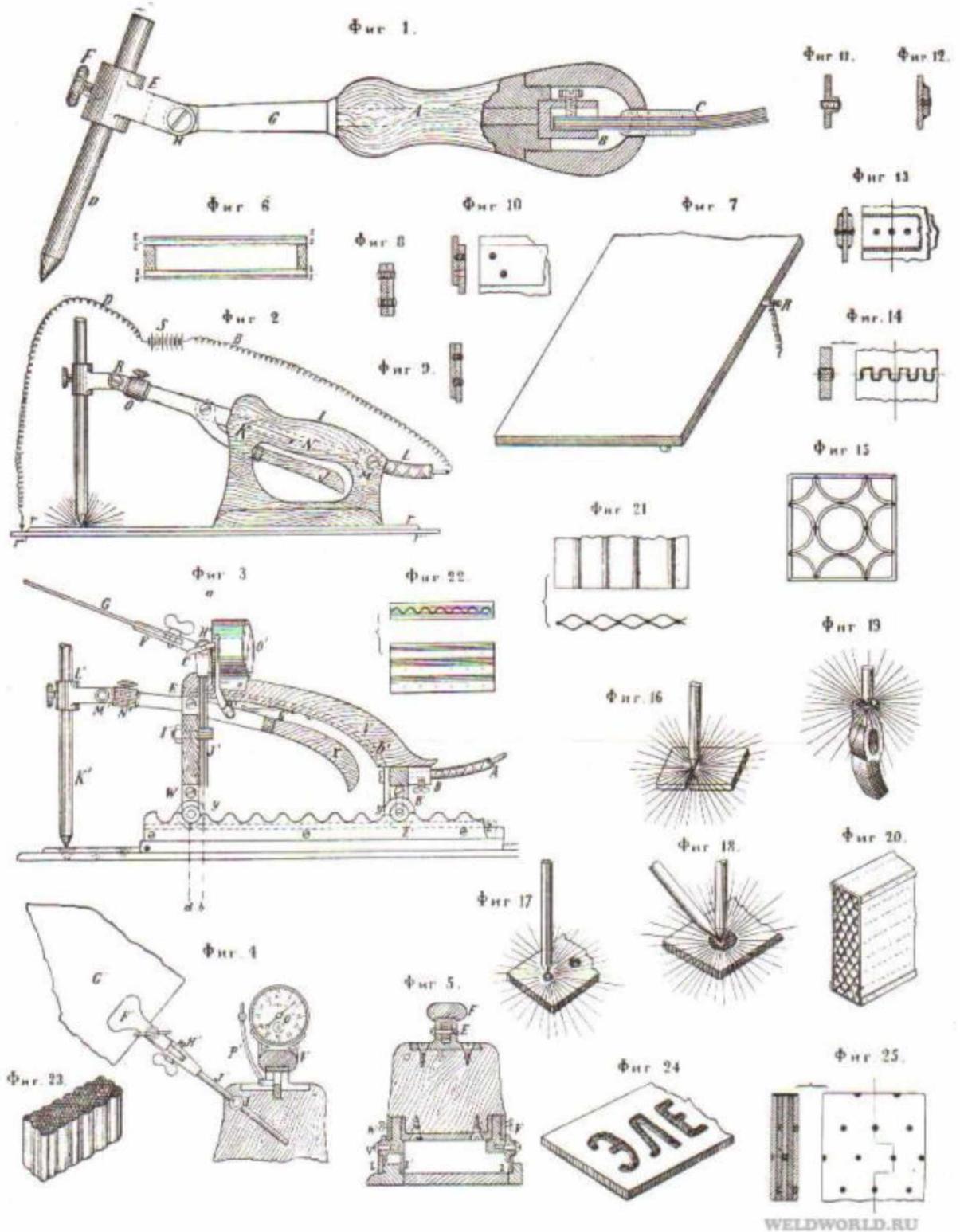


Figura 8: Desenhos para a descrição da patente atribuída a Benardos – Weldworld.ru

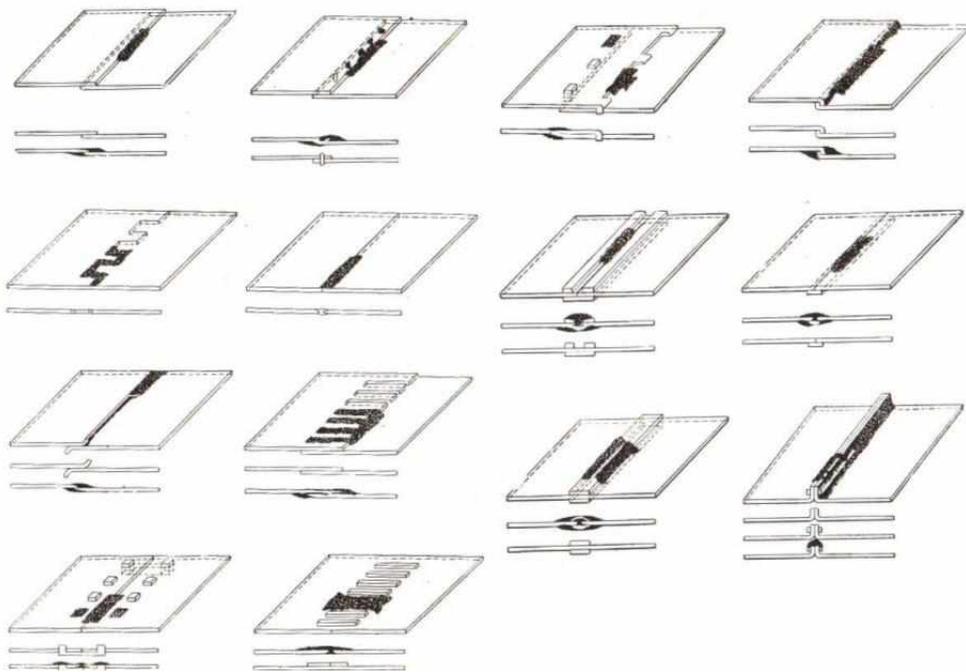


Figura 9: Diferentes tipos de juntas desenvolvidas por Benardos – Weldworld.ru

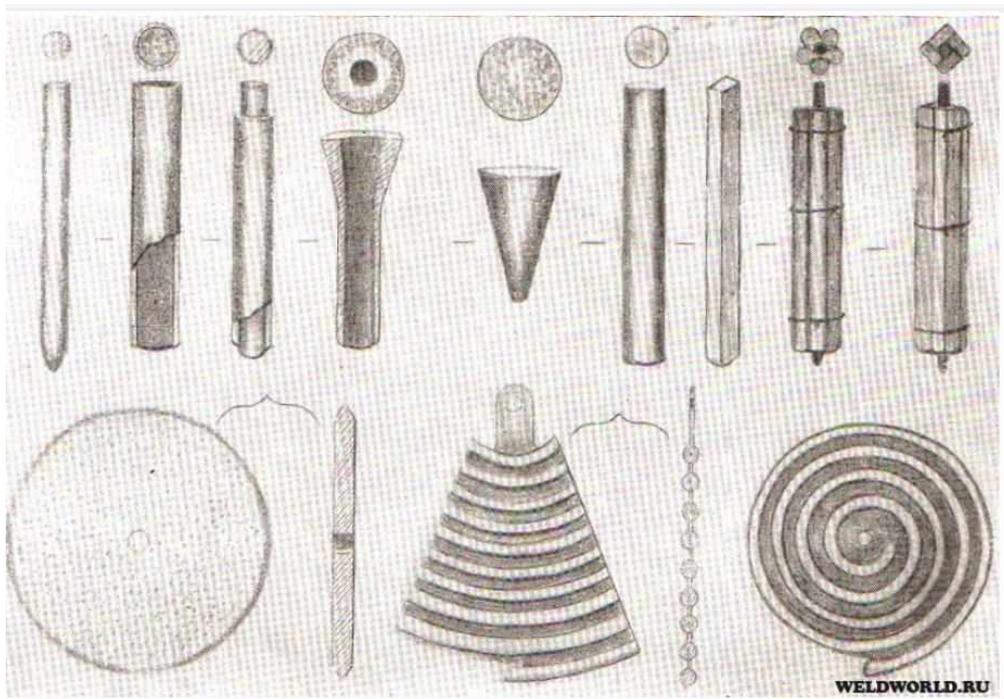


Figura 10: Diferentes tipos de eletrodos desenvolvidos por Benardos – Weldworld.ru

O equipamento da oficina em que N.N. Benardos experimentou consistia em uma máquina a vapor com capacidade de 20 a 23 CV acionada por gerador elétrico. Uma bateria foi conectada em paralelo ao gerador e consistia em 200 células projetadas por Benardos. As células foram dispostas em várias fileiras paralelas e funcionaram como um buffer, assumindo os choques causados pelas mudanças bruscas de corrente. A instalação foi projetada para fornecer uma corrente de 150-200 A e é mostrada na Fig. 11 abaixo:

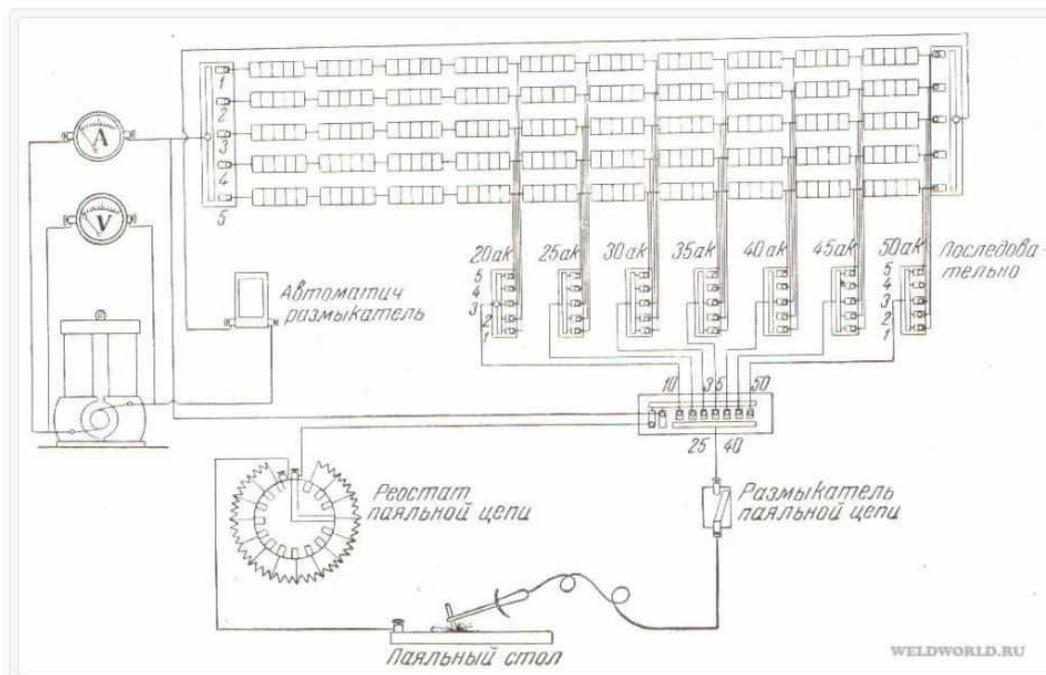


Figura 11: Circuito de potência de Benardos para a soldagem a arco elétrico – weldworld.ru

Para a fixação dos eletrodos e a manutenção do arco, foram desenvolvidos vários dispositivos, que ele chama de ferros de solda elétricos, alguns dos quais são protótipos de dispositivos modernos. O tipo mais simples de porta-eletrodo para um eletrodo de carbono, que manteve sua aparência até hoje, é mostrado na Fig. 12:

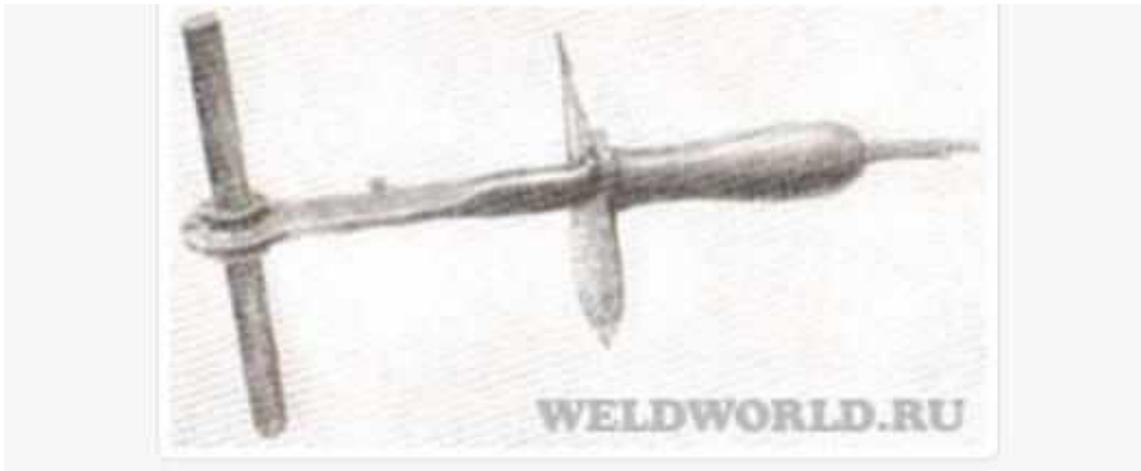


Figura 12: Porta eletrodo de carbono – Weldworld.ru

A Figura 13 mostra um dispositivo para a formação de uma junta em soldagem vertical, efetuada de baixo para cima.

