

# ANÁLISE DE FALHAS DE PINOS DE MATRIZES DE INJEÇÃO\*

Sandro Griza<sup>1</sup>  
Abraão Santos Silva<sup>2</sup>  
Rebeca Conceição da Silva Reis<sup>3</sup>

## Resumo

Neste estudo, analisou-se a fratura de dois pinos suporte de máquina injetora de material polimérico. Os segmentos dos pinos fraturados foram submetidos à análise das fraturas, análise química, análises microestruturais e microdureza. A falha ocorre sempre na mesma posição de encaixe do pino, onde se constatou uma folga superior a folga estipulada no projeto do equipamento. A análise química revelou que o aço usado é um aço para cementação de baixo teor de carbono ligado ao níquel e cromo. A análise de microdureza revelou a presença de uma camada cementada. A análise microestrutural detectou a presença de fases frágeis nos contornos de grão e grande heterogeneidade microestrutural, o que favoreceu a ruptura. A análise da fatura por microscopia eletrônica de varredura revelou aspecto frágil para ambos os pinos, com propagação instável de trinca. A análise de falha indicou que a folga excessiva associada a defeitos metalúrgicos foram os fatores que determinaram a falha.

**Palavras-chave:** Cementação; Análise de falha; Pino suporte.

## FAILURE ANALYSIS OF INJECTION MATRIX PINS

### Abstract

In this study, we analyzed the fracture of two support pins of polymeric material injection molding machine. The segments of the fractured pins were subjected to of fracture analysis, chemical analysis, microstructure and microhardness analysis. The failure always occurs in the same seating position of the pin, where it was found a clearance higher than that stipulated in equipment design. Chemical analysis revealed a low carbon carburizing steel alloyed to nickel and chromium. The microhardness analysis revealed the presence of a low hardness carburized layer. Microstructural analysis detected the presence of brittle phases at grain boundaries and highly heterogeneous microstructure, which favored the fracture. The fracture analysis by scanning electron microscopy revealed brittle fracture in both pins with unstable crack propagation. Failure analysis indicated that excessive clearance associated with metallurgical defects were the factors that led to the failure.

**Keywords:** Carburizing; Failure analysis; support pin.

<sup>1</sup> *Graduação em Engenharia Mecânica, Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais e Doutorado, Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Professor adjunto, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.*

<sup>2</sup> *Graduação, Engenharia de Materiais, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.*

<sup>3</sup> *Graduanda, Engenharia de Materiais, Bolsista de Iniciação Científica, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

Pinos são elementos de máquina muito utilizados como elementos de suporte, guia de montagem, fixação, entre outras aplicações [1-3]. Geralmente os pinos são sujeitos a cargas de cisalhamento e flexão. Além disso, muitas vezes os pinos são submetidos a esforços de contato elevados devido aos procedimentos de montagem e desmontagem e também devido às cargas dinâmicas impostas em serviço. Por isso os pinos são tratados para produzir endurecimento superficial.

Um dos procedimentos mais utilizados para aumentar a resistência ao desgaste de pinos é a cementação, que consiste em um processo termoquímico de difusão de carbono na superfície de aços de baixo carbono [4,5]. Os processos mais comuns levam a formação de uma camada endurecida entre 1 e 3 mm de espessura, com dureza média em torno de 700 HV. A cementação consiste em aquecer o aço a temperaturas superiores à temperatura crítica de austenização em meio sólido, líquido ou gasosos rico em carbono, manutenção do material por tempo necessário para a difusão de carbono a fim de produzir a espessura de camada desejada (geralmente cerca de 10 horas) e finalmente resfriamento rápido para a têmpera. Após a cementação pode ser reaplicado procedimento de têmpera para refinar a microestrutura e posteriormente é realizado revenimento.

Os parâmetros de processo de cementação devem ser adequadamente controlados a fim de evitar problemas metalúrgicos, que podem ser diversos. Os mais comuns são a retenção de quantidade elevada de austenita retida, formação de microtrincas intergranulares devidas à oxidação e formação de fases frágeis em contorno de grão [6,7]. Diversos estudos mostram a importância da microestrutura resultante da cementação em relação à falha de componentes cementados [8-10]

O pino guia deste presente estudo é utilizado em matriz de injeção com a finalidade de alinhar o sistema extrator do moldado polimérico com a placa suporte. Foram analisados dois pinos guia utilizados em matriz de injeção, que sofreram falha prematura em serviço. A Figura 1 apresenta um dos pinos. Observou-se que os dois pinos sofreram falha no mesmo local, coincidente com uma ranhura helicoidal ao longo da superfície cilíndrica.

