

ESTUDO DO EFEITO DA CARGA NO COMPORTAMENTO AO DESGASTE DE FERRAMENTAS PARA CONFORMAÇÃO A FRIO

Felipe Barros Delphino

felipe_delp@hotmail.com

Resumo. Este trabalho dedica-se ao estudo do efeito da carga no comportamento ao desgaste de ferramentas para conformação a frio. Para tanto, inicialmente é feita uma descrição do principal fenômeno (galling) que leva o fim da vida dessas ferramentas. Em seguida, é estudado um ensaio que visa reproduzir o mecanismo de desgaste dessas ferramentas em campo. Uma parte fundamental do trabalho é a instrumentação do porta ferramentas necessário para medição de forças nesse ensaio. Finalmente, o ensaio em si foi feito não com ferramentas em condições habituais de uso, mas com ferramentas sem tratamento térmico e com dureza muito próxima à do contratorço utilizado. Com isso, observou-se quebra da ferramenta logo no início do teste para todas as cargas utilizadas.

Palavras chave: Tribologia, Conformação Mecânica e Revestimento de Superfícies.

1. Introdução

A conformação mecânica é um dos processos de importância fundamental na indústria metal-mecânica. Na gama de processos de conformação destaca-se a estampagem, cujas operações principais são o corte, dobra e o repuxo de chapas. Para exemplificar a importância da estampagem, na indústria automobilística, segundo o relatório setorial do BNDES (1998), um conjunto de ferramentas utilizado na estamparia de uma porta direita dianteira de um veículo apresenta custos de aproximadamente US\$ 1 milhão. Dessa maneira, considerando os diversos componentes de um automóvel que deverão ser estampados é possível se ter ideia da importância das ferramentas de estampagem.

Além disso, a revista Corte e Conformação de Metais (2010) destaca a previsão de crescimento para empresas que fabricam equipamento a partir de chapas e tubos metálicos. Este fato é reforçado pelas indústrias automotiva, de implementos rodoviários, de motos, bicicletas e metro-ferroviária que projetaram aumento de demanda para seus produtos em 2010. Adicionalmente, Corte e Conformação de Metais (2010) destaca que a indústria de estamparia está aumentando a aquisição de máquinas e o principal motivo é que o nível de exigência dos clientes está cada vez maior.

Sendo assim, o prolongamento da vida útil das ferramentas de estampagem representaria uma economia considerável no custo. Para tanto, deve-se verificar qual(is) é(são) a(s) principal(is) causa(s) do fim da vida útil dessas ferramentas e uma maneira de estendê-la.

Nesse trabalho será tratado o fator da carga no desgaste dessas ferramentas, através de um sistema que reproduzirá seus mecanismos de desgaste, sendo que haverá tanto uma previsão teórica como uma parte experimental com o uso de torno de comando numérico (CNC).

2. Revisão de Material Técnico

O fator que determina o fim da vida útil de uma ferramenta de estampagem, segundo Schedin (1994), é, em geral, o acontecimento do galling que, em português, pode ser traduzido como esfolamento. A definição de galling encontrada na literatura não é consensual. Segundo Budinski (2003), é preciso diferenciar o desgaste por deslizamento do esfolamento, sendo que o esfolamento é encontrado apenas em situações mais severas, nas quais se têm as seguintes características: formação de saliência macroscópica em regiões localizadas e na maioria das vezes transferência de material entre os pares deslizante e também de partículas deformadas plasticamente, na Figura 1 estão várias condições de desgaste, sendo que o esfolamento está na Figura 1(d).