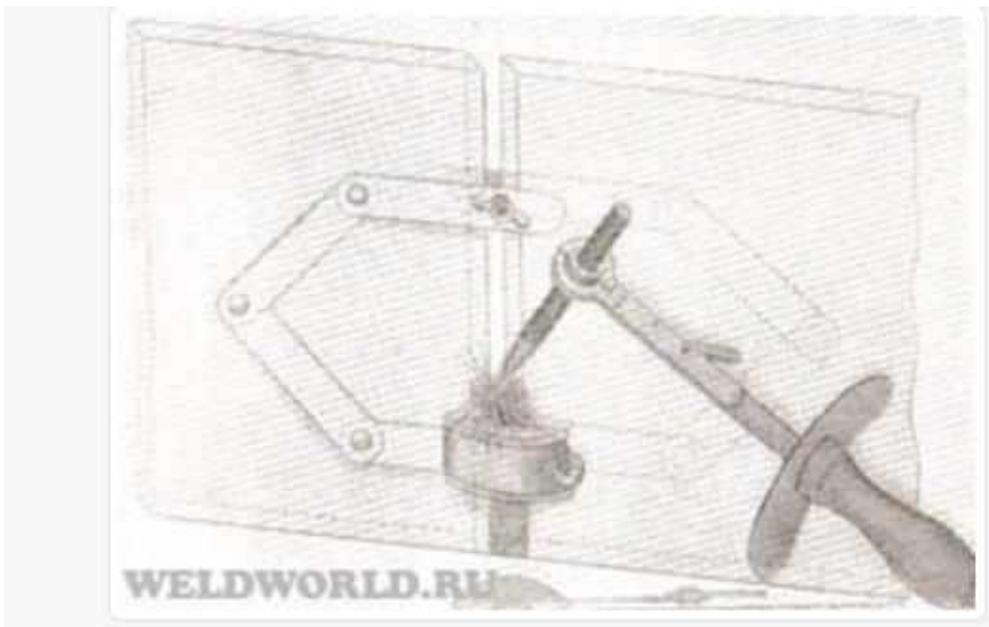


Figura 13: Aparelho de soldagem vertical ascendente – Weldworld.ru

Também N.N. Benardos trabalhou no uso de fenômenos eletromagnéticos no processo de soldagem a arco elétrico. Ele foi o primeiro a usar um eletroímã para fixar produtos de soldagem na direção desejada e desenvolveu um método para controlar o arco magnético (Fig. 14).

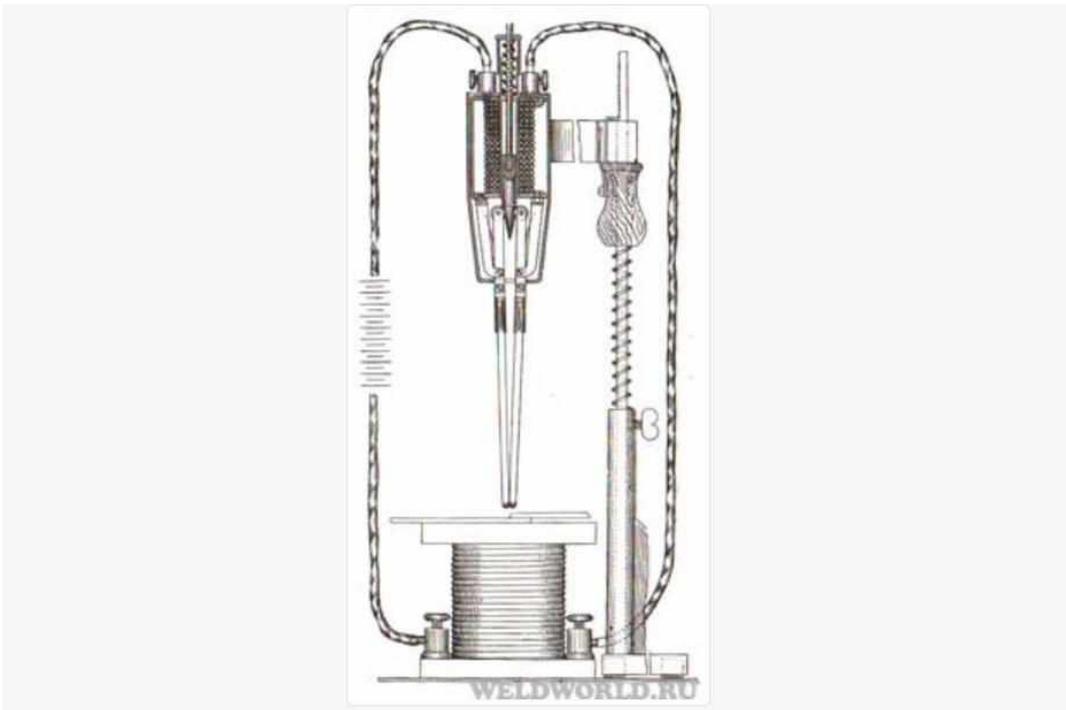


Figura 14: Dispositivo de soldagem a arco indireto com regulador automático de comprimento de arco – Weldworld.ru

O dispositivo com arco de ação indireta foi o protótipo do método, que mais tarde ficou conhecido como método Cerener.

Para evitar que o arco seja lançado para os lados durante a soldagem e para torná-lo estável, N.N. Benardos criou um campo magnético ao redor do arco envolvendo várias voltas em torno de um eletrodo do mesmo condutor que fornece corrente ao arco.

Em um esforço para aumentar a zona de aquecimento e formar um ambiente protetor na zona de soldagem, N.N. Benardos criou a soldagem a jato de gás. “Trabalhar com um arco com gases”, escreveu N.N. Benardos, - “serve para aumentar o campo de aquecimento e desoxidar as superfícies dos metais tratados” (NIKOLAI...2021).

Os acessórios de soldagem a jato de gás são mostrados nas Fig. 15 e Fig. 16. Este método de soldagem encontrou seu uso quase meio século depois e foi chamado pelos americanos de “Método Alexander” (NIKOLAI...2021).

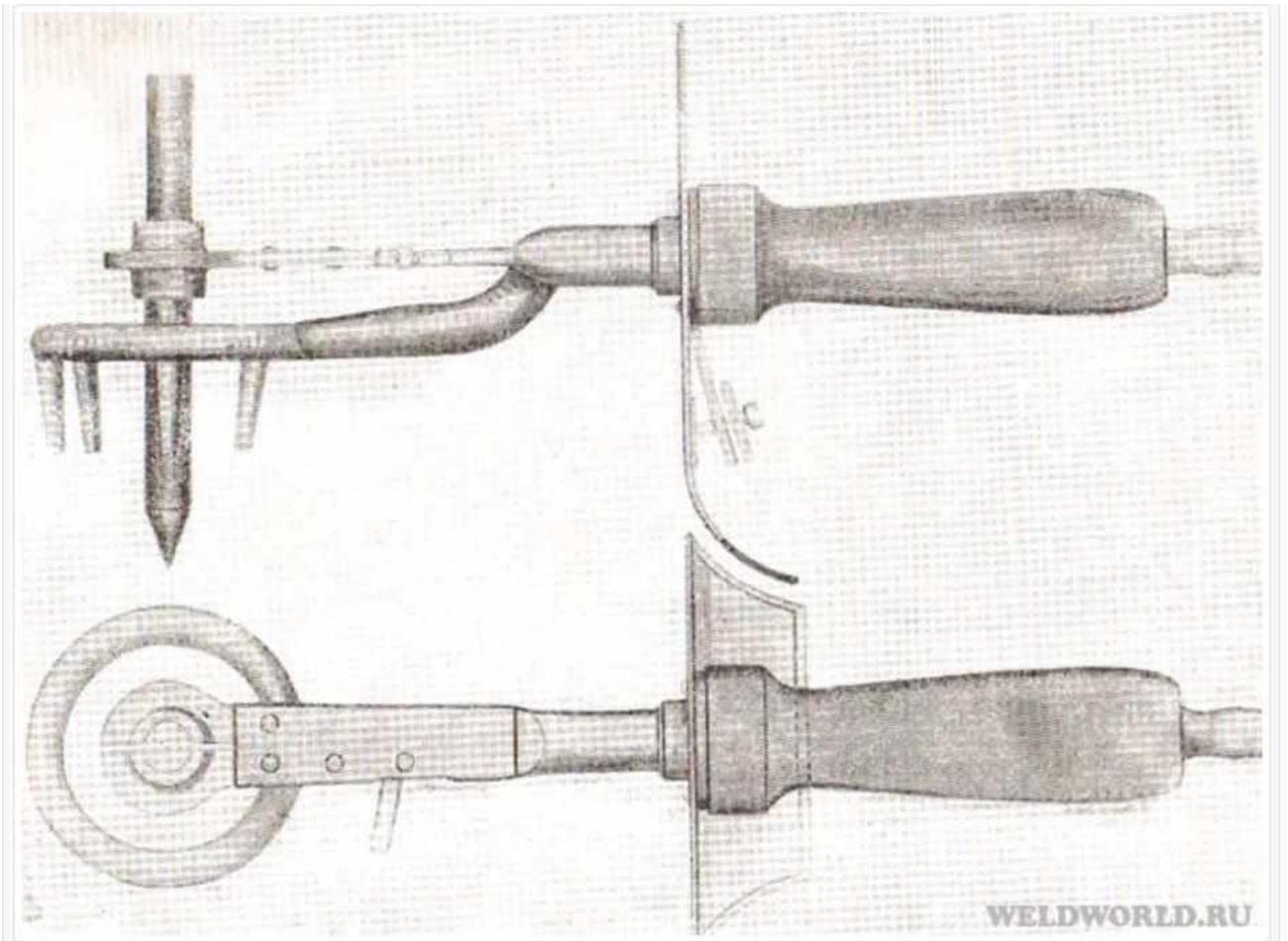


Figura 15: Suporte para soldagem a arco direto de carbono com gás de proteção – Weldworld.ru

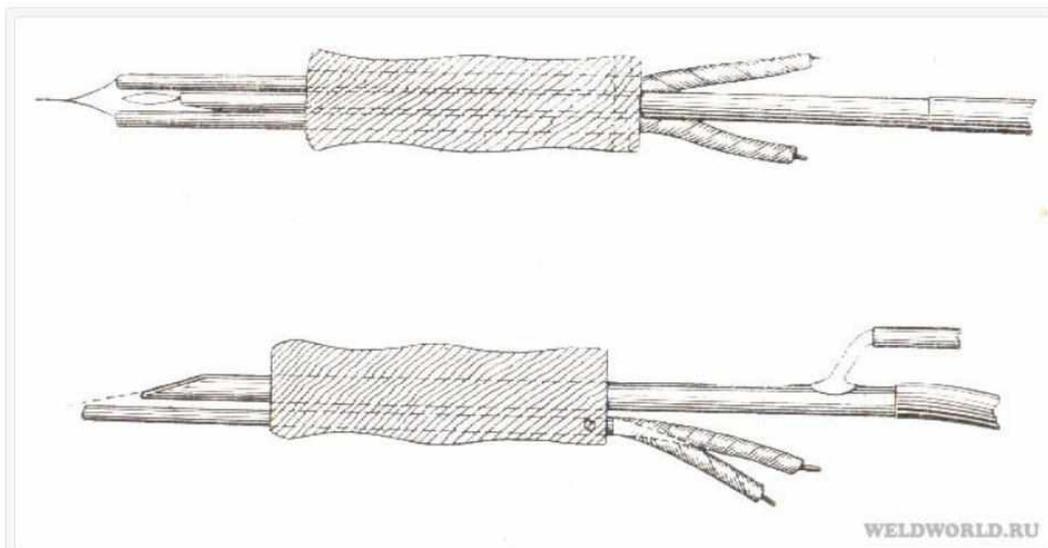


Figura 16: Suporte para soldagem a arco independente em atmosfera blindada – Weldworld.ru

Para aumentar a quantidade de metal depositado, uma técnica adicional foi desenvolvida para o método principal.

De acordo com a descrição de N.N. Benardos, a Fig. 17 representa a fusão de uma barra de metal inserida por sua extremidade em um arco voltaico formado entre um eletrodo de carbono e uma determinada superfície de metal. Esse trabalho de deposição de metal geralmente começava com o fato de que antes do local no objeto onde o metal seria derramado ser derretido por um arco voltaico do carvão, e então, quando uma camada líquida de metal já estava formada, uma barra de metal foi introduzida no arco manualmente de forma que o carvão tocasse sua extremidade, conforme mostrado na Fig. 17 (NIKOLAI...2021).



Figura 17: Revestimento a arco combinado com carbono e metal – Weldworld.ru

A corrente, passando pelo final da barra, funde-a e, à medida que funde, o carvão sobe e a barra desce, sustentando o arco. Ao mesmo tempo, após algum tempo, a haste de metal é retraída para o lado e o trabalho continuou com um arco de carvão, a fim de dar tempo para que as bolhas de gás e a escória se destacassem da massa de metal. Qualquer trabalho em que uma massa maior ou menor de metal líquido fosse obtida "terminava por este método" (NIKOLAI,2021).

Assim, para obter uma grande quantidade de metal de adição fundido, N.N. Benardos não só introduziu o metal de adição na forma de uma barra na zona de arco quente entre o eletrodo de carbono e o metal de base, mas também incluiu a barra em série no circuito elétrico

com a técnica indicada e excitado um arco entre a barra metálica e o metal base, deixando ao mesmo tempo sob a influência da corrente do eletrodo de carbono uma parte significativa da barra. Por este motivo, a velocidade de fusão da barra aumentou devido ao aquecimento adicional pela corrente que flui.

