



UNIVERSIDADE DO SAGRADO CORAÇÃO

PAULA VIEIRA ROCHA

A GALVANOPLASTIA E SEUS PRINCIPAIS BANHOS

Níquel: como buscar uma perfeita eletrodeposição

**BAURU
2007**



UNIVERSIDADE DO SAGRADO CORAÇÃO

PAULA VIEIRA ROCHA

A GALVANOPLASTIA E SEUS PRINCIPAIS BANHOS

Níquel: como buscar uma perfeita eletrodeposição

Trabalho de conclusão de curso entregue ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Química, sob orientação do Prof^o Ms. Dorival R. Rodrigues

**BAURU
2007**

R672g

Rocha, Paula Vieira

A galvanoplastia e seus principais banhos.

Níquel: como buscar uma perfeita eletrodeposição/

Paula Vieira Rocha -- 2007.

69f.

Orientador: Prof Ms Dorival R. Rodrigues
Trabalho de Conclusão de Curso (Química) -
Universidade do Sagrado Coração - Bauru - SP.

1. Eletrodeposição 2. Pré-tratamento 3. Niquelação
4. Química I. Rodrigues, Dorival R. II. Título.

ROCHA, Paula Vieira

A GALVANOPLASTIA E SEUS PRINCIPAIS BANHOS
Níquel: como buscar uma perfeita eletrodeposição

Trabalho de conclusão de curso entregue ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Química, sob orientação do Prof^o Ms. Dorival R. Rodrigues.

Banca Avaliadora: Ms. Mário Hiroshi Sitanaka

Ms. Setsuko Sato

BAURU
2007

Dedico este trabalho aos meus pais, Paulo e Mariza e aos meus avós, Alcindo e Maria, por estarem sempre ao meu lado, não deixando que eu desistisse do meu sonho.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, por ter me dado esta oportunidade de estar realizando meu sonho.

Ao Profº Dorival pela habilidade com que orientou este trabalho.

A Maria de Lourdes Rebouças Silvestre, (carinhosamente chamada de Dona Lú), que me acolheu e cuidou de mim como se fosse minha mãe.

As minhas queridas amigas, que moram comigo que me agüentaram todo este tempo.

E a todos que de modo geral contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

“Os químicos são uma estranha classe de mortais, impelidos por um impulso quase insano a procurar prazeres em meio a fumaça e vapor, fuligem e chamas, venenos e pobreza, e, no entanto, entre todos esses males, tenho a impressão de viver tão agradavelmente que preferiria morrer a trocar de lugar com o rei da Pérsia”.

Johan Joachin Becher, *Physica Subterranea*
(1667).

RESUMO

Este trabalho é o resultado de uma pesquisa bibliográfica cujo objetivo foi descrever os processos básicos da galvanoplastia, dando um maior enfoque a niquelação. Há mais de dois séculos a técnica de eletrodepositar metal é utilizado em diversos segmentos e com finalidade de proteger o metal base contra ações de intempéries, conferindo a mesma maior durabilidade e/ou apenas decorativa. Antes de iniciar o processo, as peças recebem um pré-tratamento químico, onde será limpa antes de sofrer a eletrodeposição. Há ainda o problema da aderência de um metal no outro. Para que a película do metal se ligue à base, além de perfeita limpeza e desengraxe, é preciso conhecer a natureza dos metais. O níquel, por exemplo, não dá boa aderência ao zamac. Por isso, intermediariamente, faz-se uma deposição prévia de cobre, que dá boa adesão com ambos. No mundo inteiro é bastante comum revestir produtos de consumo e outros manufaturados com níquel para aumentar a utilidade, o valor e o apelo de vendas. Exemplificando, o acabamento decorativo de níquel é liso e na maioria das aplicações finais também revela uma superfície tão nítida quanto à de um espelho. Mas acessórios que tenham níquel como última camada ou camada intermediária podem provocar alergia a pessoas que sejam sensíveis ao metal.

Palavra-chave: Eletrodeposição, Pré-tratamento, Niquelação.

ABSTRACT

This college project is the result of a bibliographic research whose objective was to describe the basic process of electroplating, giving a greater focus on nickel plating. For more than two centuries the electroplating techniques metal has been used in many segments and in order to protect the base metal against the inclemency actions, conferring to the same more durability and/or only decoration. Before the start of the process, the pieces receive a chemical pre-treatment, where it will be cleaned, before suffering a electroplating, because there is a adherence problem in a metal or in another one. In order for a metal pellicle to alloy to the base, besides the perfect cleanliness and to clean from grease it is necessary to konw the nature of the metal. The nickel, for example, doesn't give a good adherence to zamac. For this, intermediarily, a electrodeposition of copper is made, because it gives a good adherence to both. Worldwide it is very common to coat consupcion products and other manufactureds with nickel to increase their utility, value and the sale appealing. In example, nickel finishing decoration is plain and in the major of final aplications also reveals a surface so clear as mirror. But, aecessories that have nickel as a last or a intermidiate layer can provoke a allergy to people that are sensitive to metal.

Word-key: Electroplating, Pre-treatment, Nickel plating.

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Principais problemas que ocorrem em banhos cianídricos	23
Tabela 2 - Composição do anodo de níquel.....	44
Tabela 3 - Descrição das chapas obtidas em ensaio com a Célula de Hull	57

Lista de Figuras

Figura 1 - Descrição geral de um tanque de galvanoplastia	16
Figura 2 - Ilustração esquemática de uma Célula de Hull	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa	17
1.2 Objetivos	19
2. PROCESSOS	20
2.1 Banho de cobre alcalino – Base cianeto	20
2.1.1 Função dos componentes	21
2.1.2 Defeitos, causas e correções	23
2.2 Banho de cobre ácido – Base sulfato	25
2.2.1 Composição	26
2.2.2 Penetração e nivelamento	28
2.2.3 Anodos	29
2.2.4 Controle e manutenção	29
3. NÍQUEL	31
3.1 Função dos principais constituintes	32
3.2 Condições de operação	39
3.3 Anodos de Níquel	42
3.4 Principais contaminantes	45
3.5 Controle do processo	47
3.5 Curiosidade	59
4. CONCLUSÃO	60
5. GLOSSÁRIO	62
6. REFERÊNCIAS	67

1. INTRODUÇÃO

O início do estudo detalhado da galvanoplastia data de 200 anos atrás, mas a idéia de proteger materiais com banhos metálicos vem de eras remotas. Em escavações realizadas em construções italianas da Idade Antiga, vasos decorados com lâmina de chumbo e objetos de cerâmica com traços metálicos comprovam o domínio das primeiras civilizações européias sobre essa técnica. Povos de 3 mil anos atrás já empregavam metais para revestir e conservar materiais diversos. (ABTS, 2005).

A galvanoplastia foi desenvolvida por Luigi Galvani. Médico e fisiologista italiano (Bolonha, 9 – IX – 1737). Realizou em Bolonha os seus estudos. Em 1782 foi indicado professor de anatomia, dedicando-se à pesquisa com entusiasmo. Tornou-se célebre por seus estudos sobre os órgãos genitais e auditivos das aves e pelos novos métodos de anatomia comparada que introduziu. Em 1791 apresentou sua teoria sobre a eletricidade animal, 20 anos após haver iniciado suas pesquisas. Como resultado dessas experiências, construiu o primeiro elemento galvânico, constituído por dois metais diferentes, colocados em contato com os músculos das pernas de rãs. Galvani não soube explicar o fato, nem lhe ocorreu substituir os músculos por soluções, o que só foi realizado mais tarde por outros cientistas, pois se interessava particularmente pelo comportamento dos músculos. As propriedades por ele descobertas constituíram o ponto de partida para a invenção das pilhas elétricas. (BARSA, 1993)

A descoberta, que Galvani atribui à presença de “eletricidade de origem animal”, intrigou estudiosos da época. O físico Alessandro Volta (1745 – 1827) discordou do

compatriota Galvani com relação à origem animal da eletricidade. Iniciava-se uma das maiores e mais frutíferas polêmicas da história da ciência.

Em 1792, Volta demonstra: a eletricidade seria criada não pelo animal, mas pela ação química da umidade entre os dois metais diferentes, que geraria um fluxo de corrente. Com o experimento, ele não somente dissipou dúvidas, mas conseguiu construir a primeira pilha elétrica. Como o invento foi elaborado a partir de conhecimentos dos dois cientistas, ganhou dois nomes: pilha galvânica ou pilha voltaica. Mais tarde, além de base para o nascimento de novas ciências, como a eletrofisiologia e o eletromagnetismo, marcaria também o estudo da galvanoplastia.

Hoje, a chamada galvanoplastia é definida como um processo pelo qual se proporciona proteção superficial a determinadas peças, através de processos químicos, fazendo com que as mesmas tenham maior durabilidade. O processo consiste numa eletrodeposição de um metal na superfície de outro para protegê-lo ou para efeito decorativo. (ABTS,2005)

No processo galvânico primeiramente a peça passa por um polimento feito por politrizes ou através de jatos abrasivos. O polimento é necessário para deixar a superfície da peça extremamente lisa, sob o ponto de vista macroscópico. Com isso reduz-se a área a ser tratada, pois uma superfície lisa tem uma área muito menor que uma áspera e, portanto, usará uma quantidade menor de metal a ser depositado. A superfície, não tendo fissuras, poros ou frisos, evitará que nesses locais fiquem retidos íons que facilitam posterior oxidação, ou então graxas que impedirão um contato elétrico perfeito.

A peça então passa por uma decapagem que consiste em remover óxidos, tintas, incrustações da superfície metálica. Isso é feito mergulhando-se a peça em uma solução de ácido clorídrico ou sulfúrico. A peça decapada é em seguida mergulhada em água para remover o ácido. Em alguns lugares mergulha-se em solução alcalina e depois em água novamente.

