

ESTUDO DO DESGASTE DE FERRAMENTAS DE CONFORMAÇÃO MECÂNICA À FRIO COM REVESTIMENTOS SUPERFICIAIS¹

Cássio Aurélio Suski²
Carlos Augusto Silva de Oliveira³

Resumo

Este estudo teve por objetivo principal comparar o efeito do tratamento de nitretação por plasma e do revestimento de carbonitreto de titânio na resistência ao desgaste de matrizes de conformação mecânica de elementos especiais de fixação. Através deste objetivo verificou-se o atrito de elementos interfaciais entre as superfícies da matéria-prima e da matriz, encontrando a respectiva taxa de desgaste por abrasão. Foram utilizadas três condições diferentes para uma matriz de aço ferramenta para trabalho a frio de alta tenacidade VF 800AT. Somente temperada e revenida (condição padrão para comparação); nitretada a plasma e com carbonitreto de titânio por processo P.V.D. A microestrutura foi avaliada através de metalografia óptica e eletrônica de varredura, e o desgaste foi controlado por teste conforme norma ASTM G65 e carta de Controle Estatístico de Processo – C.E.P. As ferramentas tratadas superficialmente apresentaram melhor comportamento do que sem tratamento. As ferramentas nitretadas a plasma (com camada branca bastante reduzida) apresentaram menor resistência ao desgaste (maior taxa de desgaste) quando comparados com as revestidas por carbonitreto de titânio. Isto foi atribuído a excelente dureza do carbonitreto de titânio, juntamente com sua boa aderência.

Palavras-chave: Nitretação a plasma; Carbonitreto de titânio; Aço VF 800AT; Camada branca.

RESEARCH OF WEARING OF COATED COLD FORMING TOOLING

Abstract

That research studies the effect of plasma-nitriding and titanium carbonitriding mixtures under the aspect of wearing resistance of mechanical conformation dies of special elements of fixation. The main focus is centered in the waste rate by abrasion, characterized by the friction of particles among the surface of the raw material and the die. Three different configurations were used for the VF 800AT steel die with showed waste excessive before of layers application of plasma-nitriding and titanium carbonitriding. Tests on the industry and laboratorial rehearsals were accomplished to confront the waste. The coated dies had better results in contrast with the others. The plasma-nitriding dies (with a small white layer) had the smaller wear resistance (bigger wear rate) when compared with the titanium carbonitriding. That was because of the excelent hardness of the titanium carbonitriding and the good adherence, in opposition of the fragility of the white layer of the plasma-nitriding.

Key words: Nitriding, carbonitriding, steel VF 800AT, white layer.

¹ *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

² *Doutorando em Engenharia – Departamento de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Santa Catarina*

³ *Professor Adjunto - Departamento de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Santa Catarina*

1 INTRODUÇÃO

O desgaste do ferramental influencia diretamente a eficiência, acabamento e qualidade do produto. Portanto, este é o ponto crítico com relação a recuperação dos componentes da ferramenta, falhas e paradas indesejadas nas linhas de produção. Além disso, a tendência do mercado é o crescimento da velocidade de produção e a utilização de processos mais eficientes para a fabricação de produtos.

Um dos principais meios de desgaste destas ferramentas é o atrito de superfícies de contato por escorregamento relativo. Em geral, com algumas exceções como para frenagem, o coeficiente de atrito e pressão devem ser tão baixo quanto possíveis para reduzir o desgaste do material da ferramenta.

A indústria de conformação mecânica tem trabalhado muito no desenvolvimento de materiais resistentes ao desgaste. Este fato ocasionou um relativo avanço na melhoria das propriedades dos materiais já existentes e desenvolvimento de novos materiais com melhor performance. Muitos destes novos materiais resistentes ao desgaste tem sido desenvolvidos e melhorados para diferentes aplicações, porém a pesquisa e desenvolvimento de novos aços têm um custo bastante elevado, além do risco envolvido no processo.⁽¹⁾

A melhoria da performance dos materiais pode ser obtida utilizando-se processos especiais de refusão e processamento, via de regra, entretanto, eleva o custo do material e, em muitos casos, piora a relação custo/benefício. Por outro lado, a engenharia de superfície tem sido utilizada como um método econômico alternativo para melhorar as propriedades tribológicas de materiais convencionais e especificamente elevar o desempenho de ferramentas de conformação mecânica.⁽²⁾

Tratamentos superficiais como nitretação e revestimentos P.V.D. estão em uso ou em desenvolvimento. Estes processos são extensivamente empregados na modificação da resistência superficial de ferramentas. Os tratamentos e revestimentos superficiais elevam a dureza da superfície, a resistência à fadiga, ao desgaste e a corrosão dos aços, melhorando a eficiência do processo de conformação, garantindo uma vida útil da ferramenta bastante superior e adquirindo um produto final de melhor qualidade e acabamento. Estes tratamentos e revestimentos superficiais têm se mostrado um dos recursos mais promissores, tanto do ponto de vista tecnológico, quanto econômico. Em comparação com os materiais temperados e revenidos, sem revestimento ou tratamento superficial, por exemplo, os tratamentos superficiais de nitretação e revestimentos de carbonitreto de titânio podem fornecer melhores resultados, por conferirem alta dureza à superfície e introduzir tensões residuais compressivas, capazes de melhorar a tenacidade do material tratado termicamente.⁽³⁾

Assim, embora a utilização destes processos também eleve os custos de produção dos componentes, as vantagens deles advindas podem melhorar muito a relação custo – benefício dos produtos, uma vez que ampliam consideravelmente a sua vida útil.