O objetivo do estudo é verificar qual o mecanismo de fratura dos pinos, além de identificar o material e processos de fabricação dos pinos. A fratura ocorre preferencialmente em uma posição específica do equipamento, e nesta posição foi verificada uma folga excessiva de ajuste de montagem do pino.



**Figura 1.** Pino fraturado submetido ao estudo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O segmento do eixo foi submetido à limpeza através de água e agente tensoativo. Depois foram obtidas imagens macroscópicas da fratura, através de câmera fotográfica (Canon 1000D) e lupa de baixo aumento (Zeiss Stemi 2000). Uma vez selecionadas regiões específicas da fratura, estas foram submetidas à análise em microscópio eletrônico de varredura (MEV Jeol Carry Scope 5700). As imagens da análise microscópica foram obtidas através de microscópio óptico (Leica DM 2500). A análise química foi realizada por espectrometria de emissão ótica (Shimadzu, Foundry Master Xpert). Finalmente, foi realizado um perfil de microdureza Vickers (Shimadzu HVM) a fim de verificar variações de dureza em função das variações de microestrutura encontradas. As medições de microdureza foram realizadas partindo da superfície do eixo e seguindo para o núcleo em perfil “zig-zag”. A carga de 1kg foi aplicada com tempo de aplicação de 10 segundos.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

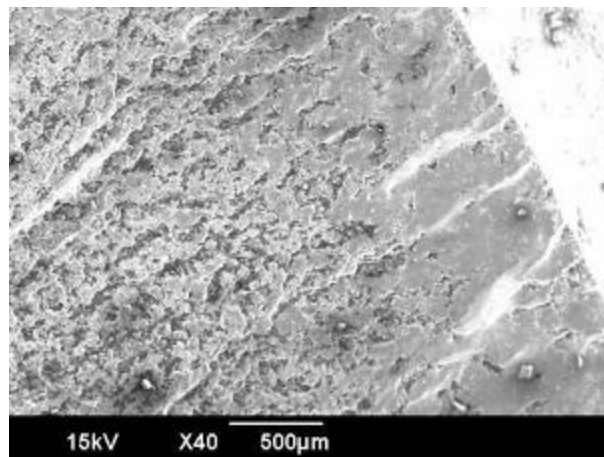
As duas fraturas apresentaram mecanismos semelhantes (Figura 2). Observou-se que ocorreu diversos pontos de início de trinca associados à ranhura helicoidal. As trincas propagam para o interior dos pinos até a ruptura final. As fraturas apresentam aspecto frágil. A análise em maior ampliação, no microscópio estereoscópico, evidenciou o aspecto frágil, além de mostrar uma camada superficial nos pinos onde a superfície de fratura foi mais lisa, indicando algum tratamento superficial (Figura 3). Foi observado no pino 2 a presença de linhas concêntricas próximas à fratura final que indicam propagação instável da trinca por solicitações cíclicas (11). As análises em microscópio eletrônico mostram que a superfície de fratura dos pinos encontra-se amassada na periferia (Figura 4).



Figura 2. Superfície de fratura do pino -1 e pino-2, respectivamente.



**Figura 3.** Aspecto da fratura do pino (1) e do pino (2) respectivamente, vistos em microscópio estereoscópico. A seta preta indica uma camada superficial lisa que indica uma fratura frágil devido a algum tratamento térmico superficial. A seta branca indica linhas concêntricas (marcas de praia) que estão relacionadas à propagação instável da trinca.



