

# TIRAS DE AÇO LAMINADAS A FRIO E FOSFATIZADAS UTILIZADAS EM PROCESSOS DE ESTAMPAGEM CRÍTICA<sup>1</sup>

*Antenor Ferreira Filho*<sup>2</sup>

*Edwilson Leite*<sup>3</sup>

*Ivan Martins*<sup>4</sup>

*Renato Collanieri*<sup>5</sup>

## **Resumo**

O processo de fosfatização consiste na obtenção de uma camada de conversão com a finalidade principal de diminuir o atrito durante processo de estampagem. Quando aplicado em tiras de aço carbono age como lubrificante durante operações de conformação, em especial as mais severas. Por ser um revestimento poroso apresenta características de retenção de lubrificantes durante a estampagem, de forma a reduzir significativamente o coeficiente de atrito, sendo assim, proporciona a obtenção de peças com superfícies de alto grau de acabamento, evitando a ocorrência de riscos nas peças conformadas devido ao atrito entre o material e a ferramenta, além de aumentar a vida útil das ferramentas e permitir que se possa trabalhar com maiores velocidades nas operações de conformação, assim como, um maior grau de deformação das peças. No presente trabalho serão apresentadas as diversas etapas de produção de tiras de aço ao carbono, laminadas a frio e fosfatizadas, numa linha de produção contínua. Serão discutidas as principais funções de cada etapa de processamento para se atingir as condições adequadas de estampagem. Exemplos de aplicações foram selecionados para apresentar as vantagens e facilitar o entendimento do efeito do revestimento no desempenho do material durante o processo de estampagem.

**Palavras-chave:** Tiras laminadas a frio; Fosfatização; Estampagem.

## **COLD ROLLED AND PHOSPHATE STRIP STEEL USED IN PROCESS OF DEEP DRAWING**

### **Abstract**

The phosphating process consists of the obtainment of a layer of conversion with the main purpose to reduce the attrition during forming process. When applied in carbon strip steel it acts as lubricant during the forming operations, specially in the most severe. As a porous covering it presents characteristics of lubricant oil retention during the drawing process, thus reduce significantly the attrition coefficient, this provides the obtainment of parts with surfaces of high degree of finishing, avoiding the occurrence of risks in the parts conformed due to the attrition between the material and the tool, besides increasing the life of the tools and allowing higher speeds in the forming operations, as well, a bigger degree of deformation of the parts. In the present work the diverse stages of production of cold rolled carbon strip steel, in a continuous production line will be presented. The main functions of each stage of processing will be argued to reach the adequate conditions of forming. Examples of applications had been selected to present the advantages and to facilitate the understanding of the covering effect in the performance of the material during the forming process.

**Key words:** Cold steel strip; Phosphating; Deep drawing; Forming.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 44º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 16 a 19 de outubro de 2007, Campos do Jordão – SP, Brasil.*

<sup>2</sup> *Dr., MSc., Engenheiro Metalurgista e de Produção, Diretor Industrial da Brasmetal Waelzholz S.A. Ind. e Com.*

<sup>3</sup> *MSc., Químico Industrial, Supervisor de Produção da Brasmetal Waelzholz S.A. Ind. e Com.*

<sup>4</sup> *Engenheiro de Materiais, Engenheiro de Qualidade da Schaeffler Brasil Ltda.- Divisão INA.*

<sup>5</sup> *Tecnólogo em Soldagem, Técnico de Qualidade da Schaeffler Brasil Ltda.- Divisão INA.*

## 1 INTRODUÇÃO

O segmento mais importante, economicamente falando dos aços planos laminados é o voltado à estampagem, principalmente o dos aços de baixo teor de carbono, que são amplamente aplicados na indústria. A crescente demanda da indústria automobilística no sentido de requisitar um material mais funcional e que proporcione uma melhor estética aos seus produtos foi a principal força motriz deste desenvolvimento.

A conformação de chapas, dentre os processos que ocasionam mudança de forma de um material metálico, é a que teve um dos maiores desenvolvimentos a partir dos anos 60. O processo consiste em obter peças de formas permanentes a partir de chapas finas, necessitando da otimização de uma série de parâmetros relacionados ao material, ao modelo da peça, às características das ferramentas, da prensa e das condições de operação.