Neste trabalho estudou-se o efeito dos tratamentos e revestimentos no desgaste abrasivo em ferramentas de aço VF 800AT para conformação mecânica a frio de elementos especiais de fixação, a fim de aumentar a vida útil destas ferramentas e reduzir o tempo ocioso de produção.

Para fins comparativos, utilizou-se três condições superficiais, uma somente temperada e revenida, uma com tratamento de nitretação à plasma e a última com revestimento de carbonitreto de titânio (TiCN) – P.V.D. (Physical Vapour Deposition).

2 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

O estudo do efeito dos tratamentos ou revestimentos superficiais na vida útil de corpos de prova de aço VF 800AT (0,85% C; 0,90% Si; 0,40% Mn; 8,00% Cr; 2,00 Mo; 0,50% V) foi realizado em laboratório conforme norma ASTM G65 e, em escala industrial, através de uma ferramenta com geometria cilíndrica, conforme Figura 1 e 2, respectivamente.

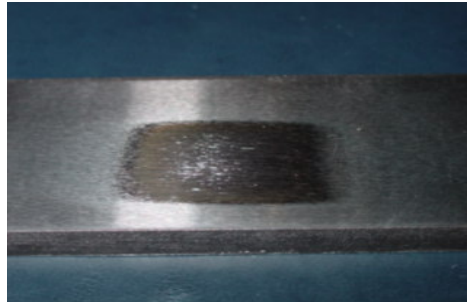
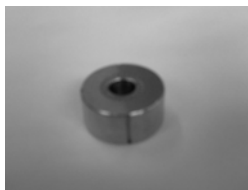


Figura 1 – Corpo de prova

Foram realizados três tratamentos diferentes, ou seja; um conjunto foi temperado e revenido, um outro conjunto após têmpera e revenido foi nitretado por plasma e um último conjunto foi revestido com carbonitreto de titânio.



25 mm
|-----|

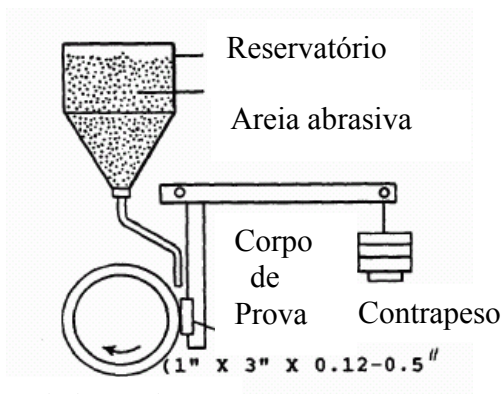
Figura 2 – Ferramenta utilizada neste estudo.

O princípio de funcionamento do teste laboratorial baseia-se no contato de um disco, com uma rotação específica, com um corpo de prova de 1”de largura, 3”de comprimento e 0,12-0,5”de espessura, através de um disco metálico revestido em sua superfície com uma borracha, como mostra a Figura 3.

Foram utilizados os procedimentos de ensaio “B” e “C”. O procedimento “B”, de mais longa duração é indicado para aços ferramentas e o “C”, de menor duração, é indicado para verificação de desgaste de camadas superficiais.

A fim de se utilizar o mesmo corpo de prova para os dois ensaios adotou-se o seguinte procedimento:

Desta forma os 10 minutos de testes foram divididos em um procedimento “C”, com um tempo despendido de 30 segundos, onde os corpos de prova são ensaiados, retirados para limpeza com ultra-som, verificado a perda de massa relativa as camadas revestidas ou tratadas superficialmente e então é iniciado o procedimento “B”, com um tempo de 9 minutos e 30 segundos, com as mesmas limpezas e verificações de perda de massa, porém nesta fase estas perdas deveriam ser relativas ao substrato, onde o coeficiente de variação dos diversos testes deve ser menor ou igual a 7 %, conforme norma ASTM G65.



Disco de borracha

Figura 3 – Esquema representando as dimensões do corpo de prova.

Para realização deste procedimento necessitou-se aferir a máquina de desgaste conforme norma ASTM G65.

A partir de então pode-se prosseguir os testes com os corpos de prova de VF 800 AT temperado e revenido, nitretado e com carbonitreto de titânio.

Para realização do teste através do procedimento “B”, utilizou-se areia de granulação 50 (0,3 mm), com um fluxo aproximado de 350 g/minuto e tempo de teste de 10 minutos a 200 r.p.m. para cada corpo de prova, como mostra a Figura 4.

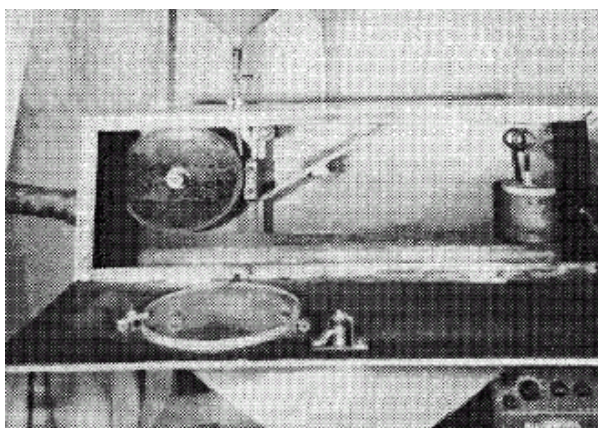


Figura 4 – Foto da máquina de ensaio de desgaste.