A barra, neste caso, já era um eletrodo de metal, que derrete sob a ação de um arco e é aquecido por uma corrente fluida. Este circuito é o protótipo moderno da soldagem a dois eletrodos.

Ao trabalhar manualmente com um eletrodo de metal, Nikolai Benardos usou a técnica mostrada na Fig. 18. “Usando essa técnica”, ele explica, “eu fundi trincas, cavidades, vazios, etc., usando um eletrodo de metal reto sem usar um regulador automático” (NIKOLAI,2021).

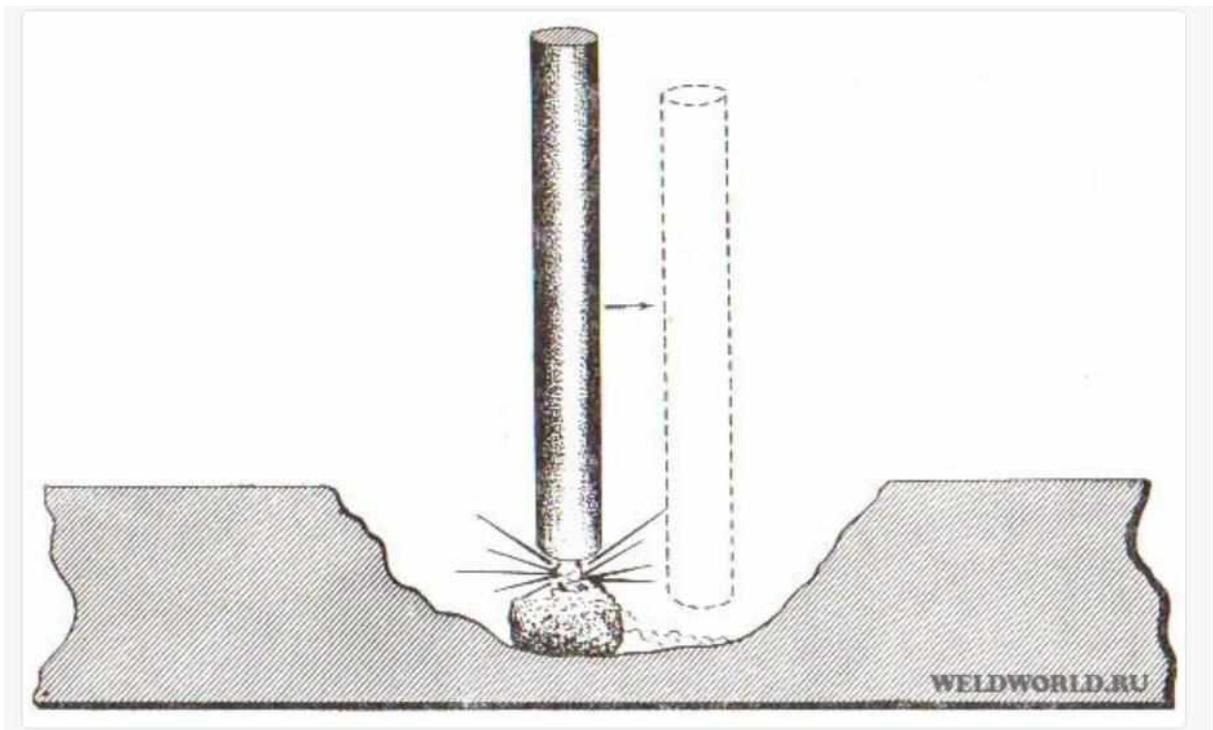


Figura 18: Soldagem com eletrodo metálico com abertura de arco em um suporte de carbono – Weldworld.ru

Benardos observa que é difícil formar um arco voltaico entre dois metais, porque quando os eletrodos fazem contato, eles são grudados. Para evitar esse problema, Benardos usa um pedaço de carvão que ele coloca na peça de trabalho próximo ao local onde a fusão deve ser feita e toca o eletrodo no pedaço de carbono para abrir o arco. O carvão derrete e, depois de algum tempo, o arco voltaico é transferido para o metal fundido no qual continua a trabalhar.

Capítulo III

Metodologia

O objetivo do presente trabalho é esclarecer o problema da prioridade da invenção da soldagem a arco elétrico e descobrir quem, entre Auguste de Méritens ou Nikolai Benardos foi o primeiro a inventar esse processo. Para responder a este problema, é proposto uma análise bibliográfica da indústria metalúrgica da época, analisando a cronologia dos fatos e a aceitação dos diferentes processos de soldagem pela indústria e pelos cientistas da época. Vai ser realizada também uma análise da evolução da indústria da soldagem ao longo do início do século XX, de forma a colocar em perspectiva o desenvolvimento dos processos de soldagem inventados no final do século XIX. Isso a fim de identificar a prioridade da invenção da soldagem a arco elétrico. Para fim de comprovar o sucesso do processo de soldagem de Benardos, implicando seu uso massivo bem como seu desenvolvimento ao longo do tempo, deve ser feitas experiências de soldagem com o processo de soldagem de Benardos, para ser comparado com processo recente parecido (eletrodo revestido) assim como aos dados da literatura da época para concluir sobre a prioridade da invenção do processo de soldagem a arco elétrico.

Capítulo IV

Resultados

4.1. A aceitação da invenção do Auguste de Méritens pela indústria

Depois de realizar inúmeras pesquisas bibliográficas, constatou-se que temos muito poucas informações sobre o processo de soldagem desenvolvido por Auguste de Méritens, o que se refere à dificuldade de identificar seu processo de soldagem como inovador e aceito pela indústria metal mecânica da época desde que não foram encontrados relatos técnicos do uso desse processo na indústria.

Até o momento, temos apenas uma de suas patentes, de 1892 (Méritens,1892), apresentada na revisão bibliográfica. Podemos, no entanto, identificar quais seriam os motivos pelos quais não temos mais informações sobre o processo de soldagem de Méritens. Devemos, portanto, lembrar quais eram os objetivos do setor na época. De fato, no final do século XIX, a revolução industrial acelerou a produção de inúmeros equipamentos em muitos campos, e assim, no domínio da soldagem eléctrica, o objetivo era desenvolver um processo de soldagem com elevada produtividade e também inferior custo.

Com base nessas observações, podemos analisar como o processo de soldagem desenvolvido pelo Méritens não atendia às necessidades da época.

Com efeito, em primeiro lugar, o processo de soldagem original de Méritens não foi muito produtivo visto que o porta-eléctrodo foi fixado na sua patente original (1881), e assim a peça a soldar teve de ser ajustada de forma permanente para efetuar a solda, o que induziu uma produção extremamente lenta, ao contrário do objetivo desejado.

O segundo problema com a invenção de Méritens é que ela não permitia absolutamente nenhuma flexibilidade. Com efeito, pela disposição desta última, provavelmente destinava-se apenas à realização de soldas verticais, não permitindo assim a soldagem em outras posições. Assim, seu processo de soldagem não era prático e não conseguia se adaptar às variações exigidas pelas diferentes situações de soldagem.

Finalmente, em terceiro lugar, é feita referência na literatura à dificuldade de fusão de outros metais além do chumbo, devido ao seu alto ponto de fusão. Isso provavelmente se deve ao fato de que Méritens utilizava apenas uma bateria recarregável durante o processo de soldagem, o que não permitia a produção de energia de soldagem suficiente para soldar metais com alto ponto de fusão, como os aços. Assim, o processo de soldagem desenvolvido pelo Méritens não era adaptado para os requisitos da indústria da época.

4.2. A aceitação do processo de soldagem do Nikolai Benardos

A análise da aceitação da invenção de Benardos pode ser feita a partir de dois pontos de vista diferentes. Primeiro, por demonstrar a aceitação de sua invenção pelos cientistas da época e o entusiasmo gerado em torno de seu processo de soldagem. Em segundo lugar, uma análise da adaptação da indústria de soldagem algumas décadas após sua invenção lança luz sobre o sucesso deste método e seu sucesso com a indústria, demonstrando assim sua superioridade sobre outros métodos de soldagem. Finalmente a viabilidade do processo de soldagem de Benardos pode ser atestada pela realização de experimentações.

4.2.1. A aceitação no período da invenção

Após a Feira Mundial de 1881 em Paris, Benardos voltou a São Petersburgo em 1884, onde já era conhecido como um especialista na área de engenharia de baterias. Lá ele trabalhou com entusiasmo para melhorar o método de soldagem a arco elétrico, prevendo um futuro brilhante para ele. Ele não depositou a primeira patente até 1885, após ter desenvolvido e trazido seu método de soldagem à possibilidade de aplicação industrial. Em seguida, dirigiu-se ao Ministério do Comércio e Indústrias com um pedido de concessão do privilégio de "Método de ligação e separação de metais por ação direta da corrente elétrica". Em 31 de dezembro de 1886, recebeu o privilégio nº 11982 por um período de 10 anos (CHEKANOV,1983).

Em um esforço para melhorar sua invenção e desenvolver a ciência da soldagem, Benardos estabeleceu em 1885 a parceria "Electrohephaestus" em São Petersburgo para operar e implementar o processo de soldagem de Benardos. Este é um workshop de demonstração onde cientistas e engenheiros elétricos vêm de todo o mundo para testemunhar o método de Benardos (CHEKANOV,1983).

Assim, o nome de Benardos é cada vez mais conhecido no meio científico e técnico no exterior. Importantes especialistas estrangeiros vêm à Rússia para se familiarizarem com o "electrohephaestus" com o objetivo de usá-lo em seus países. A popularidade da invenção de Benardos na Europa Ocidental foi grandemente facilitada pela cobertura abrangente desse novo processo de soldagem de metal na literatura técnica e em relatórios especiais de eminentes cientistas e engenheiros. Em particular, tais relatórios foram ouvidos em uma reunião de membros da Sociedade para a Promoção das Indústrias Nacionais em Paris e da Sociedade de Engenheiros de Construção Naval em Newcastle, no Instituto de Engenheiros Mecânicos de Londres (CHEKANOV,1983).

Assim, em meados da década de 1870, a corrente elétrica era cada vez mais usada para fins práticos, o que levou cientistas e inventores em muitos países a prestarem atenção ao uso de arcos elétricos de alta temperatura para soldagem de metais. O desenvolvimento da engenharia mecânica e do transporte, por sua vez, exigiu um maior aprimoramento na tecnologia de fabricação de máquinas e estruturas metálicas, seu reparo rápido e barato (CHEKANOV,1983).

Assim, o método de reparo mais prático e barato no transporte ferroviário naquela época era a soldagem a arco elétrico e, portanto, não é surpreendente que ela rapidamente tenha encontrado seu lugar em muitas aplicações, como reparo de locomotivas a vapor, carros ou caldeiras (CHEKANOV,1983).

A introdução da soldagem elétrica na reparação de peças metálicas de transporte ferroviário, especialmente os taludes das rodas das locomotivas com fissuras no cubo, raios e aro, teve um grande efeito econômico (CHEKANOV,1983).

Daí o grande número de invenções feitas por Benardos no campo da engenharia elétrica e soldagem elétrica, muitas das quais encontraram sua implementação prática.

Na prática industrial, o "electrohephaestus" era amplamente utilizado para revestimento, quando era necessário obter um metal de determinada composição química com as propriedades mecânicas, físicas e químicas exigidas na camada depositada. Segundo o inventor, neste caso é necessário utilizar um arco elétrico "excitado entre dois metais, um dos quais está mais ou menos fundido, e o outro, derretendo completamente e servindo como material para a fundição, a fundição e a fusão, funde-se no mais alto grau completamente com o primeiro "(CHEKANOV,1983).

Assim, Benardos utilizou o método que criou para unir metais e revestir. Este método não apenas restaura a superfície das peças desgastadas, mas também aumenta a resistência ao

desgaste das peças, depositando um revestimento de metal. Da mesma maneira, a soldagem a arco elétrico substituiu a rebiteagem devido ao menor custo de produção.

O campo de aplicação do método de Benardos também é amplo, e “em muitos casos para soldagem de metais, para preenchimento de fissuras, cavidades, etc., para ferramentas de descanso, para fixação de grampos, nervuras, etc., na construção naval - para a construção de anteparas impermeáveis, na artilharia - para projéteis hermeticamente selados, etc”. (CHEKANOV,1983).

Antes de conceder o privilégio a Benardos, o Departamento de Comércio e Manufatura o enviou para exame ao eminente engenheiro elétrico D. A. Lachinov (Fig. 19) e ao mecânico do Conselho de Comércio e Manufatura N. F. Labzin. Ambos os especialistas comentaram positivamente sobre a invenção de Benardos. D.A. Lachinov concluiu sua revisão enfatizando: “Embora o arco voltaico fosse usado para derreter metais (por exemplo, pelos Siemens, Coles, etc.), não era de forma alguma da mesma forma e para outros fins, portanto, o processo de Benardos” Electrohephaestus” deve ser reconhecido como uma invenção nova e muito útil para a indústria, e não há obstáculo para conceder-lhe privilégios em termos de descrição e desenhos.” (Arquivo URSS).