Uma boa lubrificação da superfície a ser conformada é uma característica fundamental para o sucesso destas operações, e este objetivo pode ser alcançado através da aplicação de um tratamento de conversão, visto que estas camadas aumentam a capacidade de retenção dos lubrificantes. As camadas fosfatizadas apresentam grande importância industrial e são utilizadas em diversas aplicações, principalmente como lubrificante em operações de conformação. As características das camadas de fosfato é quem determina a sua aplicabilidade e desempenho. <sup>[1]</sup>

Na indústria de autopeças, particularmente, a de rolamentos e elementos de motores o revestimento de fosfato é largamente utilizado na conformação de peças com estampagem crítica, em tiras de baixo e alto carbono. Utiliza-se ainda o revestimento de fosfato como pré-tratamento para pintura, proteção temporária contra corrosão, ou como isolante elétrico.

## 2 CARACTERÍSTICAS DAS CAMADAS FOSFATIZADAS

O uso de camadas fosfatizadas nas operações de conformação já era conhecido, desde 1934. por Singer.<sup>[2,3]</sup> Durante a Segunda Guerra Mundial, a fosfatização foi muito utilizada na Alemanha nas operações de conformação de metais ferrosos, particularmente para produção de munições.

De 1944 até 1960, a importância do uso de camadas fosfatizadas para conformação foi aumentando. Em 1960, a importância da fosfatização para conformação foi comparável a da resistência à corrosão. No entanto, a partir de 1960, a aplicação das camadas fosfatizadas como base de pintura foi superando à da conformação devido ao crescente aumento da indústria automobilística, que utiliza camadas fosfatizadas para melhorar o desempenho de tinta. Entretanto o uso de fosfato para conformação ainda hoje é encarado como uma das mais importantes soluções para estampagem.

A fosfatização é um tratamento de conversão, a saber: é a “conversão” de um metal em um óxido, hidróxido ou sal do metal através de reações eletroquímicas que podem ocorrer tanto devido à imposição de corrente como devido ao ataque do metal por um oxidante presente na solução.

Para o caso específico da fosfatização, trata-se da conversão do metal em um fosfato insolúvel do íon metálico. O fosfato insolúvel deposita-se sobre o metal modificando as suas propriedades superficiais. Entre os tratamentos de conversão, sem dúvida nenhuma, a fosfatização é uma das mais eficientes. As vantagens do uso de camadas fosfatizadas são muitas, citando-se:<sup>[2,3]</sup>

- evitam o contato metal/metal: quando se usa somente lubrificantes, durante a conformação a frio sempre se tem a possibilidade de ocorrer contato metal/metal entre a ferramenta e a superfície em deformação. Devido às altas pressões e altas temperaturas que podem ser atingidas durante a conformação, é possível a ocorrência de ruptura da camada lubrificante. Nestes locais ocorre contato metal/metal com remoção de partículas de metal que ficam entre as duas superfícies acabando por danificar tanto a superfície em deformação quanto da superfície das ferramentas. Com o uso de camadas fosfatizadas isto não ocorre. Primeiramente porque a camada fosfatizada aumenta a capacidade de retenção dos lubrificantes e mesmo que, condições adversas determinem ausência transitória de lubrificante, a camada fosfatizada age como uma barreira efetiva evitando o contato metal/metal. O cuidado que se deve tomar para evitar o contato metal/metal é aplicar uma camada fosfatizada de espessura tal que acabada a operação de deformação desejada, ainda sobre camada fosfatizada sobre as superfícies submetidas à deformação;

- favorecem a retenção de lubrificantes: superfícies fosfatizadas apresentam uma capacidade de retenção de óleo muito maior do que superfície não fosfatizadas. Utilizando o mesmo tipo de óleo, foi verificado que uma superfície de aço que é capaz de reter 1,0 g/m<sup>2</sup> de óleo passa a reter 2,3 g/m<sup>2</sup> após fosfatização. Dependendo de tipo de óleo utilizado e da rugosidade superficial inicial do substrato, a capacidade de retenção pode ser ainda maior: superfícies fosfatizadas podem chegar a reter uma quantidade de óleo 10 vezes superior do que superfícies não fosfatizadas. Mesmo quando se utilizam lubrificantes sólidos como grafite e dissulfeto de molibdênio, esta propriedade é verificada;

- reduzem de maneira significativa o coeficiente de atrito: a grosso modo 50% da energia necessária, para uma determinada operação de conformação, é gasta na forma de atrito. A fosfatização mais a lubrificação reduzem muito o coeficiente de atrito e, portanto este gasto de energia. Por exemplo, com um lubrificante emulsionável e sob alta pressão, o fosfato de zinco determina uma redução do coeficiente de atrito de 0,70 para 0,043;

- não sofrem destacamento e não são desgastadas mesmo sob deformação severa: camadas fosfatizadas são altamente aderentes e esta aderência continua durante todo o processo de deformação. Os cristais de fosfato de zinco apresentam uma microdureza comparável ao do substrato de aço e praticamente não são desgastadas durante a deformação.