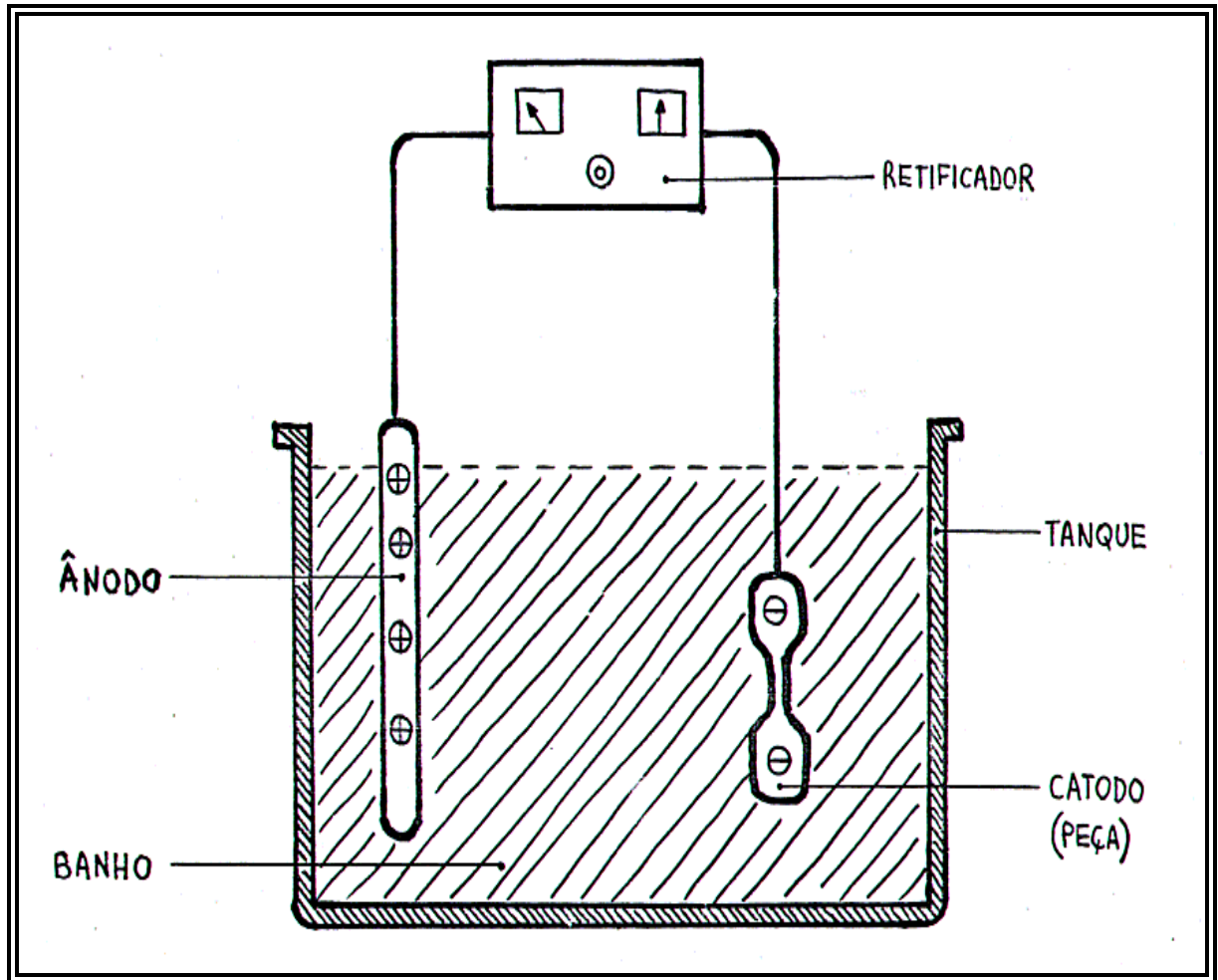
Antes da deposição, a peça também passa por um processo de desengraxe que tem por finalidade remover o óleo (graxa) das peças. A maior parte da graxa sobre a peça provém do lixamento, corte, furação e polimento das peças. Nessas operações o óleo é usado para que a peça não esquente demais.

Somente após todo este tratamento inicial é que a peça irá passar pela eletrodeposição propriamente dita.

Se colocarmos um prego numa solução de sulfato de cobre, o cobre se reduzirá a cobre metálico e se depositará sobre o prego. Essa reação é espontânea. No processo galvânico as reações não são espontâneas, é necessário fornecer energia elétrica para que ocorra a deposição (eletrólise). A galvanoplastia é, portanto um processo de eletrodeposição no qual o objeto que irá receber o revestimento metálico é ligado ao pólo negativo de uma fonte de corrente contínua e se torna cátodo. O metal que vai dar o revestimento é ligado ao pólo positivo e será ânodo. O objeto a ser revestido deverá conduzir corrente elétrica. (ALPHA GALVANO)

Há ainda o problema da aderência de um metal no outro. Para que a película do metal se ligue à base, além de perfeita limpeza e desengraxe, é preciso conhecer a natureza dos metais. O níquel, por exemplo, não dá boa aderência ao aço. Por isso, intermediariamente, faz-se uma deposição previa de cobre, que dá boa adesão com ambos.

Figura 1 - Descrição geral de um tanque de galvanoplastia



Os termos técnicos utilizados na monografia encontram-se no glossário.

1.1 Justificativa

O trabalho tem por objetivo explorar a área galvânica, pois a mesma é pouca discutida no setor acadêmico. Atualmente é um setor bem desenvolvido, e a maioria dos objetos metálicos passa pelo processo galvânico, cuja principal finalidade é a proteção contra ações de intempéries.

PANOSSIAN (1995), cita que no começo do século, a eletrodeposição de níquel alcançou rápida popularidade, sendo este revestimento reconhecido como símbolo de luxo e eficiência. Uma estrada de ferro americana chegou a ser designada de Nickel Plating Road, por ser uma estrada de ferro luxuosa e supereficiente. Hoje, a galvanoplastia é um dos processos que apresenta maior diversificação.

No mundo inteiro é bastante comum revestir produtos de consumo e outros manufaturados com níquel para aumentar a utilidade, o valor e o apelo de vendas. Exemplificando, o acabamento decorativo de níquel é liso e na maioria das aplicações finais também revela uma superfície tão nítida quanto a de um espelho. Com o cromo, o acabamento decorativo de níquel apresenta resistência excepcional à corrosão. Esta combinação – brilho e resistência – é o fator chave para utilidade, valor e apelo do produto revestido de níquel.

A camada de níquel para aplicações de engenharia tende a ter o acabamento liso e fosco, que aumenta a resistência à corrosão. Frequentemente a camada é utilizada para aumentar a resistência ao desgaste da superfície ou modificar as propriedades magnéticas. Em muitos setores industriais, a camada de níquel para o uso da engenharia aumenta o valor e a utilidade do equipamento e dos componentes.

O uso especializado de niquelação para galvanoplastia resulta na produção de ferramentas e peças cuja manufatura seria inviável economicamente se fossem utilizados métodos tradicionais de produção. A beleza, praticidade e durabilidade destas ferramentas e peças são altamente valorizadas no mercado.

O uso bem difundido do processo de niquelação para trabalhos decorativos, de engenharia e de galvanoplastia é o resultado dos avanços na tecnologia de niquelação. Estes avanços aumentaram a utilidade e o valor do processo, mas em contrapartida, aumentaram a variedade e complexidade da operação de niquelação. Mais do que nunca é preciso obter informações técnicas e confiáveis. A questão do controle de qualidade da camada de níquel deve ser analisada detalhadamente, pois o compromisso com a qualidade assegura o avanço contínuo da tecnologia e aplicação de niquelação, (INCO, 2003).

1.2 Objetivos

- Objetivo Geral

A dissertação tem por objetivo descrever o processo básico da galvanoplastia, dando um maior enfoque a niquelação.

- Objetivo Específico

Analisar o processo de niquelação e discutir seus principais problemas.

Uns dos principais objetivos da niquelação é o acabamento, já que os processos anteriores permitem uma substancial economia, viabilizando a fabricação de peças com materiais mais baratos, para posteriormente receber um acabamento que lhe confere propriedades de um material mais nobre no caso, o níquel.

A peça antes de ser niquelada, recebe alguns tratamentos químicos. Após sua limpeza é aplicada uma fina camada de cobre (base alcalina) para proteger estes metais base do ataque agressivo dos banhos ácidos subseqüentes. Em seguida, a peça recebe uma outra camada de cobre (base ácida) que irá proporcionar uma alta velocidade de eletrodeposição, alto brilho e também é um processo econômico. A niquelação promove à peça uma alta resistência à corrosão, sendo somente superado pela cromeação. Mas, a larga aplicação de peças niqueladas é decorativo, e para fins técnicos como, por exemplo, materiais elétricos.

Santos (2002), cita que acessórios que tenham níquel como última camada ou camada intermediária podem provocar alergia a pessoas que sejam sensíveis ao metal.

2. PROCESSOS

Cobre

O metal cobre dúctil, de baixa dureza, com ótima condutividade para o calor e eletricidade, é fácil de polir e lustrar.

2.1 Banho de cobre alcalino – Base cianeto

Aplicações

Os banhos de cobre cianídrico são usados para fins técnicos e decorativos. A aplicação técnica é reduzida, sendo mais utilizada para cobreação de peças que serão submetidos parcialmente a cementação ou niquelação. A cementação é o tratamento de peças de aço em banhos de sais fundidos, contendo cianeto, com o objetivo de enriquecer a superfície externa do aço com o carbono e nitrogênio, assim obter maior dureza e maior resistência ao uso. Quando se deseja delimitar a área que será cementada, todas as outras regiões da peça são cobreadas para prevenir a carbonização.

Uma das mais largas aplicações de banhos de cobre cianídrico para fins decorativos/protetivos é a cobreação de peças em zamac, alumínio ou ferro antes da cobreação ácida.

A formação de uma fina camada (cobre-toque), em torno de 0,25 a 0,8 micrômetros, é suficiente para proteger estes metais do ataque agressivo dos banhos ácidos subsequentes”. (ABTS, 2005).

2.1.1 Função dos componentes

Cianeto de cobre

O cianeto de cobre, após sua dissolução em cianeto de sódio ou potássio, é o complexo fornecedor de íons cobre, ou seja, a fonte metálica.

Cianeto livre

A concentração do cianeto livre influi positivamente na adesão, penetração, aparência e na dureza do cobre depositado.

O cianeto livre é essencial para obter corrosão uniforme dos anodos de cobre, e também necessário para combinar com os íons cuprosos formando o sal do complexo solúvel.

Hidróxidos

Estes não são normalmente adicionados em banhos tipo “Toque” ou “Rochelle”. Entretanto, hidróxidos podem algumas vezes ser adicionados nestes banhos para permitir maior condutividade elétrica pela solução, porém grandes adições devem ser evitadas por causar ataque excessivo em peças em zamac. Os hidróxidos permitem alta condutividade, melhoram penetração e também auxiliam na corrosão anódica.

Carbonatos

Em banhos tipo Toque e Rochele, carbonatos são adicionados para facilitar o controle do pH e para reduzir a polarização nestes banhos. Em banhos de alta

eficiência o carbonato não é adicionado intencionalmente, mas ele é gerado pela decomposição do cianeto, causado pela operação em temperatura acima do especificado e por sua reação com o gás carbônico do ar. Evidentemente, banhos agitados a ar aceleram esse crescimento.

