

DESENVOLVIMENTO DE UM CABEÇOTE ORBITAL PARA SOLDAGEM TIG DE TUBOS

DEVELOPMENT OF AN ORBITAL HEAD FOR PIPE TIG WELDING

DESARROLLO DE UN CABEZAL ORBITAL PARA SOLDADURA TIG EN TUBOS

Gilson Arima

e-mail: arima@labsolda.ufsc.br

Jair Carlos Dutra

e-mail: jdutra@labsolda.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina

RESUMO

Os cabeçotes orbitais são utilizados na mecanização da soldagem de tubos e dutos em uma variedade de espessuras, em situações em que a qualidade da solda deve estar em conjunto com a produtividade. Dentre os diversos setores que os mesmos são empregados, pode-se citar: a indústria de extração e refino de petróleo, bem como transporte de seus derivados, a indústria aeroespacial, farmacêutica, nuclear e naval. Este tipo de equipamento só é produzido por fabricantes estrangeiros, sempre associado às fontes de soldagem, fazendo com que seu custo de aquisição alcance dezenas de milhares de dólares. Com este projeto, busca-se preencher esta lacuna do mercado brasileiro, carente de fabricantes de equipamentos e de recursos humanos que dominem esta tecnologia, contribuindo, com isto, para a economia e para o enriquecimento tecnológico do País. Com esta meta, busca-se também o enquadramento no incentivo da Petrobras com a realização do 4º Prêmio Petrobras de Tecnologia de Dutos. O trabalho envolve desde a análise de mercado, modelos gerados (em CAD) para identificar possíveis soluções, requisitos de projeto, soluções adotadas, até sua concepção final. Também são citadas algumas dificuldades encontradas na fase de dimensionamento e fabricação do equipamento.

ABSTRACT

Orbital heads are used on mechanical pipe and pipeline welding of different thickness, in situations in which the quality of the weld has a direct impact on productivity. Different sectors that have been using it, such as: the industry of oil extraction and refining, as well as the transportation of oil and its byproducts; aerospace industry, the pharmaceutical, nuclear and naval industries. Only foreign manufacturers produce this type of equipment and it is always linked to welding sources thus reducing the cost of acquisition in dozens of thousands of dollars. The purpose of this project is to fill-in the gap of the Brazilian market, which needs equipment manufacturers and human resources that have mastered this technology, thus contributing to the economy and the technological evolution of the country. Having this goal in mind, herein there's an attempt to fit-into Petrobras requirements for incentives through the 4th Petrobras Award on Pipeline Technology. This paper includes an analysis of the market with models generated (in CAD) in order to identify possible solutions, project requirements and solutions adopted until its final conception. Some difficulties found during the dimensioning and manufacturing phase of the equipment have also been mentioned.

RESUMEN

Los cabezales orbitales se utilizan en la mecanización de la soldadura de tubos y tuberías en una serie de espesores, en situaciones en las que la calidad de la soldadura tiene que acompañar la productividad. Entre los distintos sectores en los que se emplean los mismos, se pueden mencionar: la industria de extracción y refinación de petróleo, al igual que

el transporte de sus derivados, la industria aeroespacial, farmacéutica, nuclear y naval. Este tipo de equipamiento sólo lo producen fabricantes extranjeros, siempre asociados a fuentes de soldadura, lo que hace con que su costo de adquisición alcance decenas de miles de dólares. Con este proyecto se busca llenar esta brecha del mercado brasileño, que carece de fabricantes de equipamientos y de recursos humanos que dominen esta tecnología, contribuyendo de esa manera para la economía y para el enriquecimiento tecnológico del país. Con esta meta se anhela también encuadrarse en el incentivo ofrecido por la Petrobras a través del 4º Premio Petrobras de Tecnología de Tuberías. El trabajo incluye desde el análisis de mercado, modelos generados (en CAD) para identificar posibles soluciones, requisitos de proyecto, soluciones adoptadas hasta su concepción final. También se mencionan algunas dificultades encontradas en la fase de dimensionamiento y fabricación del equipamiento.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos 20 anos, esforços têm sido empreendidos por centros de pesquisa, fabricantes de equipamentos e prestadores de serviços no desenvolvimento de uma tecnologia voltada à mecanização da soldagem TIG de tubos (soldagem TIG orbital). Os avanços obtidos têm conduzido à crescente utilização dos cabeçotes orbitais na indústria de extração e refino de petróleo, tanto na montagem de equipamentos quanto de linhas de transporte em plantas industriais, assim como nas indústrias farmacêutica, aeronáutica e alimentícia ⁽¹⁾. A principal justificativa para este investimento consiste: i) na maior produtividade, o que permite reduzir o tempo de montagem ou reparo; ii) na possibilidade de reproduzir soldas de excelente aspecto visual e livres de defeitos; iii) possibilidade de executar a soldagem onde o espaço físico disponível é limitado para uma soldagem manual. Apesar destas características poderem ser conseguidas pela soldagem manual, o sucesso é altamente dependente da habilidade do soldador. Se em algumas situações existem condições propícias para este demonstrar a arte do seu ofício, em outras tantas, o difícil acesso à junta, a insalubridade do local de trabalho ou as dimensões reduzidas dos tubos criam sérias dificuldades para a execução da soldagem TIG manual.

Embora existente no mercado mundial, este tipo de equipamento só é disponibilizado, no País, por poucos fabricantes estrangeiros. Com este projeto, busca-se preencher uma lacuna no mercado brasileiro, carente de fabricantes de equipamentos e de recursos humanos que dominem esta tecnologia. Contribui-se, com isto, para a economia e para o enriquecimento tecnológico brasileiro, de acordo com os princípios que norteiam há muito tempo o Laboratório de Soldagem (LABSOLDA) da UFSC, que já lançou no mercado inúmeros equipamentos e instrumentos.

