

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
FERNANDA ANGÉLICA MAFRA

N. CLASS.....
CUTTER.....
ANO/EDIÇÃO.....

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DOS TRATAMENTOS SUPERFICIAIS DE
NITRETAÇÃO E REVESTIMENTO EM PVD NA OPERAÇÃO DE REPUXO DO
FLANGE DO BOTOIJÃO P13**

Varginha
2014

FEPESMIG

FERNANDA ANGÉLICA MAFRA

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DOS TRATAMENTOS SUPERFICIAIS DE
NITRETAÇÃO E REVESTIMENTO EM PVD NA OPERAÇÃO DE REPUXO DO
FLANGE DO BOTIJÃO P13**

Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas-UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel sob orientação do Prof. Esp. Fabiano F. de Oliveira.

**Varginha
2014**

Grupo Educacional UNIS

FERNANDA ANGÉLICA MAFRA

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DOS TRATAMENTOS SUPERFICIAIS DE
NITRETAÇÃO E REVESTIMENTO EM PVD NA OPERAÇÃO DE REPUXO DO
FLANGE DO BOTIJÃO P13**

Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas-UNIS/MG, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof.º: Thairone Conti Serafini Aguiar

Prof.º: Gilson Gomes da Silva

Prof.º: José Roberto Vicente

OBS.:

Dedico este trabalho a minha Mãe que com suas sábias palavras me confortaram nos momentos de dificuldade e com quem compartilho todas minhas alegrias e conquistas, ao Guilherme por sua paciência, compressão e motivação para me fazer seguir em frente. Dedico a Senhora Iva que foi umas das responsáveis pela formação do meu caráter e valores, mas que infelizmente não está mais entre nós, e para todos os amigos e familiares que de alguma maneira fazem parte dessa conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, à minha família, aos meus professores, colegas e amigos por estarem sempre presentes em minha vida contribuindo direta ou indiretamente para a construção deste trabalho.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.

Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

Este trabalho baseia-se no estudo realizado em uma empresa brasileira do ramo metalúrgico, que utiliza no processo de repuxo do flange P13, punções em aço VC131 temperados e polidos. A eficiência desses punções não estava atendendo a necessidade de produção, tornando-se um problema sério, já que o cilindro P13 é o segundo produto mais comercializado pela a empresa. Inicialmente foi observado que o punção não apresentava boa resistência, pois era substituído ou polido em curtos intervalos de tempo, produzindo cerca de 4000 peças/punção. Quando um punção era polido mais de duas vezes já apresentava menos eficiência e sua troca se fazia necessário. A parada de máquina para substituição do punção prejudicava a produção, causando prejuízo à empresa. Em busca do aumento no desempenho do punção, a empresa decidiu buscar no mercado soluções em tratamentos superficiais que proporcionassem aumento da produtividade e diminuição na quebra e desgaste dos punções. Baseando-se nas características do processo, material utilizado e necessidade da empresa, foi definido o tratamento denominado Balinit Lumena Duplex, que se trata da combinação do Revestimento em PVD com a Nitretação à baixa pressão. O punção revestido possui o custo um pouco maior na sua confecção, mas compensa em número de peças produzidas que passou a ser de 100.000 por punção. Isso agregado à diminuição de set up e paradas na produção trouxe para a empresa um ganho bastante significativo, que pode ser visualizado em uma conta simples sobre o custo do punção pelas peças produzidas por ele.

Palavras-chave: Repuxo. Revestimento. Nitretação. Punção.

ABSTRACT

This work is based on a study conducted in a Brazilian company in the metal industry, which uses the stamping process of the flange P13, VC131 steel punches hardened and polished. The efficiency of these punches was not meeting the need of production, becoming a serious problem, once the P13 cylinder is the second most commercialized product by the company. Initially, it was observed that punches did not have good resistance, as it was replaced or polished at short intervals of time, producing about 4000 pieces/punch. When a punch was polished more than twice it was already less efficient and a new one was needed. Stopping the machine to replace the punch damages the production, causing loss to the company. Searching for an improvement in the performance of the punch, the company decided to seek market solutions in surface treatments that would provide increased productivity and decreased breakage and punches waste. Based on the characteristics of the process, material used and business needs, the treatment called BALINIT Lumena Duplex, that it is the combination of PVD coating with low pressure nitriding was defined. The coated punch has the slightly higher cost in the making, but lacks a number of items produced, which increased to 100.000 by punch. This added to the reduction of set-up and production stoppages brought to the company a very significant gain, which can be viewed in a single account on the cost of the punch for parts produced by it.

