

# ANÁLISE DE FALHA EM PUNÇÕES DE AÇO FERRAMENTA VH13 SOB TRABALHO À QUENTE <sup>1</sup>

Márcio Corrêa de Carvalho <sup>2</sup>  
Marcos Fábio Veríssimo Montezuma <sup>3</sup>  
Sheyla Santana de Carvalho <sup>4</sup>  
Hamilton Ferreira Gomes de Abreu <sup>5</sup>

## Resumo

Neste trabalho investigou-se um caso de falha por desgaste prematuro de punções de aço ferramenta para trabalho à quente utilizados no processo de furação por puncionamento. O objetivo deste trabalho foi identificar as causas da falha de punções fabricados de aço ferramenta sob trabalho à quente VH13 tratado termicamente para utilização na produção de molas automotivas. A análise de falhas foi feita pela análise de tensões por simulação computacional utilizando programas baseados no método dos elementos finitos (MEF). Os resultados teóricos estão sendo complementados com resultados experimentais de microdureza, tribografia e micrografia, realizados em componentes submetidos às condições reais de serviço. Desenvolveu-se uma sistemática de modelagem computacional, que permite o conhecimento das principais causas de falha dos punções permitindo sugestões de modificação no projeto dos punções.

**Palavras-chave:** Análise de falha; Desgaste; Simulação computacional; Puncionamento.

## FAILURE ANALYSIS OF VH13 TOOL STEEL PUNCHES UNDER HOT WORK

### Abstract

This work investigated a failure case by premature wear of a part made of tool steel for hot work used in punching. The aim of this analysis was identify the failure causes of VH13 tool steel for hot work heat treated punches used in the manufacture of automotive springs. A stress analysis was developed by computational simulation using commercial softwares based on the finite element method (FEM). The theoretical results has been complemented with experimental results of microhardness, tribography, micrography, obtained from parts that experienced real service conditions. A computational modeling systematics was developed to permit the knowledge of the main causes that led the punch to fail and suggesting improvements in the punch design.

**Key words:** Failure analysis; Wear; Computational simulation; Punching.

<sup>1</sup> Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais, Prof. Resp. Laboratório de Usinagem da Faculdade Centro de Ensino Tecnológico (Centec) e-mail [marcio@centec.org.br](mailto:marcio@centec.org.br), End. Rua Estevão Remígio, Centro, Limoeiro do Norte - CE, Brasil.

<sup>3</sup> Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais, Engº Mecânico da Petrobras Distribuidora S.A., e-mail [marcosfv@br-petrobras.com.br](mailto:marcosfv@br-petrobras.com.br), End. Av. Dom Luis, 300, 5º Andar, Sala 529, CEP 60.160-230, Fortaleza-CE, Brasil.

<sup>4</sup> Mestre em ciência dos materiais, LACAM-UFC. End. Campus do Pici, Centro de Tecnologia - Bloco 715, Fortaleza-CE, Brasil.

<sup>5</sup> Prof Dr do Deptº de Engª Mecânica da Universidade Federal do Ceará – UFC, e-mail: [hamilton@ufc.br](mailto:hamilton@ufc.br), End. Campus do Pici, Centro de Tecnologia - Bloco 715, Fortaleza-CE, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Operações de puncionamento são largamente utilizadas para cortar chapas de metal por cisalhamento entre o punção e uma matriz. O processo de puncionamento é mais rápido e econômico comparado com outros processos de fabricação mecânica como fundição, forjaria e usinagem. Entretanto, os punções são submetidos a condições severas de serviço em elevadas temperaturas e tensões, portanto, necessitando elevada resistência ao desgaste.

Segundo Hogmark *et al.*,<sup>(1)</sup> o desgaste caracteriza-se por danos em superfícies com perda de material sendo evidenciado por marcas de várias formas e tamanhos como consequência de uma combinação de diferentes mecanismos que atuam simultaneamente.