Quando se decidiu iniciar o projeto de um cabeçote TIG orbital, preocupou-se em desenvolver um produto com capacidade de competir, em tecnologia e preço, com os similares fabricados no exterior. O fator custo foi considerado essencial, visto que o elevado investimento de aquisição destes equipamentos acaba por restringir sua utilização somente a empresas de maior porte, excluindo pequenos prestadores de serviço de reparo ou montagem de equipamentos. Para atender a esta exigência, foi essencial o controle de todo o custo envolvido no projeto (matéria-prima, transporte, fabricação dos componentes e montagem).

2. FUNCIONAMENTO DO CABEÇOTE ORBITAL

Para realizar a soldagem orbital de tubos pelo processo TIG são necessários que sejam preenchidos os seguintes requisitos:

- dispor de um dispositivo que garanta o posicionamento dos tubos durante a soldagem;
- criar um ambiente, a ser preenchido com gás inerte, para proteger o eletrodo de tungstênio e a poça de fusão da contaminação com o oxigênio do ar;
- desenvolver um mecanismo que permita movimentar o eletrodo de tungstênio ao redor dos tubos (fig.1);
- dispor de fonte de energia que permita abrir o arco voltaico através de meios adequados e o ajuste de diferentes valores da corrente de soldagem;
- determinação de um procedimento de soldagem adequado.

O projeto do cabeçote para a soldagem TIG orbital, envolvendo o dimensionamento dos componentes mecânicos e elétricos, terá como finalidade atender a estes requisitos.

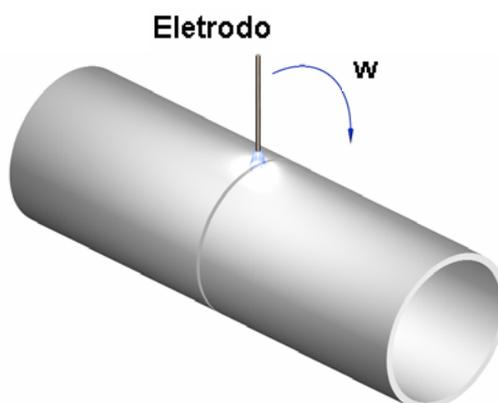


Fig. 1 - Eletrodo de tungstênio num movimento de translação ao redor de um tubo, com velocidade angular w .
Fig. 1 – Tungsten electrode in a translation movement around a pipe, with w angular speed.

3. GERENCIAMENTO DO PROJETO

Para gerenciar as diversas etapas do projeto, elaborou-se um roteiro de trabalho composto por seis fases:

- **Fase 0:** Análise das vantagens e desvantagens dos diversos tipos de equipamentos existentes no mercado; definição das características operacionais desejadas para o cabeçote orbital a ser projetado; identificação, antes do início do projeto, de possíveis soluções e de seus potenciais fornecedores, envolvendo tanto componentes quanto serviços;
- **Fase 1:** produzir esboços para o equipamento, especificando os componentes mecânicos e elétricos necessários; identificar a concepção de maior viabilidade e gerar seu respectivo modelo cinemático;
- **Fase 2:** conduzir o detalhamento do projeto mecânico do equipamento em ambiente CAD;
- **Fase 3:** obtida a aprovação do projeto, efetuar a aquisição de componentes, fabricação das peças e montagem do conjunto;
- **Fase 4:** acompanhar os testes de desempenho do equipamento;
- **Fase 5:** promover as modificações no projeto, sugeridas nos testes de desempenho do equipamento.

4. RESULTADO DOS ESTUDOS PRELIMINARES

O resultado dos estudos realizados nas duas primeiras fases de projeto direcionaram o desenvolvimento do cabeçote orbital para uma concepção baseada no princípio de cartucho (fig. 2) e na capacidade de soldar tubos com diâmetro externo de até 77 mm. Adotou-se esta concepção, em detrimento a uma outra que empregava engrenagem bi-partida, por questões operacionais. Uma vez que o conjunto de acionamento é acoplado ao conjunto posicionador através de grampos de engate rápido, o acoplamento se torna simplificado. Além da maior agilidade na fixação, o cabeçote orbital poderá trabalhar com vários posicionadores de tubos, reduzindo, com isto, o tempo de montagem do equipamento (fig. 3). Como resultado, a operação de montagem ou reparo de linhas ou equipamentos se torna mais produtiva, com a redução do tempo gasto para o alinhamento dos tubos. Apesar de não ter sido o fator decisivo, vale citar que a maior complexidade e custo envolvido na fabricação de cabeçotes orbitais com engrenagens bi-partidas acabou, também, por ser considerado na tomada de decisão sobre a concepção a ser escolhida.