Como conseqüência, camadas fosfatizadas:

- determinam a obtenção de superfícies com alto grau de acabamento superficial: após a deformação, as peças fosfatizadas ficam com um excelente acabamento superficial e oferecem até um certo grau de proteção contra corrosão. No início da deformação, os picos dos cristais quebram e formam pós finíssimos que são imediatamente incorporados na camada fosfatizada produzindo uma superfície "vítrea". Após uma deformação de 15%, não se consegue mais detectar uma estrutura cristalina por análise de difração. Depois da conformação a superfície fica brilhante "*phosphate drawing mirror surface*";

- permitem aumentar a velocidade das operações de deformação: quando se utilizam camadas fosfatizadas, consegue-se deformação severa sem a necessidade de tratamentos térmicos intermediários;

- aumentam a vida útil das ferramentas: devido às propriedades anteriormente discutidas, tem-se um aumento significativo da vida útil das matrizes e ferramentas utilizadas nas operações de conformação;

- resistem a altas temperaturas: durante os processos de conformação, a temperatura do metal pode facilmente alcançar o valor de 100°C e, em condições mais severas de regime contínuo, pode-se alcançar temperaturas de até 500°C. As camadas de fosfato de zinco utilizadas nos processos de conformação, apesar de perderem água de cristalização, não apresentam deterioração a nível capaz de torná-las inadequadas para os processos de conformação;
- são facilmente removíveis: após a conformação camadas fosfatizadas remanescentes podem ser facilmente removidas por imersão em soluções ácidas ou alcalinas, nos casos em que se necessita superfície isentas de qualquer tipo de revestimento. Nos casos em que o produto submetido à deformação é posteriormente revestido por eletrodeposição, a camada fosfatizada poderá ser retirada com soluções alcalinas. Estas soluções retiram em uma única etapa a camada fosfatizada e a camada de sabão. Após esta operação o produto poderá ser diretamente imerso nos banhos de eletrodeposição.

### 3 PROCESSO CONTÍNUO DE FOSFATIZAÇÃO

No caso de tiras de aço laminadas a frio destinadas à conformação, a fosfatização pode ser aplicada de maneira contínua. A Brasmetal Waelzholz é um exemplo de empresa que se utiliza desta técnica na produção de tiras de aço relaminadas a frio e fosfatizadas para aplicações de estampagem severa.

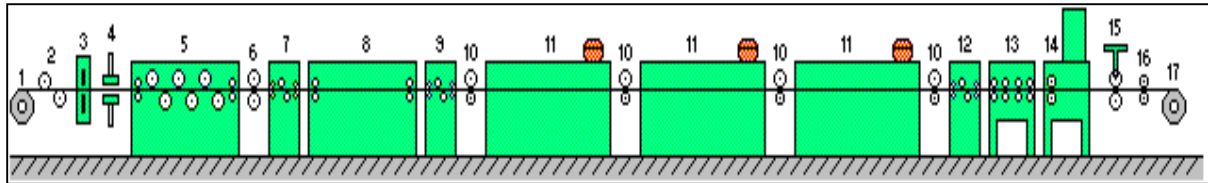
Tiras de aço ao carbono com larguras de até 680 mm e espessuras variando entre 0,2 mm e 3,5 mm podem ser fosfatizadas continuamente com banhos a base de fosfato de zinco.

Os estágios anteriores à fosfatização prepararam a superfície do substrato sobre o qual será aplicada a camada fosfatizada, pois a presença de qualquer resíduo de óleo, graxa ou ainda a presença de qualquer partícula como poeira ou produtos de corrosão pode interferir de maneira significativa na qualidade da camada fosfatizada. Portanto no início do processo, antes da fosfatização, a tira deve ser inicialmente submetida a um pré-tratamento de limpeza (desengraxes e ativação ácida). Nas etapas intermediárias entre os diferentes estágios, são feitas lavagens com água com o objetivo de retirar da superfície do metal resíduos da solução anterior e evitar a contaminação da solução subsequente.

Após o pré-tratamento segue a fosfatização e uma vez fosfatizada, a superfície metálica deve ser submetida a um pós-tratamento com objetivo de conferir alguma propriedade adicional às camadas fosfatizadas.

Existem várias opções de pós-tratamento e a escolha de um ou de outro vai depender fundamentalmente do uso final do produto processado. Geralmente a tira é submetida a um processo de passivação e lavagem seguida de imersão em sabão, a secagem pode ser feita com ar quente forçado ou com lâmpadas de infravermelho. A superfície da tira deve estar completamente seca antes do bobinamento.