Não há alterações significativas nas características do depósito enquanto a concentração do carbonato for menor que 90 g/L. quando essa concentração alcança valores mais altos, haverá diminuição de brilho na área de média densidade de corrente, reduzindo ainda a velocidade e a eficiência de deposição.

Carbonato em excesso pode ser removido por refrigeração até +3°C ou pela diluição do banho.

Quando isto não for possível, outra alternativa será um tratamento por precipitação com hidróxido de bário ou cálcio. Isto resulta em um tratamento trabalhoso, com perda parcial de banho e aumento da concentração de hidróxido de sódio ou potássio.

O processo de tratamento por refrigeração não é eficiente para banhos contendo potássio, devido à alta solubilidade de seu carbonato.

Tartaratos

A adição de sal de Rochelle ou sal de Seignette, que são tartaratos de sódio e potássio, ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), é benéfica para os banhos de baixa e de alta eficiência.

Supõe-se que os tartaratos também formem complexos com o cobre. Soluções que tenham tartaratos podem ser operados com teor mais baixo de cianeto livre ou com densidades catódicas mais altas. Assim a polarização anódica é evitada e a cristalização do metal torna-se mais fina.

2.1.2 Defeitos, causas e correções

Tabela 1 - Principais problemas que ocorrem em banhos cianídricos

<i>Defeitos visíveis</i>	<i>Causas prováveis</i>	<i>Correções</i>
Os anodos não se dissolvem	Temperatura do banho muito baixa	Aquecer o eletrólito para 20 – 30°C.
	Teor de cianeto muito baixo	Adicionar o cianeto alcalino dissolvido, levando o teor de cianeto livre para 1/3 – 1/4 do teor de cobre.
	pH	Reduzir o pH para 11,5 com sulfito ácido de sódio.
Os anodos tornam-se pretos	Teor de carbonato muito alto (não acima de 60 g/L). O eletrólito contém prata.	Deixar precipitar com cloreto de bário ou cianeto de bário. Trabalhar o banho, por algum tempo, com chapas.
Lama anódica cinza-esverdeada	Densidade de corrente anódica muito alta.	Colocar mais anodos no banho.
	Teor de cianeto muito baixo O eletrólito contém excesso de sais condutores.	Adicionar cianeto alcalino dissolvido. Diluir o eletrólito e colocar sal metálico.
	Densidade de corrente catódica muito alta	Reduzir a densidade de corrente, colocando proteções no banho.
Coloração verde ou azul do eletrólito	pH muito baixo Teor de cianeto muito baixo	Aumentar o pH para 11,5 com soda caustica. Adicionar cianeto alcalino dissolvido
Forte desenvolvimento de hidrogênio durante a eletrólise	Densidade anódica muito alta Teor de cianeto muito alto	Colocar mais anodos no banho. Fazer o acerto com cianeto de cobre.
Camada branca sobre o anodo, a tensão do banho sobe durante o trabalho e as camadas descascam	Densidade de corrente anódica muito alta	Reduzir a densidade de corrente, colocar proteções.
	Densidade de corrente anódica muito alta	Colocar mais anodos no banho.
	Desengraxamento defeituoso	Desengraxar e decapar cuidadosamente.
	Temperatura do banho muito baixa	Aquecer o eletrólito para 20 – 30°C
As camadas soltam após algum tempo de estocagem	O metal – base estava poroso, água de lavagem suja	Após o engraxamento a frio, decapar em ácido tartárico (solução de 4 – 10 g/L).
Isenção de camadas ou camadas finas, o banho solta bastante gás. As camadas têm manchas, riscos e elevações na camada.	Teor metálico muito baixo pH muito baixo. A distância entre os anodos é muito pequena.	Aumentar com sal metálico. Aumentar com soda para pH 11,5. Aumentar a distância

Camadas com bolhas	pH muito baixo Teor de cianeto muito alto	Aumentar o pH para 11,5 com soda Baixar com cianeto de cobre
	Temperatura do banho baixa demais Material básico passivo	Aquecer o eletrólito para 20 – 30°C Decapar em ácido nítrico 1:3
Camadas duras e frágeis	Teor de carbonato muito alto	Deixar precipitar com cianeto de bário ou cloreto de bário
Camadas ásperas	Eletrólito contaminado	Filtrar, utilizar bolsas anódicas.
	Teor de cianeto muito baixo	Adicionar cianeto alcalino dissolvido O teor de cianeto livre é de 60% em relação ao teor de cobre.
Camada marrom – avermelhadas	Teor de cianeto muito baixo	Adicionar cianeto alcalino
	Teor de carbonato muito alto	Deixar precipitar

Fonte: ABTS, Curso de Galvanoplastia. 2006.

2.2 Banho de cobre ácido – Base sulfato

Este banho é uma das mais antigas aplicações da história da galvanoplastia. Existem indicações que a primeira solução já operou em 1810.

Os banhos de cobre ácido – base sulfato de cobre são usados para fins decorativos e técnicos.

As aplicações técnicas mais importantes são as seguintes:

- Eletrorefinação;
- Eletroformação;
- Rotogravura;
- Circuitos impressos;
- Cobreação de barras de ferro condutoras;

Aplicação decorativa:

Os banhos de cobre ácido são em grande escala aplicado como camadas anteriores a niquelação, para a formação de camadas de cobre brilhante sobre ferro e zamac.

Pelo seu grande poder de nivelamento tais banhos permitem um polimento de ferro menos exigente e em muitos casos a niquelação direta sobre a camada de cobre brilhante, sem a lustração intermediária desta camada, resultando em uma grande economia de mão-de-obra.

Em casos de cobreação de peças de ferro, zamac ou alumínio, é necessária uma pré-cobreação em um banho de cobre alcalino porque, do contrário, estes metais são

fortemente atacados pelo banho de cobre ácido e forma-se uma fina camada de cobre não-aderente sobre estes metais. Esta formação do filme de cobre é causada pela diferença de potencial entre o cobre e o zamac, ferro ou alumínio.

2.2.1 Composição

O banho de sulfato de cobre é quimicamente um banho simples.

Existem diversas fórmulas, sendo a mais usada:

Sulfato de cobre – 180 a 250 g/L

Ácido sulfúrico 96% - 40 a 75 g/L

Íon cloreto – 30 a 80 mg/L

Sulfato de cobre

O sulfato de cobre é responsável pela manutenção do teor de cobre no eletrólito. Deve ser de boa qualidade, isento de contaminações, e mantido nos limites indicados na composição do banho. Cada reforço aumenta em aproximadamente 2,5 g/L o teor de cobre metal na solução. Deve ser adicionado dissolvendo-se em água quente, deixando-se esfriar e filtrando-se para o tanque de trabalho.

Ácido sulfúrico

A função do ácido sulfúrico é aumentar a condutividade da solução. Isto torna possível operar o banho com a densidade de corrente desejada necessitando-se de tensão reduzida.

Deve-se usar ácido sulfúrico quimicamente puro para a montagem e manutenção do banho. Para se adicionar ácido sulfúrico ao banho deve-se diluí-lo cuidadosamente com o dobro de seu volume, deixar esfriar para então adiciona-lo ao banho.

Íon cloreto

A concentração do íon cloreto na solução deve ser mantida dentro dos limites prescritos, pois sua concentração correta no banho é que possibilita o processo operar com precisão.

Excessos de concentração de cloretos produzem depósitos pobres em nivelamento e passivação dos anodos.

Concentrações abaixo das indicadas provocam estriamento e depósitos irregulares nas zonas de alta densidade de corrente.

Os banhos brilhantes de cobre ácido necessitam, ainda, de certos aditivos: abrillantadores, niveladores e em alguns casos, umectantes.

Como pode ser visto, trata-se de um banho bastante flexível em relação às concentrações dos seus componentes.

- Características

O sucesso dos banhos de cobre ácidos brilhantes a base de sulfato de cobre baseia-se as seguintes características:

- Alta velocidade de eletrodeposição;
- Alto nivelamento;
- Camadas dúcteis;

- Alto brilho de camada de cobre;
- Processo econômico.

Os banhos de cobre ácido têm uma eficiência catódica perto de 100%, assim, o cálculo da camada formada neste banho é simples. Na prática pode ser usada a regra que a $5A/dm^2$ será formada uma camada de 1 micrômetro de cobre por minuto.

As camadas usadas para fins decorativos em geral são em redor de 10 – 25 micrômetros.

2.2.2 Penetração e nivelamento

Pelo fato da sua baixa polarização catódica, os banhos de cobre ácidos não têm a penetração grande dos banhos alcalinos. A distribuição da camada é igual à distribuição primária da corrente, o que significa diferenças na espessura da camada sobre peças perfiladas.

Quando se fala sobre o nivelamento (ou micropenetração), deve-se entender que aqui se tratará de diminuição da rugosidade do substrato. Tendo em vista que a diminuição da rugosidade é um dos objetivos mais importantes do polimento desse, e não, como muitas vezes é entendido, a obtenção de um substrato brilhante, o poder de nivelamento torna-se um meio de diminuir o alto custo do polimento do substrato.

O rendimento máximo dessas soluções é conseguido usando a agitação com ar e um bom controle da temperatura. Temperaturas acima de 30°C afetam negativamente o poder de nivelamento e a formação do brilho.

2.2.3 Anodos

Para os banhos de cobre ácidos foram desenvolvidos anodos de cobre especiais chamados anodos “fosforados”.

Estes anodos têm uma especificação rígida em relação à cristalização, ao teor de fósforo e de impurezas de outros metais.

O teor de fósforo em geral se encontra entre 0,02 e 0,07% (0,2-07g/kg).

Os anodos de cobre fosforados, em condições normais de trabalho, formam um filme preto durante a eletrólise, o qual não aumenta a resistência elétrica e permite ao anodo se dissolver uniformemente.

Com uma boa filtração do banho de cobre ácido, da ordem de 1 a 2 vezes o volume do banho por hora, muitas vezes é possível trabalhar sem o uso de sacos de anodos.

O uso de anodos inadequados se demonstra rapidamente pela forte polarização dos mesmos.

2.2.4 Controle e manutenção

Sob condições normais, os banhos de cobre ácido brilhante precisam de poucos reforços. Se o arraste do banho for muito baixo, a concentração do cobre metal lentamente aumentará e será necessária a diluição ocasional do banho ou a substituição dos anodos de cobre fosforados por anodos de chumbo. Porém, na maioria dos casos, tornam-se necessárias pequenas adições de sulfato de cobre e de ácido sulfúrico.

O íon cloreto é um componente necessário no banho de cobre ácido.

