

Dispositivo de Fluxo e Isolamento

Autor: Moraes; Rafael da Cruz ¹

Orientador: Godoy, Sonia Maria de Pinho²

Resumo: Este artigo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um projeto voltado para a melhoria do processo de anodização. O foco está na criação de dispositivos capazes de otimizar o fluxo de matéria-prima ao longo do processo, especialmente em peças com geometria complexa destinadas à formação da camada anódica. O material desenvolvido demonstra grande potencial de aplicação em diversos segmentos da galvanoplastia, sendo altamente adaptável a itens de diferentes formas e funções mecânicas. A compreensão da teoria é um aspecto essencial para o entendimento do produto criado, e o estudo dos materiais poliméricos e suas resistências durante a etapa de desenvolvimento foi crucial para o sucesso alcançado.

Abstract: This article aims to present the development of a project focused on improving the anodizing process. The emphasis is on creating devices capable of optimizing the flow of raw materials throughout the procedure, especially in parts with complex geometries intended for the formation of the anodic layer. The developed material shows great potential for application across various segments of electroplating, being highly adaptable to items of different shapes and mechanical functions. Understanding the theory is an essential aspect for grasping the created product, and the study of polymeric materials and their resistances during the development stage was crucial for achieving the successful outcome.

Junho de 2025

¹Graduando do Curso de Fabricação Mecânica – **Faculdade de Tecnologia de Sorocaba – “José Crespo Gonzales”** – Sorocaba / SP – endereço eletrônico

² Especialista, Mestre, Doutor em ... – **Instituição** – Local – endereço eletrônico

³ Especialista, Mestre, Doutor em ... – **Instituição** – Local – endereço eletrônico (opcional)

Introdução

Este artigo tem como objetivo apresentar um projeto de melhoria de processo, com foco no desenvolvimento de um dispositivo, que auxilia na aplicação da eletroformação do óxido de alumínio em peças com geometria desfavorável.

A anodização de peças com geometria complexa requer adaptações na empresa para atender aos requisitos dos clientes. Nesse contexto, foi desenvolvido um dispositivo inovador que se destaca por possibilitar a aplicação de novos métodos e tecnologias, assegurando o atendimento às expectativas de qualidade dos produtos. O dispositivo se torna peça-chave do processo, contribuindo diretamente para a melhoria da qualidade tanto do processo quanto do produto final.

O material abordado neste artigo possui um amplo potencial de aplicação em diferentes segmentos da indústria de tratamento de superfícies. A versatilidade do dispositivo permite sua adaptação para itens com formas variadas e diferentes, aplicações mecânicas e geométricas. Além disso, a compreensão da teoria da anodização e o estudo de materiais poliméricos e suas resistências durante o processo de eletroformação são fundamentais para o entendimento e aplicação do dispositivo desenvolvido.

Metodologia

Para o desenvolvimento deste projeto foi realizado um estudo aprofundado dos processos, garantindo que a qualidade superasse as expectativas. Foram aplicados conhecimentos em desenho técnico, manufatura, tecnologia de produção, além de conceitos de tratamento de superfícies e polímeros. A abordagem adotada buscou otimizar a produtividade, ou seja, produzir mais utilizando o mínimo de recursos possíveis. Assim, o projeto priorizou o consumo reduzido de recursos financeiros, visando maximizar o lucro e assegurar a excelência técnica dos envolvidos.

Desenvolvimento

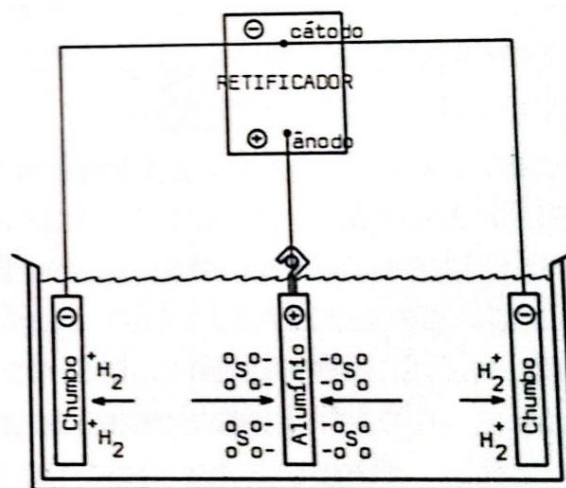
O projeto de dispositivo para isolamento e circulação de banho no interno de peças cilíndricas tem como objetivo otimizar a produção de peças com uma geometria complexa para o processo de anodização, a circulação de banho de anodização no interno aumenta, consideravelmente, a resistência da anodização.