A seguir será apresentada a seqüência de etapas na produção destes aços na Brasmetal Waelzholz iniciando com a apresentação de um desenho esquemático e uma foto ilustrativa da linha contínua de produção, objeto do trabalho.



Legenda: 1-Desbobinadeira / 2-Rolo defletor / 3-Endireitadeira / 4-Prensa, máquina de solda e looping / 5-Desengraxe / 6-Rolos retentores / 7-Lavagem / 8-Decapagem / 9-Lavagem / 10-Rolos de apoio / 11-Refinador e Fosfato / 12-Neutralizador / 13-Sabão / 14-Estufa / 15-Guilhotina / 16-Rolo de desvio / 17-Bobinadeira.

**Figura 1:** Fluxo esquemático da linha contínua de fosfatização da Brasmatal Waelzholz. <sup>[1]</sup>



**Figura 2:** Vista geral das linhas de revestimento da Brasmatal Waelzholz.

A seqüência completa de um processo de fosfatização contínuo consiste dos seguintes estágios:

### 3.1 Desengraxe e Decapagem

Têm por objetivo preparar a superfície do substrato sobre o qual será aplicada camada fosfatizada, consiste em retirar da superfície a ser fosfatizada qualquer resíduo que possa interferir na qualidade da camada fosfatizada. É incontestável que para se obter de uma camada de fosfato adequada é necessário que se tenha um substrato com a superfície perfeitamente limpa livre de impurezas como óxidos, óleos, graxas ou partículas sólidas. Materiais estranhos presentes na superfície do substrato podem agir como barreira e inibir a formação dos cristais de fosfato ou podem até servir de locais preferenciais para nucleação e crescimento dos cristais de fosfato. Em ambos os casos, as camadas obtidas serão não uniformes e apresentarão desempenho inadequado.<sup>[4]</sup>

### 3.2 Refinamento de Grão / Ativação / Condicionamento

Talvez a denominação mais adequada pareça ser a de condicionamento, pois nem sempre este estágio determina o refino de grão e não é o único que ativa a superfície, mas sempre tem a função de condicionar a superfície para que os

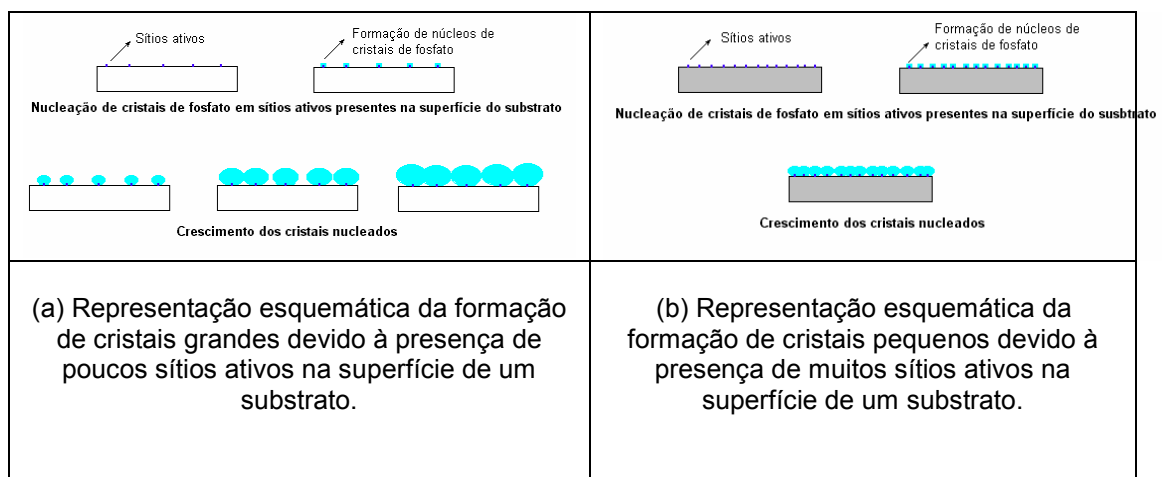
cristais de fosfato sejam formados de maneira uniforme com granulação fina o suficiente.

O estágio de condicionamento faz parte do processo e precede o de fosfatização, sem interposição de lavagem, e tem por objetivo principal contrapor a influência dos estágios de desengraxe e de decapagem que determinam a obtenção de camadas de granulação grosseira. Assim, este estágio torna-se imprescindível principalmente quando se faz o desengraxe com solução alcalinas fortes e/ou decapagem em solução de ácidos fortes.