Keywords: *Stamping. Coating. Nitriding. Punch.*

LISTAS DE FIGURAS

Figura 01 - Ferramenta de Repuxo.....	15
Figura 02 - Flange posicionado na Ferramenta para repuxo	16
Figura 03 - Flange	16
Figura 04 - Flange Repuxado	16
Figura 05 - Flange fixado ao botijão P13	17
Figura 06 - Punção em VC131, temperado e revenido.....	18
Figura 07 - Equipamento para Nitretação à baixa pressão	20
Figura 08 - Equipamento de PVD	21
Figura 09 - Punção com Tratamento Superficial	22
Figura 10 - Punção desgastado	23
Figura 11 - Benefícios Balinit Lumena Duplex	24

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 AÇOS UTILIZADOS NOS PUNÇÕES	11
2.1 Aços VC 131	11
2.2 Aços VF 800	11
2.3 Aços D2	12
2.4 Comparativo	12
3 TRATAMENTOS TÉRMICOS	13
3.1 Têmpera	13
3.2 Revenimento	13
4 PROCESSO DE REPUXAMENTO	15
4.1 Ferramenta para Repuxo do flange	15
4.2 Características do flange	15
5 METODOLOGIA	17
5.1 Processo	17
5.2 Problemas no processo	18
6 DEFINIÇÃO DO TRATAMENTO A SER UTILIZADO	19
6.1 Tratamento Superficial de Nitretação	19
6.1.1 Nitretação “Baixa Pressão”	19
6.2 Revestimento em PVD	20
6.3 Processo Balinit Lumena Duplex	21
6.3.1 Características do processo Balinit Lumena Duplex	21
6.3.2 Benefícios do processo Balinit Lumena Duplex	23
6.3.2.1 Função da Nitretação	24
6.3.2.2 Função do Revestimento PVD	24
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
7.1 Comparativo Peças batidas por Punção	25
7.2 Custos do Processo	25
7.2.1 Custos Punção sem Nitretação e Revestimento em PVD	26
7.2.2 Custos Punção com Nitretação e Revestimento em PVD	26
7.2.3 Custos do Set Up	26
8 CONCLUSÃO	27
REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

Hoje em dia com a competitividade que o mercado se encontra, as empresas precisam se destacar de alguma forma, seja em processo ou produto, para que não perca seu espaço e obtenha vantagens positivas em relação aos concorrentes.

É importante identificar dentro de uma empresa, processos deficientes e que trazem prejuízo ou limite de alguma forma a lucratividade. Às vezes pequenas atitudes, tempo e paciência dedicados, podem trazer reduções de custo e evitar gastos desnecessários no processo.

Em um dos processos de produção do cilindro P13, é utilizado um punção para o repuxo do flange que compõe esse produto. Com o aumento da concorrência no mercado, o cilindro P13 precisa manter-se rentável para a empresa e ao mesmo tempo com um preço competitivo. Com o passar do tempo, este punção perdeu a eficiência e deixou de atender a necessidade da empresa em número de peças e resultando em prejuízos com o aumento de set up.

Em busca do aumento no desempenho do punção, a empresa decidiu buscar no mercado soluções em tratamentos superficiais que proporcionassem aumento da produtividade e diminuição na quebra e desgaste dos punções.

Este trabalho tem por objetivo apresentar a importância da combinação do tratamento superficial de Nitretação e Revestimento em PVD nestes punções, verificando se realmente houve eficiência e aumento da produtividade com essa mudança.

Pesquisar sobre a eficiência dos tratamentos superficiais e revestimentos demonstrará a importância de que em uma empresa sempre devemos buscar a melhoria contínua dos processos, visando sempre à qualidade e redução de custo, proporcionando maior competitividade em relação ao mercado.

2 AÇOS UTILIZADOS NOS PUNÇÕES

Neste capítulo será descrito as características dos aços utilizados nos punções antes e após a utilização do tratamento superficial de Nitretação e Revestimento em PVD.

O aço carbono é o material de maior utilização em diversas áreas, principalmente na mecânica. A razão é que o aço carbono, além de ser um material de fácil usinagem, de boa soldabilidade e de fácil acesso para compra, é encontrado em todas as formas de apresentação. É o material metálico de menor preço em relação a sua resistência mecânica.

2.1 Aços VC 131

Segundo a Villares Metals (2014), o Aço VC 131 é utilizado para trabalho a frio com extrema estabilidade dimensional do tipo conhecido como indeformável. Aço com alta resistência ao desgaste, especialmente em condições abrasivas.