A ferramenta utilizada no processo de conformação mecânica a frio, em escala industrial, executa reduções de diâmetros da matéria-prima sob pressão no ferramental em máquinas de 3 estágios (Marcas Yern Yao e Hilgeland).

A fim de obter um indicativo do desgaste abrasivo ocorrido nas matrizes de conformação mecânica a frio foram realizadas três medidas do diâmetro do corpo dos produtos através de micrômetros externos, a cada 20 minutos. A média aritmética destas medidas foi registrada pelo operador na carta de controle estatístico de processo – C.E.P. e então, fazia-se à análise dos dados registrados durante um período de tempo que variou entre 87 horas e 373 horas de trabalho efetivo (sem setup de máquina). O aumento do diâmetro do corpo dos produtos indicava um maior desgaste das ferramentas.

Os limites inferiores e superiores de dimensional permitido, ou seja; as variações dimensionais admitidas foram de 7,08 mm a 7,13 mm.

A preparação de amostras para metalografia fez-se através de procedimentos usuais para análise microestrutural. O ataque químico foi realizado utilizando-se Nital 5% (95% álcool etílico e 5% ácido nítrico). As análises micrográficas foram realizadas por microscopia óptica, usando um microscópio modelo 84342 – Neomet Union; e por meio de microscópio eletrônico de varredura, modelo Philips XL 30.

Estas análises objetivaram a verificação da microestrutura do substrato, das camadas de tratamento e revestimento superficial, onde se podem medir o tamanho destas camadas e comparar com os demais ensaios realizados.

Foram observadas as superfícies desgastadas dos corpos de prova e ferramentas, após o uso das mesmas, através de microscopia eletrônica de varredura.

3 RESULTADOS

3.1 Caracterização Microestrutural

Através da metalografia foi possível verificar tanto a microestrutura temperada e revenida do substrato, aço VF800 AT, como as camadas de tratamento ou revestimento superficial. A microestrutura do substrato mostra uma região martensítica com presença de carbonetos primários (Figura 5), microestrutura esta que se apresenta semelhante em todos os casos. Como as microestruturas dos substratos têm aspectos semelhantes não devem apresentar variações de desgaste no metal de base.

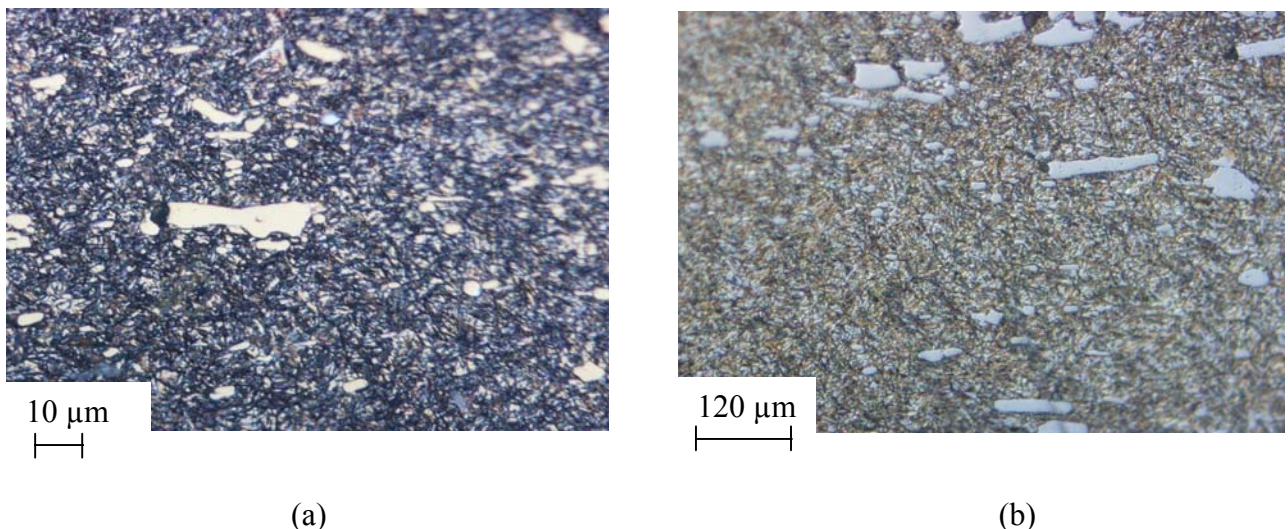


Figura 5 – Micrografia (a) e (b) do aço VF 800AT com tratamento térmico de têmpera e revenido.

A análise metalográfica mostrou que na peça nitretada a plasma tem-se uma espessura de até 15 µm (nitretos + camada de difusão), conforme Figura 6 (a). A camada de nitretos tem aproximadamente 2,5 µm, a camada de difusão em torno de 12,5 µm (Figura 6 (b)). A camada branca foi bastante reduzida pois, esta pode fragilizar o revestimento durante a extrusão do aço, porém, geralmente são utilizadas camadas de nitretos acima de 100 µm.