**Figura 4.** Fractografia do pino 1 mostrando amassamento junto a periferia.

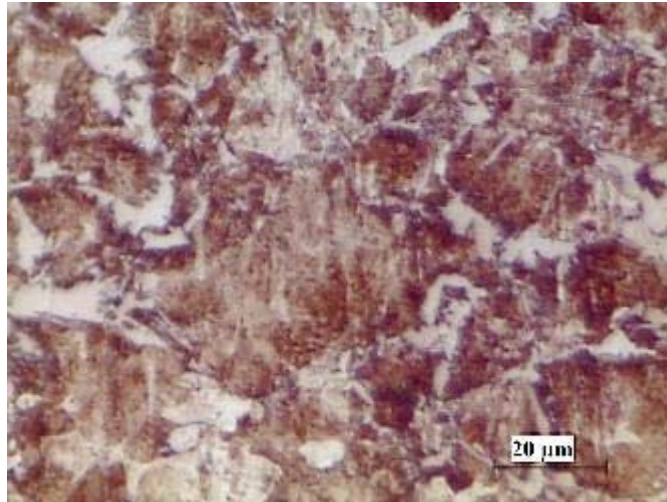
O material é um aço de médio teor de carbono e baixa liga em cromo e níquel, de acordo com a composição química mostrada na Tabela 1. A microestrutura do núcleo dos pinos é composta de ferrita pró-eutetóide e placas de microestrutura transformada em baixa temperatura, com aspecto de bainita superior (Figura 5). A microestrutura junto à periferia dos pinos é formada por menor quantidade de ferrita pró-eutetóide, martensita e cementita nos contornos de grão (Figura 6). Esta microestrutura indica que o pino recebeu um processo de tratamento térmico que favoreceu a formação de fase frágil nos contornos de grão. Esta constatação é suportada pelas trincas secundárias observadas próximas ao plano de fratura da amostra metalográfica. Estas trincas secundárias apresentam aspecto frágil (Figura 7). É possível que tenha ocorrido uma tentativa de cementar o pino, visto que há a formação de menor quantidade de ferrita e maior quantidade de martensita na camada. O resultado da medida de microdureza mostra a camada endurecida de dureza de 412 HV (DP 23,6 HV) e a dureza do núcleo de 204 HV (DP 11,9 HV) (Figura 8). Provavelmente o processo de cementação foi realizado a temperatura intercrítica, inferior à temperatura de austenitização, o que provocou menor difusão de carbono e permitiu a manutenção de ferrita pró-eutetóide na camada. Com a têmpera posterior, esta camada não atingiu uma elevada dureza que beneficiasse a resistência ao desgaste do pino.



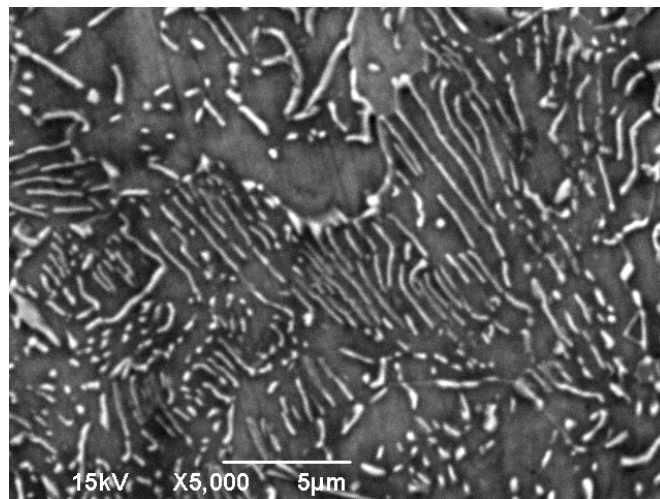
**Tabela 1.** Análise química (% em peso)

Elemento	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
% em peso	0,37	0,70	0,02	0,01	0,26	1,55	0,77	0,21

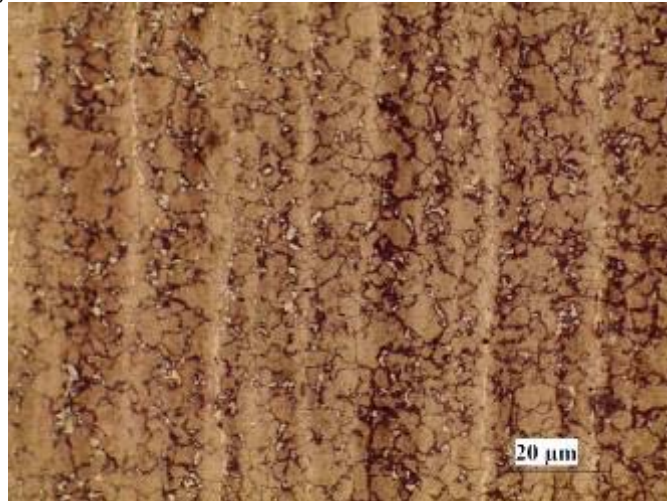
1)