As camadas fosfatizadas são cristalinas e seus cristais de fosfato podem ser muito pequenos. Para camadas a base de fosfato de zinco há a formação de agulhas e plaquetas. As agulhas podem estar cobertas por plaquetas e, também, as plaquetas podem estar cobertas por agulhas.<sup>[5]</sup> A formação de cristais de fosfato ocorre em dois estágios: primeiro ocorre a nucleação seguida do crescimento dos cristais nucleados. Assim sendo, o tamanho dos cristais dependerá fundamentalmente da velocidade de nucleação e de crescimento dos cristais.

A velocidade de nucleação é função direta do número de sítios ativos presentes na superfície do substrato, pois são nestes sítios que são formados os núcleos de cristais de fosfato. A partir destes núcleos crescem os cristais.

Se o número de sítios for pequeno, ter-se-á poucos núcleos. Assim, os cristais têm de crescer a partir de poucos núcleos e o crescimento cessará quando o substrato for coberto, fato que ocorrerá quando os cristais se tocarem como conseqüência a massa de fosfato por unidade de área será elevada conforme figura 3a. Ao contrário, quando na superfície de um substrato existir muitos sítios ativos, haverá a formação de muitos núcleos, os quais se tocarão antes de crescerem muito e originará a formação de camadas finas e de cristais finos, conforme figura 3b.



**Figura 3:** Representação esquemática da formação de cristais devido à presença de sítios ativos na superfície de um substrato.<sup>[5]</sup>

Fica claro de que existe uma relação direta entre o tamanho de cristais e a massa de fosfato por unidade de área: quanto menores os cristais, mais fina a camada formada. Cabe citar, que o tempo de formação de cristais grandes é maior porque é necessário mais tempo para cobrir o substrato.

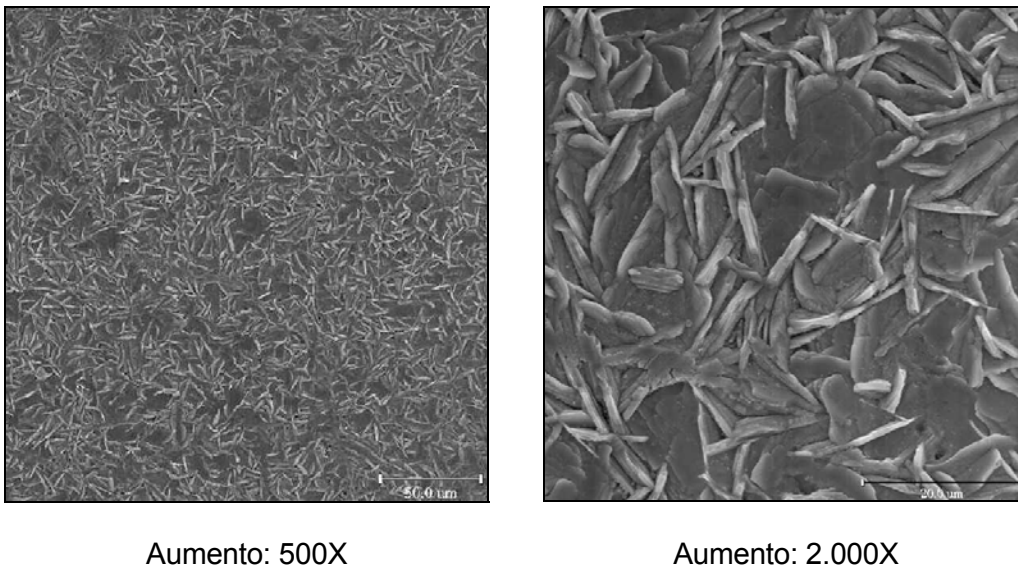
Muitos são os fatores relacionados com o substrato e com o processo de fosfatização que influenciam diretamente no tamanho dos cristais, podendo-se citar como principais: estado superficial do substrato, presença de um fino filme de

óxidos na superfície do substrato, composição química do substrato, pré-tratamento mecânico, desengraxe, condicionamento, tipo de acelerador e a presença de refinadores no banho (os mais utilizados são soluções contendo sais de titânio).