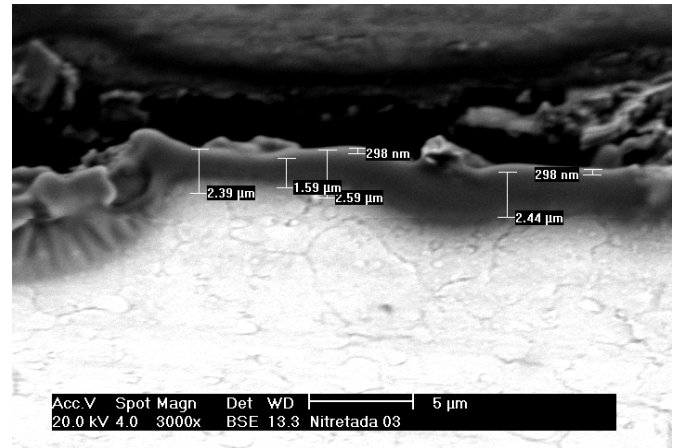
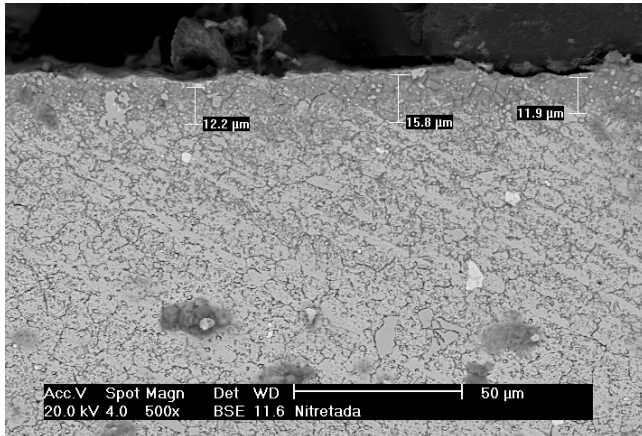
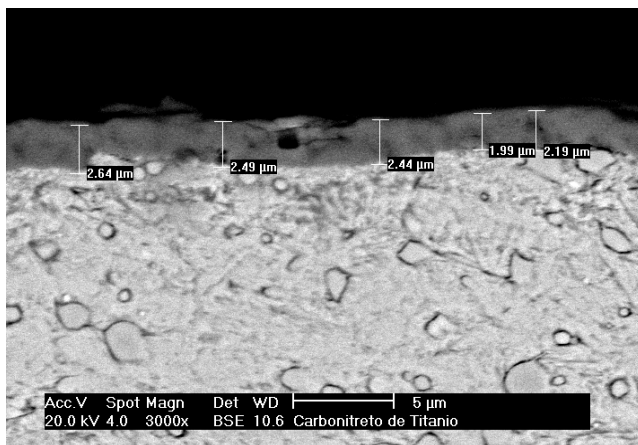
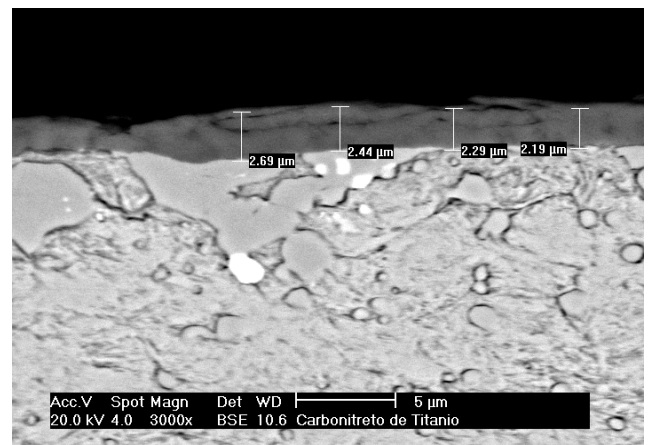


Figura 6 – Micrografia do aço VF 800AT com tratamento superficial de nitretação a Plasma. (a) – Espessura da camada de nitreto. (b) – Espessura da camada branca

No caso revestido com TiCN, a espessura da camada aplicada ao metal é bastante inferior ao nitretado, apresentando uma faixa de 2 μm a 3 μm, conforme Figuras 7 (a) e (b). Porém, esta pequena camada confere uma excelente resistência ao desgaste devido à alta resistência do carbonitreto de titânio.⁽⁴⁾



(a)



(b)

Figura 7 – Micrografia (a) e (b) do aço VF 800AT com revestimento superficial de carbonitreto de titânio.

A análise da ferramenta após utilização mostrou que o mecanismo de desgaste abrasivo atuante tem aspecto de microsulcamento de material (Figura 8).⁽⁵⁾

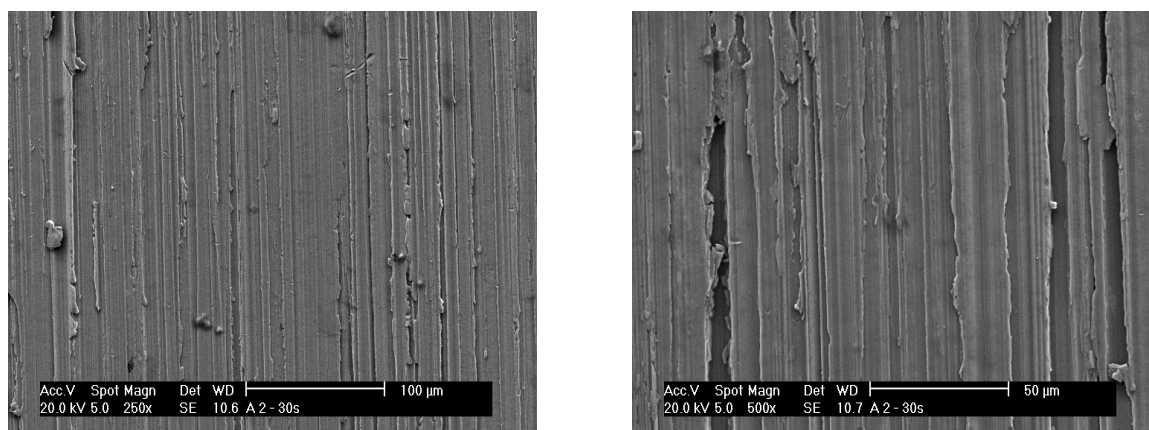


Figura 8 - Micrografia eletrônica do microarrancamento do material VF 800AT.