Aço muito utilizado em matriz de corte, facas e tesouras de alto rendimento, para cortes de aço silício e chapas de até 4 mm de espessura.

O Aço VC 131 possui 2,10 % de carbono, 11,5% de cromo e durezas de utilização de 56 – 62 HRC.

Esse material era utilizado nos punções sem o revestimento e nitretação. Não era realizado nenhum tratamento especial, apenas a têmpera a fim de obter uma superfície dura e de maior resistência ao desgaste e a abrasão.

O aquecimento para têmpera desse material deve ser entre 950 e 970 °C. O resfriamento pode ser realizado em óleo apropriado, com agitação e aquecimento entre 40 e 70 °C, banho de sal fundido, mantido entre 500 e 550°C, ou em ar calmo.

2.2 Aços VF 800

Segundo o site da Villares Metals (2014), o Aço VF 800 é utilizado para trabalho a frio com elevada tenacidade e resistência ao desgaste. Apropriado para aplicações em matrizes e punções para corte e repuxo, ferramentas de cunhagem e facas de corte a frio de chapas finas.

O Aço VF800 possui 0,85% de carbono, 8,4% de cromo e durezas de utilização de 56 - 62 HRC.

O VF800 passa por um processo chamado ISOMAX, que torna a estrutura do aço mais homogênea e compacta, reduzindo a segregação de elementos de liga, impurezas e a quantidade de inclusões.

Esse aço é um dos materiais utilizados nos punções que recebem o tratamento superficial de nitretação e revestimento em PVD.

2.3 Aços D2

Segundo a Gerdau (2014), o Aço D2 é utilizado para trabalho a frio, indeformável, temperável no ar, podendo ainda ser temperado em óleo. Possui alta resistência ao desgaste, menor tenacidade se comparado com o Aço VF800.

É utilizado em matrizes e punções de conformação e corte, ferramentas para dobramento, repuxo, extrusão e facas em geral.

O Aço D2 possui 1,5% de carbono, 12% de cromo e durezas de utilização de 56-60 HRC.

Esse aço é capaz de combinar dois ciclos de tratamento térmico diferentes, permitindo com isso o uso posterior de tratamentos superficiais de nitretação e revestimento em PVD. O D2 é o material mais utilizado para a fabricação dos punções.

2.4 Comparativo

Em relação ao custo dos aços citados acima, o aço com custo mais elevado é o VC 131, que possui elevado teor de carbono se comparado com o os demais. Ele era utilizado nos punções sem revestimento.

Em relação aos aços de D2 e VF800, a diferença é bem pequena e não influencia na escolha no material, já que também ambos têm bom desempenho nos punções com revestimento. Uma peça com as dimensões abaixo, tem capacidade de produzir 10 punções.

Quadro1 – Dimensões Material Punção

DIMENSÕES: 1"1/2 X 1000 MM			
Aço	Peso/Kg	R\$/ Kg	Valor Total
VC 131	14,68	17,90	262,77
VD2	9,584	17,90	171,55
VF800	8,684	17,70	153,71

Fonte: Villares Metals (2014)

3 TRATAMENTOS TÉRMICOS

Segundo Silva e Mei (2010), tratamentos térmicos são processos nos quais aços e ligas são submetidas, com o objetivo da melhoria de suas propriedades mecânicas, dentre eles: alívio das tensões internas, aumento da resistência mecânica, melhora da ductibilidade e usinabilidade, maior resistência ao desgaste, corrosão e calor, visando restabelecimento da estrutura cristalina normal. Entre as ligas ferrosas, os aços são os que mais se utilizam esses tratamentos.

A construção mecânica exige peças metálicas de determinados requisitos, de modo a torna-las aptas a suportar satisfatoriamente as condições de serviço a que estarão sujeitas. Esses requisitos relacionam-se principalmente com completa isenção de tensões internas e propriedades mecânicas compatíveis com as cargas previstas. (CHIAVERINI, 1986, p. 240).

Esses tratamentos envolvem operações de aquecimento e resfriamento subsequente, dentro das condições controladas, como temperatura, tempo, ambiente e velocidade de resfriamento.

Segundo Silva e Mei (2010), os tratamentos térmicos dos aços e ligas especiais englobam uma das mais amplas faixas de temperaturas dentre processos industriais, variando desde o tratamento subzero (temperaturas abaixo de 0°C) para estabilização, até a austenitização de alguns tipos de aços rápidos a 1280°C.