### 3.3 Fosfatização

É o estágio de formação da camada fosfatizada. As camadas a base de fosfato de zinco são as mais utilizadas na prática, sendo o tipo exigido pela maioria das aplicações da indústria automobilística, pois atendem às especificações mais rigorosas deste setor. Estas camadas são obtidas a partir de banhos contendo ácido fosfórico e fosfato diácido de zinco, além de aceleradores e outros constituintes do banho eventualmente adicionados, por exemplo, para controlar o crescimento dos cristais, aumentar ou diminuir a espessura da camada. São formadas por fosfato tetra hidratado de zinco, a hopeita ( $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ) e fosfato duplo de ferro e de zinco tetra hidratado, a fosfilita ( $Zn_2Fe(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ). A composição do banho e as condições de operação determinam a quantidade relativa de um ou outro composto.<sup>[6]</sup> A região da camada mais próxima do substrato é rica em ferro e a mais externa é rica em zinco. A microestrutura da camada depende, além da composição do banho e das condições de operação, do tipo de desengraxante alcalino utilizado no pré-tratamento.

Exemplo de uma microestrutura de camada de fosfato de zinco em aço de baixo teor de carbono pode ser vista na Figura 4.



**Figura 4:** Camada de fosfato de zinco em tira de aço de baixo carbono – MEV. <sup>[7]</sup>

### 3.4 Pós-tratamento de Selagem ou Passivação

Mesmo que uma camada fosfatizada esteja completamente formada, ela terá um certo grau de porosidade intrínseca. Esta porosidade expõe o substrato ao meio, sendo esta a razão pela baixa capacidade apresentada pelas camadas de fosfato em proteger o substrato. Assim sendo, as camadas fosfatizadas por si só não são destinadas a proteger o substrato contra corrosão. O aumento da

resistência a corrosão se dá quando sobre a camada fosfatizada é aplicado um tratamento suplementar que consiste na imersão da tira fosfatizada em solução aquosa de composto inorgânico, dentre dos quais podemos citar: compostos de cromo hexa ou trivalentes, silicatos, fosfatos, boratos, nitritos, molibdatos. Importante citar que o cromo hexa é um produto em desuso por ser nocivo ao meio ambiente e a saúde.

Quando as camadas fosfatizadas são submetidas a um pós-tratamento como o de selagem ou passivação, a porosidade diminui de maneira significativa em cerca de 50%.<sup>[8]</sup> Esta redução não significa alterações dos cristais de fosfato, mas sim a passivação do aço exposto ou mesmo selagem dos poros existentes. A porosidade diminui com aumento da espessura da camada, atingindo um valor constante após a completa formação da camada de fosfato, entretanto deve-se ressaltar que nem sempre espessuras maiores significam menor porosidade, visto que a porosidade não depende somente da espessura, mas sim de outros fatores como: tipo de fosfato, tamanho de cristais de fosfato, a saber, camadas com cristais finos e uniformes apresentam baixa porosidade, com poros de dimensões pequenas.

### **3.5 Pós-tratamento para Conformação**

Consiste na aplicação de algum produto para auxiliar nas operações de conformação, tais como sabão, bórax, etc. Camadas fosfatizadas a base de fosfato de zinco reagem com o estearato de sódio formando o estearato de zinco e comporta-se como um fluido altamente viscoso nas condições de temperatura e pressão estabelecidas durante a conformação.

### **3.6 Secagem**

Consiste em secar a tira fosfatizada em estufa através de ventilação forçada ou por meio de infravermelho, pois a tira antes de ser bobinada deve estar totalmente isenta de umidade. Aí finalmente a tira é bobinada.

## **4. CONTROLE DE PROCESSO E PRODUTO**

A caracterização de camadas fosfatizadas deve ser feita por razões de controle de processo ou do produto e para desenvolvimento de processo. Em um banho de fosfatização os principais parâmetros a serem controlados são: acidez total e livre, relação entre acidez total e livre, teor de nitrito e temperatura do banho. Para a caracterização de uma camada fosfatizada, para fins de controle, são normalmente verificados os seguintes parâmetros:

- aspecto visual;
- característica e tamanho dos cristais;
- determinação da massa de fosfato por unidade de área;
- determinação da massa de estearato de zinco e sódio.

### **4.1 Aspecto Visual**

O exame visual tem por objetivo a verificação da estrutura, cor, homogeneidade e presença de contaminações ou produtos de corrosão na superfície fosfatizada.



O aspecto visual esperado das camadas fosfatizadas, quando observadas a olho desarmado ou com lupa com aumento de até 6 vezes, apresentam uma coloração de cinza escuro. É quase sempre possível visualizar os cristais deste tipo de camada de fosfatos, aumentos superiores devem ser empregados para uma melhor avaliação do tamanho de distribuição dos cristais. Um bom revestimento deve apresentar camadas fosfatizadas uniformes, livre de pontos ou áreas não fosfatizadas, livre de depósitos de qualquer natureza. Diferenças na coloração ou no aspecto não devem ser motivos de rejeição e sim de uma melhor avaliação.

