

# OTIMIZAÇÃO DA VIDA ÚTIL DE MATRIZES PARA CONFORMAÇÃO A FRIO COM A UTILIZAÇÃO DE REVESTIMENTOS A BAIXA TEMPERATURA E BALINIT DUPLEX (NITRETAÇÃO A BAIXA PRESSÃO E PVD)<sup>1</sup>

Leoneros Acosta Barbosa<sup>2</sup>  
Rodrigo Lupinacci Villanova<sup>3</sup>

## Resumo

A finalidade deste trabalho é mostrar como identificar os mecanismos de degradação de matrizes para conformação a frio, bem como, evitá-los utilizando o tratamento termoquímico superficial de nitretação em conjunto com o revestimento PVD – Balinit Duplex ou revestimentos PVD a baixa temperatura (Balinit Arctic). O trabalho foi realizado analisando e catalogando várias matrizes para conformação a frio e seus principais mecanismo de degradação. Para a análise dos mecanismos de degradação das matrizes foram realizadas inspeções e caracterizações visuais, além de, uma análise minuciosa do processo e da aplicação. Além disso, o trabalho mostra como pode ser aumentada a vida útil da matriz utilizando o Balinit Duplex (nitretação a baixa pressão em conjunto com revestimento PVD) ou somente revestimentos PVD a baixa temperatura (Balinit Arctic). O trabalho mostra vários exemplos práticos de aumento de vida útil de matrizes para conformação a frio com excelentes ganhos em desempenho devido a serem tratadas superficialmente com o Balinit Duplex ou revestimentos PVD a baixa temperatura.

**Palavras-chave:** Conformação a frio; Nitretação; PVD.

## CYCLE LIFE OPTIMIZATION OF COLD CONFORMATION DIES APPLYING COATINGS WITH LOW TEMPERATURE AND BALINIT DUPLEX (LOW PRESSURE NITRIDING AND PVD)

### Abstract

The purpose of this work is to show how identify the wear systems of dies during the cold conformation and show how to avoid these wear mechanisms applying Surface Thermo - chemical treatment of Nitriding together with PVD coating – Balinit Duplex and PVD in Low temperature(Balinit Arctic). This work was made analyzing different dies for cold conformation and the main wear mechanisms. For this analyses were realized visual inspection and criteria analyses in the process and application. Moreover, the work show the Dies cycle life improvement applying Balinit Duplex (low pressure nitriding with PVD coating) or only low temperature PVD coating (Balinit Arctic). This work shows many practical examples of cycle life improvement of cold conformation dies and excellent profits in performance because they were treated with Balinit Duplex or low temperature PVD coatings.

**Key words:** Cold conformation; nitriding; PVD.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 6º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 20 a 22 de agosto de 2008, São Paulo, SP

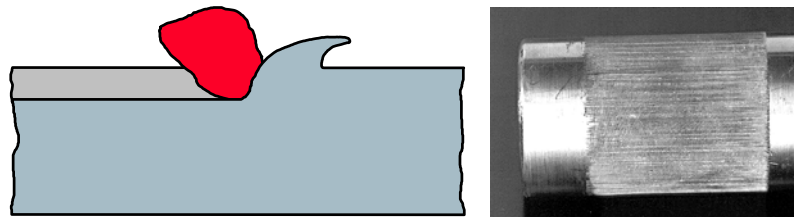
<sup>2</sup> Engenheiro Metalúrgico, Mestre em Engenharia Metalúrgica, Engenheiro de Processos e Aplicação, Oerlikon Balzers Revestimentos Metálicos.

<sup>3</sup> Engenheiro Metalúrgico, Doutor em Engenharia de Materiais, Gerente de Produto para Moldes e Matrizes, Oerlikon Balzers Revestimentos Metálicos.