Os punções fabricados de aço ferramenta requerem durezas elevadas, 58 a 68 HRC, para que não venham a desgastar prematuramente quando submetidos a elevadas temperaturas e tensões de serviço.

Vários fatores podem ser responsáveis pela falha de um punção, dentre eles pode-se citar, o projeto do punção, a qualidade do aço, o processo de usinagem, o tratamento térmico, o acabamento, o alinhamento na montagem e a sobrecarga na operação.<sup>(2)</sup>

O objetivo deste trabalho foi identificar as causas da falha de punções fabricados de aço ferramenta VH13, tratados termicamente, para utilização na produção de molas automotivas fabricadas de aço 5160.

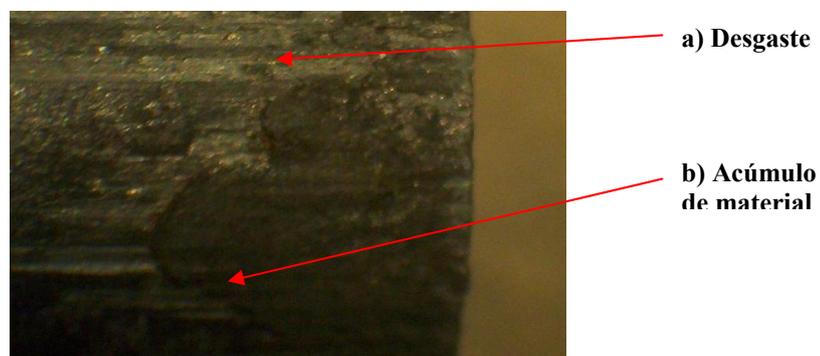
O punção foi analisado e submetido a uma série de ensaios (microscopia óptica e eletrônica de varredura, EDX e microdureza para verificação das causas da falha. Foi realizada também uma simulação computacional no programa ANSYS com o objetivo de analisar as tensões atuantes no punção e direcionar um novo perfil para este tipo de ferramenta.

## 2 MATERIAL, MÉTODOS E RESULTADOS

### Inspeção Visual

Foi realizada inspeção visual com um auxílio de um estereoscópio e observou-se o seguinte. (Figura 1):

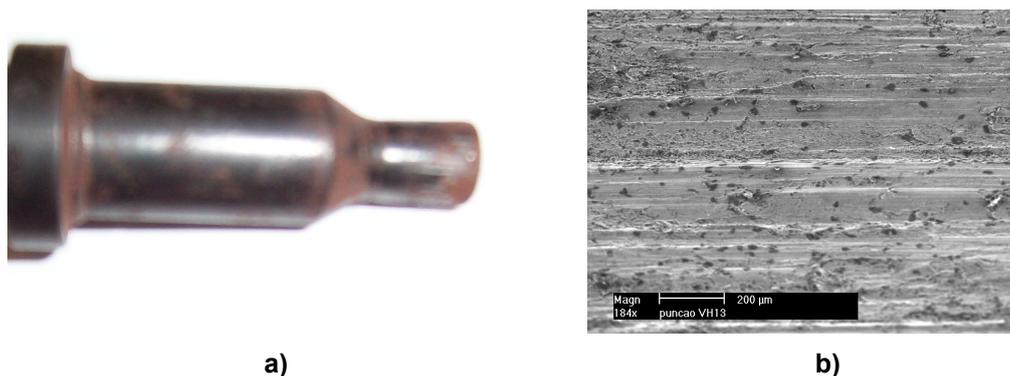
- Dano superficial com perda de material: desgaste.
- Dano superficial com ganho de material;