A manutenção deste íon dentro das especificações do processo é de alta importância. Em casos de baixo teor de cloro, como também de alto teor do mesmo, torna-se inoperante pela formação de diversos defeitos, como, por exemplo, estrias e fosqueamento da camada.

Análises do teor de cloreto devem ser feitas regularmente. No caso de alta de cloro, podemos adicionar uma quantidade calculada de ácido clorídrico.

Em caso de teor de íon cloreto alto, temos que tratar o banho com zinco metálico em pó, carvão ativo e filtração subsequente.

Os banhos de cobre ácido foram desenvolvidos para a agitação a ar. Existe no mercado ainda uma grande quantidade de banhos operados com agitação catódica, porém com esta agitação não se obtém a vantagem máxima de nivelamento e de velocidade de eletrodeposição.

A contaminação dos banhos de cobre ácido não é comum, sendo que esta solução é mais tolerante quanto a impurezas metálicas do que outros banhos.

A contaminação mais comum neste banho é o ferro: o banho de cobre ácido suporta quantidades de ferro bem altas, sem um efeito negativo. A contaminação com partículas insolúveis resulta em aspereza ou chuveiro. É indicada a filtração contínua com capacidade de filtração de um a dois volumes do banho por hora.

3. NÍQUEL

PANOSSIAN, (1995), cita que a eletrodeposição de níquel começou em 1843, quando R. Botger descreveu um processo que utilizava sulfatos duplos de amônio e níquel. No entanto, a aplicação em escala comercial só começou em 1869, em Boston. Nesta época já se constatou a grande importância da pureza do banho, o que exigia a utilização de sais de alta pureza. Os anodos de níquel também eram uma preocupação, e logo se percebeu a necessidade do uso de anodos puros. Foi introduzido o ácido bórico como tamponante e sais de cloreto para promover a corrosão dos anodos. No começo do século, a eletrodeposição de níquel alcançou rápida popularidade, sendo este revestimento reconhecido como símbolo de luxo e eficiência, tanto é que uma estrada de ferro americana chegou a ser designada de Nickel Plating Road, por ser uma estrada de ferro luxuosa e supereficiente. Hoje em dia é um dos processos que apresenta maior diversificação.

Um dos marcos importantes na história da eletrodeposição de níquel foi da eletrodeposição dos banhos de deposição rápida por O.P. Watts, banhos estes que continham sulfato de níquel, cloreto de níquel e ácido bórico. Este tipo de banho passou a ser conhecido como banho de níquel tipo Watts. Os banhos modernos tipo Watts se valem de soluções mais concentradas do que as soluções daquele concebido inicialmente, apresentando a composição dentro das seguintes faixas:

Sulfato de níquel(NiSO₄.6H₂O) (240 a 300 g/L)**Cloreto de níquel**(NiCl₂.6H₂O) (40 a 60 g/L)**Ácido bórico**(H₃BO₃) (25 a 40 g/L)**pH**

pH 1,5 a 4,5

3.1 Função dos principais constituintes***3.1.1 Função do sulfato de níquel***

O sulfato de níquel pode ser comercializado tanto como sal heptaidratado (NiSO₄.7H₂O), como hexaidratado (NiSO₄.6H₂O). A quantidade de íons de níquel contida em cada um desses sais é a seguinte:

1 g de (NiSO₄.7H₂O) contém 0,209 g de Ni²⁺

1g de (NiSO₄.6H₂O) contém 0,223 g de Ni²⁺

O sulfato de níquel é obtido comercialmente com alta pureza, é mais barato do que o cloreto de níquel, sua corrosividade em relação aos componentes metálicos utilizados no processo de niquelação é menor do que a do cloreto de níquel, não volátil, possui alta solubilidade (570 g/L a 50 °C) e os íons sulfato são estáveis nas condições operacionais dos banhos de níquel.

Devido às propriedades acima citadas, o sulfato de níquel é utilizado como a principal fonte de íons Ni^{2+} nos banhos.

3.1.2 Função do cloreto de níquel

O cloreto de níquel é comercializado como sal hexaidratado ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). A quantidade de íons de níquel contidos neste sal é a seguinte:

1g de $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ contém 0,247 g de Ni^{2+}

As funções do cloreto de níquel também são as seguintes:

Dissolução do anodo: esta é uma das principais funções do cloreto, nos processos em que se utiliza anodo eletrolítico. Na ausência de cloreto no banho, os anodos de níquel eletrolítico passivam-se, funcionando como anodos inertes. Na presença de cloretos, o níquel é atacado através do mecanismo de corrosão por pitting, e os anodos de níquel passam a funcionar como anodos solúveis. A quantidade de íons cloreto necessária para uma boa dissolução dos anodos depende dos outros parâmetros do processo, principalmente do pH e da composição dos anodos.

Melhoria da uniformidade macroscópica do revestimento (poder de penetração): mesmo em componentes de geometria simples, como chapas, existe uma diferença de espessura da camada de níquel eletrodepositada entre as bordas e o centro da chapa. Isto ocorre porque os banhos de níquel tipo Watts, possuem baixo

poder de penetração. A presença de cloretos melhora sensivelmente o poder de penetração dos banhos de níquel.

Aumento do coeficiente de difusão dos íons de níquel: a presença de íons de cloreto aumenta o coeficiente de difusão dos íons de níquel. Este fato aumenta a densidade de corrente limite. A densidade de corrente limite é o valor máximo que pode ser adotado nos processos de eletrodeposição para obtenção de depósitos de qualidade aceitável. Ela corresponde a uma situação na qual a velocidade de deposição do metal não é mais controlada pela diferença de potencial aplicada na interface catodo/banho, mas sim pela difusão dos íons níquel do seio da solução para a interface.

Fonte de íons de níquel: obviamente o cloreto de níquel tem a função de ao lado do sulfato de níquel, fornecer íons de níquel ao banho.

Aumento da condutividade do banho: o cloreto aumenta significativamente a condutividade dos banhos de níquel, o que permite a adoção de menores valores de diferença de potencial (voltagem) para o mesmo valor de densidade de corrente. O alto poder de penetração dos banhos de níquel com cloretos é devido principalmente ao aumento da condutividade do banho.

Aumento da velocidade de deposição: pelo fato de permitir a adoção de maiores densidades de corrente e de aumentar a condutividade do banho, tem-se

maiores velocidades de deposição. É por esta razão que em processos contínuos se utilizam maiores quantidades de cloreto de níquel.

Aumento da eficiência de corrente: o cloreto aumenta a eficiência de corrente catódica.

Diminuição do consumo de energia: devido ao fato de o cloreto aumentar a condutividade do banho e a eficiência de corrente catódica, a diferença de potencial necessária para se obter um mesmo valor de densidade de corrente é menor. Este fato determina a diminuição substancial do consumo de energia elétrica.

Diminuição da quantidade do lodo anódico: na presença de teores crescentes de cloreto, há uma tendência dos anodos, que são corroídos através do mecanismo por pite, passarem a ser corroídos através do mecanismo de corrosão generalizada. Isto causa diminuição da quantidade de lodo anódico.

Aumento do rendimento do processo: o rendimento do processo de eletrodeposição aumenta com o aumento do teor de cloreto no banho. Este fato é consequência direta do aumento da condutividade do banho e da eficiência de corrente, o que permite, para uma mesma diferença de potencial aplicada, a adoção de maiores densidades de corrente de deposição e, portanto maior rendimento.

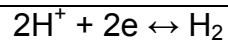
A presença de íons cloreto nos banhos de níquel apresenta algumas desvantagens:

- Na presença de cloretos, os eletrodepósitos apresentam maiores tensões superficiais;
- O cloreto de níquel é mais caro do que o sulfato de níquel;
- O cloreto de níquel é muito higroscópico e se aglomera durante o armazenamento, dificultando o seu manuseio;
- O cloreto pode sofrer oxidação no anodo, quando passivo, com formação de gás cloro, altamente prejudicial aos banhos de níquel.

3.1.2 Importância do pH

Um dos parâmetros mais importantes num banho de níquel é o pH. Nos banhos modernos o pH varia de 2,0 a 4,5, sendo considerado ideal valores entre 3,5 a 3,8. As melhores propriedades do depósito serão obtidas mantendo-se a faixa de pH abaixo de 4.

Durante a eletrodeposição de níquel, invariavelmente, ocorre a formação de gás hidrogênio no catodo, de acordo com a seguinte reação:



Esta reação traz duas conseqüências:

- Formação de pites devido à aderência de bolhas de hidrogênio no catodo;
- Rápido aumento de pH na interface. Neste sentido, sempre se tem um pH superior na interface catodo/banho do que no seio do banho.

Atualmente, a primeira consequência não constitui um problema, visto que, praticamente sem exceção, nos processos comerciais são utilizados agentes tensoativos que evitam a formação de poros.

Já o aumento de pH na interface traz problemas graves, tornando-se crítico para o caso de banhos que originalmente já são formulados com pH altos.

O aumento do pH causa ainda passivação do anodo. Quanto maior for o pH, maior será a tendência de passivação do anodo e, portanto maior será a quantidade de cloretos necessária para a dissolução do anodo. Por exemplo, uma concentração de 17 g/L de cloreto de níquel hexaidratado é suficiente para a dissolução do anodo quando o pH é menor que 3,7. Para valores maiores de pH, serão necessárias maiores concentrações de íons cloreto.

Convém ainda, comentar o fato de que é comum a ocorrência de variação de pH durante o processo de niquelação. Nas condições normais de operação a tendência é o aumento de pH. O acerto de pH, nestes casos, pode ser feito tanto com ácido clorídrico como com ácido sulfúrico.

Raramente ocorre diminuição de pH. Quando ocorre é indicativo de passivação do anodo, baixa área anódica ou mau contato elétrico nos barramentos. O aumento de pH deve ser feito com carbonato de níquel num tanque de tratamento, nunca no tanque de operação.

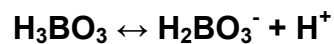
Não se recomenda o uso de hidróxido de sódio ou de potássio para aumentar o pH dos banhos de níquel. Isto porque, conforme já mencionado, na presença de sais de metais alcalinos, como sódio e potássio, a tendência de aumento de pH na interface aumenta drasticamente.

3.1.3 Função do ácido bórico

Devido à grande importância do pH nos banhos de níquel, utiliza-se o ácido bórico, que é uma substância tampão. Assim, o ácido bórico tem função tamponante, principalmente na interface catodo/banho, onde ocorre mais acentuadamente aumento de pH devido ao consumo de íons H^+ com formação de H_2 .