## 1 INTRODUÇÃO

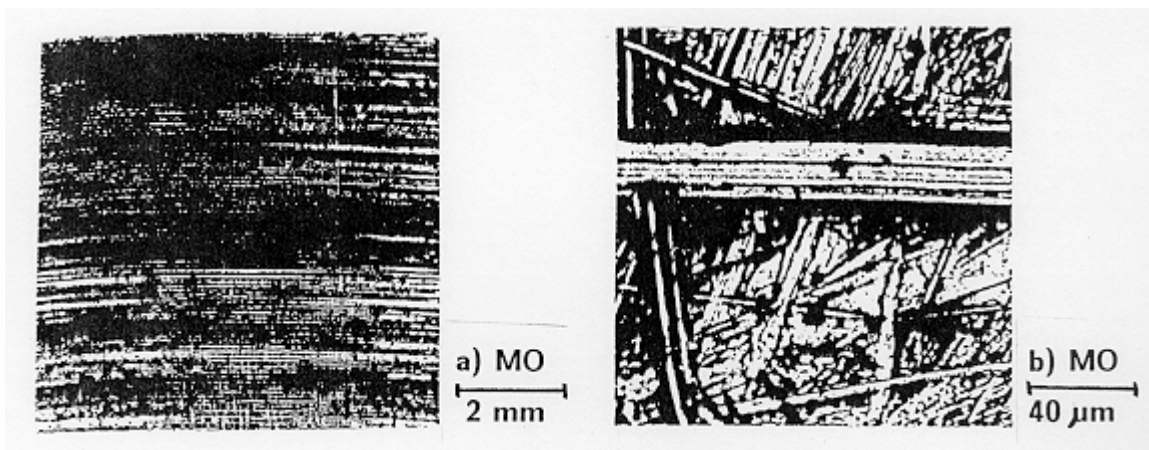
Os principais mecanismos de deterioração envolvidos nas ferramentas de conformação a frio são: desgaste abrasivo, desgaste adesivo, tribo-oxidação, lascamento ou quebra, deformação plástica e até mesmo desgaste múltiplo, ou seja, desgaste associado entre abrasão em conjunto com adesão e deformação plástica.

O desgaste abrasivo é a principal falha quando se trabalha com materiais duros como aços inoxidáveis e chapas estruturais. Este desgaste se dá com o atrito entre dois materiais de diferentes resistências mecânicas, onde o de maior dureza arranha o de menor dureza. Após isto temos a remoção de material ligado à irregularidade das superfícies ou partículas duras que originam conseqüentemente riscos, crateras e ondas, conforme mostrado nas Figuras 1 e 2.



Fonte: Oerlikon Balzers.

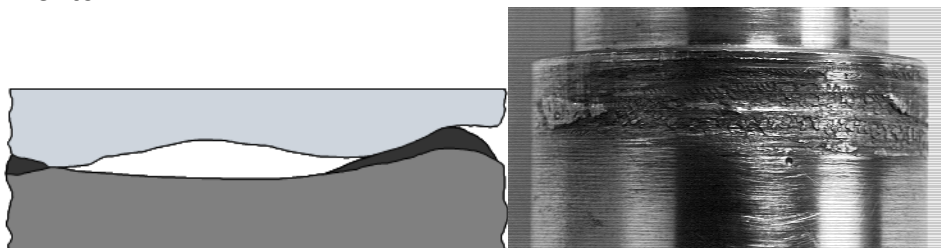
**Figura 1** – Esquema mostra como se dá a deterioração por desgaste abrasivo e um exemplo prático.



Fonte: Oerlikon Balzers.

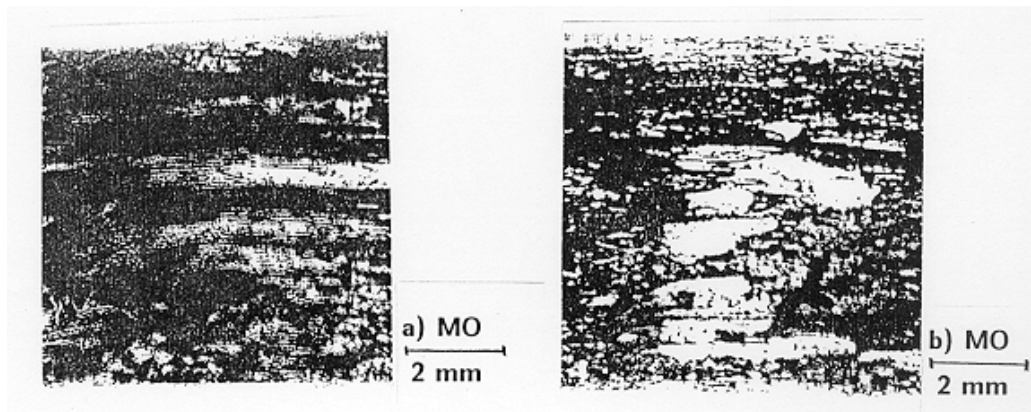
**Figura 2** – Micrografias mostram superfícies com o desgaste abrasivo.