3.1 Têmpera

Segundo Chiaverini (1986), a têmpera é o tratamento mais importante dos aços, principalmente os que são utilizados em construção mecânica.

A têmpera é caracterizada pelo resfriamento rápido (alguns segundos) a partir de uma temperatura onde exista 100% de austenita. O resfriamento deve acontecer em um meio como óleo, água, salmoura ou ao ar. Temperatura e meio de resfriamento dependem da composição do aço.

Esse tratamento resulta em aços temperados, com estrutura martensítica que promove o aumento da dureza, redução na tenacidade, resistência ao desgaste e resistência à tração. Ao mesmo tempo as propriedades relacionadas com a ductilidade sofrem uma apreciável diminuição e tensões internas são originadas em grande intensidade.

3.2 Revenimento

Segundo Silva e Mei (2010), após a têmpera, o material se apresenta com elevadas tensões internas. Estas tensões internas (elevado valor de dureza) podem ser reduzidas através do revenimento, onde o material é aquecido por um tempo e temperatura determinados.

A temperatura e o tempo de tratamento variam conforme os elementos de liga e propriedades desejadas. Alguns dos objetivos do revenimento são:

- a) Aliviar ou remover as tensões provenientes do processamento.
- b) Corrigir a dureza e a fragilidade, aumentando a ductibilidade e a tenacidade.
- c) Transformação de austenita retida em martensita.

A temperatura do revenimento é sempre inferior à temperatura de austenitização.

4 PROCESSO DE REPUXAMENTO

Segundo Chiaverini (1986), o repuxamento é um processo que consiste na conformação de chapas metálicas em cilindros sem costura, cones, semi-esferas ou outras formas circulares, utilizando uma combinação de rotação e esforço mecânico.

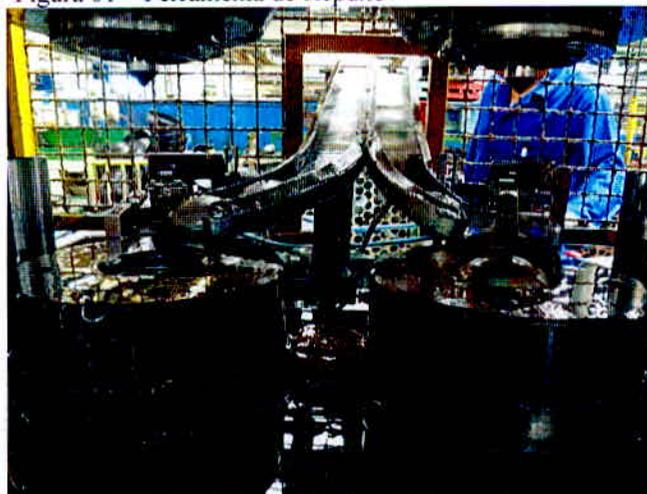
Geralmente esse processo é levado a efeito em torno, em que o cabeçote se prende uma placa circular do metal a ser repuxado, e ao mesmo tempo a ferramenta é forçada de encontro à placa. Qualquer metal dúctil que pode ser conformado a frio em outro processo, pode ser submetido ao repuxamento.

Quando mecanizado, esse processo pode conformar vários tipos de objetos, desde pequenas peças até grandes componentes para aplicações sofisticadas, como do setor aeroespacial.

4.1 Ferramenta para Repuxo do flange

A ferramenta trabalha com duas entradas para o flange e proporciona o repuxo dos dois simultaneamente.

Figura 01 – Ferramenta de Repuxo



Fonte: O autor.

4.2 Características do flange

O flange é produzido em Aço 1006, com espessura de 8,0 mm.

Figura 02 – Flange posicionado na Ferramenta para repuxo



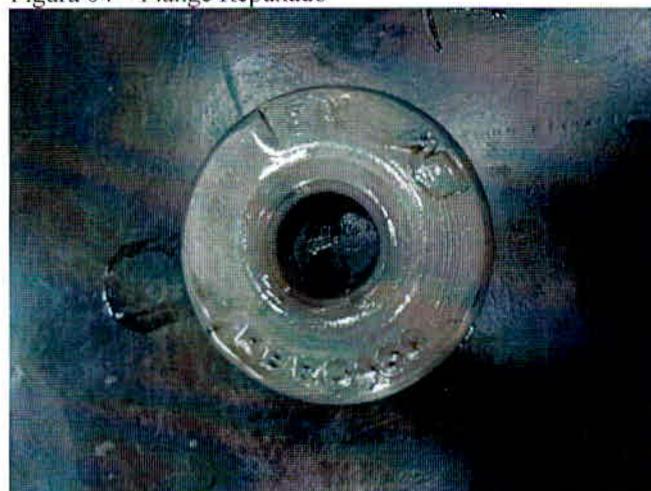
Fonte: O autor.