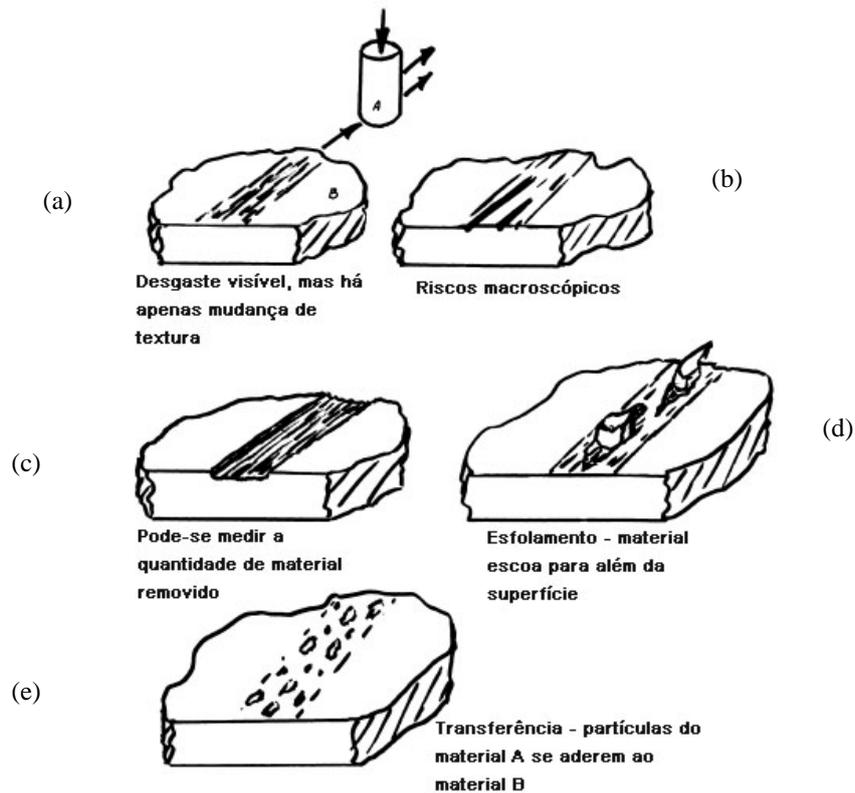


Figura 1. Esquema de desgastes por deslizamento propostos por Budinsk (2003).

Já para Andreasen, Bay e Chiffre (1998), o esfolamento deve ser caracterizado pelo perfil de rugosidade do corpo. Segundo Andreasen, Bay e Chiffre (1998), o esfolamento é detectado na seguinte situação: “a partir do ponto onde o primeiro vale significativo acontece”. Para tanto Andreasen, Bay e Chiffre (1998) criaram um ensaio de desgaste por deslizamento no qual uma ferramenta de aço AISI M3:2 (DIN W.No.1.3344) de 66 HRC de dureza foi posta contra uma tira de aço inox AISI 304 (DIN W.Nr.1.4301), esse ensaio está ilustrado na Figura 2.

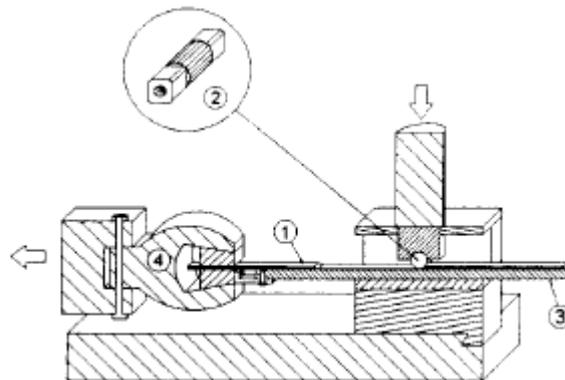


Figura 2 - Esquema ensaio de deslizamento de Andreasen, Bay e Chiffre (1998).

1: tira, 2: ferramenta, 3:suporte e 4: garra.

Na Figura 3 estão representados os perfis de rugosidades encontrados nesse ensaio – a medida no ângulo superior esquerdo de cada retângulo indica a distância, a partir do início do ensaio, na qual foi feita a medição.

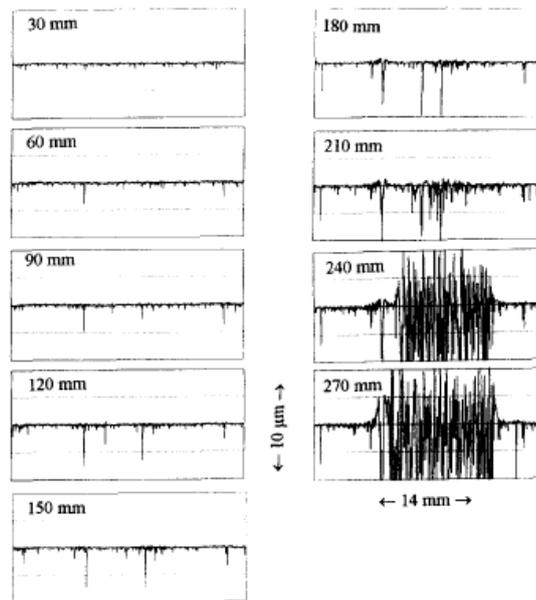


Figura 3 - Resultados do ensaio de Andreasen, Bay e Chiffre (1998).

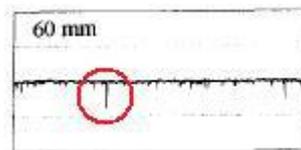


Figura 4 - Destaque para o perfil de rugosidade iniciado em 60 mm dos resultados do ensaio de Andreasen, Bay e Chiffre (1998).