Figura 19: D.A.Lachinov - Wikipedia

Com base nas respostas de D.A. Lachinov e N.F. Labzin, o Conselho de Comércio e Manufatura decidiu: “... certificando que esta invenção não havia sido concedida a ninguém na Rússia antes, dá ao nobre Nikolai Benardos este privilégio por uma década a partir de data abaixo (ou seja, de 31 de dezembro de 1886 - A. Ch.) e o direito exclusivo da invenção acima mencionada de acordo com a descrição e desenho apresentados em todo o Império Russo para usar, vender, dar, legar e de outra forma ceder a outro em um base jurídica ”(Notas RTO). O arquivo contém um recibo de Benardos, confirmando que em 16 de janeiro de 1887, ele recebeu um privilégio emitido pelo Ministério do Comércio e Fabricação em 31 de dezembro de 1886 sob o número 11982 para o método de montagem e separação do metal pelo calor de um arco elétrico.

Porém, antes de patentear seu método de soldagem, o Benardos não apenas o desenvolveu, mas também o testou na prática em produção. Ele criou todos os principais tipos de soldagem a arco elétrico, cujo conteúdo principal permanece o mesmo até hoje. As melhorias radicais que foram introduzidas no uso prático e que são feitas de acordo com os requisitos

modernos dos métodos de soldagem a arco elétrico não mudam a essência do processo criado por Benardos, mas apenas aumentam seu valor prático (CHEKANOV,1983).

Benardos desenvolveu vários métodos de soldagem com eletrodos de metal inclinado (pequena mecanização), que foram usados na década de 1930 nas fábricas de automóveis em Mytishchi e nos Urais, bem como dispositivos em que o arco de soldagem era fechado e o eletrodo introduzido na área do arco cujo comprimento era regulado automaticamente pela pressão da mola. Ele também criou um dispositivo original para a regulação automática do comprimento do arco elétrico usando um solenóide, que foi exibido com sucesso em 1900 na Exposição Universal de Paris (CHEKANOV,1983).

Cientistas e engenheiros estrangeiros importantes vêm a São Petersburgo para se familiarizar com o “electrohephaestus”. Sociedades científicas e técnicas em muitos países dedicam relatórios especiais, conferências, etc. a esta invenção.

Lachinov chama a atenção sobre as características do método de Benardos e, sobretudo, para o fato de que durante a soldagem, um arco voltaico é gerado entre o metal processado e o carvão. Atribuindo grande importância a isso, Lachinov ressalta que, graças a essa característica, o método de Benardos “difere consideravelmente, por exemplo, do método de Jamen, que sugeria usar a chama de sua vela elétrica para soldar. Estudos de cientistas russos e estrangeiros mostraram que os efeitos térmicos e de luz se concentram nas extremidades dos dois eletrodos, nos pontos entre os quais se forma um arco voltaico. Até mesmo o carbono amolece e as partículas são transferidas de um eletrodo para outro. Deve-se notar que o eletrodo positivo é muito mais aquecido do que o negativo. O arco em si permanece relativamente escuro e relativamente pouco calor é liberado nele” (LACHINOV,1887).

De acordo com Lachinov, o processo de Benardos foi bem-sucedido porque ele usou em seu método "Electrohephaestus" não o calor do arco em si, mas os pontos indicados (cátodo e ânodo) para fundir o metal. Assim, nesta aplicação, a energia da bateria foi utilizada de forma adequada, onde foi perdida no método Jamen. Tendo considerado um exemplo do trabalho de "electrohephaestus", ele corretamente aponta que este método "também é aplicável a outros tipos de fixadores usados em encanamento e engenharia mecânica: você pode soldar folhas com uma sobreposição e um ângulo, tubos de solda ao longo e através, etc. Tudo o que se diz sobre o ferro é aplicável ao aço e ao ferro fundido, mas esses materiais derretem mais facilmente e com uma corrente menor ...” (LACHINOV,1887).

Lachinov acredita que o "electrohephaestus" pode ser usado com sucesso não só para soldagem, mas também para outras operações tecnológicas, por exemplo, corte. “A partir de

outras experiências que vimos”, escreve Lachinov, “consideramos necessário insistir na fusão de orifícios em folhas grossas. Para tanto, a folha é colocada não sobre a mesa, mas sobre um tripé especial e conectada ao pólo positivo da bateria, então um carbono negativo é trazido para baixo e mantido no mesmo lugar; o ferro derrete e afunda; após cerca de 5 a 6 segundos, uma folha dupla de 16 mm de espessura é derretida e a chama passa através dela para o exterior (LACHINOV,1887).

Assim, Lachinov está convencido de que "Electrohephaestus" como método de soldagem será constantemente melhorado. Benardos mostrou o "caminho mais próximo da melhoria" do pré-aquecimento dos objetos a serem soldados, evitando-se a grande diferença de temperatura entre os locais vizinhos, o que deve resultar em aumento da resistência mecânica. Desejamos a N.N.Benardos todo o sucesso na área de sua escolha”(LACHINOV,1887).

Outro cientista alemão, o engenheiro elétrico Richard Rühlmann (Fig. 20) destacou a originalidade e inventividade do processo de soldagem de Benardos e para se familiarizar com ele foi na primavera de 1887 em São Petersburgo para assistir experimentos de soldagem com Lachinov na oficina experimental de Benardos.

Rühlmann identificou corretamente os méritos de "electrohephaestus", o que deu origem a uma firme crença no cientista alemão "de que o método citado de processamento de metais é projetado e capaz de se tornar uma ferramenta auxiliar nova e muito valiosa no mundo técnico e assim será completamente transformador e afetara ramos inteiros da produção de metal” (Rühlmann,1887).



Figura 20: Richard Rühlmann - Wikipedia

Rühlmann descreve em detalhes o método Benardos e seus usos. Descrevendo a tecnologia de soldagem, ele também observa algumas dificuldades na implementação da soldagem a arco elétrico. “A principal dificuldade para o desempenho satisfatório de tal trabalho”, acredita Rühlmann, “é determinar a força de corrente a ser usada e encontrar um meio auxiliar simples, permitindo ao trabalhador que faz o trabalho ajustar rapidamente a força de eletro excitação e a amperagem necessária” (Rühlmann,1887).

Benardos conseguiu resolver este problema de uma forma muito simples e interessante, utilizando baterias recarregáveis de sua própria concepção. Assim, Rühlmann nota o design bem-sucedido dessas baterias: “De todas as baterias que conheço, não posso citar outra que seja mais adequada para este tipo de aplicação” (Rühlmann,1887).

Rühlmann também elogia o importante papel de Benardos como criador de um novo método de processamento de metais por arco elétrico. Ele fala assim da prioridade do inventor russo no campo da engenharia elétrica “Embora em épocas diferentes, experimentos tenham sido feitos para aplicar a ação do calor de um arco voltaico à soldagem e brasagem de metais, mas neste campo, com a exceção de Benardos, até agora nenhum resultado técnico de qualquer importância prática foi obtido. ”

Assim, de acordo com Rühlmann “Foi somente por meio de considerações científicas, experimentos cuidadosos e trabalho persistente de longo prazo que o N.N.Benardos elevou o processamento de metais por meios elétricos a um sistema harmonioso que permite sua aplicação. Multifacetado na prática e se destina a substituir em muitos casos, outros métodos de tratamento de metal usados até agora. Além disso, desta forma, é possível realizar trabalhos bem conhecidos em metais, que até agora eram considerados impraticáveis. Acrescento que esta questão foi desenvolvida pelo inventor a tal ponto que a soldagem elétrica já pode ser aplicada na prática” (Rühlmann,1887).

Rühlmann também insiste nos méritos práticos do electrohephaestus. Segundo ele, “a vantagem mais importante e marcante do novo método de soldagem é que os metais mais difíceis de fundir podem ser facilmente unidos em um todo completamente homogêneo sem o auxílio de outros materiais que sirvam de solda” (Rühlmann,1887).

Tanto Rühlmann quanto Lachinov previram o desenvolvimento de aplicações práticas de "electrohephaestus" como um substituto para rebiteagem ou soldagem com martelo em muitos casos. Ele também acredita que a resistência mecânica das soldas aumentará e o custo da soldagem elétrica diminuirá, assim como o tempo necessário para sua implantação, principalmente em setores como construção naval, ferrovias ou caldeiras a vapor. Assim, ele escreve sobre estruturas rebitadas "os locais rebitados representavam baixa estabilidade, e portanto com alguma certeza é possível prever que em um futuro próximo o método Benardos será usado principalmente para esses fins ..." e em caldeiras "... não sendo especialista na produção de caldeiras, não consigo encontrar nenhuma razão para que no futuro não prefira o fabrico não só de tubos de incêndio, mas também das próprias caldeiras a partir de placas electrossoldadas sem rebites ”(Rühlmann,1887).

Outro ponto importante é que Rühlmann ficou impressionado com a rapidez do trabalho realizado pelo método "electrohephaestus", levando a um tempo de reparo menor em relação a outros processos de reparo.

Rühlmann não atribui menos importância à eficácia do método "electrohephaestus", em sua opinião, "em muitos casos, trará vantagens econômicas significativas sobre os métodos ainda conhecidos de tratamento de metais" (Rühlmann,1887).

O cientista alemão acredita em um grande futuro para a invenção de Benardos. No final do artigo, ele escreve: "Não há como prever em quantos casos esse novo meio auxiliar de tecnologia de metal será usado no futuro. Mas não tenho dúvidas de que o método de soldagem e fundição de Benardos fará uma revolução completa em muitos ramos da produção de metal" (Rühlmann,1887).

Embora o método de soldagem de Benardos fosse reconhecido como original por grande parte da comunidade científica da época, algumas pessoas têm tentado questionar a invenção de Benardos e semear dúvidas em particular, sobre a origem da soldagem elétrica.

Assim, assim que surgiram informações e publicações sobre o método "Electrohephaestus" no exterior, muitos tentaram refutar a prioridade da invenção de Benardos. O primeiro a tentar minar a prioridade de Benardos foi o inventor francês Auguste de Méritens. Para entender o que está em jogo, é necessário conhecer a cronologia dos acontecimentos relativos a Lachinov. Pouco antes de partir para a Exposição Mundial de Eletricidade em Paris, Lachinov começou a estudar as propriedades das baterias no laboratório do Instituto Florestal, onde eliminou uma série de falhas das baterias anteriores, propondo cobrir as folhas de chumbo com peróxido de chumbo e chumbo metálico. Ele continuou seu trabalho em Paris e compartilhou seus resultados com muitos dos eletricitistas responsáveis pela exposição. Ele então recebeu em 1881 o privilégio de "um método de formar placas de bateria de chumbo esponjoso". No outono de 1881 partiu para a Rússia e deu o privilégio do método de obtenção de chumbo esponjoso a Nikolai Ivanovich Kabat, em cujo laboratório trabalhou em Paris. Kabat não tirou proveito desse privilégio, porém, em 1885 Auguste de Méritens começou a fabricar acumuladores de acordo com a ideia proposta por Lachinov, da qual ele não mencionou o privilégio do inventor russo. Assim, a revista "Eletricidade" nº 4 de 1887 relata um artigo sobre a invenção de Méritens, denominado "Bateria De Méritens", descrevendo as baterias desenvolvidas por Méritens. Lachinov posteriormente se opôs à patente solicitada por Méritens, afirmando que ele havia começado seu trabalho em 1880, pouco antes da Exposição Mundial de Eletricidade e que os resultados de seu trabalho posteriormente geraram tal interesse. Ele depositou um privilégio com a comunidade científica, que posteriormente deu para o laboratório Cabot. Lachinov não busca principalmente protestar contra o privilégio de Méritens, mas homenagear os inventores russos cujas "ideias dificilmente se enraízam, mas, sendo

transferidas para solo estrangeiro, muitas vezes se desenvolvem e se espalham e, finalmente, já retornam na Rússia sob a direção de uma empresa estrangeira” (Elektrichestvo,1887).

De Méritens, além de refutar a afirmação de Lachinov da independência das invenções russas, começou a desafiar a prioridade de Benardos no campo da soldagem a arco elétrico. Enviou assim uma carta à redação da revista “Electricité” na qual comprovou a sua “limpeza técnica”, afirmando que tinha, independentemente de Lachinov, inventado um novo tipo de bateria. Ao mesmo tempo, De Méritens escreve: “Eu apresentei minhas explicações, mas, por sua vez, o D.A. Lachinov, que é o defensor dos inventores russos, teria dificuldade em justificar suas reclamações em vista do ruído gerado pela soldagem no torno do método de Benardos, enquanto em 24 de novembro de 1881, n ° 146 010, o famoso eletricista De Méritens obteve uma patente contendo todos os detalhes da soldagem elétrica, e a tornou em domínio público em 1883 (Elektrichestvo,1887).

Esta declaração sem precedentes gerou indignação legítima do conselho editorial de "Eletricidade". A revista defendeu firmemente a prioridade do inventor russo. “Quanto à invenção do N.N. Benardos”, escreve o editorial, “que realmente causou polêmica pelos resultados notáveis que obteve nas aplicações práticas de seu método, é sabido que o N.N. Benardos nunca pensou em afirmar que a ideia da soldagem elétrica é inteiramente sua” (Elektrichestvo,1887).

Antes de Benardos, ninguém trabalhava com o uso da eletricidade para soldar metais, apesar do fato de que a possibilidade de soldar metais com eletricidade já apareceu para muitos.

Assim, a ideia da possibilidade de soldar metais com eletricidade é conhecida há muito tempo, e quem a inventou é difícil dizer, mas ninguém ainda alcançou os resultados práticos obtidos pelo N.N Benardos. Cada ideia exige muito trabalho antes de ser posta em prática ... Tanto o American Stat quanto o francês De Méritens passaram a ter privilégios sobre as ideias básicas, sem elaborá-las ou informá-las de qualquer significado prático, e assim por diante, privilégios letra morta e condenados ao esquecimento completo (CHEKANOV,1983).