O processo de desgaste adesivo é a principal falha quando se trabalha com materiais macios como ligas de alumínio, ligas de cobre, aços de baixo teor de carbono e aço inoxidável, conforme as Figuras 3 e 4. A aderência do material causa rasgamento, solda a frio e em casos extremos, quebra da ferramenta por engripamento.



Fonte: Oerlikon Balzers.

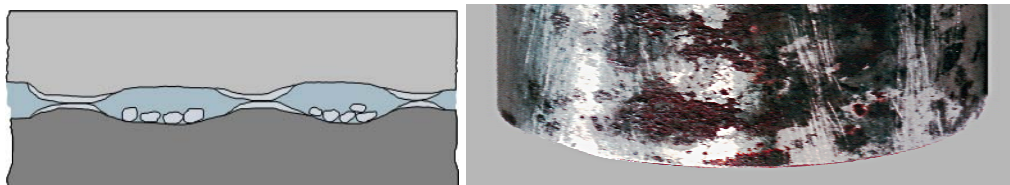
**Figura 3** – Esquema mostra como se dá a deterioração por desgaste adesivo e um exemplo prático.



Fonte: Oerlikon Balzers.

**Figura 4** – Micrografias mostram superfícies com adesão de material.

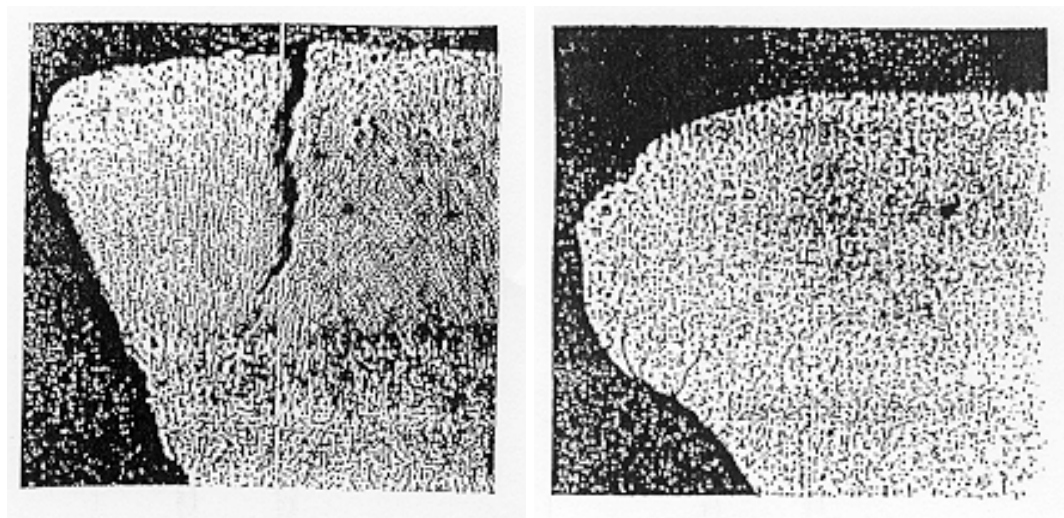
O desgaste por tribo-oxidação se dá pela formação de reações com produtos químicos devido ao atrito alternado, conforme mostrado na figura 5.



Fonte: Oerlikon Balzers.

**Figura 5** – Esquema mostra como se dá a deterioração por tribo-oxidação e um exemplo prático.

Além destes desgastes citados acima temos ainda lascamentos ou quebras de ângulos dos moldes, isto, devido à tenacidade inadequada ou engripamento do material utilizado. Já a deformação plástica, observada na figura 6, é um mecanismo que se dá quando o esforço na ferramenta é muito alto e a resistência da ferramenta é muito baixa.