Como está destacado na Figura 4, para Andreasen, Bay e Chiffre (1998) o esfolamento teria se iniciado após 60 mm do ensaio, no qual ocorre o primeiro vale significativo. Porém, para as definições de esfolamento de Budinski (2003), o esfolamento só se iniciaria a partir de 210 mm. Para o escopo desse projeto será considerada a definição de Budinski (2003).

Uma maneira de obter um prolongamento considerável da vida útil das ferramentas de estampagem, de acordo com Carlsson e Olsson (2006), é através da aplicação de filmes cerâmicos com espessura da ordem de micrometros.

Para ser possível uma comparação com o trabalho realizado por Mendes (2009), o presente projeto usará algumas definições e resultados desse autor. A dissertação de mestrado de Mendes (2009) usou ensaios de ferramentas com e sem a aplicação recobrimentos contra corpos-de-prova de aço AISI 1045 recozido com dureza de 250 HV, utilizando tornos CNC – conforme montagem da Figura 5 e esquematizado na Figura 6.

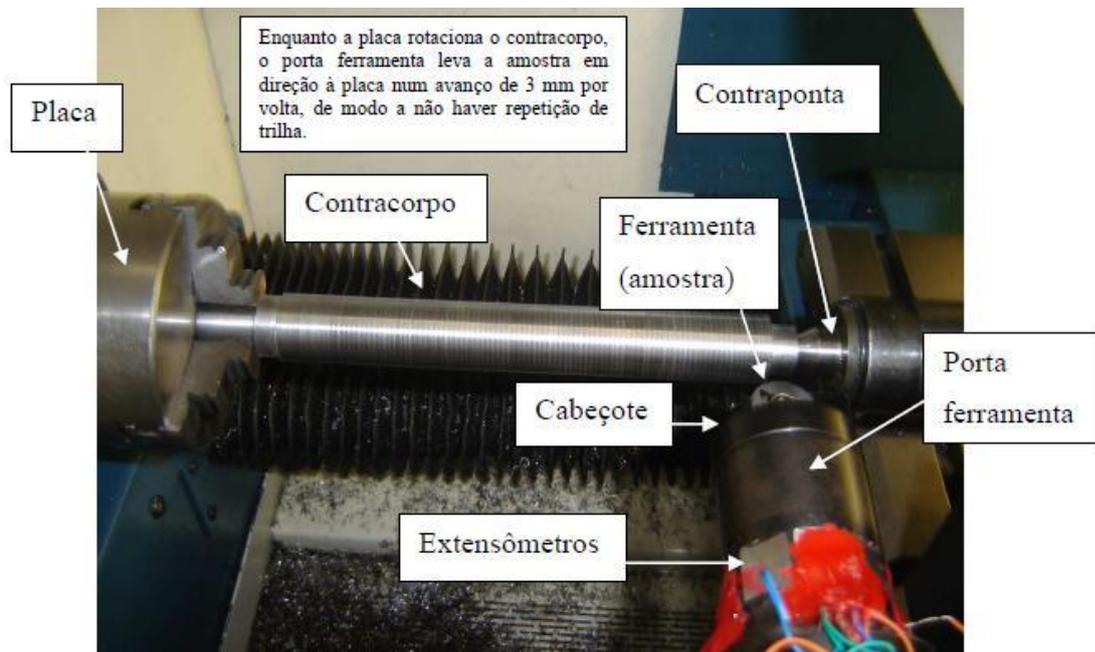


Figura 5 - Esquema de montagem de Mendes (2009).

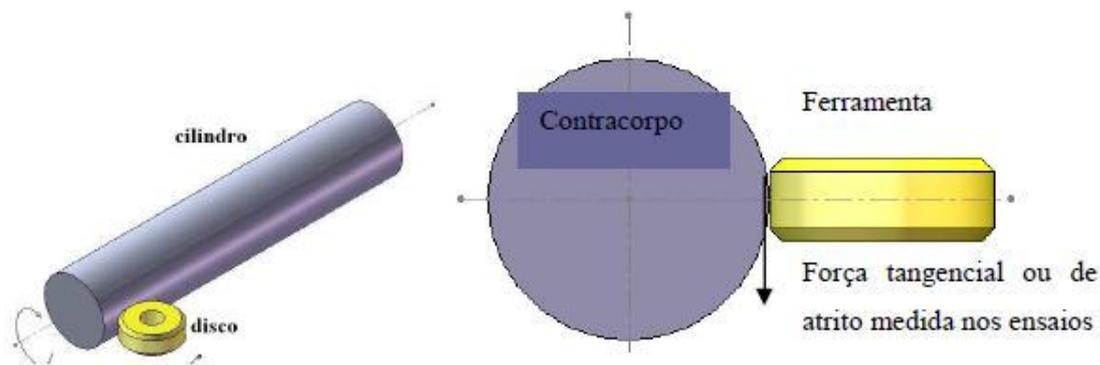


Figura 6 - Esquema de contato do ensaio de Mendes (2009).