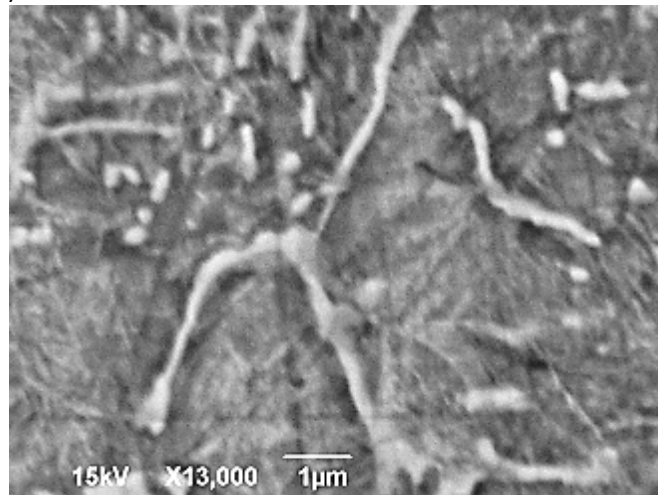
2)

**Figura 5.** 1. Microestrutura do núcleo formada por ferrita pró-eutetóide e bainita. 2 Microestrutura vista em Microscopia eletrônica.

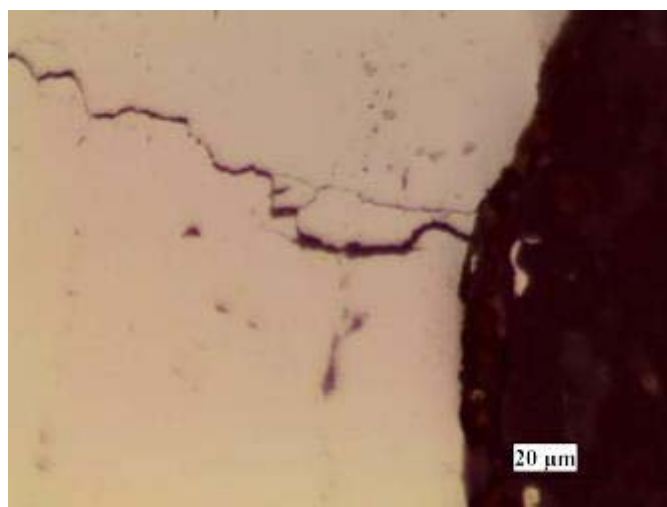
1)



2)



**Figura 6.** 1) Microestrutura da camada, formada por ferrita pro eutetóide (fases claras) e martensita. 2) Observa-se a formação de uma fase delineando os contornos de grão. Esta fase fragiliza o material.



**Figura 7.** Trincas partindo da superfície da ranhura, próximo à superfície de fratura. Observa-se o aspecto frágil e ramificações da trinca.