Figura 03 – Flange



Fonte: O autor.

Figura 04 – Flange Repuxado



Fonte: O autor.

5 METODOLOGIA

Neste capítulo serão abordado todos os problemas e dificuldades enfrentados no processo de repuxo do flange P13. Serão discutidos os motivos que levaram ao uso do tratamento superficial de nitretação e revestimento em PVD, e verificaremos se realmente houve melhora no processo após essa mudança.

5.1 Processo

Na estrutura do botijão P13 são necessários vários elementos, um deles é o flange que tem por objetivo fixar a válvula de segurança. Antes de ser fixado ao corpo do botijão ele precisa passar por alguns processos, um dos principais é o repuxo. Ele proporciona ao flange a conformação necessária e nos padrões exigidos pelas normas.

Após o repuxo, o flange ainda passa por outros processos até que seja fixado ao botijão, portanto o bom desempenho no repuxo proporciona bons resultados nos demais processos.

Um dos elementos utilizados no repuxo é o punção. Ele é um dos mais importantes, pois é ele quem faz o orifício de entrada da válvula. Suas dimensões precisam ser exatas, sem margens para erros, pois qualquer diferença com o diâmetro do punção pode prejudicar a entrada da válvula, causando vazamentos.

Figura 05 – Flange fixado a botijão P13



Fonte: O autor.

5.2 Problemas no processo

Durante muito tempo o punção utilizado para o repuxo do flange P13 era confeccionado com Aço VC 131 que possui 2,10 % de carbono, 11,5% de cromo e durezas de utilização de 56 – 62 HRC e era tratado termicamente com têmpera e revenido para alívio das tensões.

Figura 06 – Punção em VC131, temperado e revenido.



Fonte: O autor.

Após o tratamento térmico, o punção era disponibilizado para ser utilizado no repuxo, porém sua produtividade não era satisfatória. O problema podia ser notado visualmente, o desgaste era muito grande em um curto período de tempo, além de alguns chegarem a quebrar dentro da ferramenta.

Um punção produzia em média 4000 peças e já necessitava de polimento, caso ultrapassasse dois polimentos, o punção já deveria ser descartado, pois seu diâmetro já estava comprometido e sua eficiência reduzida.

A parada de máquina para substituição do punção prejudicava a produção, causando prejuízo à empresa. A empresa também se preocupava com os riscos que a quebra de punção poderia causar ao operador.

6 DEFINIÇÃO DO TRATAMENTO A SER UTILIZADO

O botijão P13 é um dos produtos mais comercializados pela empresa, portanto o processo de repuxo do flange é essencial para que a produção desse item seja lucrativa.

A fim de melhorar o desempenho do punção e evitar acidentes, que poderiam ocorrer com a quebra dele, foi definido que o punção deveria ser analisado por uma empresa especializada em tratamentos superficiais.

Foi proposto que o punção deveria passar por um tratamento superficial que combinaria a nitretação com revestimento em PVD, onde possivelmente os objetivos mencionados acima seriam alcançados.

6.1 Tratamento Superficial de Nitretação

Segundo a Oerlikon Balzers (2014), a nitretação é um processo termoquímico realizado através da introdução de nitrogênio na superfície da ferramenta, em temperaturas entre os 400°C e 600 °C , proporcionando dureza ao substrato e formação de uma camada dura de nitretos.

As vantagens para o uso da nitretação são muitas, dentre elas:

- a) Dureza de superfície elevada (em torno de 70 RC).
- b) Alta resistência ao desgaste.
- c) Resistência à fadiga extrema devido à camada nitretada.
- d) Elimina as falhas por compressão.
- e) melhora na resistência à fadiga e à corrosão (exceto para aços inoxidáveis).

Após a nitretação, torna-se dispensável o uso da têmpera para o endurecimento na camada nitretada.

6.1.1 Nitretação “Baixa Pressão”

Segundo a Oerlikon Balzers (2014), a nitretação utilizada no punção é a de “baixa pressão”, que consiste em um processo gasoso, porém em forno a vácuo. Essa tecnologia consegue a formação dos mesmos nitretos formados na nitretação a plasma, porém leva muita vantagem em homogeneidade da profundidade de difusão independente da geometria da ferramenta.