“A invenção do N.N. Benardos é um trabalho de longo prazo sobre a ideia de soldar metais por meio da eletricidade, que resultou em um sistema completo de tratamento do metal com eletricidade, o que é confirmado pelos fatos da aplicação do método do N.N. Benardos em muitos países, muitas fábricas, bem como análises de comissões inteiras e autoridades conhecidas” (Elektrichestvo,1887).

Em apoio à sua opinião, os editores do Jornal citaram declarações do Professor Rühlmann sobre a invenção de Benardos (sua avaliação positiva das ideias de Benardos foi mencionada acima).

O próprio Benardos nunca afirmou que a descoberta do método de soldagem elétrica fosse sua. No entanto, ele criticou o trabalho de alguns de seus antecessores (Walper e Siemens), ciente da originalidade de sua invenção. Segundo ele, no método Walper, apenas o aquecimento de peças metálicas é produzido por eletricidade. Isso é feito colocando em contato duas brasas colocadas em um aparelho especial e especial, no qual produtos de apenas certas formas e tamanhos podem ser aquecidos. No método Siemens, os produtos já eram aquecidos por arco elétrico, mas para isso era necessário um dispositivo intermediário (cadinho), desempenhando o papel de um dos pólos. Em sua invenção, Benardos viu dois pontos distintos significativos: a ausência de qualquer dispositivo intermediário e o próprio princípio de operação (CHEKANOV,1983).

Como já foi mencionado, no início de 1881, na propriedade Privolnoye, Benardos realizou a soldagem a arco elétrico das placas de chumbo dos acumuladores. Na primavera do mesmo ano, a chamada de P.N. Yablochkov, partiu para Paris, onde, trabalhando no laboratório de N.N.Kabat, demonstrou seu novo método de soldagem com o calor de um arco elétrico. Isso é demonstrado pelo famoso físico elétrico francês E. Hospitalier no artigo "Tratamento elétrico de metais" publicado na revista de Paris "La Nature" ("Nature") em junho de 1887 (HOSPITALIER,1887).

Esses primeiros resultados, desenvolvidos e estendidos a outros metais, formaram a base de uma nova indústria e serviram para criar a "Society for Electrical Metal Processing". "O princípio usado neste processo de soldagem é criar um arco voltaico ...".

Depois de descrever o método de soldagem elétrica de metais, o E.Hospitalier se detém em seu uso prático. Ele relata a demonstração do engenheiro J. Sarsia de técnicas de soldagem usando o método Benardos na Société Française de Physique e discute sua aplicação bem-sucedida na oficina de P. Legrand. O autor do artigo considera esse método simples, prático e merece ser amplamente divulgado. Ele corretamente prevê um futuro brilhante para ele e deseja mais sucesso a Benardos (CHEKANOV,1983).

Indicações da prioridade de N.N. Benardos na invenção da soldagem a arco elétrico também podem ser encontradas em várias publicações científicas e técnicas estrangeiras do final do século XIX.

Os primeiros trabalhos de Benardos neste campo também são mencionados no famoso dicionário eletrotécnico francês de Dumont. Afirma-se, em particular, que “trabalhando em 1881 no laboratório de Kabat, Benardos fez as primeiras tentativas de utilizar energia elétrica para soldar as placas de chumbo das baterias. Com os resultados dos experimentos se mostrando satisfatórios, Benardos aplicou seu método de soldagem a outros metais e, assim, resultou na criação de uma nova indústria” (CHATELEN,1887).

Claro, Dumont não sabia que Benardos liderou essas tentativas na Rússia antes de partir para Paris.

No artigo "Trabalhar metais com eletricidade", publicado numa edição francesa, notamos que "soldar ferro com eletricidade é conhecido desde 1881. Como sabemos, a primeira aplicação deste método pertence a Benardos" (Ponts et Chaussées,1888). A atenção é atraída para as palavras “como você sabe”. O autor do artigo considera a prioridade do inventor russo nesta questão uma questão estabelecida há muito tempo. Isso apenas enfatiza a grande importância do novo método de soldagem e seu grande futuro.

Nem é preciso dizer que a prioridade de Benardos nesta área foi reconhecida e defendida por cientistas russos. Por exemplo, o presidente do departamento VI da RTO V. Ya. Florensov falou sobre isso em 1892 em um discurso dedicado ao desenvolvimento da engenharia elétrica ao longo de 20 anos, proferido na abertura da IV exposição elétrica.

De acordo com Florensov, “a aplicação da eletricidade na soldagem de metais foi amplamente desenvolvida na América, Inglaterra, França, Áustria e Alemanha e menos ainda na Rússia, embora este método tenha sido desenvolvido pela primeira vez pelo inventor russo N.N. Benardos, cujas peças podem testemunhar à elegância e praticidade deste método” (FLORENISOV,1892).

M.A. Chatelen escreveu profusamente sobre a prioridade de Benardos. Ele observou as várias tentativas de alguns inventores, embora tenham até recebido privilégios na forma de usar o arco elétrico para soldagem, para aplicar suas ideias na prática. “Porém, - disse Chatelen, - nenhum desses inventores desenvolveu um método prático de soldagem elétrica e não o aplicou ao caso, e foi Benardos quem teve a honra de inventar tal método” (CHATELEN,1887).

L. Gerken, em um resumo de um artigo do engenheiro francês J. Sarsia "O método de M. Benardos para o tratamento elétrico de metais", publicado em "Lumiere électrique" (1887, nº 25), argumentou que Benardos já em 1881 usou o calor de um arco voltaico para soldar chapas de chumbo (GERKEN,1887).

O método de Benardos foi amplo e completamente coberto nas páginas da literatura técnica publicada na Europa Ocidental e nos Estados Unidos. Vários relatórios interessantes foram feitos sobre isso em várias sociedades científicas e técnicas estrangeiras. Além do relatório detalhado já mencionado de R. Rühlmann sobre o método de soldagem Benardos, lido em uma reunião de engenheiros elétricos alemães em Berlim, relatórios semelhantes foram feitos em uma reunião de membros da Society of Shipbuilding Engineers em Newcastle; no London Institute of Mechanical Engineers, etc. Preparando seus relatórios, muitos cientistas estrangeiros e engenheiros práticos viajaram para São Petersburgo para aprender mais sobre o método "electrohephaestus". Para familiarizar os engenheiros e técnicos alemães com as vantagens da soldagem elétrica de acordo com o método Benardos, uma oficina de demonstração especial foi organizada em Berlim. Os especialistas que aí trabalham reconheceram de forma unânime a prioridade de Benardos no domínio da criação de um método de soldagem eléctrica a arco de metais e a sua aplicação prática (CHEKANOV,1983).

A comunidade científica e técnica mundial já havia no final do século 19 tentado refutar a prioridade da invenção da soldagem elétrica na Rússia, e artigos foram publicados, como no artigo da A.S.Nance "The origin of Arc Welding" em 1976 no jornal americano "Welding Journal" ou nas revistas técnicas de vários países como por exemplo na França na revista "Souder" nº 150 de 1977.

O autor do artigo afirma que a prioridade da invenção da soldagem a arco elétrico não pertence a Benardos, mas ao engenheiro eletricitista francês Auguste de Méritens. Segundo Nans, em 1881 foi fundada em Paris a revista "Electricité", que "tinha um laboratório no quintal de um dos edifícios da rue Renard em Paris. Este laboratório era dirigido por Kabat, e engenheiros. E franceses ou estrangeiros os cientistas poderiam conduzir pesquisas no campo da eletricidade. Entre aqueles que representaram a pequena equipe de pesquisadores do laboratório "Electricité" trabalhando em um método industrial de soldagem a arco estava Benardos, um inventor russo de 39 anos. Ele embarcou na criação de um dispositivo de soldagem a arco de carbono, denominado "electrohephaestus", graças a este dispositivo, o método de soldagem a arco de carbono foi reconhecido e se generalizou "(NANS,1977).

Até agora, tudo parece ser verdade. Graças ao electrohephaestus de Benardos, a soldagem a arco elétrico iniciou sua marcha triunfante em todo o mundo. No entanto, Nance então afirma: "Qualquer que seja o papel que Benardos desempenhou nos estágios iniciais da soldagem a arco no laboratório eletricitista, a primeira patente foi obtida em 1881 pelo fabricante de equipamentos elétricos Auguste de Méritence" (NANS,1977). Desta forma, Nance busca minimizar e até

negar a enorme importância do trabalho do inventor russo neste importante campo da engenharia elétrica.

4.2.2 A aceitação pela adaptação da indústria no século XX

O livro dos Hamilton D.T e Oberg E. publicado em 1918 mostra de maneira clara a adaptação da indústria metal mecânica no início do século XX, com o desenvolvimento da soldagem a arco elétrico, e principalmente o uso dos métodos de Benardos e Slavyanov que foram amplamente usados e melhorados ao longo do tempo. Assim, segundo o livro, o desenvolvimento da soldagem a arco elétrico permitiu a produção de peças mecânicas de forma mais rápida e a um custo ainda menor do que qualquer processo mecânico. Segundo o autor, existem pelo menos quatro métodos distintos sob a cabeça de processos de soldagem a arco elétrico. Esses métodos são nomeados em homenagem aos homens que geralmente são creditados por seu desenvolvimento e são conhecidos, respectivamente, como o processo Zerener, o processo Benardos, o processo Slavyanov e o processo Strohmenger-Slaugher. Outro método conhecido como processo "voltex" pode ser considerado um desenvolvimento e melhoria no processo Zerener. O processo Slavyanov às vezes não é considerado um método distinto, mas apenas um desenvolvimento do processo de Benardos. O livro do Hamilton (1918) também menciona o método de soldagem proposto pelo Auguste de Méritens em 1881 (Hamilton, 1918, p.8) mas não apresenta evidência da sua aplicação na prática. Ele relata que "Os outros processos de soldagem a arco elétrico não são usados de maneira tão intensa quanto o do Benardos e do Slavyanov por apresentarem um nível de complexidade maior". Entre os processos de soldagem a arco elétrico de Benardos e o de soldagem com eletrodo metálico de Slavyanov, o segundo era o mais utilizado na indústria da época com cerca de 90% dos trabalhos realizados (Hamilton,1918). Em relação ao uso do método de Benardos na indústria da época, seu primeiro e mais importante uso é para cortar peças de ferro ou aço, que é a aplicação mais simples do arco elétrico. É frequentemente usado para reduzir o material de sucata a tamanhos que possam ser facilmente manuseados e para cortar risers e aletas de grandes fundições (Hamilton,1918).

A segunda aplicação do arco de carbono é para soldagem de trabalhos muito pesados pelo uso de correntes fortes e eletrodos grandes, e sua terceira aplicação, que é muito limitada, é na soldagem de latão. Em cada um destes dois últimos casos, uma haste de metal adequada deve ser introduzida no arco, de modo que a solda possa ser realizada pela adição de material

de soldagem. O metal fornecido pode ser uma haste mantida na mão do operador ou pode consistir em pequenos pedaços de material de sucata que são fundidos, de modo que se unam à parte da obra que já foi elevada ao estado fundido pelo arco, assim formando uma massa sólida de estrutura uniforme após o resfriamento. O método de Benardos pode ser combinado com o método de Slavyanov, ou seja, soldar com um eletrodo de grafite e usando uma vareta de metal de adição. Segundo o livro “Electric Welding” de 1914, o uso do arco de carbono pode ser usado para o pre-aquecimento da peça e depois o metal de adição é adicionado no estado fundido. O resultado é uma solda com melhor distribuição de tensões e mais homogênea resultando em maior resistência mecânica.

Para todos os trabalhos em que o arco de carbono é usado, correntes comparativamente fortes são necessárias, variando de 200 a 1000 amperes. Devido a essas correntes fortes, o calor pode ser aplicado rapidamente e pode ser concentrado no ponto necessário até que um calor muito intenso seja alcançado e o processo de corte ou soldagem se torne muito rápido (Hamilton,1918).

Sobre a polaridade usada, durante o processo de soldagem, a peça a soldar constitui o polo positivo e o eletrodo usado, o polo negativo. Duas vantagens são obtidas desta maneira: (1) as partículas de carbono do eletrodo não são transportadas para a solda desde que o eletrodo não é super aquecido e então seu desgaste é mínimo, e (2) a maior parte do calor do arco, sendo concentrada no terminal positivo, aquece o metal a ser soldado mais rapidamente. A polaridade negativa permite prevenir o superaquecimento da solda além de evitar a transferência de carbono que endurece a solda e torna-a mais frágil devido ao excesso de dureza (Hamilton,1918).

A tensão no arco varia de 35 a 50 volts, dependendo parcialmente da quantidade de corrente que está sendo usada, mas ainda mais do comprimento do arco. A corrente varia de 200 amperes para cima, dependendo do tipo de trabalho que está sendo feito. Para trabalhos leves, pequenos eletrodos e valores de corrente inferiores a 200 amperes podem ser usados. O tipo médio de soldagem feito pelo arco de carbono requer de 300 a 400 amperes. Para corte, ou, trabalho mais pesado, correntes de 400 a 600 amperes, ou mais, são necessários. O livro “Electric Welding” de 1914 relata também uma tensão no arco da ordem de 65 a 75 volts e correntes da mesma ordem que previamente citada. Tensões superiores são relatadas como fonte de instabilidade e induzem uma baixa eficiência do processo de soldagem. Uma vantagem da fonte de corrente constante usada na soldagem a arco elétrico é que ela permite uma corrente constante qualquer que seja a carga, ou seja qualquer que seja o número de trabalhador usando

a mesma fonte para realizar as operações de soldagem, o que permite alcançar maior produtividade (Hamilton,1918).

