

ENSAIO TRIBOLÓGICO PARA AVALIAÇÃO DO DESGASTE EM SISTEMA DE EXTRAÇÃO PARA MOLDES DE INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICOS

T. M. Reis¹, R. Bueno¹, G. Pellenz¹, A. Ecco¹, C. A. Figueroa², A. L. Bandeira², M. C. M. Farias², A. L. Gasparin¹

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Câmpus Caxias do Sul, IFRS, ² Universidade de Caxias do Sul, UCS.
Rua Vitorio Batistti, 1856, 245 Bairro Jardim Eldorado, CEP: 95059-500, Caxias do Sul, RS, Brasil, tiago.reis@ifrs.edu.br

RESUMO

O presente trabalho tem o objetivo de avaliar o desgaste de um sistema de extração de moldes para injeção de termoplásticos. Para a avaliação do desgaste foi confeccionado um dispositivo para simulação do sistema de extração de um molde de injeção, onde foram testados os pinos extratores de material H13. O desgaste foi avaliado por meio da perda de massa, variação dimensional e análise do perfil de rugosidade da superfície a cada 50.000 ciclos. A caracterização da microestrutura dos pinos foi realizada por meio de metalografia, microdureza Vickers e difração de raios X (DRX). A caracterização dos mecanismos de desgaste foi realizada com a utilização de microscópio eletrônico de varredura (MEV). A taxa de desgaste durante a vida útil de um molde de injeção com 800.000 ciclos foi determinada através do ensaio tribológico desenvolvido no presente trabalho. As imagens obtidas através do método desenvolvido indicam que o principal mecanismo de desgaste envolvido neste sistema foi o desgaste por abrasão.

Palavras-chave: moldes de injeção, sistema de extração, desgaste, tribologia.

INTRODUÇÃO

Bilhões de dólares são gastos por ano com o desgaste de equipamentos no processo de fabricação de peças plásticas, os principais componentes afetados são roscas, cilindros, válvulas e moldes⁽¹⁾.

Os extratores são as peças que realizam mais movimento em um molde de injeção e, portanto, estão fortemente sujeitas ao desgaste por deslizamento⁽²⁾. Para avaliação do desempenho do sistema de extração é preciso conhecer o comportamento dos seus componentes com relação à taxa de desgaste e aos

mecanismos de desgaste envolvidos na extração de peças termoplásticas, através de pinos e buchas das placas de extração.

Os pinos extratores podem ser de diversos tipos, dependendo da temperatura de extração, quantidade de pontos de extração utilizados e localização dos pontos no produto⁽³⁾. Um dos mais utilizados é o pino extrator cilíndrico tipo A. Esse tipo de extrator tem suas dimensões padronizadas pela norma (DIN 1530/11)⁽⁴⁾. Além disso, o pino tipo A é fabricado em aço AISI H13, nitretado a gás com dureza superficial entre 65 e 70 HRc, e dureza no núcleo de aproximadamente 40 HRc, apresentando um acabamento superficial retificado ($R_z = 2,5 \mu\text{m}$).

Em sistemas envolvendo pares metálicos sob deslizamento, os mecanismos de desgaste desse sistema podem ser caracterizados de quatro modos: desgaste adesivo, desgaste abrasivo, desgaste por fadiga e desgaste corrosivo⁽⁵⁾. O atrito por sua vez é influenciado pelo somatório das forças que se opõem ao movimento relativo das superfícies de contato, essas forças estão associadas com a adesão, a abrasão e a fadiga do sistema tribológico⁽⁶⁾.

Um ensaio de desgaste serve para caracterizar as propriedades de um determinado material em um determinado sistema. O que significa que um mesmo material pode apresentar diferentes propriedades tribológicas em diferentes situações ou aplicações⁽⁶⁾.

Os ensaios de desgaste podem ser classificados em seis categorias⁽⁷⁾: 1) ensaio em campo com sistema completo, realizado com as condições de operação reais; 2) ensaio realizado sob condições de operação simuladas, simplificadas ou aceleradas; 3) em bancada com subsistema, realizado em bancada com apenas o tribosistema de interesse, sob condições simuladas, simplificadas ou aceleradas; 4) em bancada com tribocomponentes; 5) ensaio com amostras padrão, através de amostras que simulem os tribocomponentes em condições simuladas de operação; 6) ensaio com amostras arbitrárias de material do componente, através de amostras do material do tribocomponente em condições simuladas de operação, realizadas em laboratório.