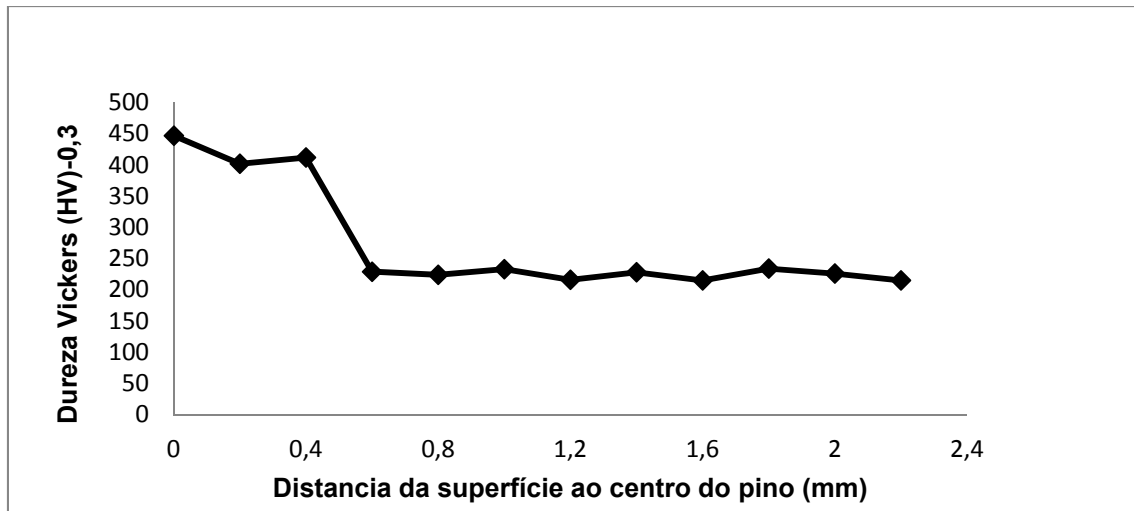


Figura 8. Dureza Vickers do pino, partindo da superfície em direção ao núcleo.

#### 4 CONCLUSÃO

O pino foi fabricado a partir de um aço de médio carbono (0,37%) e baixa liga em níquel e cromo. O pino recebeu um processo de tratamento térmico que provocou a formação de fase frágil nos contornos de grão, o que fragilizou o material e favoreceu a ruptura.

O fato de a fratura do pino ocorrer preferencialmente em uma posição de encaixe da máquina, na qual se constatou folga excessiva, indica que a causa raiz para a falha é de natureza mecânica, ou seja, a folga excessiva. Entretanto, o pino fabricado adequadamente apresentará maior resistência à fratura.

Recomenda-se fabricar o pino através de usinagem a partir do mesmo material, porém é conveniente realizar um tratamento de cementação seguida de têmpera e revenimento adequados, a fim de evitar a fragilização do material. O mais adequado é uma camada de 1 mm de cementação e revenimento para uma dureza superficial de 700 HV.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem as agências de fomento CNPq, Capes e Finep.

#### REFERÊNCIAS

- 1 Xiao-lei Xu, Zhi-wei Yu, Fracture failure of a diesel engine piston-pin, Engineering Failure Analysis.2014; (42): 263–273.
- 2 Poursaeidi E, Mohammadi MR, Failure analysis of lock-pin in a gas turbine engine, Engineering Failure Analysis; 2008 (15): 847–855.
- 3 Chludzinski M, Griza S, Strohaecker TR, Análise de falha em pino de ensacadeira pneumática, 55º Congresso Anual da ABM; 2000:1255-1262.
- 4 Colpaert, H. Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns. Editora: Edgard Blucher. 4ª. Edição. 2008. Mecânica - Processos de Fabricação e Tratamento, vol II, 2ª edição, Ed.: McGraw-Hill, 1986.
- 5 Krauss, G. Steels. Processing, structure, and performance, ASM International, 2005
- 6 American Society for Materials (ASM), Metals Handbook, 9th ed., v. 11: Failure Analysis and Prevention. Metals Park, OH: ASM, 1986.
- 7 ASM International. Metals Handbook Volume 9 - Metallography and Microstructures. Editora ASM International, 2004.

- 8 Wei Li, Zhenduo Sun, Zhenyu Zhang, Hailong Deng, Tatsuo Sakai, Influence of case-carburizing and micro-defect on competing failure behaviors of Ni-Cr-W steel under gigacycle fatigue, *International Journal of Fatigue*;2015 (72):66-74.
- 9 Zhi-wei Yu, Xiao-lei Xu, Zhi Yang, Yuan-yuan Li, Case internal oxidation and intergranular fracture of carburized splined-shaft, *Engineering Failure Analysis*; 2012 (22): 141–151.
- 10 A. Bensely, S. Stephen Jayakumar, D. Mohan Lal, G. Nagarajan, A. Rajadurai, Failure investigation of crown wheel and pinion, *Engineering Failure Analysis*;2006(13):1285-1292.
- 11 American Society for Materials (ASM), *Metals Handbook*, 9th ed., v. 11: Failure Analysis and Prevention. Metals Park, OH: ASM, 1986