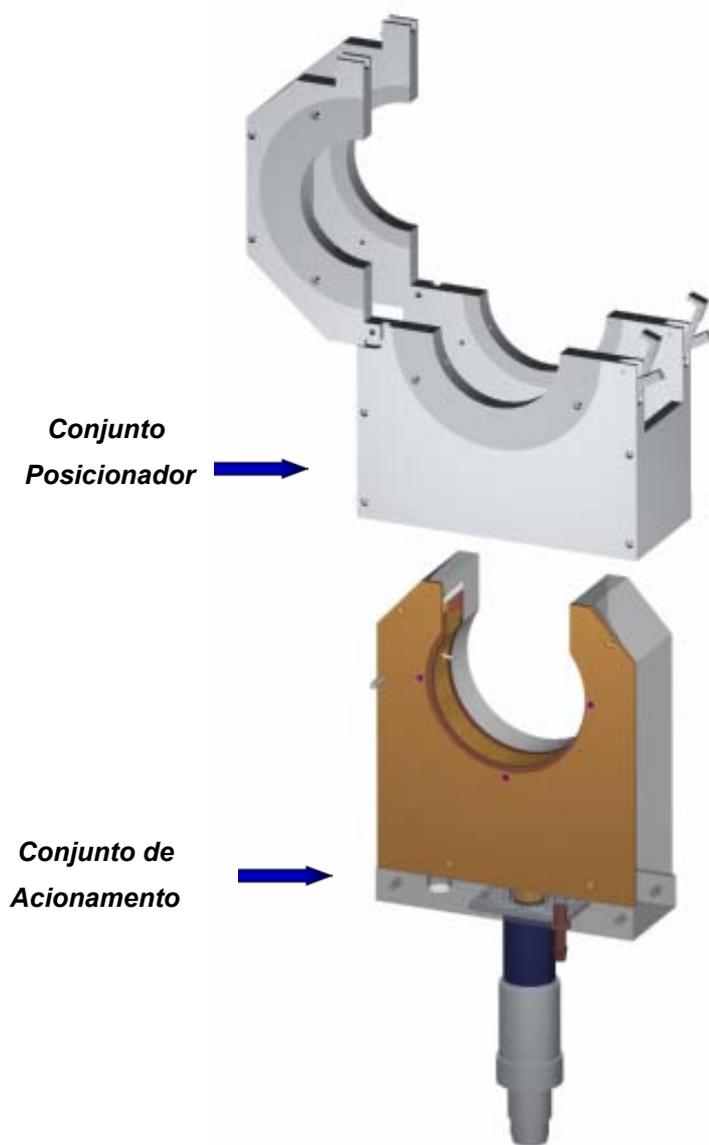


Fig. 2 - Concepção baseada no princípio de cartucho.
Fig. 2 – Conception based on the cartridge principle.



Fig. 3 - Cabeçote orbital operando com vários posicionadores de tubos (CAD).

Fig. 3 – Orbital head operating with different pipe positioners (CAD).

Quanto ao diâmetro dos tubos optou-se por desenvolver um equipamento para a soldagem de tubos com diâmetro externo entre 6 e 77 mm devido às maiores aplicações no nicho de mercado da indústria de extração e refino de petróleo, tanto na montagem de equipamentos quanto de linhas de transporte em plantas industriais.

5. REQUISITOS DE PROJETO

Dentre os diversos modelos gerados em ambiente CAD, identificou-se a concepção que melhor atendeu aos objetivos do projeto, tanto em termos de funcionamento na faixa de operação quanto na capacidade de fabricação. Nesta concepção, diversos componentes como engrenagens, mancais, eixos, rolamentos, mini-motor/redutor, posicionadores de tubos tiveram que ser projetados ou selecionados.

Para a conclusão da fase 2 do projeto foram necessários a compreensão dos princípios de funcionamento propostos e o levantamento dos requisitos de projeto dos diversos sistemas que compõem o cabeçote orbital. Esta tarefa foi realizada antes do detalhamento dos modelos e do início do dimensionamento dos

componentes. Nos itens seguintes são apresentadas as soluções escolhidas para cumprir cada requisito do equipamento.

5.1. Conjunto Cinemático

O conjunto cinemático é apresentado na figura 4, onde eixos e os rolamentos são apresentados somente com o intuito de indicar seus respectivos posicionamentos.

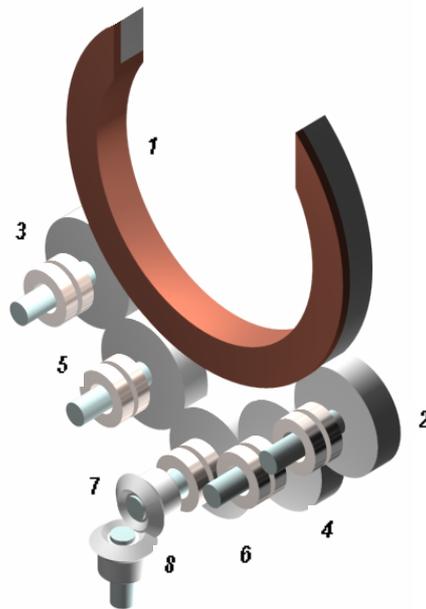


Fig. 4 - Modelo cinemático gerado em ambiente CAD para simulação dinâmica do conjunto de engrenagens.
Fig. 4 – Kinematic model generated in a CAD environment in a dynamic simulation of the set of gears.

O acionamento do conjunto é feito através do eixo da engrenagem cônica 8, transmitindo o torque para uma engrenagem idêntica (engrenagem cônica 7), esta acoplada ao mesmo eixo da engrenagem 6 (engrenagem cilíndrica de dentes retos). A cinemática desse sistema rotativo está apresentada na figura 5.

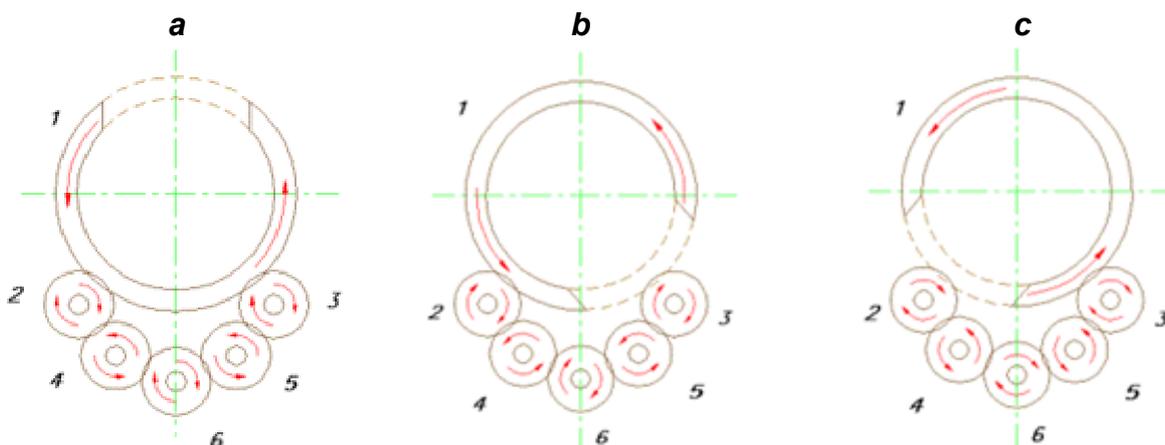


Fig. 5 - Cinemática do sistema rotativo: a- Posição inicial; b- Apoio na engrenagem 2; c - Apoio na engrenagem 3.
Fig. 5 – Kinematics of the rotating system: a – Initial position; b – Support on gear 2; c – Support on gear 3.