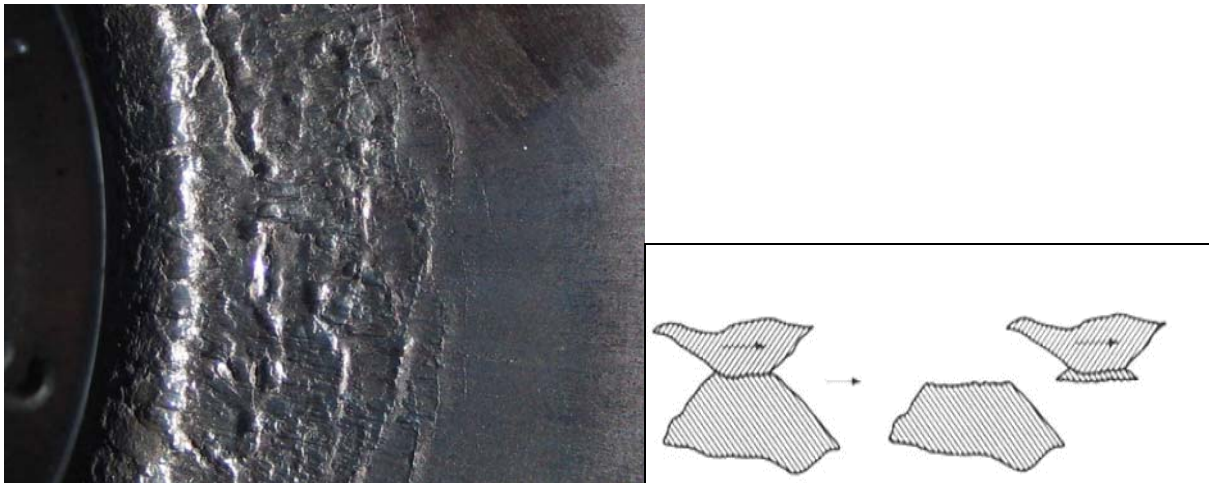


Fonte: Oerlikon Balzers.

**Figura 6** – Imagem mostra a deterioração de um ângulo do molde ou ferramenta por lascamento.



Na Figura 7 é mostrado o mecanismo de deterioração associado entre abrasão, adesão e deformação plástica.



Fonte: Oerlikon Balzers.

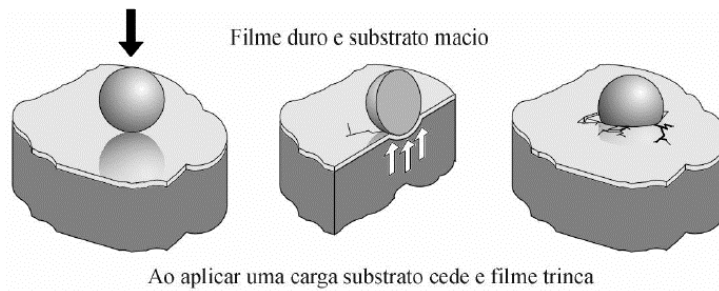
**Figura 7** – Imagem mostra um exemplo do mecanismo de deterioração associado entre abrasão, adesão e deformação plástica.

O uso do tratamento Duplex alia os benefícios proporcionados tanto pela nitretação como pelo revestimento PVD. Quando o processo de nitretação é realizado adequadamente e a camada nitretada tem uma profundidade apropriada, tensões compressivas são geradas na superfície, contribuindo assim para retardar a nucleação e a propagação das trincas de fadiga, retardando, portanto, a falha por fadiga mecânica. Os revestimentos PVD, de um modo geral, são inertes quimicamente, têm baixo coeficiente de atrito, alta dureza, e alta estabilidade térmica.

Devido a esta combinação de propriedades, os revestimentos diminuem sensivelmente o desgaste abrasivo pelo aumento da dureza do substrato, auxiliam na diminuição do desgaste adesivo devido à redução do coeficiente de atrito e a tribo-oxidação é dificultada pelo fato do revestimento PVD ser inerte quimicamente.