As seguintes reivindicações de superioridade são feitas para soldagem a arco elétrico em comparação com outros métodos de soldagem para materiais e condições para as quais o método é adequado: Primeiro, a alta temperatura do arco elétrico torna possível reduzir rapidamente o metal a ser soldado para um estado fundido; o calor sendo aplicado rapidamente não é levado para longe do ponto de solda pela condutividade de calor do metal rápido o suficiente para diminuir a temperatura na solda apreciavelmente. Em segundo lugar, as ferramentas para realizar a solda são comparativamente fáceis de manipular e o aparelho necessário é mais simples e fácil de manusear do que o usado com equipamentos de soldagem a gás. Terceiro, para todos os trabalhos, exceto materiais muito finos, é o método de soldagem mais barato disponível. Quarto, a tensão da corrente é tão baixa que o processo é perfeitamente seguro, e se o operador for fornecido com um capuz ou escudo adequado para protegê-lo da luz e do calor do arco, ele não estará exposto a nenhum perigo. O calor e a luz do arco de carbono são muito maiores do que do arco metálico. Quinto, não há perigo de explosões (Hamilton,1918).

A vantagem mais importante de todas, provavelmente, é que as soldas podem ser feitas acima e em costuras verticais pelo arco metálico mostrando assim a versatilidade do processo. O equipamento mais simples possível para a soldagem a arco consistiria em qualquer fonte de alimentação de corrente contínua, uma resistência ajustável para regular a corrente e reduzir a tensão até a exigida no circuito de soldagem e um porta-eletrodo (Hamilton,1918).

O arco metálico requer de 15 a 25 volts, enquanto o arco de carbono requer de 35 a 50 volts, conforme o equipamento utilizado.

O grupo motor-gerador, entretanto, é o equipamento mais desejável por diversos motivos: É uma unidade autônoma; não exige atenção constante ao correr; o custo de manutenção é baixo; e os circuitos de soldagem e os circuitos da oficina são eletricamente independentes, de modo que os curtos-circuitos no circuito de soldagem não interferem seriamente com os circuitos da oficina (Hamilton,1918).

Os porta-eletrodos são geralmente projetados mecanicamente de maneira simples e providos de meios para segurar o eletrodo com firmeza. O suporte é isolado onde a mão o segura e permite a conexão da fonte de alimentação de corrente ao eletrodo como mostrado na Fig. 21.

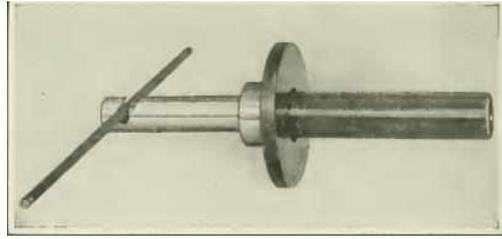


Figura 21: Porta eletrodo para soldagem a arco metálico (Hamilton,1918)

O custo da corrente, os salários pagos e a habilidade do soldador podem variar segundo as empresas. No entanto, os custos considerados relativamente a época são os seguintes: com base no trabalho a 30 centavos por hora; atualmente, o custo da mão-de-obra será maior do que isso, as fábricas que empregam a soldagem a arco como um processo de manufatura regular pagam aos bons soldadores até 50 centavos por hora.

Alguns exemplos de custos de operações de soldagem na época são apresentados na Fig. 22 a seguir, considerando uma tensão de soldagem constante de 70 volts, o trabalho sendo pago a 30 centavos por hora e a corrente calculada a 2 centavos por quilowatt-hora:

Operação	Tempo	Custo (\$)
Construção eixo de armadura de 2 polegadas	3h	\$1,8
Cortar riser de fundição de aço de 4 polegadas	4 min	\$0,05
Estrutura de locomotiva de aço forjada quebrada em dois lugares	20h	\$18,28
Soldar 67 rachaduras em uma fornalha antiga	2 semanas	\$52,6

Figura 22 : Custos de operações de soldagem a arco elétrico - Hamilton 1918

Esses números, incluem apenas mão-de-obra e corrente necessária, e não custos indiretos.

O investimento exigido pelo aparelho de soldagem a arco é cerca de 25 por cento maior do que o custo da máquina de rebiteamento, mas “isso é facilmente compensado pelo menor custo operacional e de energia” (Hamilton,1918).

Foram realizados testes de resistência mecânica pela Universidade de Columbia (EUA) na época, para determinar a resistência das peças soldadas em relação a outros processos de união como a rebiteamento. Assim, placas metálicas eram soldadas e uma força de até 5500 libras por polegada era aplicada na junta soldada. Para testar os valores relativos de diferentes tipos de juntas soldadas, uma placa de aço com 3/8 polegada de espessura foi soldada. Presumiu-se

que a peça original tinha uma resistência de 100 por cento; a junta sobreposta soldada a arco elétrico apresentou uma resistência de 93,5 por cento, e a junta de topo soldada a arco elétrico, uma resistência de 81,5 por cento. Uma junta de volta rebitada, de rebitagem simples, tinha uma resistência de apenas cerca de 60 por cento. Com seções pesadas como placas de caldeira, a resistência após a soldagem, dada no caso de juntas de topo, se feitas corretamente, deve ser em média cerca de 90 por cento da resistência original da placa. O alongamento no material soldado é menor do que na chapa original, pois não é tão tenaz, mas a ductilidade pode ser melhorada martelando a solda ainda quente, e isso é frequentemente feito em seções pesadas. Além disso, o livro “Electric Welding” de 1914 relata que uma boa escolha do material de adição e das condições de soldagem permite alcançar uma resistência mecânica da solda de até 97 da resistência do metal base. Na maioria dos trabalhos de soldagem do dia a dia sem grande importância, a resistência alcançada varia de 80 a 90% da resistência do metal base (Hamilton,1918).

Muitas vezes foi afirmado que as soldas são muito difíceis de serem usinadas, mas esta é uma ideia errada. Uma solda de arco elétrico feita corretamente pode ser usinada tão facilmente quanto uma fundição de aço ou uma peça de aço de flange. Esta característica da solda tornou possível empregar o processo de soldagem a arco não só para trabalhos de reparo, mas também na prática regular de fabricação (Hamilton,1918).

A adaptabilidade do processo a trabalhos de caráter extremamente variado, praticamente todos os casos em que o ferro ou o aço têm que ser unidos sendo recobertos pelos métodos de carbono e arco metálico. A isso pode ser adicionado o caso oposto, ou o do corte, onde o arco é igualmente eficaz, embora não seja tão econômico quanto os processos de corte a gás. O fato de que as soldas verticais ou superiores podem ser feitas tão prontamente quanto as soldas descendentes aumenta muito a disponibilidade do processo para certas classes de trabalho e reduz ao mínimo o trabalho que, de outra forma, seria necessário para o manuseio (Hamilton,1918).

O baixo custo da soldagem por este processo, visto quando comparada com resultados semelhantes obtidos por outros métodos, é um argumento decidido a seu favor.

Em muitos casos de reparos, onde o processo elétrico não está disponível, toda a substituição da parte quebrada ou desgastada seria necessária a um custo muitas vezes maior do que o exigido para a soldagem.

A baixa voltagem usada para soldagem impede qualquer chance de acidente para o operador de contato com as partes transportadoras de corrente do aparelho.

As soldas feitas por arco elétrico possuem um grau de resistência apenas ligeiramente abaixo do da seção original e, por reforço, a resistência pode ser aumentada para qualquer valor desejado. Apresentam uma aparência elegante e acabada, são homogêneas na estrutura e podem ser facilmente usinadas. Em vista dessas vantagens, é facilmente compreendido por que a soldagem a arco elétrico tem feito avanços tão rápidos durante os últimos anos. Vários fabricantes de máquinas e aparelhos elétricos adotaram a confecção de equipamentos de soldagem, e algumas empresas estão se dedicando exclusivamente a este ramo da maquinaria elétrica. A arte da soldagem a arco elétrico está se tornando mais bem compreendida e, no futuro, o processo, sem dúvida, se tornará ainda mais importante do que atualmente (Hamilton,1918).

4.2.3. Comprovação experimental

No objetivo de comprovar a validade do processo de Benardos e de entender seu uso por quase 30 anos na indústria do início do século XX, foram realizadas experiências usando o processo de soldagem desenvolvido pelo Benardos, usando um eletrodo de grafite e comparando a qualidade das soldas com as realizadas pelo processo de soldagem com eletrodos revestidos que foi desenvolvido no início do século XX pelo britânico A.P. Strohmenger e logo pelo sueco O. Kjellberg.

O material usado para as experiências é uma fonte de corrente constante que permite uma boa estabilidade da corrente durante o processo de soldagem, o que é uma característica importante no processo de soldagem de Benardos, de garantir uma corrente alta para o bom desempenho do processo. O eletrodo de grafite é usado na polaridade negativa e prendo em um porta eletrodo mostrado na Fig. 23 a seguir:



Figura 23: Porta eletrodo com eletrodo de grafite

A primeira experiência realizada consistiu na união de duas chapas finas de aço pelo uso do processo de Benardos sem uso de metal de adição. Logo, a folga separando as duas peças é reduzida para compensar a falta de penetração. A tensão medida durante a soldagem foi de 25 V e a corrente de 75 A. A primeira solda realizada é mostrada na Fig. 24 a seguir:



Figura 24: Solda processo de Benardos - Sem metal de adição

Durante o processo de soldagem, o arco era bastante instável devido ao sopro magnético, o que pode ser observado com os vários desvios na linha de soldagem. Apesar de apresentar várias crateras devido à falta de velocidade de soldagem, a solda apresenta uma boa qualidade superficial sem presença de muitos defeitos, mesmo sendo realizada em uma atmosfera sem proteção da poça de fusão.

Na tentativa de melhorar a qualidade da solda e reduzir a presença de crateras, foi realizada uma segunda experiência usando o processo de soldagem de Bernardos com o uso de uma vareta de metal de adição no objetivo de obter uma maior taxa de fusão e de melhorar o aspecto visual da solda. O metal de adição usado é uma vareta metálica para soldagem TIG ER70S-3 (diâmetro de 3 mm) mostrado na Fig. 25:



Figura 25: Vareta de metal de adição

Uma primeira solda é realizada deitando a vareta metálica na folga das duas chapas a serem unidas empurrando o eletrodo ao longo que a vareta funde. A vareta é disposta deitada na posição horizontal como ilustrado na Fig. 26, para maior facilidade de soldagem e não depender da habilidade motriz do soldador que pode aproximar a vareta de maneira incorreta resultando em uma solda de baixa qualidade.



Figura 26: Disposição da vareta de metal de adição na folga das chapas



Figura 27: Soldagem processo de Bernardos - Com metal de adição

A Figura 27 mostra o resultado de uma solda com o processo de Bernardos usando uma vareta de metal de adição. Uma comparação da qualidade das soldas foi feita com o uso do processo de eletrodo revestido nas mesmas condições de soldagem, usando eletrodos rutilicos e básicos. As soldas realizadas com o processo eletrodo revestido são apresentadas nas Fig. 28 e Fig. 29:



Figura 28: ER Rutilico (7018), ER Básico (6013)



Figura 29: ER Rutilico(7018), ER Básico (6013)

Foi observado que durante o processo de soldagem com o eletrodo de Benardos, a corrente era baixa, apesar de ter calibrada a fonte para um uso com uma corrente de 120 A antes de realizar os experimentos. Logo, uma última experiência foi realizada ajustando a tensão da fonte para obter uma corrente de 120 A durante a soldagem. O resultado da soldagem com o processo de Benardos usando metal de adição é mostrado na Fig. 30 a seguir:



Figura 30: Solda com o processo de Benardos - Com metal de adição – 120 A

Outra experiência foi realizada, comparando uma solda realizada sem e com metal de adição, com uma corrente de 120 A. Nesse caso, a vareta de metal de adição apresenta um diâmetro maior, de 4.8mm. O resultado é apresentado na Fig. 31:



Figura 31: Solda sem metal de adição (esquerda) – Solda com metal de adição (direita)

As soldas apresentam uma aparência elegante e bem acabada com o uso de uma maior corrente de soldagem. Assim, observamos que a solda resultante é parecida a uma solda realizada por eletrodo revestido.

Capítulo V

Discussão Dos Resultados

Depois de ter apresentado os resultados da aceitação dos processos de soldagem propostos respectivamente por Auguste de Méritens e Nikolai Benardos, não há dúvida que o segundo teve muito mais sucesso e foi aceito pela indústria metalúrgica da época. Com efeito, se analisarmos os fatos, o processo de soldagem proposto por Auguste de Méritens não cumpria os requisitos da época, que eram o desenvolvimento de um processo de soldagem rápido, barato e versátil, que pudesse ser adaptado às múltiplas situações da indústria da época. O fato é que seu processo era muito rígido, permitindo a realização apenas de soldas verticais, impossibilitando sua utilização para um determinado número de aplicações. Além disso, sua invenção não teve sucesso na soldagem de metais com alto ponto de fusão, como os aços, impossibilitando seu uso na soldagem de diversos materiais. No entanto, a ideia interessante de Méritens foi propor em sua invenção um dispositivo que permitisse a extração de fumos gerados pela fusão de metais, liberando compostos nocivos, possibilitando a proteção do soldador. Assim, embora possamos aplaudir os esforços de Méritens por sua invenção, mesmo que ela não conseguiu convencer a indústria da época.