**Figura 1.** Aspecto do dano superficial no punção: a) Desgaste. b) Acúmulo de material.

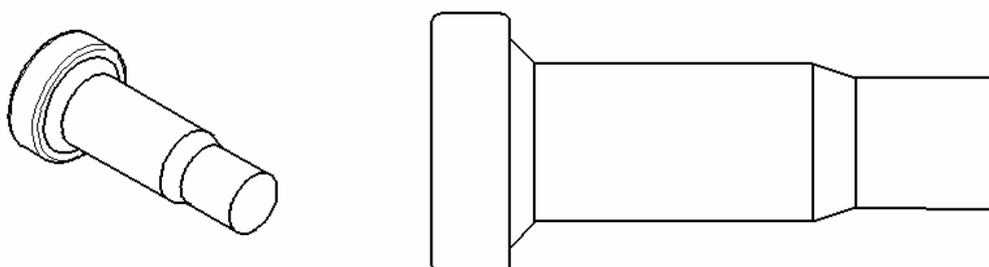
## Tribografias do Punção

Nas análises tribográficas do punção desgastado foram utilizadas técnicas de limpeza química de superfícies (decapagem com solução de HCl 30 %) desgastadas para posterior observação no microscópio eletrônico de varredura (MEV), Figura 2 apresenta uma macrografia do punção (a) e uma micrografia obtida em microscópio eletrônico de varredura do desgaste da superfície lateral.



**Figura 2.** (a) Punção desgastado. (b) Desgaste observado na superfície lateral do punção.

A Figura 3 apresenta a geometria da seção transversal longitudinal do punção desgastado utilizado como objeto de estudo neste trabalho.



**Figura 3.** Modelagem das vistas isométrica e lateral do punção desgastado.

As Tabelas 1 e 2 apresentam as composições químicas do aço VH13 e 5160

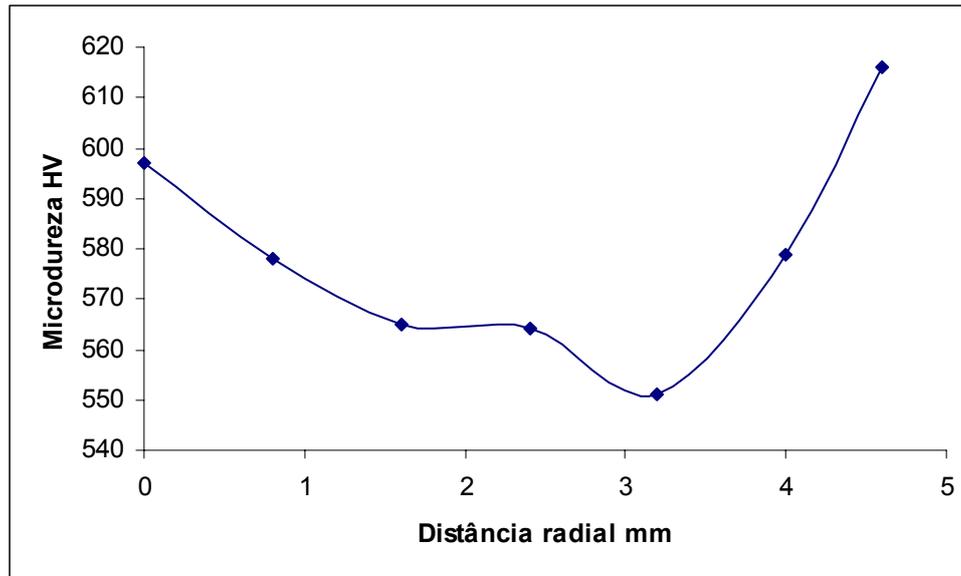
**Tabela 1.** Composição química do aço VH13 (%)

<b>Carbono</b>	<b>Silício</b>	<b>Manganês</b>	<b>Cromo</b>	<b>Níquel</b>	<b>Molibdênio</b>
<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Cr</b>	<b>V</b>	<b>Mo</b>
0,40	1,00	0,35	5,20	1,05	1,30