“A anodização consiste em um processo eletroquímico aplicado para aumento da espessura da camada de óxido natural na superfície de metais, especialmente alumínio.

Camada anódica tem por finalidade aumento da resistência ao desgaste por abrasão e corrosão, além de ser isolante elétrico e base para pintura. O sistema para a anodização compõe-se de: um tanque contendo água e certa quantidade de ácido, cujo ânion contenha oxigênio, tais como ácido sulfúrico, oxálico, crômico, fosfórico entre outros. Ao sistema adaptamos um gerador (Retificador). O catodo (polo negativo) deve ser de material resistente ao meio, tal como chumbo ou alumínio, e o anodo (polo positivo) compõe-se das peças de alumínio a serem processadas.

Com a aplicação da corrente elétrica, ocorrerá a eletrolise e no anodo (peças de alumínio), haverá a eletrolise do ácido, libertando o oxigênio que reagirá com o alumínio, transformando sua superfície em óxido de alumínio (alumina). Esta película de alumina, além de fornecer uma excelente proteção contra a corrosão, é extremamente dura, a sua espessura aumenta de acordo com o tempo de exposição no eletrólito”
Autor: de Almeida, Antônio Magalhães, pag. 12,1 a 12,5.

Figura 1 – transformação da superfície em oxido de alumínio



Fonte: Curso de galvanoplastia pag. 12.4
Autor: de Almeida, Antônio Magalhães,

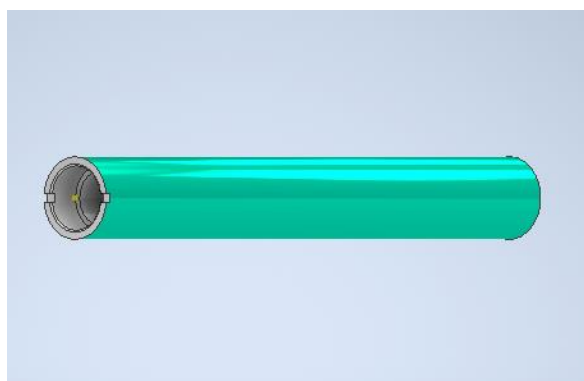
Existem 4 fatores primordiais que influem no aspecto e na qualidade da película de oxido de alumínio formada, que são: densidade de corrente; concentração de eletrólitos; temperatura; e, composição de liga de alumínio.

Com o conceito de anodização estabelecido previamente, entende-se que o desenvolvimento da anodização em peças técnicas será sempre necessário estudo de sua liga, geometria e regiões de tolerância dimensional a ser respeitada.

A peça a ser anodizada é em formato cilíndrica, consiste em um tubo de alumínio de liga 7075 (composição química: Alumínio (Al): 87-99%, Zinco (Zn): 5,1-6,1%, Magnésio (Mg):2,1-2,9, Cobre (Cu): 1,2-2%, Ferro (Fe): até 0,50%, Silício (Si): até 0,40%, Manganês (Mn): até 0,20%), essa combinação de elementos proporciona a liga 7075 suas propriedades mecânicas e físicas excepcionais, tornando-a ideal para a fabricação de peças de aeronaves, componentes de indústria militar, ferramentas e muito mais.

Para entendimento da geometria da peça a ser revestida, esse item é um componente de trem de pouso em formato tubular medindo Ø64x369mm, interno medindo Ø29,90x340mm com uma rosca no interno medindo M36x1,5 altura de 21mm. A peça já tratada superficial com anodização crômica com +/- 10µm (0,001mm) em toda a externa. Como requisito do cliente devemos realizar o tratamento apenas na região interna, proteger a rosca contra o processo.