A criação de um método aplicado ou prático, contendo um dispositivo similar ao sistema de extração de peças termoplásticas de moldes de injeção, para avaliar a taxa de desgaste desse último foi o desafio do presente trabalho. Com isso foi possível também caracterizar o sistema atual de extração, que é com lubrificante e avaliar o desgaste sofrido desse sistema tribológico.

MATERIAIS E MÉTODOS

O pino extrator tipo A selecionado para o trabalho apresentava um diâmetro de 5 mm com tolerância de ajuste g6 e comprimento de 125 mm conforme norma (DIN 1530/11)⁽⁴⁾. Feito de material AISI H13 temperado, revenido e nitretado a gás, com dureza no núcleo de 40 HRc, dureza superficial na camada nitretada entre 950 e 1100 HV e acabamento superficial retificado com rugosidade inferior a 2,5 μm (Rz).

As buchas de alojamento do pino tipo A foram as de material AISI H13 temperadas e revenidas, confeccionadas por usinagem de torneamento e diâmetro interno por usinagem de eletroerosão a fio. A dureza das buchas de aproximadamente 50 HRc. A têmpera foi realizada em forno a vácuo com resfriamento a 4 bar de nitrogênio. O primeiro revenimento foi realizado a 590 °C por 120 min e o segundo revenimento foi realizado a 600 °C por 120 min. A rugosidade do diâmetro interno inferior a 8 μm (Rz) e tolerância de ajuste H7.

No fluxograma da Figura 1 é apresentada a metodologia utilizada para execução deste trabalho.