**Tabela 2.** Composição química do aço 5160 (%)

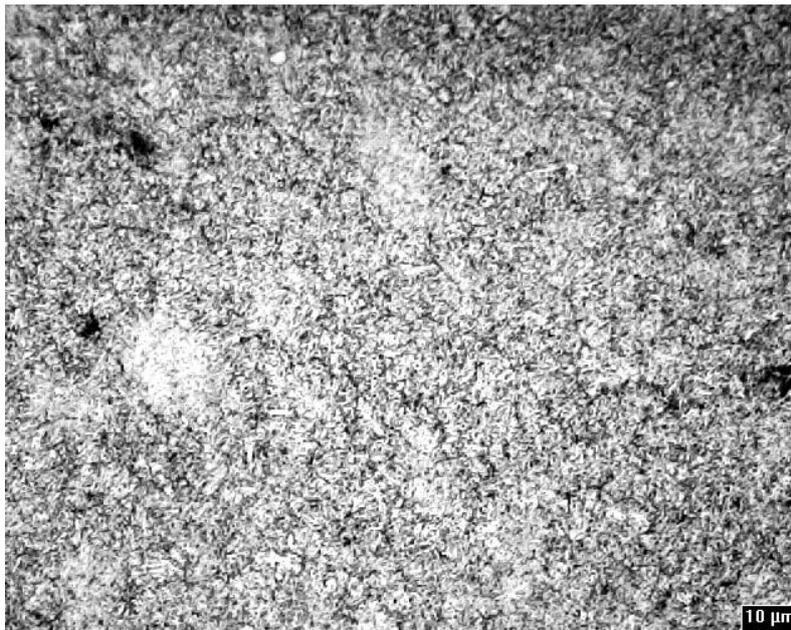
Carbono	Silício	Manganês	Cromo	Fósforo	Enxôfre
C	Si	Mn	Cr	P	S
0,60	0,25	0,87	0,80	0,030	0,040

O perfil de dureza, apresentado na Figura 4, foi obtido da superfície submetida à compressão da aresta de corte.



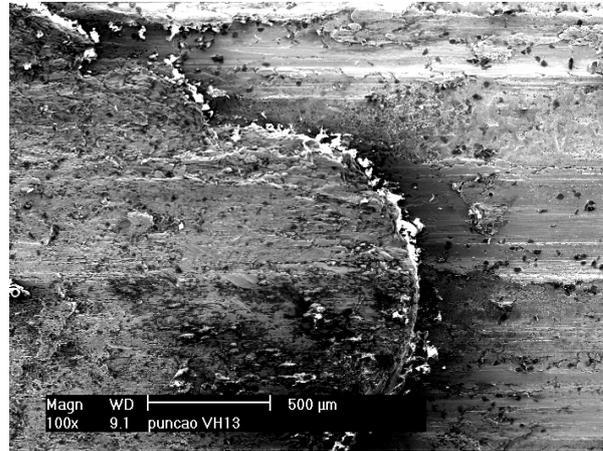
**Figura 4.** Perfil Radial de Microdureza Vickers na extremidade do punção.

A Figura 5 apresenta uma microestrutura martensítica da superfície comprimida da aresta de corte do punção de aço VH13.