3.2 Ensaio de Desgaste Laboratorial

Os resultados dos ensaios de desgaste abrasivo permitiram uma classificação de resistência a abrasividade dos tratamentos e revestimentos aplicados nas ferramentas de conformação mecânica a frio.

Os resultados são mostrados nas Figuras 9 e 10 e Tabela 1. Pode-se observar, para os primeiros trinta segundos de ensaio, um aumento de vida em relação aos corpos de prova temperados e revenidos de 30,77% e 97,97% para as camadas de nitreto e de carbonitreto de titânio, respectivamente.

A maior vida dos corpos de prova com tratamentos e revestimentos superficiais em relação aos corpos de prova temperados e revenidos para os primeiros trinta segundos de ensaio (Figura 9 e Tabela 1), deve estar associada a maior dureza das camadas superficiais, e a boa aderência destas ao metal de base.⁽⁶⁾

A diferença de desgaste entre as camadas de nitreto e de carbonitreto de titânio (Figura 9) pode estar associada a maior dureza do carboneto de titânio, e a pequena espessura da camada branca nos corpos de prova nitretados,⁽⁷⁾ resultando em uma camada com menor resistência à abrasão e que logo após os primeiros segundos de ensaio já deve estar quase que completamente desgastada.

Nos nove minutos e trinta segundos de ensaio posterior aos trinta segundos iniciais às diferenças de vida dos corpos de prova em relação ao temperado e revenido foram de (-4,61%) e (9,28%) para as camadas nitretadas e para os revestidos com carbonitreto de titânio, respectivamente. Segundo a norma ASTM G65, neste ensaio pode haver uma variação nos resultados de até 7%, o que indica que para os corpos de prova nitretados não houve variação significativa de desgaste em relação aos temperados e revenidos e que para os revestidos com carbonitreto de titânio o desgaste foi ligeiramente menor.

Estes resultados podem estar associados com o comportamento da camada superficial nos trinta segundos iniciais, ou seja; nos corpos de prova nitretados a camada superficial já deveria ter sido totalmente consumida e o ensaio posterior foi realizado somente no material base. No entanto, para o caso dos corpos de prova revestidos com carbonitreto de titânio o revestimento não deve ter sido totalmente consumido no ensaio inicial e ainda restou uma pequena camada revestida que aumentou ligeiramente a vida dos corpos de prova.

Nos dez minutos totais de ensaio de desgaste houve um decréscimo de 1,43% na vida dos corpos de prova nitretados em relação aos temperados e

revenidos (Figura 10). Segundo a norma ASTM G65 esta diferença não é significativa. Pode-se observar também, que o aumento de vida ocasionado pela camada nitretada nos primeiros trinta segundos não foi suficiente para afetar significativamente o desgaste após dez minutos.

Nos corpos de prova revestidos com carbonitreto de titânio houve um acréscimo de 17,27% na vida em relação aos temperados e revenidos para os dez minutos do ensaio. Este resultado mostra o grande efeito deste revestimento no aumento da resistência ao desgaste dos corpos de prova, que embora, só deva ter sido efetivo nos tempos iniciais do ensaio (quando o revestimento ainda não havia sido desgastado) ainda causou um efeito significativo após dez minutos de ensaio.

Pode-se, portanto, observar dois comportamentos distintos nos ensaios: um acréscimo considerável da vida útil dos corpos de prova com as camadas de revestimento e tratamento superficial quando comparados com os corpos de prova só temperados e revenidos (procedimento C – trinta segundos) (Figura 9), e uma manutenção da vida destes quando do ensaio relativo ao substrato (procedimento B-dez minutos) (Figura 10).

Tabela 1 – Perda de volume médio no ensaio de desgaste abrasivo.

	<i>Perda de vol (30 seg)</i>	<i>Perda de vol (9,5 min)</i>	<i>Perda de vol total (10 min)</i>
<i>VF800AT – s/ TS ou Revest.</i>	6,5 mm ³	65,7 mm ³	72,2 mm ³
<i>Nitretação</i>	4,5 mm ³	68,73 mm ³	73,23 mm ³
<i>Acréscimo de vida com relação aos s/ TS ou Revest.</i>	30,77 %	- 4,61 %	- 1,43 %
<i>Carbonitreto de Titânio</i>	0,132 mm ³	59,6 mm ³	59,73 mm ³
<i>Acréscimo de vida com relação aos s/ TS ou Revest.</i>	97,97 %	9,28 %	17,27 %

3.3 Testes de Desgaste na Indústria

Os testes industriais realizados nas ferramentas de conformação mecânica a frio de elementos especiais de fixação através de cartas de controle estatístico de processo mostraram um desgaste bastante acentuado das ferramentas somente temperadas e revenidas.