O emprego de diâmetros muito pequenos para as engrenagens de 2 a 6 impossibilitam a continuidade do movimento, devido ao corte existente para a passagem dos tubos na engrenagem 1. Devido ao posicionamento das engrenagens 2 e 3 e, conseqüentemente, das demais, garante-se que, durante o movimento, haverá, no mínimo, um ponto de apoio para a engrenagem 1, sendo o carregamento crítico quando esta engrenagem estiver apoiada somente em um dos pontos (engrenagem 2 ou 3).

Para se chegar a esta configuração, vários conjuntos de engrenagens foram modelados em ambiente CAD para comparação e otimização visando obter-se o menor volume e, conseqüentemente, a menor massa para o conjunto. Dentre as soluções analisadas, foi discutido o emprego de engrenagens helicoidais para o acionamento de movimento devido à maior suavidade de contato e menor vibração neste tipo de transmissão. Porém, a dificuldade de fabricação e montagem acarretou no descarte desta solução, decidindo-se empregar engrenagens cilíndricas de dentes retos.

5.1.1. Engrenagens

Com o objetivo de transmitir todo o movimento rotativo, as engrenagens devem manter integridade mecânica diante dos esforços solicitados pelos carregamentos. Os requisitos de projeto são:

- resistência mecânica para suportar ajuste prensado cilíndrico (interferente);
- resistência a elevada temperatura;
- material condutor de eletricidade.

Inicialmente, foi analisada a viabilidade de se utilizarem engrenagens comerciais produzidas em série por um fabricante estrangeiro, devidamente modificadas para atender as especificações de projeto. Entretanto, apesar do custo de aquisição competitivo, a consulta a prestadores de serviço de usinagem indicou a inviabilidade, em termos de custos, das modificações necessárias. Com esta conclusão, foi iniciado o projeto para fabricação do conjunto de engrenagens no País.

A engrenagem 1 (fig. 6a), de maior complexidade, tem como objetivo transmitir a corrente elétrica ao eletrodo e conduzi-lo em um movimento de translação durante a soldagem dos tubos. Nesta engrenagem, foi acoplado um cubo para fixação do eletrodo e embutidos mancais para assentamento com ajustes deslizantes de alta precisão na centragem. Os furos passantes foram executados ao longo do diâmetro da engrenagem para possibilitar o fluxo de gás inerte. As engrenagens de 2 a 6 (fig. 6b), cilíndricas de dentes retos, foram projetadas para acoplarem-se nos eixos, através de ajuste prensado cilíndrico, com interferência necessária para suportar o torque de acionamento. As engrenagens 7 e 8 (fig. 6c) formam o par de cônicas que transmitirá o torque de acionamento ao conjunto. Devido ao valor mais crítico de torque que atua no eixo dessas engrenagens, optou-se por não se utilizar um ajuste interferente no eixo e sim um acoplamento deslizante com fixação através de um parafuso prisioneiro.

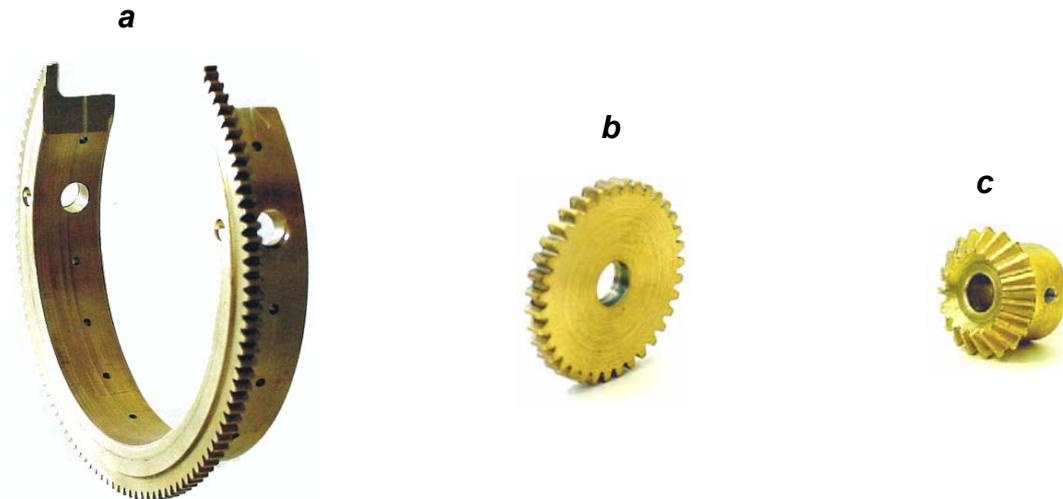


Fig. 6 - Conjunto de engrenagens do cabeçote TIG orbital. a- Engrenagem 1; b- Engrenagens de 2 a 6; c- Engrenagens 7 e 8.

Fig. 6 – Set of gears of the orbital TIG head. a – Gear 1; b – Gears 2 to 6; c – Gears 7 and 8.

Diante da preocupação com a massa dos componentes, estudou-se, também, a viabilidade de se fabricarem engrenagens com materiais não-metálicos devido à sua menor densidade. Porém, o alto custo da matéria-prima e a dificuldade de se adquirir em baixas quantidades no mercado inviabilizou a utilização desses materiais.

Devido à facilidade de usinagem, resistência à corrosão e condutividade elétrica, o material selecionado para fabricação das engrenagens foi latão. As especificações técnicas referentes às propriedades mecânicas do material, para a realização dos cálculos de dimensionamento, foram obtidas junto aos fabricantes.