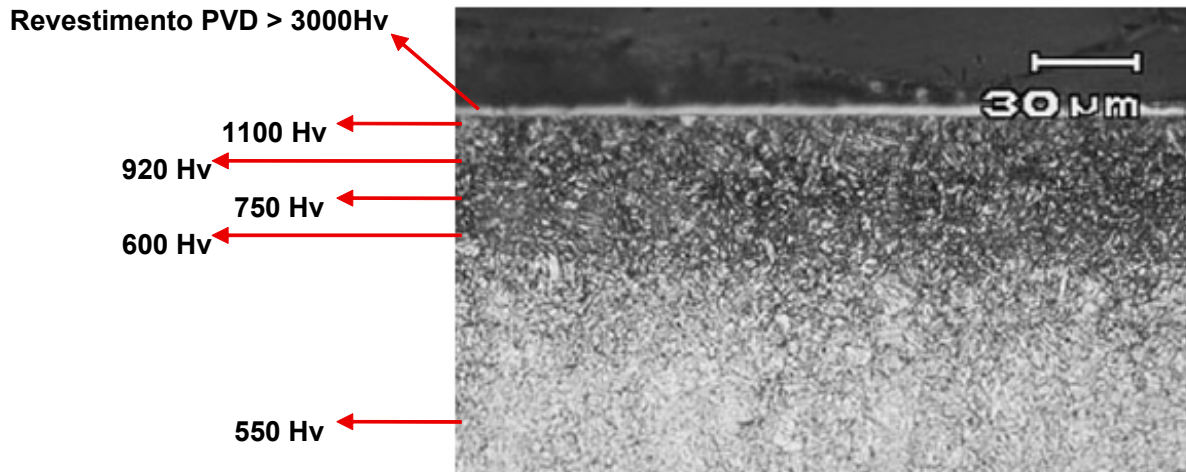
Já para se evitar lascamento / quebra e trincas, as características mecânicas do aço (tenacidade e ductilidade) devem ser otimizadas. O tratamento térmico tem uma grande influência nas características do aço; a dureza é apenas um aspecto.<sup>[1]</sup> A quebra das ferramentas é frequentemente resultado do engripamento, ou seja, em primeiro momento ocorre o engripamento da ferramenta e consecutivamente um aumento das tensões e a quebra. Logo, com o revestimento PVD temos uma diminuição do coeficiente de atrito e minimizamos este tipo de deterioração e também a deformação plástica.

Além disso, a camada nitretada proporciona a formação de um gradiente de dureza da superfície até o núcleo do material. Como a diferença de dureza entre o revestimento e o aço temperado e revenido é muito alta, pode haver ocorrência do fenômeno da “casca de ovo”, isto é, como o substrato é muito macio em relação ao revestimento, a aplicação de uma carga pode levar ao rompimento do mesmo, comprometendo sua eficiência. A presença da camada nitretada minimiza este efeito devido ao gradiente de dureza gerado. A figura 8 ilustra este efeito, enquanto que a figura 4 mostra o gradiente de dureza que existe num tratamento Duplex.<sup>[1-3]</sup>



Fonte: Oerlikon Balzers.

**Figura 8** – Efeito “casca de ovo”.



Fonte: Oerlikon Balzers

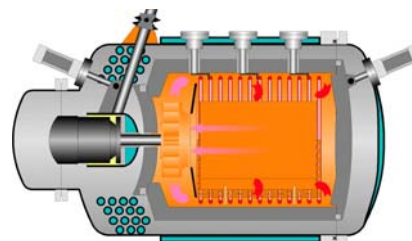
**Figura 9** – Gradiente de dureza obtido no tratamento Duplex.

Basicamente, existem quatro tipos de processos de nitretação disponíveis comercialmente: banho de sais, o gás, a plasma, e à baixa pressão. Este último foi introduzido recentemente no Brasil pela Oerlikon Balzers, e consiste na utilização de gases geradores de nitrogênio atômico à baixa pressão durante o processo. A boa homogeneização da temperatura e do fluxo de gases que se consegue graças à baixa pressão e o uso de uma turbina no forno permite a obtenção de camadas nitretadas compactas e homogêneas. Além disso, o uso deste processo permite um controle relativamente simples da espessura da camada e a inexistência da camada de compostos (camada branca), que pode ser prejudicial para muitas aplicações.

A Figura 10 mostra o equipamento utilizado neste processo, enquanto que a Tabela 1 é um quadro comparativo entre os diversos processos de nitretação citados anteriormente.



Forno de nitretação à baixa pressão.



Interior da câmara, mostrando a turbina e o fluxo de gases durante o processo.

Fonte: Oerlikon Balzers.