Nestas, a taxa de desgaste média apresentou-se de forma linear e em torno de 0,0006 mm/h, conforme a Figura 11 e Tabela 2. Quando da mesma nitretada ou com TiCN, a taxa média gira entre 0,0002 e 0,0001 mm/h, conforme as Figuras 12 e 13, respectivamente.

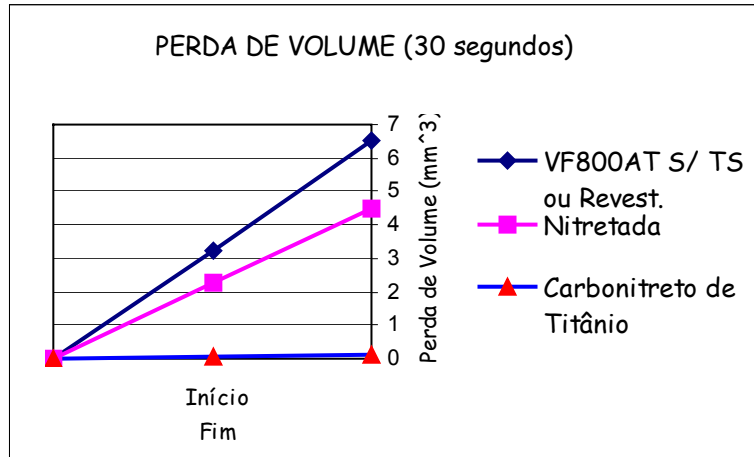


Figura 9 – Comparativo da perda de volume no ensaio tipo C de desgaste abrasivo.

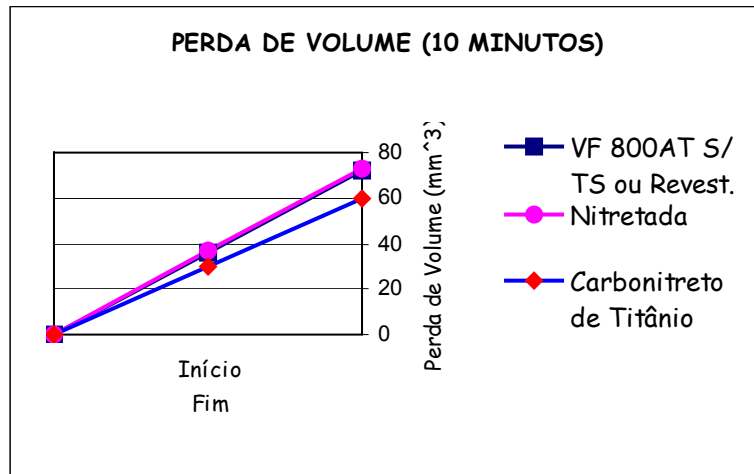


Figura 10 – Comparativo da perda de volume no ensaio tipo B de desgaste abrasivo.

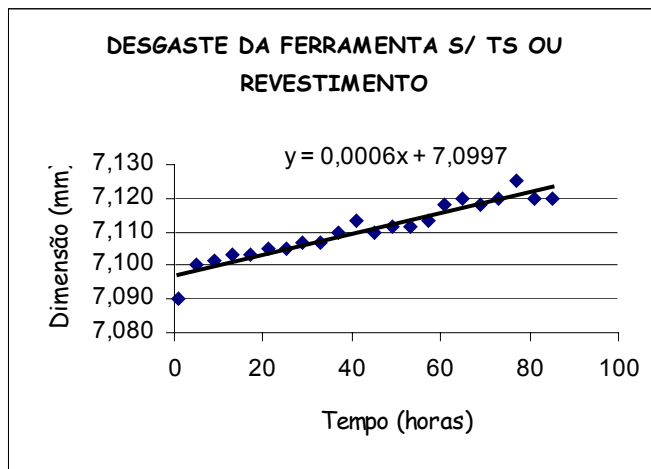


Figura 11 – Comportamento do desgaste da ferramenta s/ TS ou Revestimento.

As curvas das ferramentas nitretadas e com TiCN apresentaram três comportamentos distintos. Nas primeiras 100 horas, aproximadamente a curva da ferramenta nitretada apresentou uma taxa de desgaste em torno de 0,0002 mm/h, em um segundo momento há um decréscimo acentuado desta taxa e, finalmente, apresenta taxa de 0,0006 mm/h, conforme Figura 12, evidenciando o fim da camada de tratamento superficial, retornando a taxa de desgaste a valores da ordem da ferramenta somente temperada e revenida.

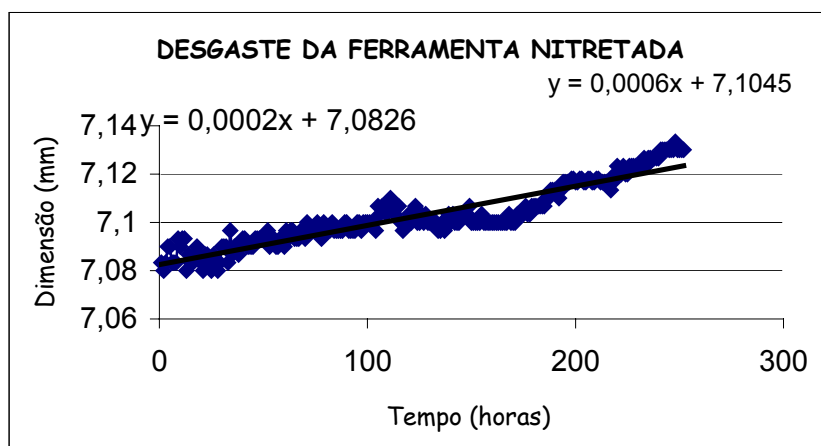


Figura 12 – Comportamento do desgaste da ferramenta nitretada.