Figura 07 – Equipamento para Nitretação à baixa pressão



Fonte: Oerlikon Balzers (2014)

6.2 Revestimento em PVD

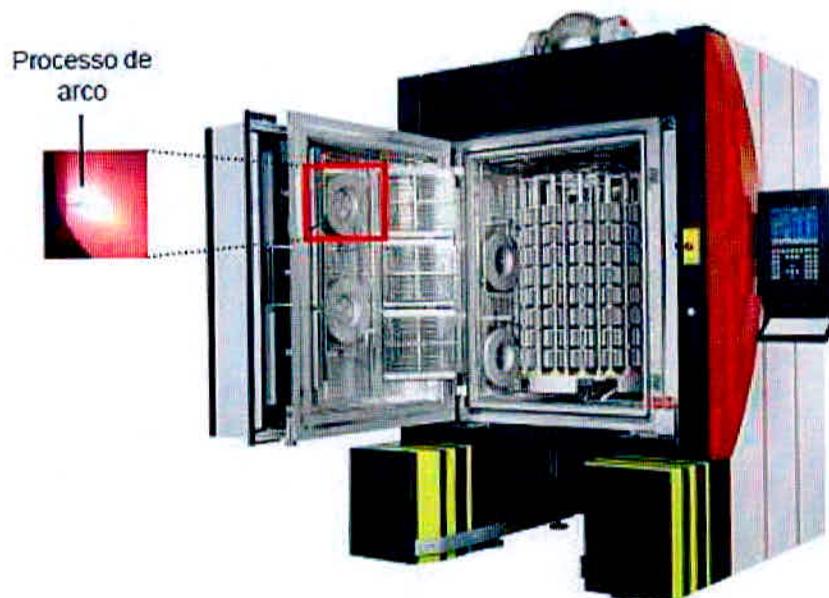
Segundo a Oerlikon Balzers (2014), PVD (*Physical Vapour Deposition* ou Deposição Física de Vapor) é o processo pelo qual se pode depositar entre outros materiais, o titânio e suas ligas, atribuindo características específicas ao produto.

Segundo a Oerlikon Balzers (2014), uso de revestimento em PVD tem sido bastante utilizado e desenvolvido nas indústrias em busca de muitos benefícios, entre eles:

- a) Elevação na dureza e ductilidade
- b) Baixo coeficiente de atrito
- c) Resistência à oxidação
- d) Estabilidade química contra o material e peça
- e) Resistencia contra desgaste abrasivo e adesivo
- f) Aumento da vida útil
- g) Retardo no aparecimento de trincas térmicas

Resultando assim no aumentando do desempenho nas ferramentas e solicitações.

Figura 08 – Equipamento de PVD



Fonte: Oerlikon Balzers (2014)

6.3 Processo Balinit Lumena Duplex

Segundo a Oerlikon Balzers (2014), o processo Balinit Lumena Duplex é a combinação da tecnologia de nitretação somada ao Nitreto de Titânio e Alumínio – TiAlN. Este é um dos melhores revestimentos em operações de repuxo, pois apresenta alta dureza superficial e baixo coeficiente de atrito, além disso, é o revestimento de maior espessura de camada (6 a 12 microns). Essa combinação ainda proporciona uma maior vida útil às ferramentas, e:

- a) Alta estabilidade térmica
- b) Redução do estresse residual compressivo na superfície das ferramentas
- c) Redução dos efeitos da fadiga
- d) Baixo coeficiente de fricção

6.3.1 Características do processo Balinit Lumena Duplex

Para melhor aproveitamento do processo, devemos trabalhar com as características abaixo:

Material: TiAlN

Temperatura Máx. de Serviço : > 900°C

Microdureza (HV 0.05): 3400

Coefficiente de Atrito: 0.35

Espessura da camada (μm): 6 - 12

Temperatura do processo: 480 °C

Essas condições podem variar dependendo da aplicação e dos testes realizados.

Após a aplicação do processo Balinit Lumena Duplex o punção apresenta a tonalidade cinza violeta, como citado anteriormente.

Figura 09 – Punção com tratamento Superficial



Fonte: O autor.

Após algum período de uso, o punção passa a apresentar um desgaste que pode ser visualizado na foto abaixo.

Figura 10 – Punção desgastado



Fonte: O autor.

6.3.2 Benefícios do processo Balinit Lumena Duplex

Segundo a Oerlikon Balzers (2014), a alta dureza do Balinit Lumena Duplex garante uma ótima proteção contra o desgaste, mesmo com altos níveis de estresse mecânico. Por exemplo, o nível do brilho das superfícies texturizadas dos moldes para injeção permanecem inalterados ao longo da vida útil.