Um dos parâmetros que deve ser programado durante os ensaios é a profundidade de penetração. Porém ao contrário do que se possa intuir, essa não é a que será encontrada nos sulcos usinados no cilindro, pois o disco não se comporta como uma ferramenta de usinagem que promove o corte e a remoção de cavacos do cilindro, mas, na verdade, apenas o deforma elástica e plasticamente. A profundidade de penetração representa a carga normal que é aplicada no contracorpo.

Logo, ao se configurar a mesma profundidade de penetração no mesmo torno é possível obter os mesmos esforços na interface da ferramenta com o contracorpo e assim será possível comparar os resultados.

Os ensaios realizados por Mendes (2009) foram feitos com profundidades de penetração programada no torno de 0,1 e 0,3 mm em dois tornos diferentes, um no Laboratório de Fenômenos de Superfície (LFS) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) e outro na Fundação Salvador Arena (FSA), utilizando, respectivamente, os seguintes equipamentos: Mini Torno/Fresadora CNC Cojugados fabricado pela empresa Manufacturing Data Systems (MDSI) e Romi Centur 30S.

Em relação às ferramentas ensaiadas, todas eram de aço AISI M2 temperado e revenido no forno Brasimet do LFS, resultando em uma dureza de 870 HV. Os revestimentos aplicados sobre o aço foram de dois tipos (ambos obtidos através da Brasimet Bodycoat): DUROTIN™ (4,6 μm de revestimento monocamada de TiN com dureza de 2300 HV, de acordo com o catálogo do fabricante) e DUROTIN EXXTRAL™ (4,9 μm de revestimento multicamada de AlTiCrN com intercamadas de TiN e dureza global de 3300 HV, de acordo com o catálogo do fabricante).

Um dos parâmetros que foram medidos durante os ensaios, tanto no LFS como na FSA, foram as forças de atrito (forças tangenciais) conforme representado na Figura 6, ou seja, trata-se da força cuja direção é tangente à ferramenta e ao contracorpo no local onde ocorre o contato entre eles e cuja direção é contrária à tendência do movimento. Portanto, a força representada na Figura 6 é aquela que age na ferramenta sendo que pela terceira lei de Newton (ação e reação) a força de atrito que age sobre o contracorpo apresenta mesma direção, mesma intensidade e sentido contrário ao da que age sobre a ferramenta.

3. Objetivos

Este Trabalho de Formatura tem como objetivo realizar o ensaio de ferramentas (pastilhas) sem revestimento em um torno CNC, selecionando-se diferentes profundidades de penetração. Ou seja, usar ferramentas sem revestimento no ensaio desenvolvido por Mendes (2009) para um número maior de cargas de trabalho e, dessa maneira, poder determinar a relação entre a carga normal aplicada e a força tangencial de reposta.

Adicionalmente, com o melhor conhecimento sobre o comportamento da ferramenta para um número maior de cargas de trabalho, será possível no futuro selecionar de maneira mais segura e precisa qual é o recobrimento que atenderá de maneira mais eficaz os requisitos necessários para o trabalho de estampagem, propiciando assim um melhor aproveitamento das ferramentas de estampagem já que estas apresentam um alto custo. Adicionalmente, o entendimento dos fenômenos tribológicos que ocorrem durante a estampagem e danificam a ferramenta poderão ser usados para o desenvolvimento de novas ferramentas que apresentem uma maior eficiência.

4. Metodologia

O foco do projeto será fazer uma previsão, ensaiar e analisar os resultados com a variação de um parâmetro considerado de grande importância no desenvolvimento da dissertação de mestrado de Mendes (2009). O parâmetro que passará por tal processo é a profundidade de penetração a ser programada no torno durante o ensaio, essa profundidade não é a que será encontrada nos sulcos usinados no cilindro, pois, reafirmando o que já foi dito, o disco não se comporta como uma ferramenta de usinagem que promove o corte e a remoção de cavacos do cilindro, mas, na verdade, apenas o deforma elástica e plasticamente. Sendo assim, a profundidade de penetração é um artifício para se conseguir a mesma força normal nos ensaios, desde que sejam feitos no mesmo equipamento.

Conforme destacado anteriormente, o ensaio realizado neste trabalho deverá se aproximar o máximo possível daquele feito por Mendes (2009), o qual encontra-se apresentado nas Figuras 5 e 6.

Os materiais utilizados foram:

Contracorpos: Aço AISI 1046.

Ferramentas: Aço AISI M2 (dureza média 231 HV30 – sem tratamento térmico).

Equipamento (torno): Mini Torno/Fresadora CNC Cojugados fabricado pela empresa Manufacturing Data Systems (MDSI).