Figura 2 – Tubo para realizar processo de anodização.



Fonte: o autor

Foi definido que o material do dispositivo deve resistir a matéria prima utilizado (ácido), com isso precisava ser estudado os materiais com resistência ao regime de temperaturas altas e baixas, continuidade elétrica e térmicas sem sofrer nenhuma deformação, estudos mostraram que mais adequado seria utilizar o POLIACETAL.

De acordo com Mannesman (2000), algumas das características são: Densidade: 1,41-1,42 g/cm³, dureza, rigidez, tenacidade, ser inquebrável, possuir alta resistência à deformação por calor, alta resistência à fricção, bom comportamento de deslizamento. Tem propriedades muito próximas às do metais não-ferrosos mecânicos, excelentes propriedades dimensionais, pouco higroscópicos, sem risco à saúde, utilização até 40°C. Ser resistente à ácidos fracos, bases fracas, gasolina, benzol, óleos e álcoois. E não à ácidos fortes, produtos oxidantes. Seu reconhecimento é feito, quanto inflamável, pela sua chama ligeiramente azulada, que goteja e segue acesa, com odor de formaldeído. O Poliacetal é um material muito resistente. É um plástico de engenharia com excepcional estabilidade dimensional e excelente resistência ao escoamento e à fadiga por vibrações, baixo coeficiente de atrito, elevada resistência à abrasão e agentes químicos, que mantém suas propriedades, quando imerso em água quente e que possui baixa tendência à ruptura por fadiga. Acetais são termoplásticos de engenharia obtidos a partir do aldeído fórmico. Essas resinas altamente cristalizadas são fortes (resistentes), rígidas e apresentam boa resistência à umidade, ao calor e aos solventes. Os acetais também podem ser encontrados em barras ou placas extrudadas para peças a serem usinadas, sendo que essa usinagem pode ser executada rapidamente com o emprego de ferramentas de corte de latão. A resistência à compressão teórica do poliacetal é de 90MPa. Suas principais aplicações são em mancais, buchas, roscas sem-fim, vedações, peças de tubulações, acoplamentos, trilhos deslizantes, rodas dentadas, juntas, cilindros, engrenagens entre outros.

Figura 3 – engrenagem em poliacetal injetado



Fonte: <http://www.vick.com.br/vick/Produtos/poliacetal.htm>,[sn]

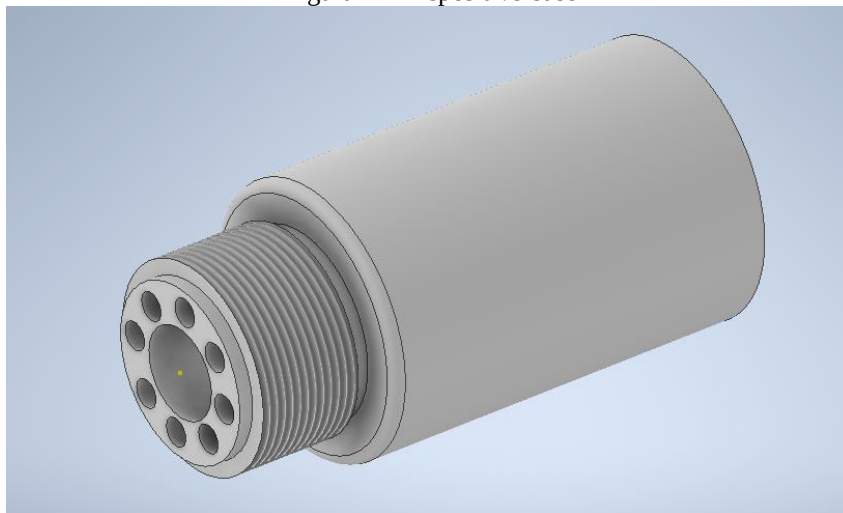
Autor: Vick

A usinagem do plástico de engenharia POLIACETAL pode ser efetuada, perfeitamente, com máquina para metais ou madeira, por possuir condutividade térmica baixa não ocorre deformação. É conveniente evitar qualquer aquecimento excessivo durante a usinagem, que pode gerar tensões internas prejudiciais à geometria e as dimensões da peça acabada.