Uma substância tampão tem a propriedade de se impor às variações de pH de uma solução. Uma descrição sucinta da ação do ácido bórico é a seguinte:

a) O ácido bórico é um ácido fraco e, portanto dissocia-se parcialmente e se mantém em equilíbrio com os cátions de hidrogênio, de acordo com a reação:



b) Se houver aumento de pH (diminuição de H^+), a reação de dissociação do ácido bórico é desviada para a direita, o que aumenta novamente a concentração de H^+ ;

c) Se houver diminuição de pH (aumento de H^+), a reação de dissociação é desviada para a esquerda, o que diminui novamente a concentração de H^+ .

Assim o ácido bórico funciona como reservatório de íons de H^+ , fornecendo estes íons quando sua concentração diminui, ou armazenando-o quando sua concentração aumenta.

Cada substância tampão tem uma faixa de pH (da ordem de 2 unidades) em que atua com maior eficiência. O melhor desempenho do ácido bórico, como tamponante,

ocorre na faixa de pH 4 a 6. No entanto, mesmo que o banho de níquel tenha um valor de pH mais baixo, o ácido bórico ainda apresenta um desempenho satisfatório, visto que na interface catodo/banho o pH é sempre mais elevado.

O ácido bórico é um excelente tamponante de banhos de níquel devido às seguintes propriedades:

- Custo relativamente baixo;
- Não é volátil;
- É estável nas condições operacionais dos banhos de níquel que operam com baixas densidades de corrente.
- Tem função de cooperar com a ação dos agentes niveladores.

3.2 Condições de operação

3.2.1 Função e mecanismos de ação dos aditivos

De um banho de níquel contendo apenas sulfato de níquel, cloreto de níquel e ácido bórico, são obtidas camadas com granulação grosseiras, foscas, de baixa dureza, dúctil e com alta concentração de pites. Somente com espessuras muito finas é que se torna possível à obtenção de camadas brilhantes, desde que a aplicadas sobre substratos altamente polidos.

Os aditivos adicionados aos banhos de níquel, em geral orgânicos, modificam profundamente as características dos depósitos.

Dependendo do efeito causado, os aditivos recebem denominações diferentes:

- Abrilhantadores: são aditivos cuja função é dar brilho aos depósitos;
- Niveladores: são aditivos cuja função é atenuar as microirregularidades (rugosidade) presentes no substrato.
- Agentes tensoativos: são aqueles cuja função é diminuir a tensão superficial na interface catodo/banho (tensão interfacial) de modo a evitar a formação de poros devido ao gás hidrogênio;
- Refinadores de grão: são aqueles que têm a função de diminuir o tamanho de grão do eletrodepósito;
- Aliviadores de tensão: as camadas eletrodepositadas a partir de banhos não aditivados apresentam tensões de tração residuais. Os aditivos influenciam nestas tensões, alguns aumentam o nível de tensões enquanto outros diminuem. Os aliviadores são aqueles que introduzem tensões de compressão neutralizando as de tração. Dependendo da intensidade, a camada pode até apresentar tensões de compressão;
- Endurecedores: são aqueles que tem a propriedade de aumentar a dureza dos depósitos.

Os aditivos são, em geral, consumíveis devido às reações que sofrem durante o processo de eletrodeposição, podendo ser reduzidos ou sofrer hidrólise ou outro tipo de reação. A utilização de uma mistura de compostos dificulta o controle de aditivos, vistos que cada qual apresenta sua taxa específica de consumo. Assim, é recomendável utilizar aditivos cujas concentrações nos banhos possam ser controladas por análise.

3.2.2 Efeito das condições de operação do banho

As condições de operação ideais dos banhos de níquel são geralmente, determinadas experimentalmente e devem ser seguidas rigorosamente. Há uma forte interdependência entre elas. Assim, se houver alteração de alguns dos parâmetros, como a temperatura, nível de agitação ou da composição, as especificações dos demais parâmetros podem se tornar inadequadas.

3.2.3 Densidade de corrente catódica

Nos processos de eletrodeposição sempre se especifica uma faixa de densidade de corrente que corresponde à densidade de corrente catódica.

O limite, tanto superior como inferior, da densidade de corrente são determinados experimentalmente. O limite superior é sempre menor do que a densidade de corrente limite catódica. Se a deposição for efetuada com densidades de correntes acima da máxima especificada, poder-se-á atingir e ultrapassar a densidade de corrente limite catódica do processo. Nestas condições, serão obtidos depósitos queimados.

O limite inferior da densidade de corrente é, em geral, aquele em que a quantidade relativa de deposição das impurezas metálicas é a mínima aceitável. Quanto menor for o nível de impurezas no banho, menor será o limite inferior da densidade de corrente operacional.

3.2.4 Agitação

A agitação tem por finalidade principal aumentar a densidade de corrente limite, tanto catódica como anódica. No caso da agitação catódica, normalmente são adotadas velocidades entre 2m/min e 4m/min, podendo ser aumentada para 6m/min, quando se adota altas densidades de corrente.

3.2.5 Temperatura

A temperatura dos banhos de níquel brilhante é mantida, em geral, entre 50°C e 65°C, apesar de existirem formulações que trabalham a temperaturas mais baixas (de até 20°) ou mais altas (de até 70°C).

Os banhos contendo o ácido bórico em concentrações iguais ou superiores a 40 g/L não podem operar em temperaturas abaixo de 35°C pois ocorre a sua cristalização. O limite superior da temperatura é, em geral, altamente dependente do tipo de aditivo utilizado. No caso de aditivos voláteis e/ou aditivos que se decompõe a altas temperaturas, não são adotadas temperaturas elevadas.

3.3 Anodos de Níquel

3.3.1 Tipos de anodos de níquel

Os anodos de níquel, à semelhança de todos os sais utilizados para a preparação dos banhos de níquel, devem ser de alta pureza, visto que impurezas neles presentes contaminam o banho, causando alterações indesejáveis tanto no processo como no depósito, (PANOSSIAN, 1996).

Atualmente os anodos utilizados nos processos de eletrodeposição de níquel enquadram-se em duas categorias, aquelas que corroem através do mecanismo de corrosão por pite e aquelas que corroem de maneira generalizada. A Norma BS 558: 1970 classifica os anodos em dois tipos:

- Tipo A: anodos trabalhados, fundidos ou extrudados com teor de níquel mais cobalto superior a 99% e teor de níquel superior a 98%.
- Tipo B: anodos eletrolíticos com teores de níquel mais cobalto superior a 99,9% e teor de níquel superior a 99,0%.

3.3.1.1 Anodos eletrolíticos normais

No Brasil somente este tipo de anodo é produzido, sendo por esta razão aqueles mais utilizados na indústria nacional. Apesar de os anodos eletrolíticos normais apresentarem as piores características de dissolução, eles são os mais utilizados no exterior, fato que tornou significativo a partir do momento em que se adotou o uso de cestos de titânio. Para se ter uma idéia, 90% dos anodos utilizados nos Estados Unidos são de níquel eletrolítico. Isto é devido ao fato de ser do tipo mais barato, ser possível de se produzir anodos de diferentes formas e poder ser obtido com alto grau de pureza. Os anodos eletrolíticos normais apresentam alta resistência à corrosão justamente devido ao fato de serem muito puros. Assim, nos banhos de eletrodeposição, níquel apresenta forte tendência à passivação, tendência esta que aumenta com o aumento do pH e com a presença de aditivos orgânicos. Em banhos isentos de cloretos, este tipo comporta-se como anodo inerte numa larga faixa de pH, sendo por esta razão inadequado o seu uso. Para pHs mais elevados, o que é mais comum, a corrosão

ocorre através do mecanismo de corrosão por pitting, corrosão esta ocasionada pela ação do íon cloreto. A superfície dos anodos torna-se bastante rugosa, devido à nucleação e crescimento dos pites. A rugosidade superficial do anodo, a quantidade e a natureza do lodo anódico está diretamente relacionadas ao teor de cloreto no banho.

Para se ter um bom desempenho dos anodos deste tipo, recomenda-se a adoção de algumas medidas:

- Manter o pH do banho abaixo de 4;
- Manter uma concentração mínima de 15g/L de íons cloreto. Concentrações menores podem ser mantidas em banhos de pH mais baixos.

Tabela 2 - Composição do anodo de níquel

Tipo de anodo	Composição química (norma BS 558:1970)	Estado e forma de fornecimento	Condições de uso recomendadas	Tipo de corrosão
Eletrolítico normal	Ferro (máx) 0,05 % Chumbo (máx) 0,005% Cobre (máx) 0,02% Zinco (máx) 0,005% Níquel + cobalto (mín) 99,9% Níquel (mín) 99,0 %	Estado: eletrolítico Forma: catodinhos de 1"x1" ou 2"x2" ou 4"x4" para serem utilizados em cestos de titânio ou placas de dimensões variadas em banhos de baixo pH	pH < 4 [Cl-] = deve estar presente em concentrações superiores a 15 g/L. Concentrações menores podem ser utilizadas em banhos de baixo pH.	Corrosão não-uniforme

Fonte: Panossian, 1996

3.3.2 Sacos para anodos

Sobre os anodos de níquel ocorre a formação de um lodo, cuja natureza, granulação e quantidade dependem da composição e das condições de operação do banho e do tipo de anodo. Se este lodo entrar em contato com o banho de níquel, causará aspereza no depósito. Na grande maioria dos processos de eletrodeposição de níquel, a principal causa de aspereza dos depósitos é justamente a contaminação do banho com lodo anódico.

Sendo assim, é indispensável a utilização de sacos de anodos cuja finalidade é a retenção do lodo anódico.

Sobre os sacos de anodos cabem os seguintes comentários:

- os sacos de anodos podem ser confeccionados com tecido de algodão, flanela, polipropileno ou PVC resistente ao calor;
- os tecidos devem ser espessos e de malha fina para serem capazes de reter as partículas do lado anódico, que muitas vezes são muito finas. São muitos os casos, na prática, em que a utilização de tecidos de baixa espessura e de malha inadequada é a causa de obtenção de depósitos ásperos.

3.4 Principais contaminantes

A influência dos diferentes contaminantes nos banhos de níquel é surpreendentemente importante, sendo um dos fatores de maior importância para se obter depósitos de qualidade adequada. Apesar disto, é comum dar-se pouca importância ao seu controle. Normalmente, o controle restringe-se aos constituintes inorgânicos do banho (cloreto e sulfato de níquel e ácido bórico), dando-se a estes

parâmetros importância muito maior do que ao controle das impurezas. Isto é um erro, visto que a influência destes constituintes, bem como das condições de operação (exceção feita ao pH), causam alterações insignificantes quando comparadas às alterações causadas pela presença de quantidades mínimas de impurezas.

Os contaminantes mais comuns nos banhos de níquel são:

- Partículas sólidas;
- Íons metálicos;
- Íons de amônio;
- Nitratos;
- Silicatos;
- Fosfatos;
- Compostos orgânicos.