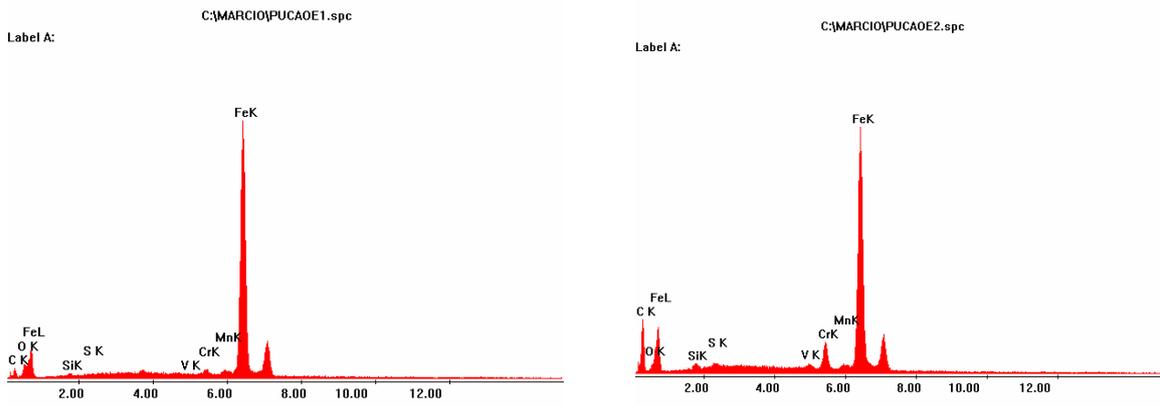


**Figura 5.** Microscopia óptica da extremidade do punção.

A Figura 6 apresenta uma tribografia da superfície cisalhada da aresta de corte mostrando o acúmulo de material da mola. A técnica de caracterização química por EDX foi utilizada para analisar a composição química da superfície cisalhada da aresta de corte do punção desgastado e também identificar o acúmulo de material da mola nesta superfície.



a)



b)

c)

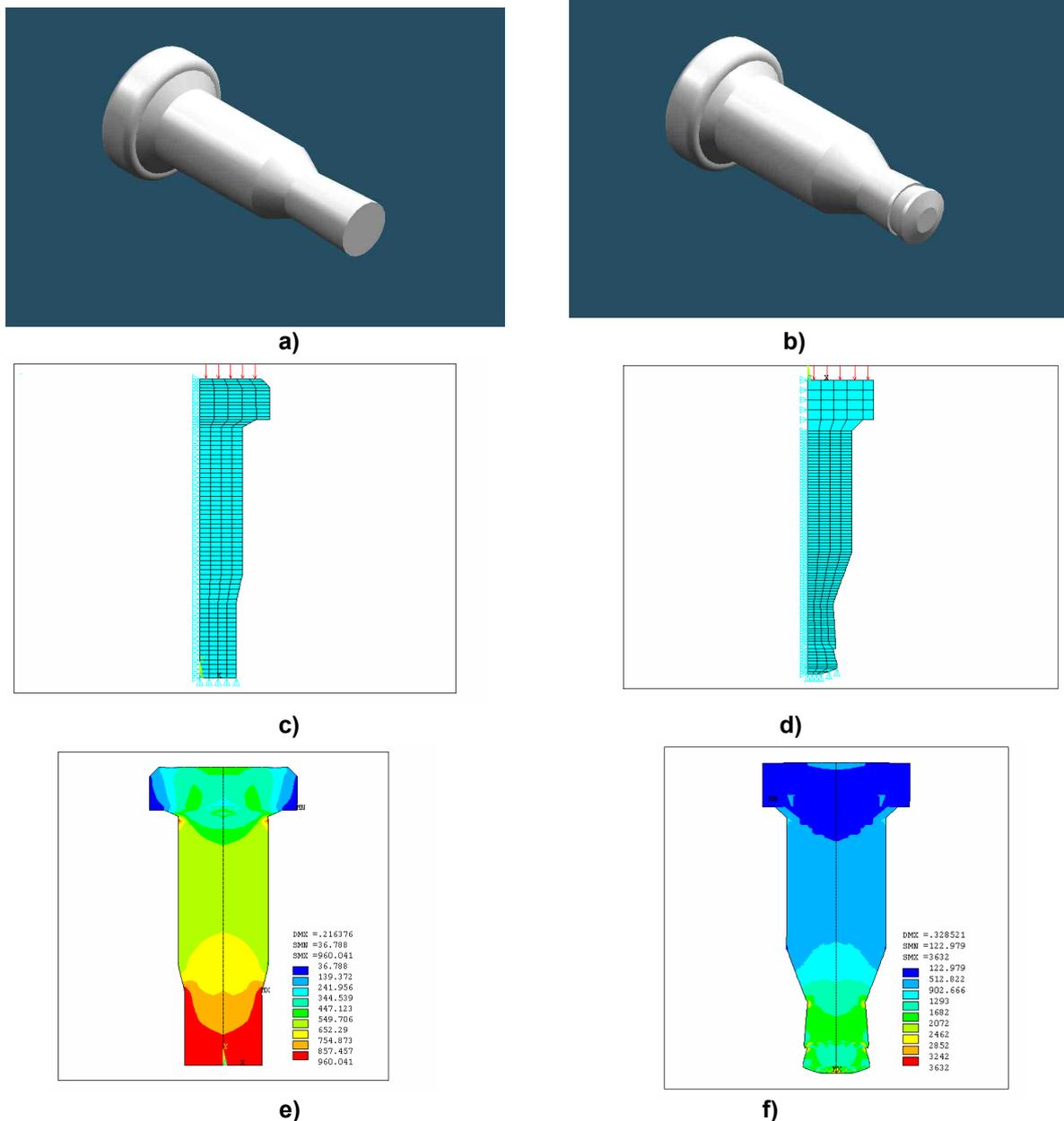
**Figura 6.** a) Microscopia Eletrônica de Varredura da superfície cisalhada da aresta de corte mostrando o acúmulo de material. b) EDX do acúmulo de material da mola no punção. c) EDX do punção.