Podemos, portanto, afirmar com segurança que Benardos soube realmente conquistar a indústria da época com seu processo "Electrohephaestus", pelo qual contribuiu muito para o desenvolvimento da indústria metalúrgica da época. Com efeito, o seu processo de soldagem revelou-se um processo rápido, ao contrário do processo de Méritens, em particular porque Benardos sabia desenvolver baterias que permitiam utilizar uma corrente eléctrica muito maior, permitindo assim fundir metais com maior rapidez e também metais com ponto de fusão mais alto.

Seu processo revelou-se muito interessante, pois permitia tanto realizar a união de duas partes metálicas por soldagem, como também realizar a operação reversa, ou seja, a separação dos metais, aproveitando o calor gerado pelo arco eléctrico... É graças a esta versatilidade que Benardos conseguiu dominar a indústria metalúrgica da época, pois o seu processo se adaptou a muitas situações e foi utilizado em muitos campos, como na indústria ferroviária, na reparação

de rodas, ou na reparação de caldeiras. Seu processo foi rapidamente utilizado pela indústria, devido à facilidade de uso e ao baixo custo de utilização. Portanto, não é por acaso que muitos cientistas da época vieram experimentar o processo de soldagem de Benardos na oficina que ele abriu em Moscou para demonstrar seu processo de soldagem. Entre os muitos cientistas que se apresentaram para assistir às demonstrações do processo de soldagem, alguns especialistas da engenharia elétrica da época, como D.A. Lachinov ou R.Rühlmann reconheceram a engenhosidade e a originalidade do processo de Benardos frente aos demais métodos que foram propostos anteriormente na tentativa de unificar metais. Assim, esses cientistas contribuíram em especial para a divulgação do processo de Benardos na comunidade científica, que aceitou com sucesso este processo de soldagem a arco elétrico para a unificação dos metais. Assim, ao contrário de Méritens, o processo de Benardos será amplamente discutido na literatura da época, possibilitando medir a evolução do processo de Benardos ao longo do tempo na indústria metalúrgica da época, e perceber como o processo foi posteriormente adaptado aos novos aplicativos.

Embora a grande maioria da comunidade científica do final do século XIX aceitasse a originalidade do processo de soldagem de Benardos, alguns tentaram negar a invenção de Benardos, iniciada pelo inventor Auguste de Méritens, que afirmou ter sido o primeiro a inventar a soldagem com arco elétrico, e assim questionou a prioridade da invenção de Benardos. No entanto, muitos cientistas, como D.A. Lachinov, M.A.Chatelen, Rühlmann, E.Hospitalier, Y.A. Florensov e a revista "Electricité", revista de grande importância no campo da eletrotécnica, questionaram as reivindicações que iam contra a prioridade da invenção de Benardos. Na verdade, as acusações opostas são inconsistentes e infundadas. A originalidade e prioridade da invenção de Benardos são notadamente avançadas pelo fato de ele realmente ter proposto uma nova solução, bem como sua aplicação em muitas áreas da indústria metalúrgica. Assim, ele propôs não apenas uma ideia, mas um método, técnicas, bem como material para conseguir a união das partes metálicas.

Podemos assim notar que além de desenvolver sua ideia principal de soldagem a arco elétrico com eletrodo de carbono, ele propôs muitas outras invenções, como baterias de sua concepção, especialmente adaptadas para soldagem de metais, permitindo o uso de uma grande corrente elétrica, muitos modelos de porta-eletrodos, seja para soldagem manual ou automática, diferentes modelos de eletrodos, um processo de soldagem com um eletrodo metálico, com um eletrodo tubular, o uso de um método de regulação automática do comprimento do arco elétrico e muitos outros métodos.

Assim, não há dúvida de que, na época da proposta de sua invenção, ela era muito mais aceita do que a de Méritens. Até hoje, porém, é difícil estabelecer cronologicamente quem foi o primeiro a inventar a soldagem a arco elétrico, devido à falta de documentação sobre os fatos históricos da época. Porém, a grande aceitação de Benardos na época é suficiente para mostrar que ele foi o principal desenvolvedor da soldagem a arco elétrico.

Uma análise da evolução da indústria metalúrgica da época também mostra que o processo de soldagem de Benardos foi bem aceito e adaptado às necessidades da indústria. De fato, o livro “Electric Welding” do Hamilton mostra que a evolução da indústria se baseou principalmente na utilização de dois processos de soldagem, o processo original de Benardos, baseado na soldagem a arco elétrico de carbono, e o processo de Slavyanov, que nada mais é do que uma melhoria do processo de Benardos, substituindo o eletrodo de carbono por uma haste de metal que se funde com o calor gerado pelo arco elétrico. Assim, naquela época, o processo de soldagem Benardos era amplamente utilizado em muitas aplicações, seja para soldagem ou corte de metais. Seu processo de soldagem, em particular, possibilitou a substituição da rebiteagem, devido a um custo operacional muito menor, mas também pela melhor resistência mecânica das soldas realizadas. Além disso, o uso da solda elétrica possibilitou reparos rápidos, que seriam muito mais caros se a peça mecânica tivesse que ser totalmente trocada. Finalmente, o material de soldar mudou relativamente pouco desde a proposta de Benardos. Na verdade, os porta-eletrodos são quase idênticos. A principal diferença é a utilização de geradores elétricos que substituem as baterias e permitem uma melhor eficiência do processo de soldadura, nomeadamente graças a correntes mais elevadas, mas também mais estáveis, resultando assim numa melhor qualidade da solda. Notamos também o uso de equipamentos de proteção durante a soldagem, principalmente máscaras para proteger-se da luz e do calor gerados pelo arco elétrico.

Finalmente a comprovação experimental do processo de Benardos permite mostrar o sucesso desse processo de soldagem apesar de ser um processo de soldagem a arco elétrico primitivo. De fato, foi possível obter com esse método de soldagem resultados muito interessantes com soldas de boa qualidade desde que a corrente usada seja o suficiente para garantir uma boa taxa de fusão, e desde que a soldagem é realizada de maneira rápida para evitar a formação de crateras. Deixando do lado a habilidade motriz do soldador que pode ser melhorada com mais prática no tempo, as soldas obtidas foram de boa qualidade e boa aparência. Não foi observado defeitos importantes nas soldas apesar de ter realizado as soldas em ambiente livre, sem nenhuma proteção da poça de fusão. Não foi observado poros ou fratura

na superfície da peça. O ponto negativo observado durante a soldagem foi a instabilidade do arco devido a presença de um sopro magnético, resultando em uma solda com baixa homogeneidade e espalhando o metal de adição. Quando a corrente é alta o suficiente, a qualidade da solda pode ser comparada a uma solda realizada pelo processo de eletrodo revestido. A combinação do processo de Bernardos com o uso de uma vareta de metal de adição permite uma maior taxa de fusão e um maior reforço da solda, especialmente quando o diâmetro da vareta for bem escolhido. O diâmetro deve ser grande o suficiente para que a fusão da vareta não seja alta demais, implicando o uso de uma maior velocidade de deslocamento da tocha para evitar a formação de crateras, devido principalmente ao uso de uma alta corrente. De fato, foi observado que usando uma vareta de metal de adição de menor diâmetro foi usada, a vareta funde rapidamente e causa a presença de crateras na solda, além de ter um espalhamento importante do metal fundido ao redor da linha de fusão. No entanto, o processo de soldagem consiste em um material muito simples, apenas uma fonte de corrente constante, um porta eletrodo e um eletrodo de grafite, podendo ser usado por qualquer uma pessoa que tenha experiência ou não, mostrando assim a fácil adaptabilidade do processo de soldagem de Bernardos. As soldas foram realizadas com um treinamento de apenas 1h30/2h mostrando assim o rápido aprendizado do processo. Assim, com um melhor treinamento, é possível obter soldas de melhor qualidade e provavelmente com propriedades mecânicas ainda melhores. Assim, não é surpreendente que o processo de Bernardos foi amplamente usado pela indústria do início do século XX desde que ele apresenta baixo custo, grande versatilidade e facilidade de manuseio.

Capítulo VI

Conclusão

Depois de estudar a influência das invenções dos inventores Auguste de Méritens e Nikolai Benardos no campo da soldagem elétrica, não há dúvida de que o segundo inventor foi abençoado com muito maior sucesso, devido à invenção de seu processo de soldagem "Electrohephaestus" que demonstrou ser muito mais otimizado em um certo número de pontos. Na verdade, acaba sendo muito simples, exigindo pouco equipamento, mas também é adequado para soldadores com pouca ou nenhuma experiência na área de soldagem, o que facilitou sua adoção para um grande número de aplicações e por um grande número de usuários em todo o mundo, principalmente na Europa, Rússia e Estados Unidos da América. A razão de sua aplicação em diversos campos é a versatilidade de seu processo de soldagem, permitindo sua adaptação a várias posições de soldagem, e cujo material pode ser adaptado, em termos de fonte de energia, porta-eletrodos ou tipo de eletrodo a ser utilizado, também dependendo do tipo de material a ser soldado. Por fim, a adoção do processo de soldagem Benardos tem sido facilitada graças a um menor custo de utilização em relação a outros processos de produção ou reparo de peças mecânicas, por exemplo, substituindo amplamente a rebitagem, permitindo melhor capacidade de produção, mas também peças com melhores propriedades mecânicas, principalmente em termos de solda, geralmente constituindo o ponto crítico da peça. O processo de soldagem Benardos foi rapidamente aceito pela comunidade científica da época, vendo nele um grande interesse no desenvolvimento da indústria metalúrgica no final do século XIX, onde se sentiu a necessidade de acelerar o ritmo de produção. Assim, seu processo foi reconhecido como original e abrindo caminho para diversas aplicações industriais.

Estes elementos permitem assim destacar o sucesso de Benardos perante o Barão Auguste de Méritens, que não conseguiu adaptar o seu processo de soldagem às necessidades da indústria da época.

No entanto, uma grande incógnita ainda permanece após a análise dos dados da época, o da data exata de criação das invenções dos processos de soldagem propostos por Benardos e

Méritens. O principal motivo é a falta de dados, mas também a confusão que reina nos documentos dos tempos encontrados, não permitindo traçar com precisão a cronologia das invenções. Assim, sabemos apenas que os dois processos de soldagem propostos surgiram por volta de 1881, talvez antes ou depois, sem maior precisão. Algumas suposições são feitas por alguns autores, propondo em particular que Benardos teria inventado seu processo de soldagem pouco antes da exposição elétrica de 1881 em Paris, quando trabalhava na Rússia na fábrica de P.N.Yablockov, onde teria acesso a um certo número de equipamento que lhe permite em particular desenvolver o seu processo de soldagem. Supõe-se, por exemplo, que Benardos teria descoberto o processo de soldagem a arco elétrico por meio da soldagem por forjamento, onde as peças a serem unidas são aquecidas por meio de um arco elétrico, sendo então montadas uma vez as duas peças fundidas, por meio do forjamento. No entanto, esses dados são puramente especulativos e, em sua maioria, são obra de declarações subjetivas dos autores que lhes fazem referência, não permitindo ser imparciais sobre a veracidade dos fatos. Uma pesquisa mais aprofundada poderia fornecer informações mais objetivas sobre os fatos da época e potencialmente nos permitir descobrir quem, de Méritens ou Benardos, foi o primeiro a inventar a soldagem a arco elétrico.

Porém, a contribuição de Benardos para o desenvolvimento da indústria metalúrgica da época através de seus inúmeros inventos, propondo as ideias dos principais processos de soldagem a arco elétrico, ou soldagem por resistência, bem como os métodos e equipamentos para a implementação desses processos, contribuem amplamente para o desenvolvimento e aprimoramento da soldagem e torna-se possível, afirmar sem erro que Benardos é de fato um dos principais participantes na história da soldagem a arco elétrico e, portanto, não é por acaso que os processos de soldagem atuais são principalmente melhorias dos processos de soldagem originalmente oferecidos pelo Benardos. Além disso, as experiências realizadas com o processo de soldagem de Benardos mostraram ótimos resultados, com soldas apresentando uma aparência elegante e bem acabada, apesar de ter treinado pouco tempo antes de executar as soldas, mostrando o fácil uso do processo de Benardos, e então sua utilização pela grande maioria da indústria metal mecânica do fim do século XIX.

Capítulo VII

Epilogo

Auguste de Méritens (Fig. 32) nascido em 6 de março de 1834 em Paris foi um engenheiro elétrico francês reconhecido por ter realizado grandes trabalhos em geradores magnetoelétricos (Fig. 33), usados em particular para alimentar lâmpadas de arco baseado na criação de um brilhante arco elétrico quando duas peças de carbono voltadas para uns aos outros são alimentados com eletricidade. Ele dará uma grande contribuição para o desenvolvimento do esclarecimento na cidade de Paris.