#### **4.2 Característica e Tamanho dos Cristais de Fosfato**

Estes parâmetros são importantes, pois também determinam o desempenho da camada fosfatizada na aplicação a que se destina. O exame da característica e tamanho dos cristais é feito por meio de microscópio ótico utilizando-se aumentos que podem variar entre 200 a 2.000X. Uma maneira melhor para visualizar a estrutura cristalina da camada de fosfato é através de um microscópio eletrônico (MEV), este equipamento permite acompanhar tridimensionalmente o tamanho e formato dos cristais. Para este ensaio não é necessária uma preparação especial da amostra.

#### **4.3 Espessura ou Massa de Revestimento de Fosfato**

O parâmetro de controle mais utilizado é a massa de fosfato por unidade de área, usualmente referida como “massa de fosfato”. A determinação deste parâmetro é feita por método gravimétrico. O método gravimétrico por perda de massa consiste em determinar a perda de massa de um corpo-de-prova fosfatizado de área conhecida quando imerso numa solução capaz de dissolver a camada com mínimo ataque ao substrato.

#### **4.4 Massa de Sabão (Estearato de Zinco e Sódio)**

Em produtos fosfatizados destinados à conformação, conforme já visto, é pratica universal a aplicação de estearato de sódio (ou de potássio) como meio lubrificante. Parte do estearato de sódio se transforma em estearato de zinco pelo produto de reação do sabão com a camada fosfatizada. Muitas vezes deseja-se determinar a quantidade de estearato de zinco formada e a quantidade de estearato de sódio (ou de potássio) retida. Isto é feito através da determinação da perda de massa após imersão em solventes específicos. O processo é semelhante á determinação da massa de fosfato. O controle destes parâmetros é de grande importância para o bom desempenho da tira durante o processo de estampagem.

### **5 CONCLUSÃO**

Por todas as razões já apresentadas anteriormente, a tira de aço fosfatizada apresenta diversas vantagens, dentre as principais destacamos:

A **excelente estampabilidade**, pois através de um simples teste de embutimento pôde-se comparar o desempenho de uma tira de aço baixo carbono para estampagem profunda de espessura 1,13 mm com e sem revestimento de fosfato. Sem nenhuma lubrificação adicional ao ensaio, na tira de aço sem revestimento conseguiu-se uma profundidade de embutimento de 8,00 mm,

enquanto que na mesma tira, porém fosfatizada foi possível alcançar uma profundidade de até 8,70 mm. As Figuras 5(a) e 5(b) apresentam o resultados no ensaio de embutimento Erichsen.



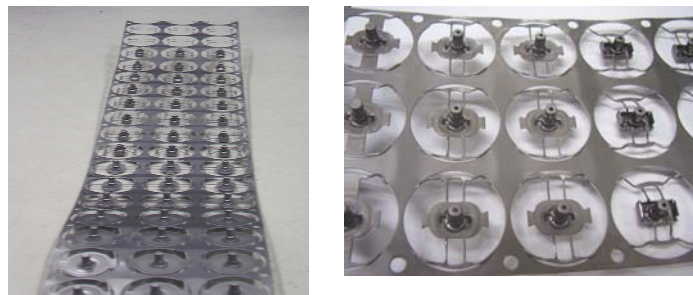
**Figura 5a:** Ensaio Erichsen no aço **SEM** revestimento  $IE_{21} = 8,00$  mm



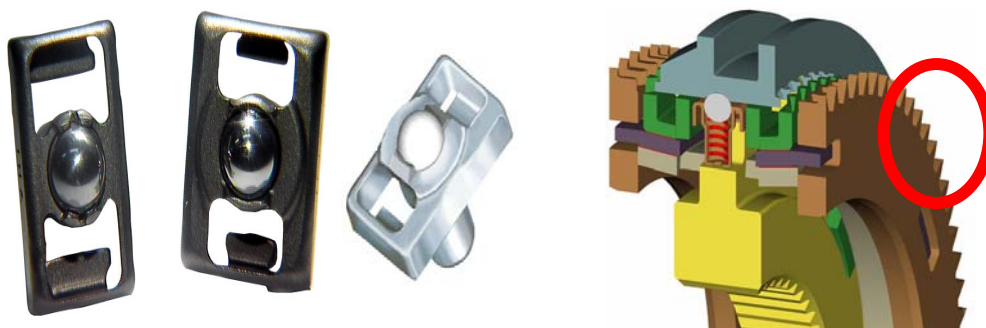
**Figura 5b:** Ensaio Erichsen no aço **COM** revestimento  $IE_{21} = 8,70$  mm

Esta diferença de comportamento é também observada durante a produção de componentes nas prensas industriais, onde o grau de deformação e as tolerâncias dimensionais desejadas para as peças são mais facilmente atingidas com o uso de tiras fosfatizadas.