**Figura 10** – Forno de nitretação à baixa pressão.

**Tabela 1** – Quadro comparativo entre os processos de nitretação disponíveis comercialmente.

Tecnologia de nitretação	Gás	Sal	Plasma	Baixa Pressão
Benefícios				
Homogeneidade da camada nitretada	••	••	•	•••
Possibilidade de tratamento em furos profundos	•	•	—	•••
Seleção de camadas nitretadas	—	—	•••	•••
Camadas compactas	—	—	•••	•••
Peças sem oxidação superficial	—	—	•••	•••

Fonte: Oerlikon Balzers

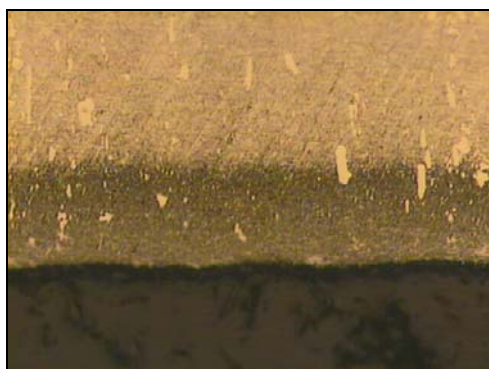
Legenda: ••• Excelente; •• Bom; • Regular; — Ruim.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado analisando e catalogando várias matrizes para conformação a frio e seus principais mecanismo de degradação. Para a análise dos mecanismos de degradação das matrizes foram realizadas inspeções e caracterizações visuais. Além disso, o trabalho mostra como pode ser aumentada a vida útil da matriz utilizando o Balinit Duplex (nitretação a baixa pressão em conjunto com revestimento PVD) ou somente revestimentos PVD para aços com baixa temperatura de revenimento (Balinit Arctic).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 11 mostra os resultados das análises metalográficas realizadas em corpo de prova de material D2 após o processo de nitretação. A profundidade efetiva de camada obtida ficou em torno de 0,08 mm, e a mesma foi analisada em termos do perfil de microdureza Vickers (HV0,3). Para determinação da profundidade efetiva de camada, foi utilizado o critério dureza do núcleo mais 100HV.



Fonte: Oerlikon Balzers

**Figura 11** - Análise metalográfica de corpo de prova do aço D2 utilizado durante o processo de nitretação, mostrando a morfologia da camada. Aumento 200X.

Pela análise da morfologia da camada obtida, percebe-se a inexistência da camada branca de nitretação, a qual é prejudicial quando se deseja realizar o tratamento Duplex. Além disso, pode-se observar também que a camada nitretada é bastante compacta, homogênea e isenta de trincas e de formação de redes de carbonitreto. A dureza do núcleo permaneceu inalterada, mostrando que a temperatura do processo de nitretação não afetou as características do tratamento térmico anterior.

Na Tabela 2 observa-se a economia obtida em sete testes industriais com revestimento Balinit Duplex Lumena para lâminas conformadas.

**Tabela 2** – Economia obtida em sete testes industriais com revestimento Balinit Duplex Lumena.

	Aumento da vida útil da ferramenta	Economia de tempo de parada da prensa	Economia de manutenção	Redução de lubrificação (em %)
Teste nº 1	x 3	72 hrs.	37 hrs.	100
Teste nº 2	x 3	44 hrs.	44 hrs.	95
Teste nº 3	x 8	133 hrs.	100 hrs.	100
Teste nº 4	x 5	32 hrs.	(\$100 000 )	0
Teste nº 5	x 4	150 hrs.	40 hrs.	100
Teste nº 6	x 2	240 hrs.	100 hrs.	100
Teste nº 7	x 3	700 hrs.	100 hrs.	100

Fonte: Oerlikon Balzers.

A Figura 12 ilustra as chapas conformadas que obtiveram a economia comentada na Tabela 2.



Fonte: Oerlikon Balzers.

**Figura 12** – Imagens mostram as chapas conformadas.



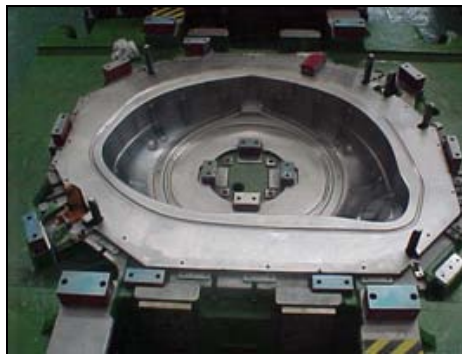
A Figura 13 mostra o molde de pára-choque do caminhão Ford revestido com Balinit Duplex Alcrona para um prensa de 3 toneladas numa operação somente.



Fonte: Oerlikon Balzers.

**Figura 13**-Imagens mostram o molde do pára-choque do caminhão Ford revestido com Balinit Duplex Alcrona.

Na Figura 14 é mostrado o molde da caixa de roda revestida com Balinit Lumena que teve um ganho de aproximadamente três vezes a vida útil.



Fonte: Oerlikon Balzers.