Avanço: 3 mm/volta.

Velocidade tangencial: 30 m/min.

Porta Ferramentas originado no trabalho de formatura de Guimarães (2000) que foi utilizado por Mendes (2009), sendo que foi instrumentado com extensômetros para o presente trabalho.

5. Resultados e Análises

A seguir os resultados para três profundidades de penetração que foram programadas no torno. Adicionalmente, as condições de ensaio foram 0,03; 0,05 e 0,10 mm. As imagens das ferramentas após os ensaios estão apresentadas nas Figuras 7, 8 e 9:

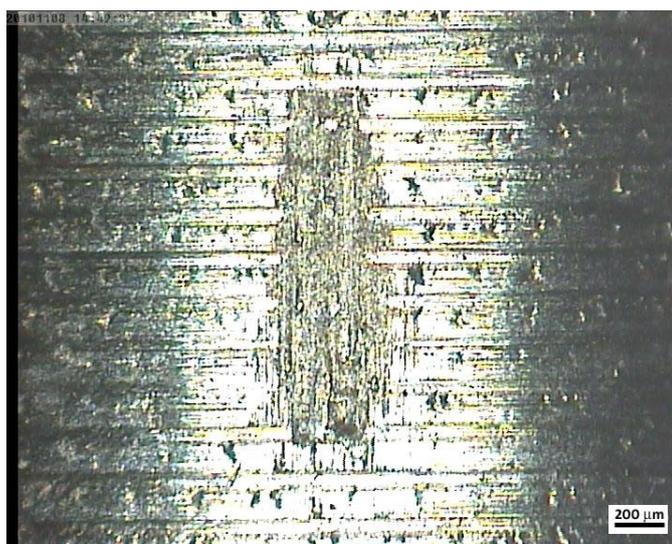


Figura 7. Imagem da ferramenta no ensaio com profundidade de penetração de 0,03 mm.

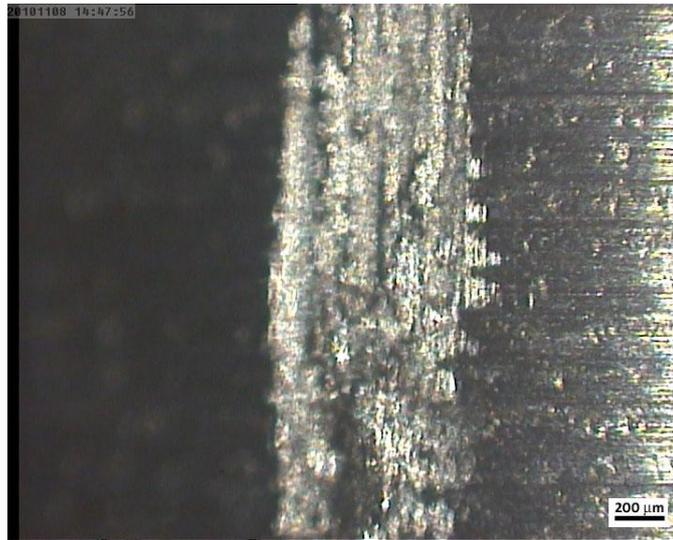


Figura 8. Imagem da ferramenta no ensaio com profundidade de penetração de 0,05 mm.

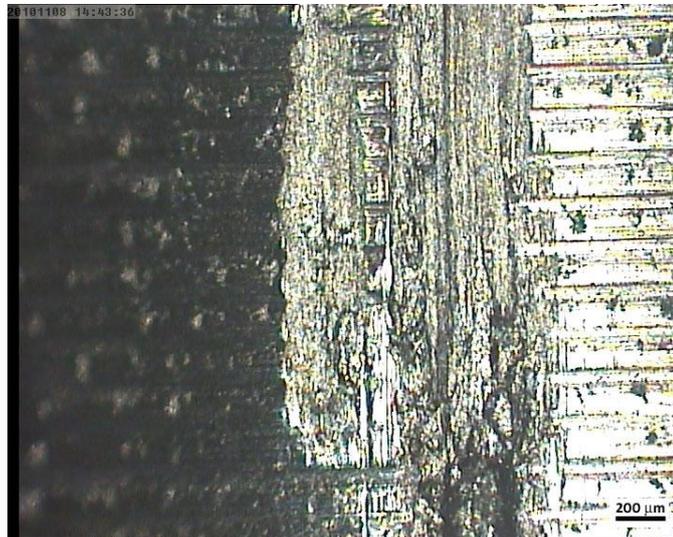


Figura 9. Imagem da ferramenta no ensaio com profundidade de penetração de 0,10 mm.