5.2. Eixos

Os eixos foram modelados em ambiente CAD (fig. 7a) e fabricados (fig. 7b) para cumprir as funções de acoplamento de rolamentos e de engrenagens. Para esta etapa de trabalho, foram definidos como requisitos de projeto:

- resistência mecânica para suportar ajuste prensado cilíndrico (interferente);
- resistência a elevada temperatura.



Fig. 7 - a - Modelo dos eixos, gerado em ambiente CAD; b - Eixo fabricado.

Fig. 7 – a – Drive model generated in a CAD environment; b – After assembly.

Para o lado do eixo que acopla os rolamentos, foi necessário especificar um elevado grau de precisão de fabricação (milésimos de mm). Uma vez que o acabamento superficial influi diretamente no sucesso do acoplamento, a especificação de uma tolerância inadequada na montagem pode danificar o rolamento e, com isto, reduzir a vida útil do equipamento. Para o lado do eixo que acopla a engrenagem (2 a 6), houve a

necessidade de se prever o efeito de dilatação térmica que ocorre durante a operação do cabeçote orbital. Para isto, foram especificados ajustes interferentes de grandezas mais altas, já que o eixo e as engrenagens são constituídos de materiais diferentes e, conseqüentemente, valores de coeficientes de dilatação térmica desiguais. As demais dimensões (comprimento, diâmetro de rebaixo, conicidade) seguiram a recomendação fornecida pela Norma DIN7168 – precisão média.

5.3. Rolamentos

As cargas atuantes nos rolamentos foram calculadas com o objetivo de se dimensionar o menor rolamento possível sem risco de falha em operação. Para esta etapa de trabalho, foram definidos como requisitos de projeto:

- suportar carga axial;
- vida de projeto baseada em serviço contínuo.

Para atender a estes requisitos, foi preciso especificar a natureza das cargas (radial e/ou axial) que estão atuando sobre os rolamentos, a vida de projeto, a vida nominal e a confiabilidade, de forma a se determinar a capacidade dinâmica de carga, que corresponde ao parâmetro de seleção de rolamentos. Os rolamentos foram dispostos em pares para a melhor centralização dos eixos. Nas figuras 8a e 8b apresenta-se o modelo em CAD e os rolamentos acoplados com os eixos, respectivamente.

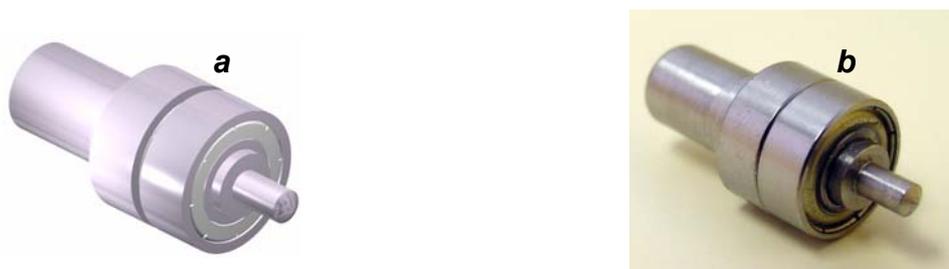


Fig. 8 - Eixo e rolamentos: a- Gerados em ambiente CAD; b- Após a montagem.

Fig. 8 – Drive and bearings: a – Generated in a CAD environment; b – After assembly.

5.4. Acionamento do Conjunto

Com base no modelo dimensional já definido, foram realizados os cálculos para a determinação do torque e potência necessários para o acionamento do conjunto de engrenagens, eixos e demais componentes sujeitos à rotação. Dentre as variáveis para a determinação da potência necessária para acionamento, o atrito existente entre os componentes é o fator mais crítico. Este coeficiente foi determinado através de valores consultados em literatura e em dados experimentais. Os valores encontrados de torque e potência, assim como especificações de operação fornecidas por fabricantes, serviram de referência para a seleção do conjunto de mini-motor e redutor planetário (fig. 9).

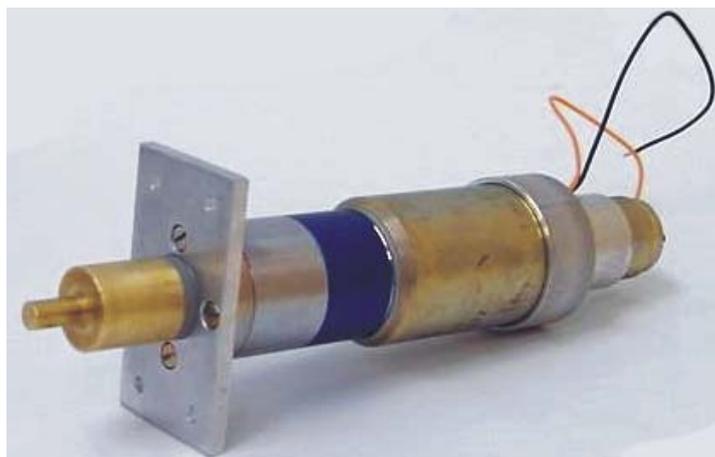


Fig. 9.- Mini-motor e redutor planetário selecionados para acionamento do conjunto rotativo.

Fig. 9 - Mini-engine and planetary reducer selected to start-up the rotating set.

Alguns componentes foram usinados (fig. 10a e b) para fixar e adaptar o conjunto mini-motor/redutor com a engrenagem cônica 8. Nessa adaptação houve a preocupação de isolar eletricamente o mini-motor do restante do equipamento para evitar o risco da corrente de soldagem circular pelo componente, o que poderia danificar o equipamento.



Fig. 10 - a- Suporte de fixação do acionamento de mini-motor/redutor no alojamento; **b-** Adaptador para acionamento de engrenagens.