3.4.1 Qualidade da água no processo de niquelação

As águas naturais comumente contêm sais de cálcio e magnésio, em concentrações variadas, que dependem da origem das mesmas. Quando a concentração destes sais é alta diz-se que a água é dura, quando baixa diz-se que a água é mole. A classificação de uma água de acordo com a sua concentração de cálcio e magnésio expressa em ppm de CaCO_3 , é a seguinte:

- Águas moles: < 50 ppm de CaCO_3
- Águas moderadamente moles: (50-100) ppm de CaCO_3
- Águas levemente duras: (100-150) ppm de CaCO_3
- Águas moderadamente duras: (250-300) ppm de CaCO_3

- Águas muito duras: >350 ppm de CaCO_3

De uma maneira geral, nos processo de eletrodeposição, não se recomenda o uso de águas de dureza elevada. No caso dos processos de niquelação, a tolerância à água depende muito do tipo de banho. Os banhos tipo Watts são especificamente susceptíveis devido à precipitação do sulfato de cálcio conforme já citado. Para banhos de níquel Watts brilhante recomenda-se o uso de água mole. Para o tipo fosco admite-se o uso de águas moderadamente duras. Deve-se chamar a atenção que a restrição ao uso de água de dureza elevada não se refere apenas ao banho, mas todo o processo de pré-tratamento. Qualquer contaminação por arraste poderá ser causa em potencial de problemas, (PANOSSIAN, 1997).

3.5 Controle do processo

De acordo com PANOSSIAN (n.82, 1997), na maioria dos processos de eletrodeposição, pequenas variações da concentração dos componentes inorgânicos não causam alterações das características, seja do banho, seja do depósito. Este fato leva, muitas vezes, à adoção de práticas inadequadas de controle e manutenção. O controle passa a ser feito com pouca frequência, o que requer, para colocar o banho dentro da faixa especificada, adições de grandes quantidades de sais. Em geral, os aditivos, também, são adicionados com pouca frequência e em grandes quantidades.

Essa prática é muito prejudicial, devido aos seguintes fatores:

- Os sais, mesmo aqueles de pureza para eletrodeposição, sempre contem uma certa quantidade de impurezas. A adição de grandes quantidades de sais

introduz no banho grandes quantidades destas impurezas em períodos muito curtos de tempo, o que traz problemas operacionais;

- Nos locais onde estão sendo feitas as adições pode-se ultrapassar o limite de solubilidade de algum composto, o que determina a contaminação do banho com partículas sólidas, pelo menos pelo período de tempo necessário para a completa homogeneização do banho;
- No caso dos aditivos, poder-se-á ter problemas no eletrodepósito da superfície dos catodos situados próximos aos locais em que está fazendo as adições.

Face ao exposto, pode-se verificar que adições freqüentes e em pequenas quantidades dos constituintes, tanto orgânicos como inorgânicos, são uma prática indispensável para o bom desempenho dos processos de niquelação, a despeito das pequenas variações de concentração não representarem problemas.

Normalmente os seguintes controles são realizados nos banhos de níquel:

- Constituintes inorgânicos: íons de níquel, sulfato de níquel, cloreto de níquel e ácido bórico.
- Constituintes orgânicos: caso recomendado pelo fornecedor de aditivos;
- pH;
- Célula de Hull.

As impurezas também podem ser analisadas através de métodos de análise instrumental.

3.5.1 Constituintes inorgânicos

O controle dos constituintes inorgânicos é realizado por análise volumétrica. A frequência de análise é em função da intensidade do uso do banho de níquel, devendo ser estabelecida na prática, tendo como objetivo a adição de pequenas quantidades de sais em cada controle. A seguir serão apresentados os métodos de ensaio mais utilizados na prática.

Íons de níquel (conhecido como níquel metálico)

Pipetar 2 mL do banho em erlenmeyer de 250 mL, adicionar 10 mL de hidróxido de amônio P.A. Adicionar 50 mL de água destilada e uma pequena quantidade de indicadores murexida (cerca de 0,5 g). Titular com EDTA 0,1 M até a viragem para violeta.

Cálculo

$$\text{mL gastos de EDTA } 0,1 \text{ M} \times 2,9345 = \text{g/L de íons} = A$$

Cloreto de níquel

Pipetar 2 mL do banho para um erlenmeyer de 250 mL. Adicionar 20 mL de água, adicionar 20 mL de água, adicionar 1 mL de solução de cromato de potássio a 5% e titular com uma solução de nitrato de prata 0,1 N até a turvação avermelhada.

Cálculo

$$\text{mL gastos de AgNO}_3 \text{ } 0,1 \text{ N} \times 5,943 = \text{g/L de cloreto de níquel hexaidratado} = B$$

Ácido bórico

Pipetar 2 mL do banho para um erlenmeyer de 250 mL. Adicionar 5 a 7 gotas de púrpura de bromocresol. Se apresentar coloração amarelo-esverdeada, neutralizar com hidróxido de sódio 0,1 N até a coloração púrpura. Adicionar 10 g de manitol. Titular com hidróxido de sódio 0,1 N até a viragem de amarelo para azul.

Cálculo

$$\text{mL gastos de NaOH } 0,1 \text{ N} \times 3,092 = \text{g/L de ácido bórico}$$

Sulfato de níquel

A concentração do sulfato de níquel é determinada através do seguinte cálculo:

Cálculo

$$4,4771.A - 1,118.B = \text{g/L sulfato de níquel hexaidratado}$$

$$4,785.A - 1,922.B = \text{g/L sulfato de níquel heptaidratado}$$

3.5.2 Constituintes orgânicos

Os métodos de análise dos constituintes orgânicos são realizados de acordo com os métodos recomendados pelo fornecedor dos aditivos.

3.5.3 Controle de pH

O pH deve ser rigorosamente controlado e mantido dentro da faixa especificada, que em geral é entre 3,5 e 4,5, aconselhando-se a manter no valor médio (pH = 4).

O valor de pH nos banhos de níquel pode ser medido utilizando papel indicador (método colorimétrico) ou o aparelho medidor de pH (método eletrométrico).

O método eletrométrico é mais preciso do que o colorimétrico. Este último fornece valores de pH cerca de 0,5 mais elevados.

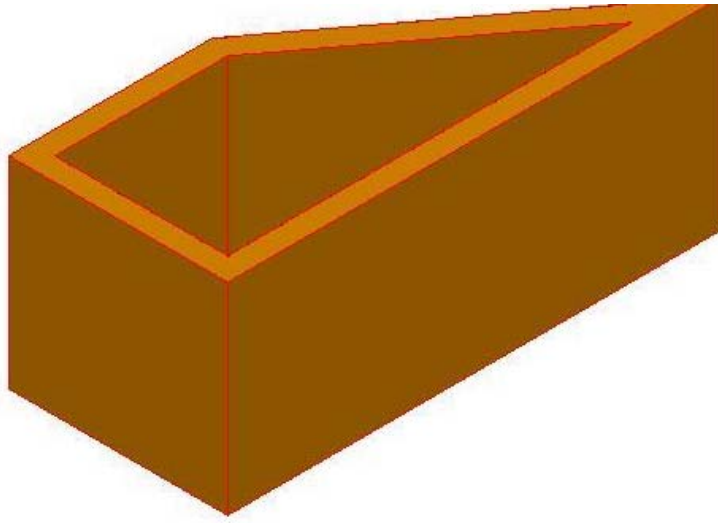
Os valores de pH indicados pelas especificações técnicas, quando não se referem explicitamente a um determinado método, referem-se ao método eletrométrico. Assim sendo, ao se utilizar papel indicador deve-se ter em mente este fato.

3.5.4 A célula de Hull

A célula de Hull consiste em uma cuba, constituída de PVC ou outro material similar, com base trapezional, conforme indicado na figura.

A capacidade da célula de Hull é de 267 mL, um número não simples, com 250 mL ou 300 mL. Isto é devido ao fato de sua origem ser americana e sua concepção não ter sido baseada no sistema decimal. O volume de 267 mL facilitava os cálculos das correções necessárias nos processos de eletrodeposição, por exemplo: a adição de 2g de um determinado produto na Célula de Hull corresponde a 1oz/gal (onça/galões americanos) deste produto no processo. No sistema decimal, a quantidade de qualquer produto adicionado aos 267 mL da Célula de Hull multiplicada por 3,74 dará a quantidade correspondente a g/L.

Figura 2 - Ilustração esquemática de uma Célula de Hull



Fonte: Panossian, 1997.

O catodo utilizado na Célula de Hull tem dimensões aproximadas de 10,2 cm x 6,4 cm x 0,5 cm. O anodo deve ter uma largura de aproximadamente 6 cm, altura igual ou maior que 6,4 cm e espessura variável, dependendo dos anodos originais a partir dos quais foi obtido.

O ensaio com a Célula de Hull é feito aplicando-se uma corrente contínua entre o anodo e catodo. Em virtude do posicionamento destes dois eletrodos, existe uma variação da distância entre o anodo e o catodo. A região do catodo mais próxima ao anodo (A) corresponde a zona de alta densidade de corrente e a região mais afastada do anodo (B) corresponde à zona de baixa densidade de corrente. Isto porque é fácil verificar que, por questões puramente geométricas, a corrente na região (A) é muito maior que a região (B).

É possível calcular o valor da densidade de corrente em cada ponto do catodo, desde que a distribuição de corrente seja devida apenas a fatores geométricos. Uma expressão que pode ser utilizada é a seguinte:

$$ix = I (5,1019 - 5,2401 \log x)$$

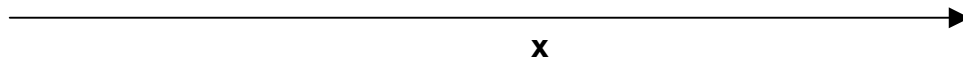
onde:

ix = a corrente a uma distância x do ponto A (zona de alta densidade de corrente)

I = corrente aplicada na Célula de Hull, em ampére

x = distância entre o ponto A do catodo (zona de alta densidade de corrente) e o ponto considerado em cm.

Densidade de corrente no ponto x (A/dm ²)										
5,1	3,5	2,6	1,9	1,4	1,0	0,7	0,4	0,1	0	1A
10,2	7,0	5,2	3,8	2,8	2,0	1,5	0,8	0,2	0	2A
15,3	10,5	7,8	5,7	4,2	3,0	2,1	1,2	0,3	0	3A
20,4	14,0	10,4	7,6	5,6	4,0	2,8	1,6	0,4	0	4A
25,5	17,5	13,0	9,5	7,0	5,0	3,5	2,0	0,5	0	5A
1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	6cm	7cm	8cm	9cm	10cm	



3.5.5 Execução do ensaio da Célula de Hull

A amostra de banho, objeto do ensaio, deve apresentar com a maior exatidão possível a composição do banho do processo de eletrodeposição.