A melhoria da estampabilidade com a aplicação do fosfato contribui de forma significativa para os ajustes de máquina e permite maiores velocidades de processamento. Nas Figuras 6 a 10 são apresentados exemplos de aplicações complexas onde a presença de fosfato na superfície de tira é indispensável.



**Figura 6:** Seqüência dos estágios de uma estampagem complexa em uma tira de aço baixo carbono de espessura de 0,63 mm, fosfatizada.



**Figura 7:** Posicionador dos anéis sincronizadores aplicados ao sistema de cambio.



**Figura 8:** Anéis internos e externos em aço alto carbono fosfatizado (esquerda) e rolamento de embreagem montado (direita).



**Figura 9:** Anel externo de rolamento de bucha repuxado (esquerda) e rolamento de bucha completo (direita), aplicado em conjunto do câmbio.



**Figura 10:** Tucho hidráulico aplicado em motores de automóveis.

Outra grande virtude do fosfato é sua **facilidade de remoção** após a conformação das peças, a não interferência do revestimento nos processos posteriores de tratamento térmico como têmpera e revenimento ou termoquímicos como a nitretação ou cementação, que são fundamentais para estes componentes que irão sofrer esforços de atrito em sua aplicação e devem ser resistentes ao desgaste, exemplo destes componentes são os anéis de rolamento, buchas, tuchos hidráulicos, etc.

A **qualidade superficial** de alguns componentes que após sua conformação, não serão submetidos a processos de acabamento superficial, como é o caso de alguns rolamentos de agulhas. Assim, a rugosidade superficial destes componentes já é determinada após a estampagem, o que exige além de uma excelente

qualidade superficial da tira relaminada, uma camada de fosfato adequada, para garantir a boa lubrificação entre o material e a ferramenta. A ausência de camada de fosfato ou até mesmo a sua qualidade inadequada resulta em um prematuro desgaste no ferramental e conseqüentemente a formação de riscos na superfície dos componentes estampados. A título de exemplo é apresentado na figura 11 um defeito gerado pela inadequada condição de fosfato. Este tipo de defeito é prejudicial à aplicação de rolamentos, pois gera ruídos e compromete sua vida útil.



**Figura 11:** Exemplo de peças com riscos ocasionados pela ausência de camada de fosfato.

A **vida útil das ferramentas** foi acompanhada durante processos de conformação utilizando tiras de aço fosfatizadas e tiras de aço sem revestimento. Para as tiras sem revestimento, foi necessário o polimento das ferramentas a cada 30.000 peças conformadas, enquanto que a conformação de peças a partir de tiras fosfatizadas a freqüência de retrabalho na ferramenta caiu para 130.000 peças produzidas, ou seja, apresentou um rendimento 4,3 vezes superior. Portanto, o fosfato, além de aumentar a vida útil das ferramentas, contribui com uma maior produtividade a medida que diminui-se também a freqüência de paradas de máquina para retrabalho dos punções e matrizes.

## REFERÊNCIAS

- 1 FERREIRA, F. A; SERENO, A.- O uso de fosfato de zinco como lubrificante em tiras de aço laminadas a frio utilizadas em processos de conformação. XI EBRATS Encontro Brasileiro de Tratamento de Superfícies - São Paulo - SP, Maio de 2003.
- 2 JAMES, D.- Phosphate coating and lubrication steel for cold extrusion. Sheet Metal Industries - Special Conference, p.171-189, 207, March.1961.
- 3 RAUSCH, W.-The phosphating of metals. 1st.ed. Great Britain: Redwood Press, 416p, 1990.
- 4 Metals Handbook - Surface cleaning, finishing and coating. 715p, 1987.
- 5 LORIN, G. - Phosphating of metals. Finishing Publications – Great Britain 222p, 1974.
- 6 KUEHNER, M. A. - Phosphate conversion coatings. Metal Finishing, v.83, n.8, p15-18, August 1985.
- 7 Relatório Interno da Brasmetal Waelzholz - Estudo da influência das características de camadas fosfatizadas nas operações de conformação com e sem lubrificantes – Projeto FAPESP.
- 8 NAIR, U.B.; SUBBAIYAN, M.- Evaluation of porosity of phosphate coatings. Transaction of the Institute of Metal Finishing - v.71, n.2, p.68-70, 1993.