Utilizamos para o desenvolvimento material polimérico POLIACETAL por suas resistências ser compatível com as necessidades do processo, foi realizado o desenho no software INVENTOR.

O dispositivo medindo $\varnothing 47 \times 100 \text{ mm}$ teve seu desenvolvimento com as especificações no desenho da peça, o desenho informava que a rosca interna M36 não poderia conter revestimento, para modelagem (desenho técnico) o dispositivo teve sua base em proteger a rosca M36 e onde será a ancoragem do dispositivo na peça, e gerando a proteção contra anodização, com isso o dispositivo necessitaria ter uma rosca M36x 1,5mm com comprimento total de 18,5mm, para melhor vedação da rosca foi projetado um rebaixo para anel O’RING medindo $\varnothing 29,90 \times 2,50 \times 3,00 \text{ mm}$ essa ação vai impedir que a matéria prima do processo não penetre na rosca, foi adequado ao dispositivo os furos para saída de material com $\varnothing 5 \times 100 \text{ mm}$, a matéria prima vai circular por dentro do tubo e sair por esses furos. Para a montagem do catodo foi feito adequado no centro do dispositivo furo $\varnothing 16 \times 100 \text{ mm}$ a entrada do líquido seria por meio de um tubo de alumínio (catodo), o tubo seria de medida $\varnothing 15,875 \text{ mm}$ (5/8 Pol.).

Figura 4 – Dispositivo base



Fonte: o autor

O furo central medindo $\varnothing 16 \times 100 \text{ mm}$ vai receber uma barra de alumínio que no conjunto será o CATODO (polo negativo), as peças devem ser posicionadas de modo que a maior área possível esteja paralela aos catodos, para essa situação a área a ser anodizada seria a interna, o catodo fica posicionado próximo as paredes do diâmetro $\varnothing 29,90 \text{ mm}$, o tubo catodo montado na região por teoria a sua área necessita, pelo menos, 2 para 1, em relação a área a ser revestida, o aumento da área catódica melhora a estabilidade do banho e da qualidade da anodização.

O tubo utilizado tem a área total de 4dm^2 , seria necessário o aumento dessa área para atender os requisitos para o processo ter estabilidade, a área interna da peça tem 3dm^2 , para o aumento da área do catodo foi utilizado arame de alumínio $\varnothing 3,2\text{mm}$ com o comprimento de 2000mm , o mesmo foi enrolado no tubo em forma de espiral gerando um aumento de área de 2dm^2 , a somatória da área do tubo catodo com o arame em espiral gerou um resultado de área total de 6dm^2 , exato o dobro para gerar melhor qualidade no processo e estabilidade necessária.