O efeito isolador do revestimento otimiza o fluxo de materiais e melhora o preenchimento do molde.

Figura 11 – Benefícios Balinit Lumena Duplex

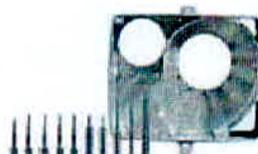
Superfície nitretada

- Dureza da superfície aumentada
- Perfil melhorado da dureza
- Maior resistência à compressão
- Maior dureza à quente

Revestimento PVD

- Alta dureza
- Alta estabilidade ao choque térmico
- Alta resistência ao desgaste abrasivo
- Inércia química

Superfície com elevada dureza superficial e com maior dureza na camada de substrato



Fonte: Oerlikon Balzers (2014)

6.3.2.1 Função da Nitretação

Minimizar os efeitos da fadiga gerando tensões residuais compressivas na superfície e a camada de difusão resulta em um gradiente de dureza que funciona como um “amortecedor”.

6.3.2.2 Função do Revestimento PVD

Eliminar a degradação por desgastes (abrasão e adesão)

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

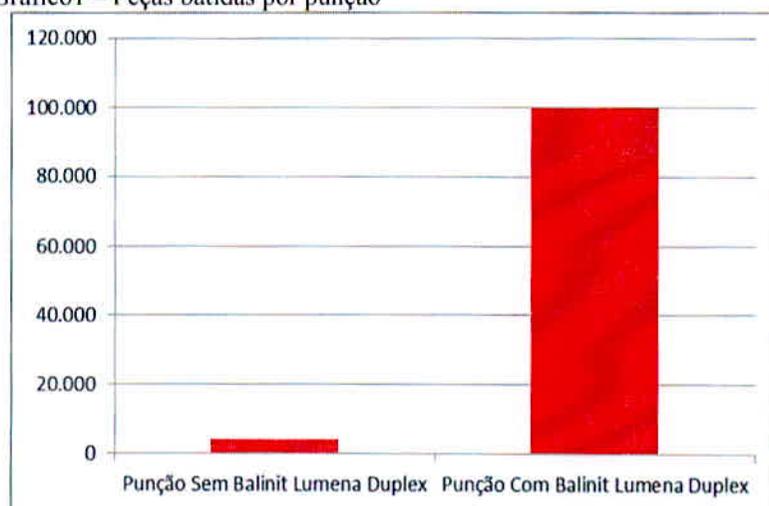
De posse de todas as informações necessárias para definir qual tratamento seria apropriado para os punções, eles foram encaminhados a Oerlikon Balzers para a aplicação do processo Balinit Lumena Duplex.

Para que o aumento da eficiência fosse realmente percebido, comparativos foram realizados para melhor entendimento dos dados.

7.1 Comparativo Peças batidas por Punção

De acordo com as informações cedidas pela empresa, o número de peças batidas com o punção sem o processo Balinit Lumena Duplex girava em torno de 4000, após o tratamento aplicado foi observado um aumento gigantesco, passando a ter em média 100.000 peças produzidas por punção. Segue gráfico abaixo para melhor concepção:

Gráfico1 – Peças batidas por punção



Fonte: O autor.

7.2 Custos do Processo

Para mensurar o aumento da produtividade e do desempenho do punção, foram levantadas algumas informações sobre os custos que envolvem sua confecção.

Devido a grande demanda de serviços internos, alguns processos como usinagem, têmpera e revenimento que poderiam ser realizados dentro da empresa, são realizados por fornecedores.

7.2.1 Custos Punção sem Nitretação e Revestimento em PVD

A primeira etapa para confecção do punção é a compra do material que nesse caso quando os punções não eram revestidos usava-se o VC131, que tem o preço médio de 262,77 para as dimensões de 1"1/2 X 1000 mm. Uma peça com essas dimensões produz cerca de 10 peças, ou seja, 26,77 o custo do material para cada punção.

O aço é enviado para o fornecedor realizar a pré-usinagem onde as medidas são abertas, ou seja, acima da especificada no desenho. O valor de cada usinagem é de 52,00 por punção.

Após a pré-usinagem o punção é devidamente temperado e revenido, custando em média 170,00 por punção. Após esse tratamento o punção volta para a usinagem final, onde é usinado na medida final já acabada.

Para esse processo de confecção do punção o custo total é de 300,77, considerando que a produção de flanges repuxados era de 4000 unidades/punção, o custo médio de cada peça era de 0,0751925.