Fig. 10 – a – Fixation support of the mini-engine/reducer start-up inside the casing; b – Start-up adapter.

5.5. Projeto do Alojamento

De todos os componentes que formam o cabeçote para a soldagem TIG orbital, a peça denominada de alojamento (fig. 11) foi a que consumiu o maior tempo de desenvolvimento em ambiente CAD. Para o desenvolvimento da forma final deste componente foram modeladas diversas concepções na busca pela redução máxima das suas dimensões (fig. 12). Isto porque, além do desempenho na soldagem, nos cabeçotes orbitais o tamanho final do equipamento reflete o grau de avanço da tecnologia empregada. Apesar da preocupação com o tamanho, o alojamento, além de fornecer apoio aos eixos, rolamentos e mancais, também incorpora o conjunto de peças que conduzem energia ao eletrodo e aos canais de alimentação do gás que cria o ambiente inerte em que se realiza a soldagem. Cabe observar que, além da exigência acima apresentada, foram considerados como requisitos de projeto:

- utilização de material não-condutor de eletricidade ;
- resistência mecânica para suportar ajustes deslizantes;

- resistência à temperatura de operação;
- facilidade de usinagem.



Fig. 11 - Componente alojamento: a- Gerado em ambiente CAD; b- Vista do componente após usinagem.
Fig. 11 – Casing component: a – Generated in a CAD environment; b – View of the component after milling.

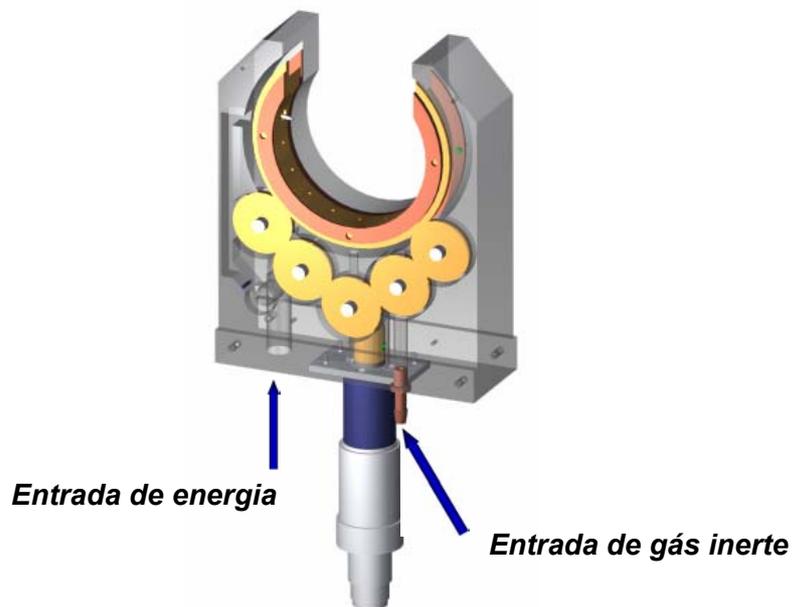


Fig. 12.- Modelo do alojamento detalhado e sistema rotativo.
Fig. 12 - Detailed casing model and rotating system.

Complementa o projeto do alojamento uma tampa (fig. 13) que, além de criar a vedação para formar o ambiente inerte em que se realiza a soldagem, serve, também, como mancal de apoio para os eixos e mancais.



Fig. 13 - a- Modelo da tampa de vedação (CAD); b - Tampa fabricada.

Fig. 13 – a – Sealing cover model (CAD); b – Manufactured cover.

O alojamento foi fabricado em centro de usinagem CNC e, conforme esperado, o material apresentou boa usinabilidade, fator este caracterizado pelo tipo de cavaco produzido durante o corte.

5.6. Posicionadores de Tubos

Como definido no início deste trabalho, o posicionamento e a centralização dos tubos durante a soldagem deve ser feito com precisão, pois um desalinhamento entre as paredes compromete o resultado final da solda.

Para atender a esta exigência, foi projetado um conjunto de posicionadores de tubo (fig. 14).

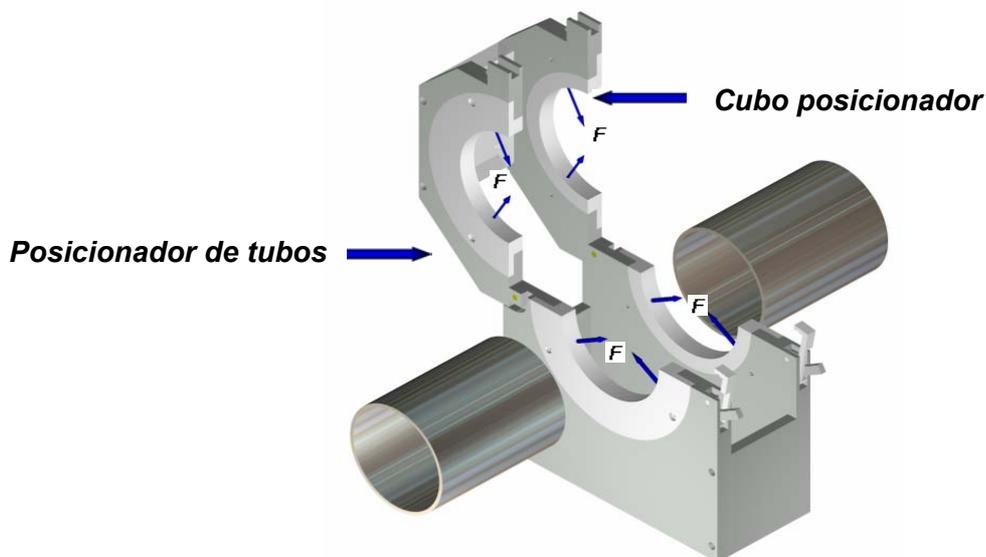


Fig. 14 - Posicionador de tubos (CAD). Cargas geradas pelo sistema pistão-mola.