E os gráficos da força tangencial medida nos ensaios estão nas Figuras 10, 11 e 12.

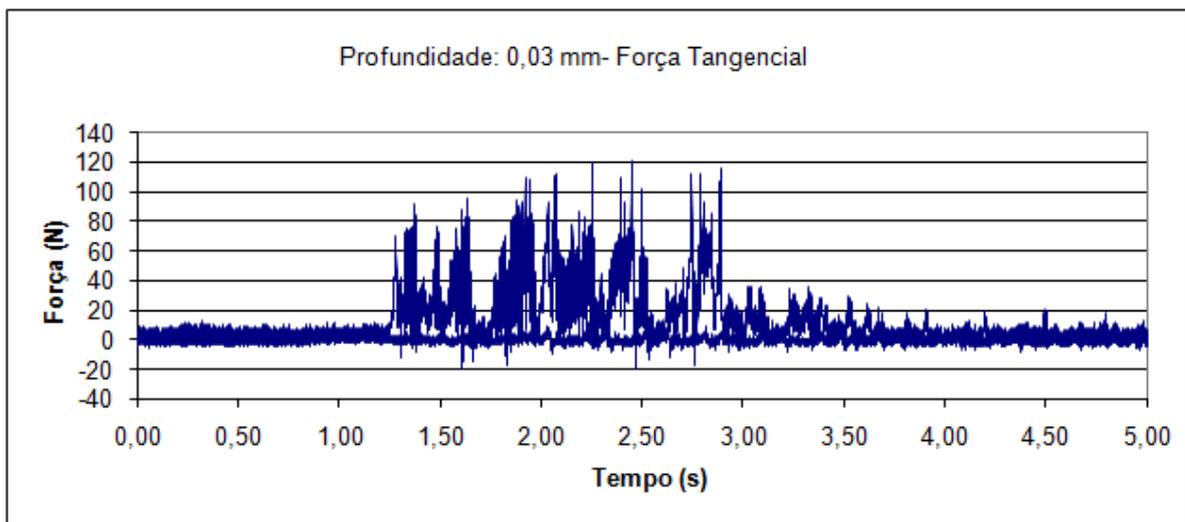


Figura 10. Gráfico da força tangencial no ensaio com profundidade de penetração de 0,03mm.

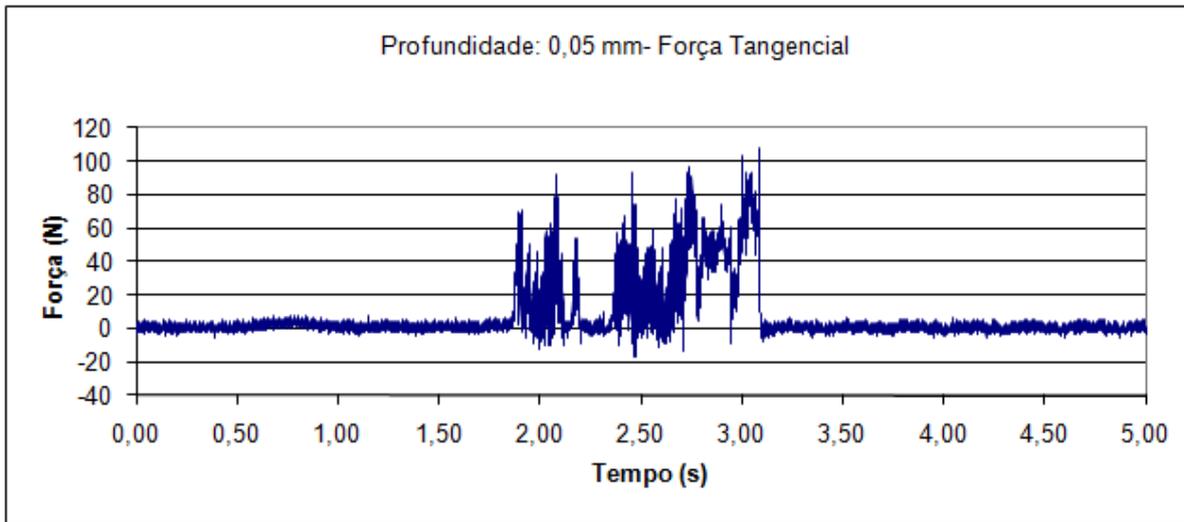


Figura 11. Gráfico da força tangencial no ensaio com profundidade de penetração de 0,05mm.