Para a condução do ensaio deve-se tomar muito cuidado no que se refere ao volume do banho, à temperatura e à corrente aplicada, devendo-se utilizar, a cada ensaio, uma nova amostra. Isto porque a relação volume do banho em relação à área a

ser revestida é muito baixa, o que acarreta grandes variações de composição do banho a cada ensaio.

As condições operacionais devem ser as mesmas utilizadas durante a produção, devendo-se adotar sempre valores médios, principalmente de densidade de corrente, visto que assim se consegue um depósito numa ampla faixa de densidade de corrente, que certamente conterà a faixa de densidade de corrente especificada.

Para fazer o ensaio procede-se da seguinte maneira:

- Lava-se e seca-se a Célula cuidadosamente;
- Coloca-se na Célula já limpa, a quantidade correta (pode ser 250 mL) de banho, aquecido a 2°C acima da temperatura média de trabalho;
- Conecta-se o anodo e liga-se ao pólo positivo do retificador;
- Conecta-se o catodo ao pólo negativo do retificador e introduz-se a seguir o banho. O catodo deve ser polido, desengraxado, decapado e não deve apresentar quebra d'água;
- Ajusta-se a corrente no retificador para a intensidade desejada;
- Faz-se a deposição pelo tempo previsto;
- O catodo é retirado da Célula, lavado, seco e examinado na parte central, comparando-o com as referências ou com tabelas descritivas já existentes.

O ensaio na Célula de Hull é muito sensível às variações da composição do eletrólito, às variações de concentração de abrillantador, à presença de contaminantes, às variações das condições de ensaio. Este fato, em geral, não é levado em consideração pelos técnicos que executam o ensaio, pois não tomam os cuidados citados. Isto pode levar a conclusões errôneas.

3.5.6 Razões para utilização da Célula de Hull

Os processos de eletrodeposição só produzirão revestimento de qualidade adequada se e somente se todas as fontes de problemas tiverem sido eliminadas. Isto é um fato óbvio. No entanto, não é óbvia a identificação das fontes de problemas.

Problemas podem surgir:

- Se as concentrações dos reagentes estiverem fora dos limites especificados;
- Se o banho estiver contaminado por arraste com produtos utilizados nas operações que antecedem à eletrodeposição propriamente dita;
- Se as partículas da atmosfera contaminarem o banho;
- Se os produtos de corrosão das gancheiras e dos suportes caírem no banho;
- Se houver acúmulo de produtos de decomposição dos aditivos;
- Se a água não for de pureza adequada;
- Se houver lixiviação dos produtos orgânicos solúveis presentes nos sacos de anodos e/ou nos revestimentos de tanques e gancheiras;
- Se as matérias-primas e os anodos não forem de pureza adequada.

Para detectar problemas, seria necessária a condução de inúmeras análises qualitativas tanto no banho como nas matérias-primas para identificar o contaminante específico causador do problema. Após a identificação, seria necessário fazer uma análise quantitativa e só depois tentar eliminar a contaminação. É fácil verificar que na prática é quase impossível proceder desta maneira.

Face às dificuldades acima mencionadas, foi desenvolvido o ensaio de Célula de Hull. Neste ensaio, é possível, com a condução de apenas um ensaio, visualizar a natureza dos depósitos obtidos numa ampla faixa de densidade de corrente. Infelizmente, para a sua interpretação torna-se necessário o treinamento do técnico

laboratorial e a confecção de referências. Sem este procedimento, o ensaio, tido como de grande utilidade poderá em nada auxiliar na resolução dos problemas operacionais dos processos de eletrodeposição.

3.5.7 Finalidade da Célula de Hull

A Célula de Hull pode se utilizada para muitas finalidades, podendo-se citar:

- A determinação da melhor faixa da densidade de corrente operacional: através de uma chapa obtida utilizando o banho do processo, pode-se verificar qual a faixa de densidade de corrente que produz depósito de qualidade desejável;
- Verificação da necessidade de adição de aditivos: comparando-se a chapa da Célula de Hull com padrões de referência, é possível detectar a falta ou excesso de aditivos. Por exemplo, a presença de pites indica a falta de agentes tensoativo.
- Verificação do poder de penetração: normalmente este tipo de verificação se faz em banhos ácidos nos quais a polarização é baixa e a distribuição de corrente é devida principalmente a fatores geométricos. Para tal, determina-se a espessura dos revestimentos em diferentes pontos e compara-se com os valores de espessura calculados a partir da Lei de Faraday;
- Desenvolvimento: sem dúvida nenhuma a Célula de Hull é uma poderosa ferramenta para o desenvolvimento de banhos com novas formulações e/ou abrillantadores novos;
- Verificação da eficiência de purificação: normalmente os processos de purificação dos banhos de eletrodeposição são acompanhados com ensaios com

a Célula de Hull. Faz-se um ensaio antes do início da purificação dos banhos e nas diferentes etapas. Aconselha-se realizar a purificação em quantidades pequenas de banho. Se no ensaio da Célula de Hull a purificação se mostrar adequada, ela certamente será adequada para o processo. (PANOSSIAN, 2006, n.82)

Tabela 3 - Descrição das chapas obtidas em ensaio com a Célula de Hull

<i>Descrição</i>	<i>Interpretação</i>
Depósito brilhante em toda a extensão do catodo, com uma pequena faixa de depósito pulverulento na zona de alta densidade de corrente.	Banho em excelentes condições
Depósito queimado na zona de alta densidade	Banho com alto pH ou baixo teor de ácido bórico ou baixo teor de íons de níquel
Depósito brilhante azulado	Banho com baixo pH
Descascamento e trincamento na zona de alta densidade de corrente	Excesso de abrillantador secundário
Depósito quebradiço	Banho com excesso de abrillantador secundário
Depósito brilhante em toda extensão do catodo, porém o brilho não é especular	Banho com falta de abrillantador secundário
Faixa brilhante estreita	Falta de abrillantador primário
Depósito fosco ou cinza fosco na zona de alta densidade de corrente e na zona de baixa densidade de corrente, estando o restante do catodo (parte central) brilhante	Banho com baixo teor de abrillantador primário
Depósito com brilho irregular	Banho com excesso de agente tensoativo.
Depósito com pites	Banho com falta de agente tensoativo ou existe contaminação de partículas sólidas.
Depósitos irregulares	Contaminação orgânica e/ou excesso de abrillantadores
Depósitos quebradiços e com estrias	Contaminação orgânica
Depósitos embaçados	Contaminação orgânica
Depósito quebradiço e com estrias	Contaminação orgânica
Depósito fosco	Alta temperatura
Depósito fosco com presença de depósito queimado na zona de alta densidade	Baixa temperatura
Falta de depósito na zona de baixa densidade de corrente, isto é, banho com baixo poder de cobertura	Excesso de aditivos orgânicos e/ou contaminação com cromo hexavalente

Presença de bolhas	Contaminação com cromo hexavalente
Depósitos escuros na zona de baixa densidade (inclui a parte posterior do catodo)	Contaminação metálica, principalmente de cobre ou chumbo, ou contaminação orgânica
Depósito semibrilhante na zona de baixa densidade de corrente ou depósito brilhante com falhas, com escurecimento na zona de baixa densidade de corrente e nublado na zona de média densidade de corrente (na parte central da chapa)	Contaminação com íons de zinco
Falta de aderência	Contaminação com íons de chumbo ou cobre ou cromo hexavalente ou cromo trivalente
Aspereza	Contaminação com íons metálicos, principalmente ferro, ou contaminação com partículas sólidas, ou alto pH.
Faixa larga de depósito queimado	Contaminação com íons de chumbo ou cromo hexavalente
Estrias escuras	Contaminação com íons chumbo e zinco
Manchas e estrias no depósito	Contaminação com silicatos ou fosfatos
Depósitos pulverulentos	Contaminação com fosfatos

Fonte: Panossian, 1997.

3.5 Curiosidade

Muitos generalizam o processo alérgico e dizem: “alérgicos a bijuterias”, mas a causa real é quase sempre o contato com o metal níquel. Seja em revestimentos galvânicos, parte de ligas de metais como aço ou o próprio ouro, ou simplesmente o contato com sais e soluções contendo níquel, é suficiente para desencadear uma reação alérgica que muitas vezes se estende por todo corpo e não somente nas partes em que houve o contato com o metal.

O problema deste metal é tão difundido que na Europa, após uma pesquisa constando que em torno de 11% da população desenvolve esta alergia, foi proibido o uso do níquel em qualquer artigo que tenha contato direto com o corpo, mesmo que este metal esteja nas camadas intermediárias (como é o caso do banho de níquel utilizado em bijuterias douradas, botões, zíperes, armações de óculos, pulseiras de relógio e artigos decorativos em geral).

Uma forma simples de testar a presença de níquel nos artigos metálicos é a partir de um kit de teste que consiste de dois componentes, a dimetilglioxima e o hidróxido de amônio: uma gota destes dois componentes é colocada na superfície do objeto com um cotonete e friccionada suavemente. Se o algodão branco do cotonete adquirir uma coloração rósea é constatada a presença de níquel, se permanecer branco, então não há níquel.

Mesmo a jóia de ouro cuja pureza esteja abaixo de 12 K pode conter níquel na sua liga e desencadear o processo alérgico. Também a liga de ouro branco geralmente contém este metal. Muitas indústrias de jóias já vêm desenvolvendo ligas de ouro para substituir este metal. Não há, porém, uma lei restringindo o seu uso.

4. CONCLUSÃO

No mundo inteiro é bastante comum revestir produtos de consumo e outros manufaturados com níquel para aumentar a utilidade, o valor e o apelo de vendas. Exemplificando, o acabamento decorativo de níquel é liso e na maioria das aplicações finais também revela uma superfície tão nítida quanto à de um espelho. Com o cromo, o acabamento decorativo de níquel apresenta resistência excepcional à corrosão. Esta combinação – brilho e resistência – é o fator chave para utilidade, valor e apelo do produto revestido de níquel.

O níquel é largamente utilizado como revestimento sobre substratos de aço, ligas de zinco, alumínio e suas ligas. Comumente, os revestimentos de níquel são nobres, e por esta razão, são utilizados para proteção contra corrosão do substrato somente nos casos em que também um outro requisito é importante, como aspecto decorativo. Além destas duas propriedades, os revestimentos de níquel propiciam também ao substrato resistência à abrasão e erosão.