Tabela 2 – Resultados do estudo de desgaste de matrizes de conformação mecânica a frio.

Na ferramenta com TiCN percebe-se um desgaste de 0,0001 mm/h nas 150

FERRAMENTA	Taxa média de Desgaste (mm / h)	N.de horas para o desg. no intervalo de tolerância.	Qtidade Prod. para o Intervalo de desg. (peças)
Temperada e revenida	0,0006	87	675116
Nitretada	0,0002	251	1908606
Varição (%)		288,5	282,7
Carbonitreto de titânio	0,0001	373	2863998
Varição (%)		428,7	424,2

horas iniciais, seguida de um desgaste mínimo e, então retornando a taxa de desgaste de 0,0006 mm/h (Figura 13).

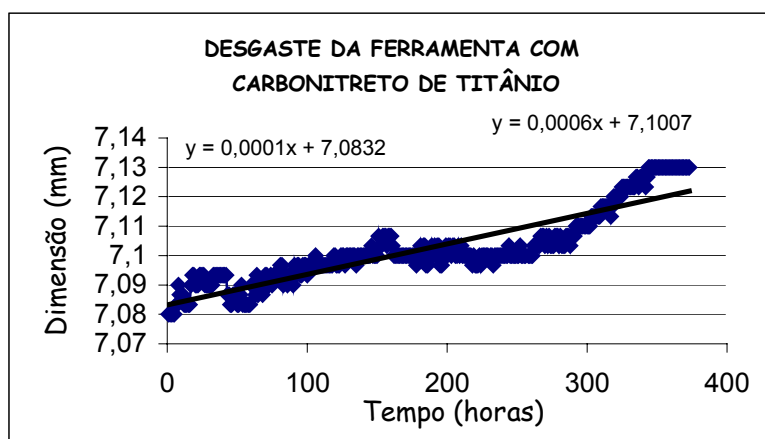


Figura 13 – Comportamento do desgaste da ferramenta Carbonitretada.

Estes resultados mostram um decréscimo da taxa de desgaste das ferramentas tratadas ou revestidas superficialmente, conforme a Tabela 2.

Percebe-se também que, há um excelente acréscimo da quantidade de horas trabalhadas entre as dimensões utilizáveis da ferramenta, alcançando valores de aproximadamente três vezes para a ferramenta nitretada e quatro vezes superior para a com TiCN. Da mesma forma, a quantidade de peças produzidas chega a valores em torno de três e quatro vezes para as respectivas ferramentas, conforme pode ser observado na Tabela 2. Estas variações de produtividade se devem a excelente eficiência das máquinas quando utilizam estas ferramentas nitretadas ou com TiCN, pois as máquinas não possuem paradas para limpeza ou polimento das mesmas devido à alta resistência ao desgaste e ótimo acabamento superficial, além de poderem trabalhar com velocidades de produção mais altas.

Na Figura 12 pode-se perceber que o início do intervalo no qual há pouca variação dimensional refere-se ao ponto onde há um desgaste de aproximadamente três centésimos em diâmetro da camada nitretada, ou seja, refere-se ao ponto de intersecção entre a zona de difusão e o início do substrato. Este fato se confirma através da observação da espessura de camada nitretada, que é em torno de 15 μm , conforme se pode observar na Figura 6 (a).

Já para o caso das ferramentas com TiCN (Figura 13), este intervalo comentado também é bastante visível, porém percebe-se que o mesmo ocorre para valores de desgaste de dois a quatro centésimos. No entanto, para estes valores de desgaste, as ferramentas apresentam-se com a camada praticamente eliminada, pois a mesma é de 2 μm a 3 μm conforme a Figura 7.

Para as ferramentas tratadas ou revestidas superficialmente, apesar da camada apresentar uma espessura bastante pequena, verifica-se uma microdureza maior do que nas ferramentas sem tratamentos ou revestimentos superficiais, porém com um perfil diferenciado. Este perfil mostra uma queda na microdureza para as ferramentas nitretadas a partir de 12 μm da superfície externa e para as ferramentas com carbonitreto de titânio esta queda começa a partir de 3 μm da superfície externa, conforme a Figura 14. Estes valores estão em acordo com as espessuras de camada encontradas nas micrografias das Figuras 6 e 7.

Pode-se verificar ainda que a microdureza do carbonitreto de titânio é maior do que as ferramentas nitretadas, que é maior do que as ferramentas temperadas e revenidas.

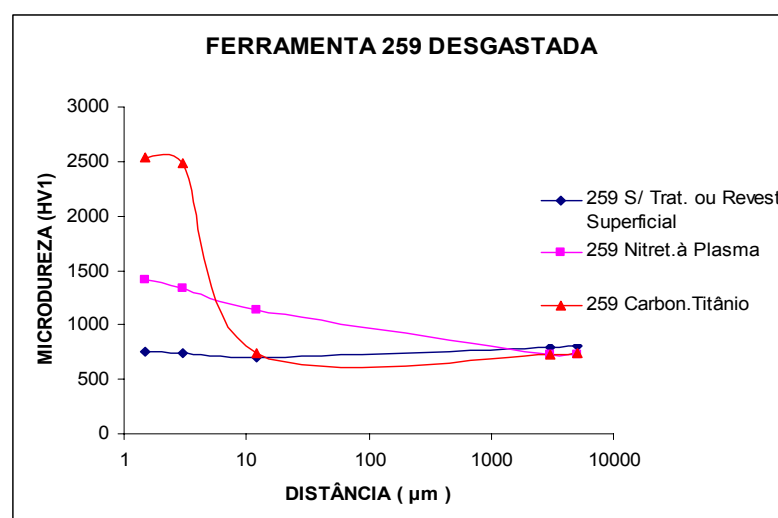


Figura 14 – Perfis de microdureza das superfícies de desgaste das matrizes de conformação mecânica a frio 259