Figura 32: Auguste de Méritens – United States Lighthouse Society

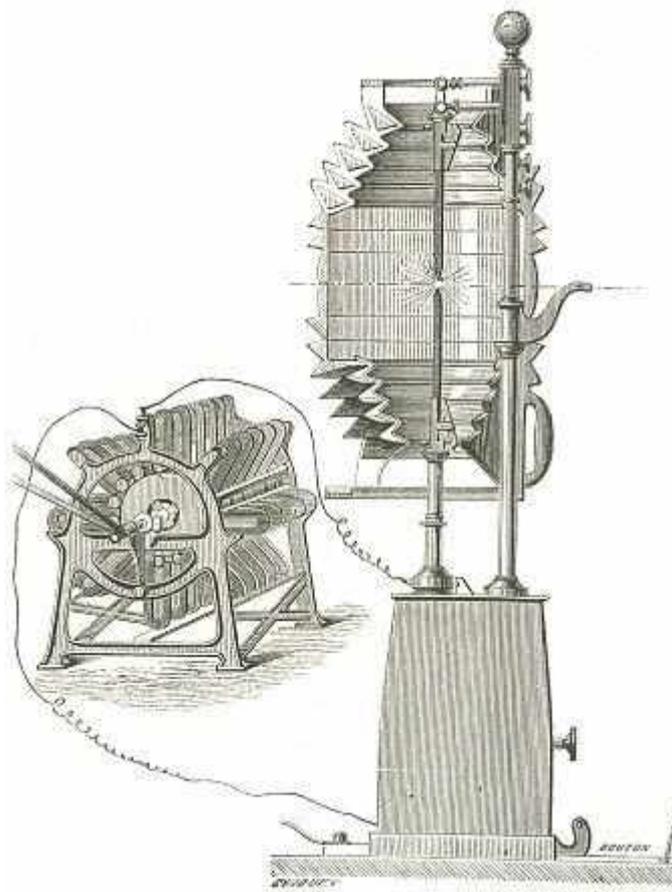


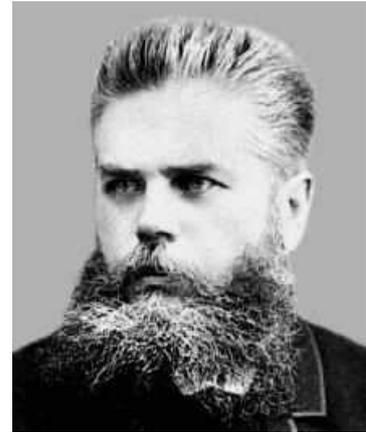
Figura 33: Gerador eletro magnético de Méritens- DEE-UFRJ

Participando ativamente do desenvolvimento da eletricidade para as suas aplicações, apresentou pela primeira vez em 1881 na Exposição Internacional de Eletricidade de Paris, o primeiro processo de soldagem de metal por arco elétrico.

Ao longo de sua vida travou uma grande batalha com o russo Nikolay Benardos que, também, desenvolverá seu próprio processo de soldagem. No entanto, Méritens não conseguiu ser aceito para seu processo de soldagem pela indústria mecânica da época, e sua invenção logo seria esquecida. Embora tenha sido o autor de várias invenções, elas nunca alcançaram o sucesso que Méritens esperava e ele nunca conseguiu uma situação financeira estável. Assim, sem dinheiro e ameaçado de apreensão de seus bens, suicidou-se aos 65 anos com a esposa em sua residência em Pontoise, onde morreu envenenado.

No entanto, um ponto importante da invenção de Méritens diz respeito ao seu processo de soldagem e que ele havia pensado na possibilidade de incluir um sistema de extração de fumos, além de uma janela, permitindo proteger-se de compostos nocivos que poderiam ter um efeito impacto negativo na saúde do soldador.

A história de Nikolay Benardos (Fig. 34) também é muito interessante, especialmente a das origens de Benardos. No século XV o Império Otomano (Turquia) invadiu a Grécia (capturando Constantinopla – Capital do Império Bizantino, centro da Igreja Ortodoxa - em 1453 e Atenas em 1458). A Grécia tornou-se parte do Império Otomano até a sua declaração de independência em 1821 (um período histórico, também conhecido como Turcocracia (em grego: Τουρκοκρατία, "governo turco").



*Figura 34: Nikolay Benardos –
Welding history*

A Imperatriz da Rússia Catarina II (1729 - 1796), nascida na Alemanha como princesa Sofia Frederica Augusta de Anhalt-Zerbst-Dornburg, pensava criar um novo estado bizantino com a capital em Constantinopla. Em 1775 ela fundou em São Petersburgo o Ginásio Grego (um Corpo de Co-Crentes Estrangeiros), cujos alunos foram meninos gregos. A ideia foi formar funcionários e oficiais militares para o novo estado. Sendo que um deles, Panteleimon Benardos, nascido em 1763 em Morey (hoje península do Peloponeso, Grécia) foi o avô do futuro inventor Nikolai Benardos.

O projeto da Catarina II não se concretizou e todos graduados foram colocados no serviço militar russo. Em 1788 o P. Benardos participou da batalha naval com os turcos em Ochakov, e nas campanhas de A. Suvorov em 1790 ele se destacou durante o assalto e captura de Izmail (também durante a guerra contra o Império Otomano). Ele também lutou na guerra contra Napoleão em 1812 na posição de major-general.

Curiosamente, Nikolay Benardos não era engenheiro de formação, mas médico. É durante a vida que desenvolverá a paixão pela engenharia elétrica graças à sua grande inventividade que o levará a criar o processo de soldagem que chamará de "Electrohephaestus" (electro hephesto em grego, deus do fogo, dos metais, da metalurgia e do forjamento na mitologia grega) em referência às suas origens gregas. Ele será o autor de uma invenção que revolucionará para sempre a indústria de soldagem, uma vez que os processos modernos de soldagem elétrica são baseados em sua invenção original. Durante sua vida, Benardos será o autor de mais de 100 invenções em diversos campos, como agricultura, engenharia fluvial, marítima e civil.

Embora tenha desenvolvido muitas invenções, Benardos não era uma pessoa de alto padrão de vida. Com efeito, gastou muito dinheiro, o que não lhe permitiu publicar muito sobre

as suas obras e menos ainda patenteá-las. Assim, sua principal invenção, "Electrohephaestus", foi patenteada graças a seu amigo Olszewzski, que tinha uma rede de hotéis e que o ajudou a patentear sua invenção.

Benardos conhecerá o sucesso graças a este, mas também a morte devido a fortes envenenamentos emanados dos vapores de chumbo durante seus experimentos de projetos de baterias de chumbo-ácido. Assim, ao contrário de Benardos, Auguste de Meritens já havia pensado no problema da toxicidade do metal ao criar uma caixa com dispositivo de extração de fumos, protegendo assim o soldador de fumos nocivos.

Capítulo VIII

Referências Bibliográficas

A história da Soldagem. Disponível em: <<https://aventa.com.br/novidades/infografico-historia-da-soldagem#:~:text=A%20soldagem%20a%20arco%20de,e%20in%C3%ADcio%20dos%20anos%201900.&text=Em%201890%2C%20C.%20L.&text=Este%20foi%20o%20primeiro%20registro,%2C%20assim%2C%20fazer%20uma%20solda>>. Acesso em: 18.abril.2021

A história da soldagem e sua evolução para os dias atuais. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/noticias/dino/a-historia-da-soldagem-e-sua-evolucao-para-os-dias-atuais,c07e70e81e9395a88218eea4301aa43bw9wbfab.html>>. Acesso em: 18.abril.2021

Arquivo da Academia de Ciências da URSS, fundo 585, inventário 1/1203.

Arquivo Histórico Estatal Central da URSS, fundo 24, inventário 4, pasta 69.

Arquivo Histórico Estatal Central da URSS, fundo 24, inventário 4, pasta 69, página 10. 48

Arquivo Histórico Estatal Central da URSS, fundo 24, inventário 4, pasta 69, página 23.

Atividade da Sociedade Eletrotécnica para 1893 - Boletim Eletrotécnico (Rússia), 1894, Nº 3, p. 82.

Auguste de Méritens. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Auguste_de_M%C3%A9ritens>. Acesso em 14.abril.2021.

Bochkov V.E. Documentos novos sobre o inventor da soldagem elétrica Benardos N.N. e sobre sua primeira aplicação industrial. – Revista Elektrotechnika, 1972, Nº 11, p. 58.

Carbon arc light as the electric light of 1870 – International journal of sciences – Volume 3 – October 2014

Cary.B.H. Modern Welding Technology, 4th edition, 1998.

Chatelen M.A. **Engenheiros elétricos russos do século XIX**, Moscou, Leningrado, Editora Gosenergoizdat, 1955, p. 28.

Chatelen M.A. **Engenheiros elétricos russos do século XIX**, Moscou, Leningrado, Editora Gosenergoizdat, 1955, p. 284.

Chatelen M.A. **Engenheiros elétricos russos do século XIX**, Moscou, Leningrado, Editora Gosenergoizdat, 1955, p. 293 - 294.

Chekanov.A.A. **Nikolaï Nikolaevich Benardos**, 1842-1905, Moscou, Editora Nauka, 1983.

Chrenov K.K. **Nikolai Nikolaievich Benardos — inventor da soldagem a arco elétrico.**, Revista Autogennoie Delo (URSS), 1936, № 1, p. 1—7.

Chrenov K.K. **Nikolai Nikolaievich Benardos — inventor da soldagem a arco elétrico.**, Revista Autogennoie Delo (URSS), 1936, № 7, p. 3 - 4

Conquistas em engenharia elétrica no ano passado. - Elektrichestvo (Eletricidade), 1893, № 1, p. 2.

Electric Welding – Principles of various processes – Method and machines used – Commercial applications. Machinery, New York, 1914.

Elektrichestvo (Eletricidade), 1887, № 7, p. 63.

Elektrichestvo (Eletricidade), 1894, № 15/16, p. 224.

Florensov V.Ya. **Discurso na abertura da IV Exposição Elétrica.** - Elektrichestvo (Eletricidade), 1892, № 2 p. 17-18.

Guerken L. **O método de Benardos de tratamento elétrico de metais.** – Revista Engenheiro (Ingenger), 1887, № 8/9, p. 386-387.

Hamilon T.D. Oberg.E. **Electric Welding**, New York, The industrial press, 1918.

Hospitalier E. **Tratamento elétrico de metais** – Revista La nature, Paris, 1887.

Jornal do Conselho do Instituto Eletrotécnico. São Petersburgo, 1899, № 53, p. 26.

Kornienko A.N. **Benardos N.N. — autor do método de soldagem a arco.** – Welding Production, 1981, № 7, p. 3.

Kornienko A.N. *Benardos N.N.* — *autor do método de soldagem a arco.* – Welding Production, 1981, № 7, p. 5.

Lachinov D.A. **Brasagem elétrica de metais de acordo com o método "electrohephaestus".**
- Elektrichestvo (Eletricidade), 1887, № 7, p. 64-65.

Lachinov D.A. **Brasagem elétrica de metais de acordo com o método "electrohephaestus".**
- Elektrichestvo (Eletricidade), 1887, № 7, p. 66.

Liubavskii K.V. e Novogilov N.M. **Soldagem com eletrodo consumível com proteção de gás.**
- Revista Autogennoie Delo (URSS), 1953, № 1, p. 4-8.

Marx K., e Engels F., **Obras coletadas**, 2ª ed., v. 27. p. 222.

M. De Méritens. The engineer-1898.

MERITENS, Auguste de. **Electrically welding metals.** . USA n. 471242. Depósito: 22 mar. 1892. Concessão: 22 mar. 1892.

Nans A.S. **Origem da soldagem a arco.** Kiev: Departamento de Informação Científica e Técnica do Instituto de Soldagem Elétrica da Academia de Ciências da Ucrânia, 1977, p. 4.

NIKOLAI Nikolaievitch Benardos. Disponível em:
<http://weldworld.ru/theory/history/benardos-nikolay-nikolaevich>. Acesso em: 18 abr. 2021.

Notas do RTO (Sociedade Técnica Russa), 1888, № 9, p. 17—22

Paton E.O. **Soldagem a arco com eletrodo de carbono em atmosfera de dióxido de carbono.**
- Revista Autogennoie Delo (URSS), 1950, № 11.

Paton E.O. **Soldagem automática com formação forçada de soldas.** - Revista Autogennoie Delo (URSS), 1950, № 11.

Popov N. **Em memória do Prof. V. Petrov.** — Editora Elektrichestvo (Eletricidade), 1887, N°4, p.37-38

Pires.N.J. **Welding Robots: technologies, systems, issues and application-2006.**

Richman G.V. **Trabalhos sobre física.** Moscou: Editora da Academia de Ciências da URSS, 1956, p. 47.

Rühlmann R. **O método de brasagem e soldagem elétrica de Benardos denominado "electrohephaestus"**. - Revista de Mineração, 1887, v. 4, Nº 10, p. 70.

Riulman R. **O método de brasagem e soldagem elétrica de Benardos**. - Editora Elektrichestvo (Eletricidade), 1887, Nº 14/15, p. 147.

Soldagem – Coleção tecnológica SENAI – 1ª edição 1997.

Soldagem a arco com eletrodo revestido. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Soldagem_a_arco_el%C3%A9trico_com_eletrodo_revestido . Acesso em 18 abril 2021

Solução – Um século de desenvolvimento em soldagem e corte. 1904-2004 ESAB 100 anos.

Stadler.M. **Etude expérimentale du mouvement hydrodynamique d'un bain métallique et sa production de vapeurs sur une configuration de soudage TIG** –2016- Thèse de doctorat – Université de Toulouse

Travail électrique des métaux. - Annales des ponts et chaussées, 1888, t. 15, Mémoires, n ° 3, p. 513

Trunin E.N. **Tratamento de metais pela corrente elétrica**: Anexo especial. – em livro: Balling Carl A.M. Os fundamentos iniciais da eletrometalurgia. São Petersburgo, 1889, p. 158.

Uma breve história da soldagem. Disponível em: <https://www.weldvision.com.br/uma-breve-historia-da-soldagem/>>. Acesso em: 18.abril.2021

Welding education. Disponível em: https://web.archive.org/web/20100819143919/http://www.welding.com/history_of_welding.as >. Acesso em: 18.abril.2021