Fig. 14 – Pipe positioner (CAD). Loads generated by the piston-spring system.

O sistema é articulado e incorpora um subsistema denominado cubo posicionador, trocado de acordo com o diâmetro externo dos tubos a serem soldados. Para garantir a centralização dos tubos, foi projetado um

conjunto de pinos de posicionamento, tipo pistão-mola, distribuídos ao longo dos quadrantes. É pela ação das forças destes pistões, em direção ao centro da peça, que é mantido o alinhamento dos tubos durante a soldagem. Uma variável importante para o dimensionamento do cubo posicionador é a tolerância de fabricação dos tubos. Por este motivo, o sistema de alinhamento segue as normas DIN (Anexo I) referentes às variações admissíveis no diâmetro e na espessura de parede dos tubos.

6. TESTE DE DESEMPENHO E MODIFICAÇÕES

Testes de desempenho estão planejados para avaliar o equipamento e, a partir dos resultados encontrados, promover as modificações necessárias. Reduções no peso e dimensões finais ainda são objeto de análise para os futuros protótipos, visto o interesse em se desenvolver um equipamento competitivo.

7. CONCLUSÕES

Foram apresentadas, aqui, informações sobre o desenvolvimento de um cabeçote para a soldagem TIG orbital conduzido no LABSOLDA. Atualmente, o equipamento encontra-se em fase de montagem, aguardando a conclusão da fabricação dos componentes que compõem o posicionador/alinhador de tubos (vista explodida no Anexo II).

Como conclusão, ressalta-se que a dificuldade para o desenvolvimento de um produto não cessa com o projeto em ambiente CAD. Ao longo dos últimos anos, a experiência acumulada no LABSOLDA no desenvolvimento de equipamentos indica que não são raras situações em que a fabricação de componentes não ocorre como o esperado, em especial quando o projeto se enquadra na mecânica de precisão. Para suplantarmos esta dificuldade, uma tarefa conduzida foi a de identificar pessoal qualificado para a prestação de serviços de usinagem, tanto convencional quanto CNC. Para minimizar o problema, várias visitas foram feitas a prestadores de serviços de usinagem para verificação da capacidade técnica e operacional e, também, para esclarecimento de algumas dúvidas referentes à fabricação.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

⁽¹⁾ Fundamentals of Orbital Tube Welding – Pro-Fusion Technologies, Inc.

BIBLIOGRAFIA

SHIGLEY, J.E. Elementos de Máquinas, vol. 1 e 2. Rio de Janeiro: LTC Editora. 1984.

POPOV, E.P. Introduction to Mechanics of Solids, New Jersey –EUA, Prentice-Hall INC. EUA, 1968.

NORTON, R. L. MACHINE DESIGN – An Integrated Approach., Prentice-Hall – Upper Saddle River, New Jersey 1996.

STEMMER, C.E. Ferramentas de Corte I – 5ª Edição – Editora da UFSC.

VAN VLACK, L.H. ELEMENTS OF MATERIALS SCIENCE – 12th Edition – ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY, INC.

NSK BRASIL LTDA, Catálogo de Rolamentos.

NSK Bearing Doctor – Diagnóstico Rápido de Ocorrências em Rolamentos.

Rolamentos FAG Ltda, Montagem de Rolamentos – Publ. nº 80 100/3 PB.

Rolamentos FAG Ltda, Rolam. e Acessórios – Catálogo WL 41 520/3 PB.

Minimotor SA, Catálogos de Minimotores e Redutores.

QTC - Quality Transmission Components, Catálogo de Engrenagens .

Medias Professional –Informações Técnicas e Catálogo de Rolamentos - INA Brasil Ltda.

DAY BRASIL – GUIA DE PRODUTOS PARA INDÚSTRIA – 10100/04.00 – São Paulo/SP.

ELESA - GANTER GRIFF – ELEMENTI NORMALIZZATI DI POSIZIONAMENTO, REGOLAZINE E MANOVRA – Catalogo 057 – R9/98. Milano – Itália.

Tabellenbuch Metall – VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL – Nourney, Vollmer GmbH & Co.

ANEXO I

TABELA DE TOLERÂNCIAS DIMENSIONAIS PARA TUBOS COM COSTURA

TABLE OF DIMENSION TOLERANCE FOR WELDED PIPES

Tubos de 1'' a 3'' com Diâmetro Externo Máximo de 77 mm

Pipes from 1'' to 3'' with a Maximum Outside Diameter of 77 mm

Diâmetro Externo		Tolerâncias (mm)	Espessuras		Norma
pol.	mm		pol.	mm	
1	25,4				DIN 2458 (Diâmetros e Espessuras)
1 ^{1/16}	26,9	± 0,5	0,080	2	
1 ^{3/16}	30	± 0,5	0,080	2	
1 ^{1/4}	31,8	± 0,5	0,080	2	
1 ^{11/32}	33,7	± 0,5	0,080	2	
1 ^{1/2}	38	± 0,5	0,080	2	
1 ^{11/16}	42,4	± 0,5	0,080	2	
1 ^{3/4}	44,5	± 0,5	0,080	2	
1 ^{29/32}	48,3	± 0,5	0,092	2,3	DIN 1626 (Tolerâncias)
2	51	± 0,51 (± 1%)	0,092	2,3	
2 ^{1/4}	57	± 0,57 (± 1%)	0,092	2,3	
2 ^{3/8}	60,3	± 0,61 (± 1%)	0,092	2,3	
2 ^{1/2}	63,5	± 0,64 (± 1%)	0,092	2,3	
2 ^{3/4}	70	± 0,70 (± 1%)	0,104	2,6	
3	76,1	± 0,77 (± 1%)	0,104	2,6	