**Figura 14**-Imagem mostra o molde da caixa de roda revestida com Balinit Lumena que teve um ganho de três vezes a vida útil.

Na Figura 15 observa-se um molde para conformação que depois de revestido com duplex lumena está conseguindo conformar 11 toneladas atualmente.



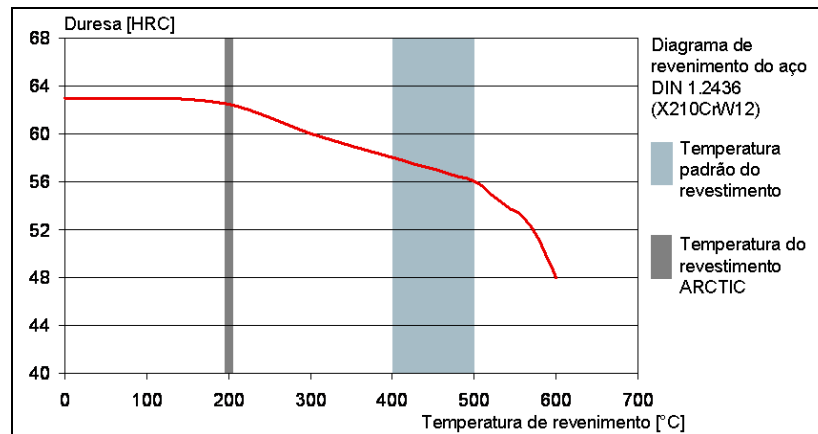
Fonte: Oerlikon Balzers.

**Figura 15**-Imagem mostra o molde para conformação com 11 toneladas de peças conformadas atualmente.

Para moldes com baixa temperatura de revenimento a Oerlikon balzers atualmente oferece aos seus clientes o revestimento PVD Balinit Arctic. Ele oferece



muitos benefícios por se tratar de um revestimento realizado a temperatura máxima de 200°C, sendo assim, o material revestido não irá ter perda no gradiente de dureza, previne alterações dimensionais, as propriedades e performance ficam inalteradas com uma excelente adesão. Na Figura 16 é ilustrada a curva de revenido para o aço DIN 2436 e este demonstra que o revestimento PVD Balinit Arctic não altera as propriedades mecânicas do molde.



Fonte: Oerlikon Balzers

**Figura 16**-Imagem ilustra a curva de revenido do aço DIN 2436 se fosse revestido Balinit PVD para aços com alta temperatura de revenimento e Balinit PVD Arctic.

## 5 CONCLUSÕES

A vida útil das matrizes de conformação foi comparada com a condição de somente temperada e revenida, sem nenhum tipo de tratamento superficial. Isto fez com que obtivéssemos um ganho em vida útil de até oito vezes a vida da ferramenta comparado a matriz sem revestimento. Sendo assim, mesmo com os custos associados ao tratamento superficial Duplex Lumena, existe uma grande economia no final devido ao aumento significativo observado na vida útil do molde. Além disso, o uso deste tratamento torna a manutenção das matrizes mais fácil, diminuindo tempo de máquina parada, e facilita a extração das peças, podendo resultar em diminuição do tempo de ciclo, eliminação de lubrificante e aumento de produtividade.

O uso do tratamento superficial Duplex Lumena e Alcrona para matrizes de conformação (feitas de aços com alta temperatura de revenimento) e o uso de Balinit Arctic (para aços de baixa temperatura de revenimento) tem-se mostrado bastante vantajoso, pois de acordo com os resultados discutidos anteriormente, que foram obtidos em condições reais de processo, é possível atingir aumentos consideráveis de vida útil, resultando em diminuição de custos.

## REFERÊNCIAS

- 1 MENDANHA, A., GOLDENSTEIN, H., PINEDO, C., Tratamento do Aço Ferramenta AISI D2 para Conformação e Corte, [www.heattech.com.br/publicacoes/2005](http://www.heattech.com.br/publicacoes/2005) 2005.
- 2 PERSSON, A., HOGMARK, S., BERGSTRÖM. Thermal fatigue cracking of surface engineered hot work tool steels Surface and Coatings Technology, v. 191, p. 216-227, 2005.
- 3 PANJAN, P., CEKADA, M., KIRN, R., SOKOVIC, M. Improvement of die-casting tools with duplex treatment. Surface and Coatings Technology, v. 180-181, p. 561-565, 2004.