Vários são os processos através dos quais o níquel pode ser aplicado. Porém a eletrodeposição constitui o mais importante e aproximadamente 90% dos eletrodépósitos de níquel são utilizados para conferir ao substrato resistência à corrosão associada ao aspecto decorativo. Com esta finalidade, desde o final do século passado o níquel foi utilizado como o constituinte único da camada de proteção.

O níquel apresenta um grande problema, pois sofre embaçamento, principalmente quando exposto em atmosfera industrial, perdendo o aspecto brilhante do revestimento recém-eletrodepositado. Isto ocorre quando este metal é exposto a atmosferas contaminadas com dióxido de enxofre, sendo conseqüência da formação de

uma película de sulfato de níquel, responsável pela perda do brilho. Vários estudos foram desenvolvidos para contornar este problema, seja pela proteção do próprio níquel.

A camada de níquel para aplicações de engenharia tende a ter o acabamento liso e fosco, que aumenta a resistência à corrosão. Frequentemente a camada é utilizada para aumentar a resistência ao desgaste da superfície ou modificar as propriedades magnéticas. Em muitos setores industriais, a camada de níquel para o uso da engenharia aumenta o valor e a utilidade do equipamento e dos componentes.

O uso especializado de niquelação para galvanoplastia resulta na produção de ferramentas e peças de alto valor comercial.

O uso bem difundido do processo de niquelação para trabalhos decorativos, de engenharia e de galvanoplastia é o resultado dos avanços na tecnologia de niquelação. Estes avanços na tecnologia de niquelação aumentaram a utilidade e o valor do processo, mas em contrapartida, aumentaram a variedade e complexidade da operação de niquelação. Mais do que nunca é preciso obter informações técnicas e confiáveis. A questão do controle de qualidade da camada de níquel detalhadamente, pois o compromisso com a qualidade assegura o avanço contínuo da tecnologia e aplicação de niquelação, (INCO, 2003).

5. GLOSSÁRIO (ABTS, 2005).

Abrilhantador Primário

Estes abrilhantadores não somente formam a base do depósito brilhante, como também ajudam a manter a ductibilidade e aumentam a densidade máxima da corrente que pode ser usada.

Abrilhantador Secundário

Este tipo de abrilhantador em conjunto com abrilhantadores primários forma o brilho alto do depósito. Não podem ser usados sem que o banho tenha o devido teor de abrilhantador primário.

Aderência

É a força de atração existente entre o metal depositado química ou eletroquimicamente e o metal base, que pode ser medida como sendo a força necessária para separá-los.

Ampere hora (Ah)

Produto entre a intensidade de corrente elétrica e o tempo (horas) da eletrólise.

Anodo

Eletrodo (positivo) de um circuito para onde se dirigem os íons negativos. O anodo, durante a eletrodeposição fornece metal para o catodo.

Arraste

Solução que adere às peças que saem de um banho e são levadas, ou carregadas ao banho subsequente.

Aspereza

Co-deposição de partículas condutoras ou não condutoras estranhas ao banho, percebidas ao olho nu e ao tato.

Ativação

Eliminação do filme passivo na superfície de uma peça por meio de um tratamento químico, geralmente em solução diluída de ácidos.

Bolha

Descascamento em certos pontos da camada depositada, sem interrupção desta, em forma de bolha.

Carvão Ativo

Carvão vegetal de granulação variada, alta pureza e grande poder de absorção. Usado para remoção de contaminações orgânicas dos banhos eletrolíticos.

Casca de laranja (orangepeeling)

Interrupção da camada de níquel, formando crateras com descascamento na circunferência da cratera. Pode ser causado pelo alto teor de ferro no banho de níquel.

Catodo

Eletrodo (negativo), de onde partem elétrons e para onde se dirigem os íons positivos em um circuito. No catodo, durante a eletrodeposição, ocorre a deposição do material.

Chuvisco

Pontinhos finos espalhados na superfície. Pode ser uma finíssima aspereza, como também furos finíssimos e superficiais. Defeito que pode aparecer em banhos de níquel brilhante e cobre ácido brilhante.

Cianeto livre

Concentração de cianeto de sódio ou potássio no banho de cobre ou latão que não se combinou com o cianeto de cobre e/ou zinco para formar o complexo solúvel deste.

Corrente alternada

Corrente elétrica cuja intensidade e sentido variam periodicamente com o tempo.

Corrente contínua

Corrente elétrica que flui em uma só direção.

Decapagem

Remoção de óxidos ou outros compostos de uma superfície metálica, por reações químicas ou eletroquímicas.

Desengraxe catódico

Um desengraxe eletrolítico em que a peça a ser desengraxada é cátodo (pólo negativo).

Desengraxe anódico

Um desengraxe eletrolítico em que a peça a ser desengraxada é anodo (pólo positivo).

Deposição química

Deposição de uma camada metálica por meio de uma redução química controlada, cuja reação é catalisada pelo metal ou pela liga sob qual a camada metálica é formada.

Diluição

Diminuição da concentração original ou indicação de concentração.

Eficiência catódica

É a razão entre a massa do metal realmente depositada e a massa do metal que teria sido depositado se toda a corrente aplicada houvesse sido utilizada para a deposição do metal.

Eletrodo

Um condutor metálico pelo qual a corrente elétrica entra e sai de uma célula eletrolítica.

Grau Baumé (Bé)

Indica o peso específico de uma solução, porém, em grau de uma escala Bé. Pode ser determinado com densímetro.

A medição é feita por meio de dois tipos diferentes de densímetro.

- a) Para líquidos mais densos que a água.
- b) Para líquidos menos densos que a água.

Flash

Deposição fina de um material normalmente abaixo de 2,5 micrômetros, como acabamento final.

Hidrogenização

Estado quebradiço de um metal ou liga originado pela absorção de hidrogênio nas operações de decapagem, desengraxamento eletrolítico e/ou eletrodeposição.

Passivação

Condição de superfície de um metal a qual retarda a sua reação normal num ambiente específico é presumindo um potencial mais nobre do que o seu potencial normal.

Penetração

Capacidade de uma solução para depositar metal em uma superfície de recessos e furos profundos.

Pitting

Formação de poros em forma de uma parte de uma esfera, muitas vezes com riscos saindo da periferia do poro. Causado por bolhas de hidrogênio que aderem à superfície da peça. Em geral pode ser eliminado pela adição de molhador à solução.

Polarização

Quando um potencial de um anodo se torna mais nobre (menos ativo) e o catodo mais ativo, ocorrendo então uma inversão de potenciais, isso é freqüentemente acompanhado pela formação de um filme na superfície do eletrodo.

Purificação Eletrolítica

Aplicada para remover contaminações metálicas de uma solução por meio de eletrolise com baixa densidade de corrente.

Substrato

Metal-base ou material onde o depósito é aplicado.

Tensão superficial

A característica que existe em todos os filmes de superfície de líquidos, a qual, por força molecular, impede o livre molhamento do líquido sobre a superfície.

Umectante

Agente aditivo para prevenir formação de buracos de gás na camada (pites).

Zamac

Liga à base de zinco, magnésio, alumínio e cobre.

6. REFERÊNCIAS

ABTS, Associação Brasileira de Tratamento de superfície, **Curso de Galvanoplastia**, São Paulo, 2005. Apostila.

ALPHA Galvano-Química, **Boletim Técnico Zamac**, 14p.

CANTO, E. L. Níquel e Zinco. In:_____. **Minerais, Minérios, Metais: De onde vêm? Para onde vão?**. 4 ed. São Paulo: Moderna, 1996. p. 96-102.

GALVANI, Luigi. São Paulo: **Enciclopédia Britânica**, 1993. v. 8, p. 100

INCO. **Manual de galvanoplastia de níquel**, 2003

MAHAN, B.; MYERS, R. Reações de oxi-redução. In:_____. **Química um curso universitário**. São Paulo: Edgar Blücher, 1996. p. 168-192

OLIVEIRA, E.M.; CARLOS, I. A. Estudo voltamétrico de processo de eletrodeposição de níquel a partir do banho de Watts na presença de aditivos. **Tratamento de Superfície**, São Paulo, n.120, p. 46-53, jul-ago. 2003.

PANOSSIAN, Z. Banho de Níquel tipo Watts: Função dos principais constituintes. **Tratamento de Superfície**, São Paulo, n. 74, p. 32-38, nov-dez. 1995.

PANOSSIAN, Z. Banho de Níquel tipo Watts: Parte II – Ação dos aditivos e condições de operação. **Tratamento de Superfície**, São Paulo, n. 75, p.22-29, jan-fev. 1996.

PANOSSIAN, Z. Banho de Níquel tipo Watts: Parte III – Propriedades dos banhos e dos eletrodepósitos de níquel. **Tratamento de Superfície**, São Paulo, n.76, p. 28-36, mar-abr. 1996.

PANOSSIAN, Z. Banho de Níquel tipo Watts: Parte IV – Estrutura dos eletrodepósitos de níquel. **Tratamento de Superfície**, São Paulo, n.77, p.27-38, mai-jun. 1996.

PANOSSIAN, Z. Banho de Níquel tipo Watts: Parte V – Propriedades mecânicas e efeito de tratamentos térmicos. **Tratamento de Superfície**, São Paulo, n. 78, p. 16-23, jul-ago. 1996.

PANOSSIAN, Z. Banho de Níquel tipo Watts: Parte VI – Anodos de Níquel. **Tratamento de Superfície**, São Paulo, n.79, p.25-31, set-out, 1996.

PANOSSIAN, Z. Banhos de Níquel tipo Watts: Parte VIII – Principais contaminantes. **Tratamento de Superfície**, São Paulo, n.81, p.26-32, jan-fev. 1997.

PANOSSIAN, Z. Banho de Níquel tipo Watts: Parte IX – Controle do Processo. **Tratamento de Superfície**, São Paulo, n.82, p. 20-27, mar-abr. 1997.

PANOSSIAN, Z. Banho de Níquel tipo Watts: Parte X – Revestimentos Múltiplos. **Tratamento de Superfície**, São Paulo, n.84, p. 34-55, jul-ago. 1997.

PANOSSIAN, Z. Banho de Níquel tipo Watts: Parte XI – Controle do depósito. **Tratamento de Superfície**, São Paulo, n.85, p.30-38, set-out. 1997.

RUSSEL, J. B. Eletroquímica. In:_____. **Química Geral**. 2. ed. São Paulo: Pearson Makron Books, v. 2 , 1994. p. 868-918.

SANTOS, W. A. T. O porque da alergia às bijuterias. **Tratamento de Superfície**, São Paulo, n. 116, p.06-08, nov-dez, 2002.