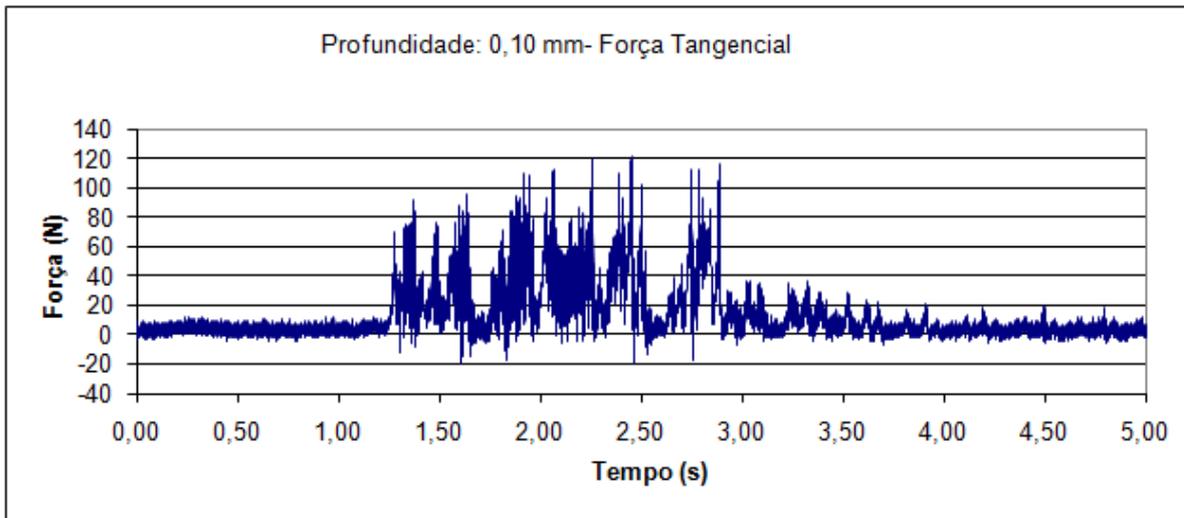


Figura 12. Gráfico da força tangencial no ensaio com profundidade de penetração de 0,10mm.

Finalmente, a Figura 13 representa o estado típico do contracorpo após cada um dos ensaios.

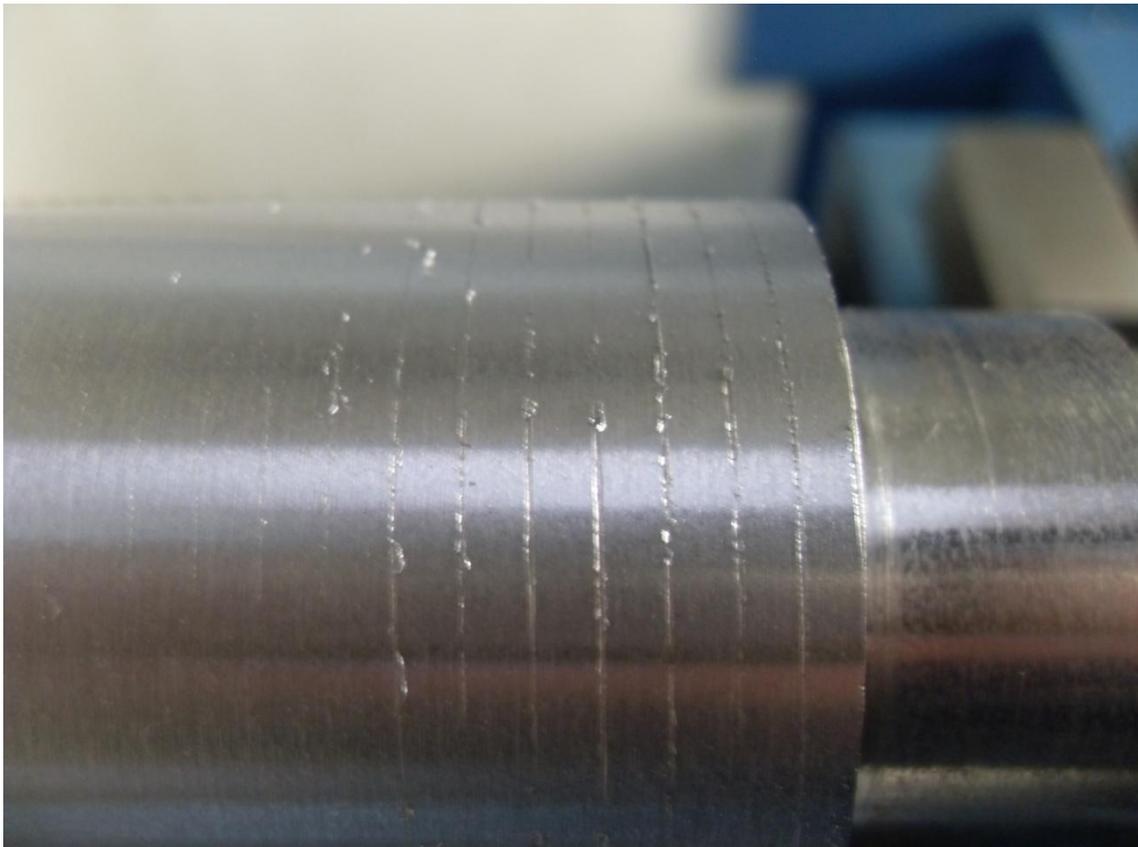


Figura 13. Imagem do contracorpo após ensaio.