## Simulação Computacional

Para esta análise foi utilizado o código de elementos finitos Ansys para determinar as distribuições de tensões na geometria do punção desgastado e na geometria do punção com aresta dupla e ângulo de cisalhamento de 20 graus. Para reduzir o custo computacional da análise, um modelo bi-dimensional foi utilizado para simular a geometria do punção. Um carregamento de pressão de 300 MPa foi aplicado ao modelo do punção desgastado e ao modelo do punção com aresta dupla e ângulo de cisalhamento de 20 graus para simular as condições do carregamento de operação. Na geração da malha foi utilizado o elemento finito, PLANE42 (4-NODE), que é apropriado para modelar estruturas quando o estado de tensão

axial simétrico é assumido. Este elemento possui dois graus de liberdade em cada nó e deslocamentos nas posições nodais x e y.

A Figura 7 a) exibe a geometria 3D do punção desgastado, a Figura 7 b) exibe a geometria 3D do punção com aresta dupla e ângulo de cisalhamento de 20 graus. A Figura 7 c) exibe a malha com restrições de elementos finitos do punção desgastado. A Figura 7 d) exibe a malha com restrições de Elementos Finitos do punção com aresta dupla e ângulo de cisalhamento de 20 graus. A Figura 7 e) mostra o Campo de tensões de Von Mises no punção desgastado. A Figura 7 f) mostra Campo de tensões de Von Mises no punção com aresta dupla e ângulo de cisalhamento de 20 graus.



**Figura 8.** a) Geometria 3D do punção desgastado b) Geometria 3D do punção com aresta dupla e ângulo de cisalhamento de 20 graus c) Malha com restrições de Elementos Finitos do punção desgastado d) Malha com restrições de Elementos Finitos do punção com aresta dupla e ângulo de cisalhamento de 20 graus e) Campo de tensões de Von Mises no punção desgastado f) Campo de tensões de Von Mises no punção com aresta dupla e ângulo de cisalhamento de 20 graus.

### 3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na inspeção visual do punção desgastado fabricado de aço VH13 temperado e revenido, constatou-se o dano por desgaste facial em sua superfície lateral de corte e acúmulo de material na superfície lateral da aresta de corte, como mostra a Figura 1. O desgaste provocado na superfície lateral de corte pode ser visto na Figura 2 b, que apresenta uma microscopia eletrônica de varredura das ranhuras.