TABELA DE TOLERÂNCIAS DIMENSIONAIS PARA TUBOS SEM COSTURA

TABLE OF DIMENSION TOLERANCE FOR SEAMLESS PIPES

Tubos de 1'' a 3'' com Diâmetro Externo Máximo de 77 mm

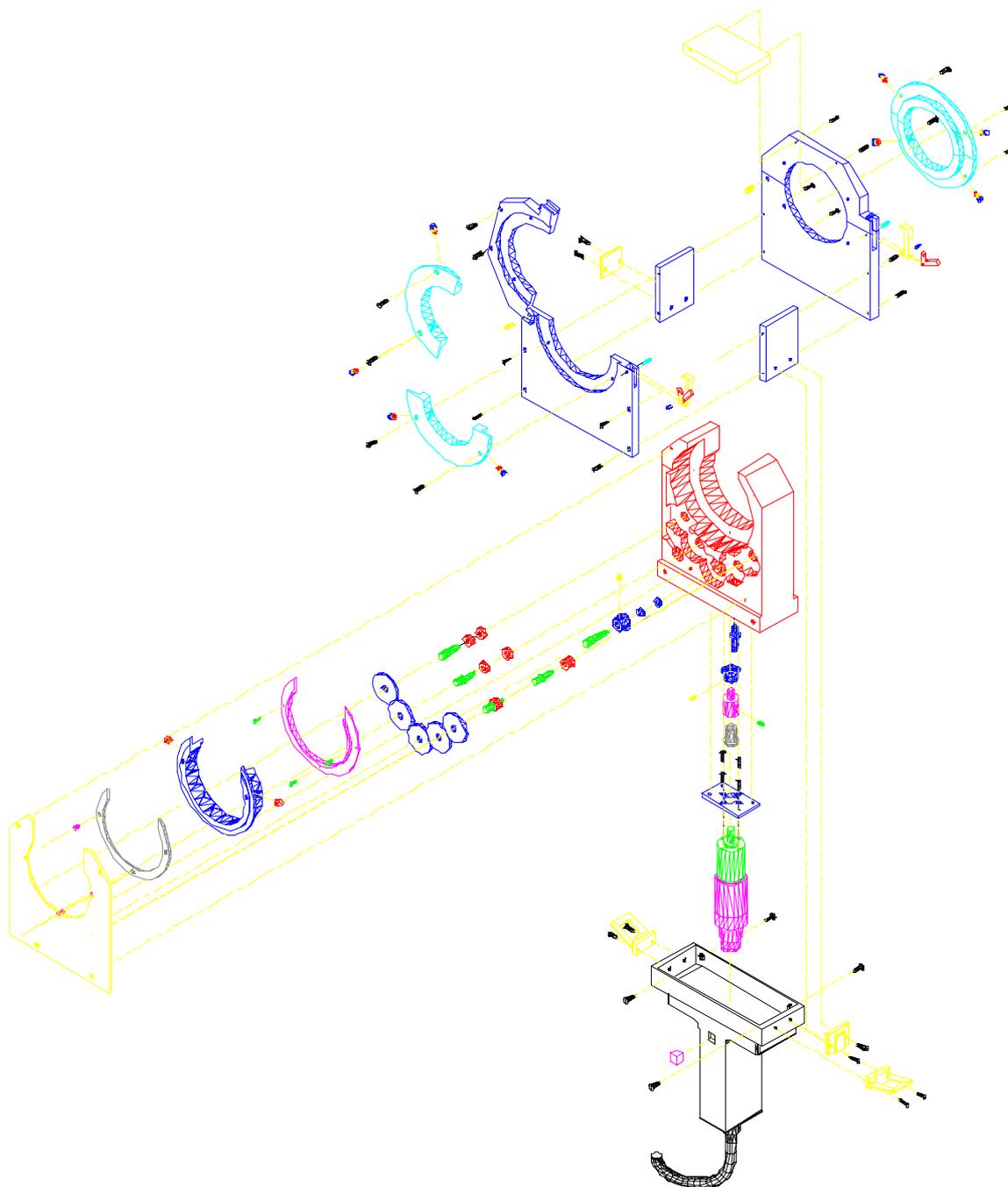
Pipes from 1'' to 3'' with a Maximum Outside Diameter of 77 mm

Diâmetro Externo		Tolerâncias (mm)	Espessuras		Norma
pol.	mm		pol.	mm	
1	25,4				DIN 2448 (Diâmetros e Espessuras) DIN 1629 (Tolerâncias)
1 ^{1/16}	26,9	± 0,5	0,092	2,3	
1 ^{3/16}	30	± 0,5	0,104	2,6	
1 ¼	31,8	± 0,5	0,104	2,6	
1 ^{11/32}	33,7	± 0,5	0,104	2,6	
1 ½	38	± 0,5	0,104	2,6	
1 ^{11/16}	42,4	± 0,5	0,104	2,6	
1 ¾	44,5	± 0,5	0,104	2,6	
1 ^{29/32}	48,3	± 0,5	0,104	2,6	
2	51	± 0,5	0,104	2,6	
2 ¼	57	± 0,5	0,116	2,9	
2 ^{3/8}	60,3	± 0,5	0,116	2,9	
2 ½	63,5	± 0,5	0,116	2,9	
2 ¾	70	± 0,5	0,116	2,9	
3	76,1	± 0,5	0,116	2,9	

ANEXO II

Cabeçote orbital em vista explodida

Blow-up view of the orbital head.



AGRADECIMENTOS

O autor agradece à família, pela oportunidade de estudo; ao grupo LABSOLDA (www.labsolda.ufsc.br) pela estrutura oferecida para o desenvolvimento do cabeçote orbital, em especial ao engenheiro Carlos Eduardo Iconomos Baixo pela colaboração, ajudando a direcionar o projeto da melhor e mais inteligente forma possível; ao orientador professor Jair Carlos Dutra, coordenador do grupo LABSOLDA, pelo empenho e dedicação em busca de geração de tecnologias no País; ao CNPq pela bolsa concedida; aos órgãos financiadores do projeto CNPq e FINEP.