6. Discussão

Iniciando-se a análise pela ferramenta a após os ensaios, pode-se observar que em todos os ensaios a parte da ferramenta que estava em contato com o contracorpo foi arrancada. Em geral, para profundidades de penetração maiores, ou seja, cargas normais mais elevadas, a quantidade de material arrancado também foi superior.

Paralelamente, na Figura 13, que é uma boa representação para todos os ensaios, fica claro que a ferramenta só conseguiu deslizar livremente no começo do contracorpo. A rápida quebra da ferramenta ocorreu provavelmente devido à sua baixa dureza, que era muito próxima à do contracorpo. Logo, pode-se supor que ocorreu o fenômeno do galling no início ensaio. Portanto, houve um processo adesivo do contracorpo na ferramenta no início do ensaio no qual material aderido no contracorpo se desprende levando consigo parte da ferramenta.

As forças tangenciais foram caracterizadas por picos que partiram de valores próximos à força nula e retornavam rapidamente, o que também se verificou nos ensaios de Mendes (2009). Os valores atingidos pelas forças foram muito superiores aos medidos por Mendes (2009) no LFS com a ferramenta tratada termicamente (mais dura). Logo, pode-se concluir que o fato da ferramenta apresentar durezas menores propiciou sua rápida quebra e, portanto, forças elevadas devido ao processo adesivo.

7. Conclusões

Os resultados obtidos neste trabalho permitem observar que ocorreu uma situação diferente das ocorridas nos ensaios de Mendes (2009). Devido à utilização de ferramentas sem tratamento térmico e, portanto, com baixo nível de dureza, essas ferramentas sofreram danos severos, tendo partes arrancadas durante o ensaio.

Adicionalmente, pode-se verificar dois fatos interessantes: a oscilação da direção da força no eixo X (avanço) e o aumento da força no eixo Z (rotação, mesmo para profundidades de penetração inferiores, quando comparada aos ensaios de Mendes (2009) no LFS para ferramentas com tratamento térmico e também sem recobrimento.

Finalmente, como fruto do trabalho tem-se o porta ferramentas instrumentado de maneira completa – com as três direções ortogonais – e calibrado. Esse equipamento é muito útil e poderá ser usado em outras atividades.

8. Referências

Andreasen, J. L; Bay, N; Chiffre, L de., 1998, “Quantification of galling in sheet metal forming by surface topography characterization”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol 38, n 5-6 pp. 503 – 510.

Budinski, K; Budinski, M; Kohler, M., 2003, “A galling-resistant substitute for silicon nickel”, Wear v. 255, pp 489 – 497.

Carlsson, P; Olsson, M., 2006, Surface & Coatings Technology, v 200, Issues 14-15, pp 4654-4663.

Guimarães, André Ricardo. Sistema para medição das componentes da força de usinagem em operações de torneamento. Trabalho de Formatura EPUSP – PME. São Paulo, 2000.

“Mais máquinas movendo o crescimento”, 2010, Corte e Conformação de Metais, ano V, número 57.

Mendes, M. A. R. S., 2010, “Estudo do desgaste de ferramentas com e sem revestimento de filmes finos utilizados em operações de conformação a frio”, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP).

Santos, A. M. M. M; Pinhão, C. M. de A., 1998, “Carrocerias e cabines estamparia pesada”, Relatório Setorial BNDE. Disponível em http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/relato/stampa.pdf. Acessado em 28/10/2009.

STUDY OF THE EFFECT OF LOAD ON THE WEAR BEHAVIOR OF TOOLS FOR COLD FORMING

Felipe Barros Delphino
felipe_delp@hotmail.com

Abstract. This work is dedicated to the study of the effect of load on the wear behavior of tools for cold forming. To this end, this work initially describes the major phenomenon (Galling) that is responsible for the end of life of these tools. Then, a laboratory test is studied, aiming to reproduce the use of these tools in the field. A key part of work is the instrumentation of the tool holder, which was used to measure the forces in this experiment. Finally, the test itself was conducted with tools not in common conditions of use, but with tools without heat treatment and hardness very close to the counterbody applied. As expected results have indicated the breakage of the tool early in the test for all loads used.

Keywords: Tribology, Coating e Conformation Mechanics.