Figura 4 – Tubo CATODO auxiliar



Fonte: o autor

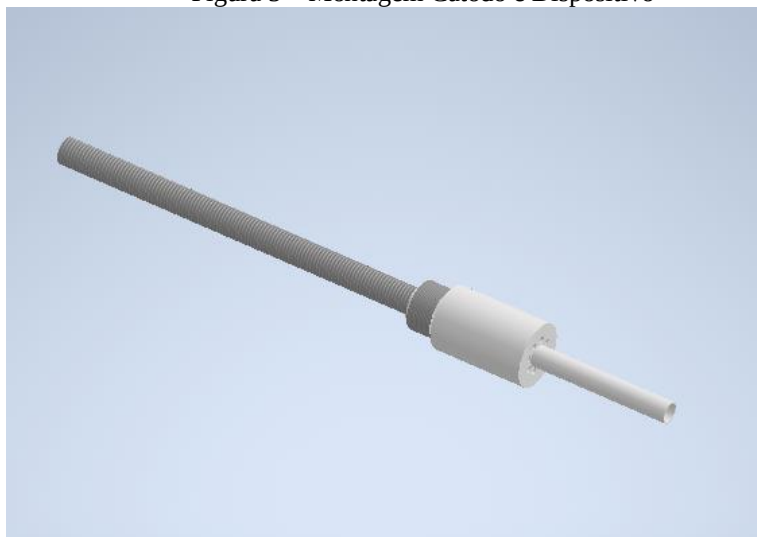
O tubo catodo auxiliar também será utilizado para inserir a matéria prima (ácido) dentro da peça, o líquido vai passar no interior do tubo e ser distribuído dentro da cavidade da peça, assim, continuamente, o ciclo de troca do líquido que aquece devido a corrente continua variável calculada para o processo, esse líquido parcialmente aquecido saí pelos $\varnothing 5\text{mm}$ 8 vezes do dispositivo base e trocado com o liquido que entra pelo tubo catodo. Essa troca garante estabilidade no processo e qualidade na anodização, o aquecimento do produto pode gerar na superfície anodizada baixa resistência abrasiva.

O resultado esperado para a peça produzida é uma anodização com alta resistência abrasiva, a anodização dura é composta pela estabilidade da matéria prima em se manter em uma determinada temperatura a variação da mesma pode gerar uma camada anódica com uma resistência menor do que a desejada.

A montagem completa do dispositivo acontece em partes importantes e indispensáveis, o dispositivo é montado com a haste catodo no $\varnothing 16\text{mm}$, o encaixe do dispositivo no catodo auxiliar é de forma que a área com o espiral fique voltado para baixo em relação a rosca do dispositivo.

O dispositivo de poliacetal é isolante elétrico, o catodo auxiliar vai receber o polo negativo do retificador e a peça vai receber o contato do polo positivo, o polo positivo está no barramento principal do banho de anodização e o polo negativo está nos catodos laterais do banho, ilustrado na figura 1, o barramento da máquina (polo positivo) não pode ter contato com o catodo auxiliar (polo negativo), se ocorrer esse contato entre o polo negativo (catodo auxiliar) e o polo positivo (peça) ocorre a queima da peça, o dispositivo faz o papel de isolante elétrico entre peça (polo positivo) e catodo auxiliar (polo negativo).

Figura 5 – Montagem Catodo e Dispositivo



Fonte: o autor

O anel O´RING de vedação é inserido na peça no Ø36,5mm x 3mm, o rebaixo que foi usinado medindo Ø29,90x2,50x3,00mm, no dispositivo de poliacetal, vai esmagar o anel O´RING, vai gerar a vedação entre o interno da peça e a rosca impedindo que a matéria prima (ácido) penetre na rosca.

Figura 6 – Anel O´ring



Fonte: www.solucoesindustriais.com.br/Anel-de-carga

Autor: Soluções Industriais

Para melhor vedação da superfície foi desenvolvido um anel em borracha, preta do tipo O'RING, com encaixe para as cavidades laterais do tubo, o anel tem a finalidade de facilitar a ancoragem de fita PVC no diâmetro externo, não deixando nenhum espaço entre a peça e o dispositivo para penetração de matéria prima do processo e a tinta de galvanoplastia utilizada para pintura externa da peça, protegendo contra anodização a ser aplicado.

Toda a região externa da peça já havia passado por processo de anodização crômica, esse processo tem a necessidade de ser protegido contra o processo de anodização dura.

Anodização crômica é um processo eletroquímico utilizado para criar uma camada de óxido sobre a superfície metálicas, especialmente o alumínio. Esse método é amplamente empregado nas indústrias aeroespacial e de defesa, pois oferece excelente resistência a corrosão sem alterar significativamente as propriedades mecânicas do material.

Figura 7- Anel externo



Fonte: o autor

A montagem completa do dispositivo conta com todas as partes de vedação envolvidas, anel o'ring interno, anel o'ring externo, catodo e o dispositivo de poliacetal roscado, a figura 8 indica a peça com todas as partes já montadas.