Os resultados representados no gráfico da Figura 4 mostram o perfil radial de microdureza na superfície comprimida da aresta de corte indicando uma maior microdureza na extremidade próxima a aresta de corte decaindo no sentido da extremidade para o centro e aumentando na região central. Segundo Luo,<sup>(3)</sup> a deformação plástica resultante do processo de puncionamento provoca o encruamento, que no caso do punção desgastado ocorreu de forma mais acentuada na região mais próxima a aresta de corte, local onde foram verificadas as maiores microdurezas. A metalografia por microscopia óptica apresentada na Figura 5 é de uma microestrutura de martensita revenida e carbonetos secundários. Foram verificados menores valores de microdureza em locais em que provavelmente ocorreram descarbonetação oriunda do processo de tratamento térmico.

A técnica de caracterização química por EDX foi utilizada na identificação do material do punção desgastado de aço VH13 e do acúmulo de aço AISI 5160 na superfície cisalhada da aresta de corte mostrada na microscopia eletrônica de varredura da Figura 6 a). O teor de cromo é mais elevado no aço VH13 visto no resultado de EDX na Figura 6 b), que no aço AISI 5160, visto no resultado de EDX na Figura 6 c) ver tabelas I e II.

Com o objetivo de analisar as tensões na aresta de corte realizou-se uma simulação computacional do punção submetido aos carregamentos das condições de serviço observou-se que as tensões equivalentes na superfície desgastada são menores que no punção com aresta dupla de corte, conforme observou Singh.<sup>(4)</sup> Os resultados de tensão na superfície aumentam no sentido da extremidade para o centro nas simulações realizadas nas duas geometrias do punção (ver Figuras 8e, 8f). Este resultado apresenta uma discrepância em relação aos resultados de microdureza, que se deve ao fato de que a simulação foi realizada considerando o material do punção como homogêneo e isotrópico sem levar em consideração as variações de microdureza devido a variações de taxas de resfriamento e do processo de descarbonetação originados no tratamento térmico.

## 4 CONCLUSÕES

O punção de aço ferramenta VH13 tratado termicamente utilizado na fabricação à quente de molas automotivas de aço 5160, falhou prematuramente por dois mecanismos de dano, o desgaste e o acúmulo de aço 5160 em sua superfície. O ensaio de microdureza constatou uma dureza máxima de 616 HV aproximadamente 56,1 HRC dureza abaixo da faixa da dureza de 58 HRC recomendada para punções nestas condições de operação. Foram observadas variações de microdureza na superfície comprimida em virtude das variações do tratamento térmico. A simulação computacional demonstrou que as tensões equivalentes no punção com dupla aresta de corte e ângulo de cisalhamento de 20 graus são menores que no punção com aresta simples conseqüentemente, o punção com aresta dupla será mais eficiente na produção de furos.

Finalmente, a principal causa para o desgaste prematuro do punção foi a dureza inadequada do material do punção abaixo da faixa recomendada neste tipo de operação. Recomenda-se para melhorar o desempenho destas ferramentas alteração na geometria do punção, seleção adequada de material, observação do alinhamento na montagem e refrigeração durante a operação de corte.

## Agradecimentos

Rafael Agnelli de Mesquita - Villares Metals  
Odaci da Silva - Molas Tabuleiro

## REFERÊNCIAS

- 1 HOGMARK, S., STAFFAN, J., VINGSBO, O., Surface Damage, Metals Handbook, ASM International, 1990 177 – 183
- 2 VAN DER VOORT, G. F., Failures of Tools and Dies, Metals Handbook, ASM International, 1990 563 – 585
- 3 LUO, S. Y., Studies on the wear conditions and the sheared edges in punching, J. Wear, 208 (1997) 81-90
- 4 SINGH, U. P., Streppel, A. H., Kals, H. J. J., Design study of the geometry of a punching/blanking tool, J. Material Processing Technology 33 (4) (1992) 331-3445