Através destas observações, pode-se fazer algumas suposições, como por exemplo:

. A maior taxa de desgaste, inicialmente, das ferramentas tratadas ou revestidas, pode estar relacionada a um ajuste dimensional das mesmas, ou seja, a maior inclinação que se pode observar nas Figuras 12 e 13 pode estar relacionada a imperfeições superficiais das ferramentas, na qual após este ajuste há uma maior constância dos valores obtidos.⁽⁸⁾

. A faixa de valores constantes que se pode observar nas Figuras 12 e 13 podem apresentar certa relação com a zona de difusão dos tratamentos e revestimentos superficiais, nas quais as camadas podem apresentar composições favoráveis a resistência ao desgaste.

. Supõe-se que a diferença de vida entre as ferramentas tratadas por nitretação a plasma e as revestidas com carbonitreto de titânio possa diminuir sensivelmente quando da utilização de camadas de nitretos acima de 100 µm. Porém, este acréscimo da camada poderá vir a fragilizar a camada, acentuando ainda mais o desgaste.

4 CONCLUSÕES

Os revestimentos com carbonitreto de titânio conferiram maior estabilidade de camada, obtendo uma maior resistência ao desgaste em comparação com o tratamento de nitretação a plasma.

O revestimento de carbonitreto de titânio adequa-se perfeitamente as ferramentas de conformação mecânica a frio, aumentando significativamente a vida das mesmas com relação às ferramentas sem tratamento ou revestimento e, até mesmo, com relação às ferramentas tratadas com nitretação por plasma. O mesmo pode ser observado para os corpos de prova ensaiados laboratorialmente.

Apesar da camada de nitretos ser bastante reduzida, o processo de nitretação por plasma mostrou ser viável no tratamento de ferramentas de conformação mecânica a frio. A vida das ferramentas nitretadas aumentou significativamente em relação às somente tratadas termicamente. No entanto, a vida das ferramentas apresentou valores menores com relação às ferramentas revestidas com carbonitreto de titânio.

Pode-se perceber que os testes laboratoriais demonstram, de maneira significativamente similar, a situação real encontrada na indústria, ou seja, os valores de desgaste encontrados laboratorialmente são bastante próximos dos valores encontrados industrialmente.

Através da análise das microestruturas pode-se perceber nitidamente a maior espessura de camada nas ferramentas nitretadas por plasma com relação às revestidas com carbonitreto de titânio. Além disso, como decorrência das condições de tratamento, obteve-se uma camada branca bastante reduzida na nitretação.

Pode-se perceber que estes tratamentos e revestimentos são de difícil aplicação em ferramentas (matrizes) com diâmetros internos que sofrem encarçamento sob pressão, pois este encarçamento pode resultar numa redução do diâmetro interno da ferramenta, necessitando de um polimento antes da utilização, podendo eliminar a camada de tratamento ou revestimento aplicada sobre as mesmas.

REFERÊNCIAS

- 1 BRESSAN, J.D.; HESSE, R.; SILVA, E.M. – Wear Mechanisms of Electrical Steel Sheets, High Speed Steel and Hard Metal Pins Coated with TiAlN and TiCN, 1999.
- 2 OLIVEIRA, S.D., Pinedo, C.E., Tschiptschin, A.P.- “Plasma”, Revista Metal Mecânica, N.42, p. 78-80, 2002.
- 3 MICHEL, H. – Nitration de surfaces métalliques. In: *Intéractions Plasmas Froids – Matériaux Journées d’Etudes*, Les Ulis Cedex, France: Les Editions de Physique, p. 465-486, 1987.
- 4 BRINK, R. – “Revestimentos de Nitreto de Titânio Através do Processo P.V.D. e sua utilização em ferramentas”, Balzers, Liechtenstein, Apostila Brasimet, 1998.
- 5 MURRAY, M.J., MUTTON, P.J. and WATSON, J.D.: Abrasive wear mechanisms in steels, in *Wear of Materials 1979*, K.C. Ludema et al., eds., ASME, New York, p. 257-265, 1979.
- 6 ANDRADE, J.P.; GILAPA, L.C.M.; BRESSAN, J.D.– Avaliação de desgaste em aços ferramenta para estampagem, Revista IST, 2002.
- 7 BRESSAN, J.D.; HESSE, R.; SILVA, E.M. – Abrasive Wear of High Speed Steel and Hard Metal Pins Coated with TiAlN and TiCN, 2001.
- 8 ANDRADE, J.P.; GILAPA, L.C.M.; BRESSAN, J.D.– Avaliação de desgaste em aços ferramenta para estampagem, Revista IST, 2002.
- 8 ESPER, F. J.; LEUZE, G.; SONSINO, C. M. - Characteristic properties of powder-metallurgical materials relevant to fatigue design. *Powder Metallurgy International*, vol. 13, n. 4, p. 203-208, 1981.