7.2.2 Custos Punção com Nitretação e Revestimento em PVD

O custo do material passa a ser de 17,15 para aço D2. Os custos da usinagem e do tratamento de têmpera e revenimento são os mesmos do punção sem revestimento. A diferença está quando o punção é enviado para receber o processo Balinit Lumena Duplex. Esse tratamento tem o custo de 360,00 para cada punção.

Considerando todos os custos envolvidos para a confecção e tratamento deste punção, o custo total é de 651,15. Após esse tratamento o punção passou a produzir mais peças, cerca de 100.000 por punção. O custo para cada peça passou a ser de 0,0065115.

Parece que não há muita diferença devido ao valor baixo, mais quando vemos isso em quantidade de peças produzidas, é bastante significativo.

7.2.3 Custos do Set Up

O custo da mão de obra para substituição do punção é de 11,00 por hora, como o tempo gasto é de 30 minutos por punção, temos o valor de 5,50.

Quando o punção está parado para set up, deixa-se de produzir 500 peças. Portanto quando o punção não possuía o revestimento, era necessária a realização de set up em maior quantidade para alcançar o mesmo número de peças produzidas pelo punção revestido.

8 CONCLUSÃO

O punção estudado neste trabalho estava sujeito a condições de grande desgaste e estresse mecânico. Após a aplicação do revestimento em PVD combinado a nitretação à baixa pressão, foi observado que o punção apresentou maior resistência ao desgaste, baixo coeficiente de atrito, elevação na dureza e redução do estresse residual, proporcionando assim o aumento da vida útil e melhor desempenho do punção.

O dinheiro que a empresa gastava em set up, somado ao número de peças que deixava de produzir devido a parada do punção era grande, já que o punção sem revestimento não conseguia produzir mais do que 4.000 peças.

O punção revestido possui o custo um pouco maior na sua confecção, mas compensa em número de peças produzidas que passou a ser de 100.000 por punção. Isso agregado à diminuição de set up e paradas na produção trouxe para a empresa um ganho bastante significativo, que pode ser visualizado em uma conta simples sobre o custo do punção pelas peças produzidas por ele.

Portanto após esses resultados, conclui-se que os objetivos de demonstrar a eficiência e benefícios que o tratamento superficial de nitretação e revestimento em PVD proporcionam ao punção da operação de repuxo do flange P13 foram atingidos. Foi possível verificar o aumento da produtividade e durabilidade do punção, assim como a redução de custo por peça produzida, sem levar em conta o custo da mão de obra trabalhada.

Como sugestões para trabalhos futuros, pretendo aplicar este tratamento a outros processos dentro da fábrica. Anéis de repuxo ou matriz de prensas de estampagem são algumas das possibilidades de aplicação desse estudo. Pretendo verificar se a eficiência e resultados obtidos em peças com dimensões maiores serão os mesmos obtidos no punção.

Devido a grande concorrência que o mercado se encontra, não podemos estacionar os processos produtos e aguardar o melhor momento para agir. Para se manter em destaque a empresa deve estar constantemente buscando a melhoria na produtividade e economia, visando obter o maior lucro nos processos produtivos.

REFERÊNCIAS

CALLISTER, W.J. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica: processos de fabricação e tratamento**. 2 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.2 v.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica: processos de fabricação e tratamento**. 2 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.3 v.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia mecânica: estrutura e propriedades, processos de fabricação**. São Paulo: Mc Graw Hill do Brasil, 1978.

GERDAU. **Catálogo**. 2014. Disponível em: <http://www.gerdau.com.br/produtos-e-servicos/produtos-por-aplicacao-detalle-produto.aspx?familia=277>. Acesso em: 24 fev. 2014.

HEAT TECH. **Informações**. 2014. Disponível em: <http://www.heattech.com.br/>. Acesso em: 10 fev. 2014.

OERLIKON BALZERS. **Produtos e Serviços**. Disponível em: <http://www.oerlikon.com/balzers/br/>. Acesso em 20 Jun. 2014.

SILVA, A. L. V. C; MEI, P. R.. **Aços e ligas especiais**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

TECNICAS para elaboração de trabalhos acadêmicos. Varginha: Grupo Unis, 2014. Disponível em <http://portaldoaluno.unis.edu.br/files/2013/04/Manual-Normatiza%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 19 de Jun. 2014.

VILLARES METALS. **Catálogo**. 2014. Disponível em: http://www.villaresmetals.com.br/portuguese/files/Cat_Acos_Fer.pdf. Acesso em 24 fev. 2014.