Figura 8 – dispositivo montagem completa



Fonte: o autor

Com todas as partes do dispositivo montadas e a peça já protegida o externo realiza-se o tratamento de superfície, para garantir a eficácia do dispositivo, foi monitorado o processo no seu período total, verificando se matéria prima (ácido) inserido dentro do tubo catodo auxiliar está preenchendo a cavidade interna da peça por completo e saindo pelos furos superiores do dispositivo medindo $\varnothing 5\text{mm}$ 8 vezes, essa troca constante de produto garante que a temperatura está sempre adequada para o processo.

Com o dispositivo consegue-se garantir que o processo de anodização foi eficaz, por criar camada em toda a superfície interna do tubo, uniformemente. Para medição da camada aplicada foi utilizado um corpo de prova de mesma liga da peça, dessa forma conseguimos garantir a camada especificada maior que $50\mu\text{m}$ (microns) foi aplicada de forma assertiva, a camada aplicada no processo foi aproximadamente $60\mu\text{m}$ (microns), realiza-se a medição da camada anódica com aparelho medidor de espessura (tecnomedição).

A dureza do alumínio 7075 pode variar de acordo ao tratamento térmico e do processo de anodização. Em sua forma natural, a liga 7075 apresenta uma dureza em torno de 150 BH (Brinell). No entanto, quando submetida à anodização dura com uma camada de aproximadamente $60\mu\text{m}$ (microns), a dureza pode aumentar significativamente podendo atingir valores de dureza superiores a 400 HV (vickers).

Com o processo de anodização finalizado é realizado a desmontagem, de forma simples, remove-se o dispositivo de poliacetal e as vedações, junto ao dispositivo o catodo auxiliar, assim consegue acesso para a lavagem e secagem da região interna da peça.

O dispositivo de poliacetal e os componentes apresentados foi produzido para a peça específica, podendo ser adaptado para novos produtos e processos futuro. O desenvolvimento desse dispositivo foi para remover barreiras e dificuldades produtivas, apresentando novas tecnologias e materiais que podem ser utilizados nos processos internos.

Conclusão

O presente trabalho apresentou o desenvolvimento e a aplicação de um dispositivo técnico voltado à otimização do processo de anodização dura em peças com geometria interna complexa, atendendo as exigências de resistência mecânica, estabilidade térmica e compatibilidade química impostas pelo processo eletroquímico. O uso do poliacetal como material base demonstrou-se adequando tanto do ponto de vista técnico quanto econômico, devido as suas propriedades de isolamento elétrico, resistência a ácido e estabilidade dimensional sob usinagem e operação.

A concepção do dispositivo incorporou soluções de engenharia voltado à vedações eficientes, direcionamento de fluxo e controle de temperatura, possibilitando a formação de camadas anódicas com espessura superior a 50µm de maneira uniforme e controlada, conforme realizado as medições de espessura superficial, além disso, os critérios de projeto e montagem asseguraram a proteção de regiões críticas da peça, como roscas e superfícies já tratadas, permitindo um processo seletivo e preciso de anodização.

A metodologia adotada no desenvolvimento do dispositivo, pautada na integração entre conhecimento teórico e prática industrial, permitiu não apenas solucionar um desafio específico, mas também gerar uma solução replicável e adaptável a outras peças. Dessa forma, este estudo contribui de maneira relevante para o avanço das técnicas de tratamento de superfícies, reforçando a importância da engenharia aplicada no aprimoramento de processos produtivos complexos.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR ISO 9001:2015 – Sistemas de gestão da qualidade — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

CURSO DE GALVANOPLÁSTIA. Antônio Magalhães de almeida, são Paulo, 1995

MATERIAIS PLÁSTICOS DE ENGENHARIA E SUAS APLICAÇÕES (Poliamida e Poliacetal). JOSÉ APARECIDO VICENTE, São Paulo, 2009

MANO, E.B. Polímeros como Materiais de Engenharia. Edgard Blücher, São Paulo, 1991

PALADINI, Edson Pacheco. *Gestão da Qualidade: Teoria e Prática*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2012.