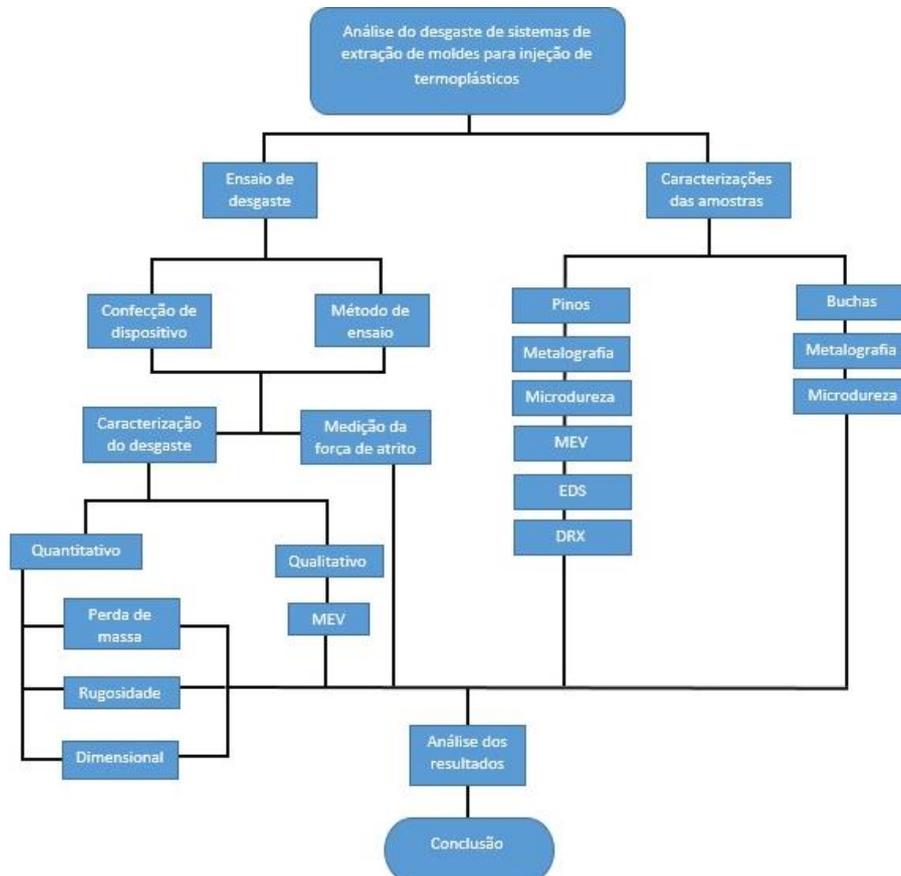


Figura 1 – Metodologia utilizada para execução do trabalho

Para realização do ensaio de desgaste foi confeccionado um dispositivo para simulação do sistema de extração de um molde de injeção. O dispositivo consiste basicamente de uma base fixa onde foram posicionadas as buchas temperadas que simulam os furos de extração do macho de um molde de injeção, e uma placa móvel guiada por sistema de rolamento linear, onde foram fixados os pinos extratores. O movimento foi realizado por um sistema pneumático constituído de um cilindro de dupla ação com diâmetro de 25 mm. O comando elétrico possuía um sistema digital de contagem de ciclos, com a possibilidade de programação de paradas por número de ciclos. A usinagem dos componentes do dispositivo foi realizada seguindo as mesmas tolerâncias de ajuste utilizadas para fabricação de moldes de injeção, para simular com precisão o alinhamento encontrado em moldes de injeção. A Figura 2 apresenta uma imagem da parte mecânica do dispositivo utilizado, mais o pino e a bucha do dispositivo, focos do estudo, respectivamente.

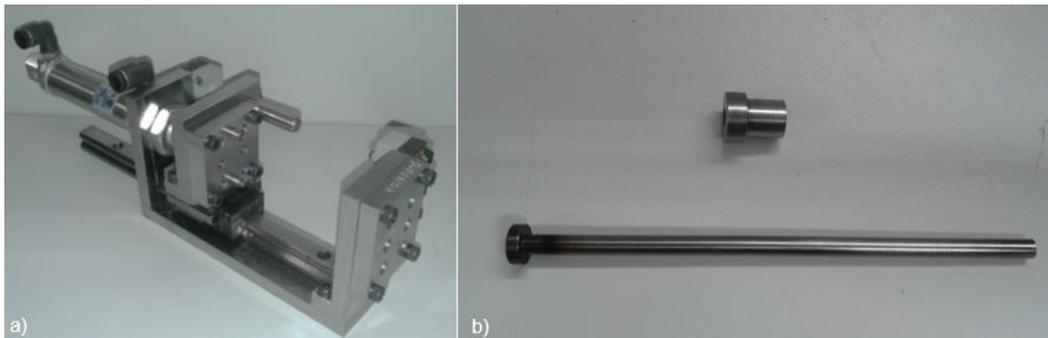


Figura 2 – a) dispositivo para simulação do desgaste em sistema de extração de moldes de injeção, b) pino e bucha avaliados.

O curso de movimentação do dispositivo era de 50 mm, a contagem do ciclo ocorre a cada avanço e retorno da placa móvel com percurso total por ciclo de 100 mm. O dispositivo possuía seis posições para as buchas e seis posições para os pinos.

Todos os parâmetros utilizados para realização do ensaio de desgaste foram baseados em um caso prático.

A velocidade do ensaio utilizada foi de 0,19 m/s, à temperatura entre 15 e 25 °C. A lubrificação foi realizada com graxa a base de parafina e sabão de lítio (graxa de cavidade) marca Wurth, aplicada manualmente nos pinos extratores com a formação de um filme de lubrificante com cobertura total da área de deslizamento. A

quantidade de ciclos entre lubrificações foi definida em 50.000 ciclos, com uma distância percorrida de 5.000 m.

Antes de cada avaliação os componentes formam limpos manualmente com a utilização de álcool isopropílico e algodão.

A variação de massa foi verificada a cada 50.000 ciclos, em uma balança analítica de 210 g da marca Bel Engineering.

A variação dimensional da folga pino/bucha foi verificada a cada 200.000 ciclos, por meio da subtração da medida interna dos furos das buchas pelo diâmetro externo dos pinos, o diâmetro interno das buchas e o diâmetro externo dos pinos foram medidos em uma máquina de medição por coordenadas, tridimensional CNC, modelo Beyond Crysta da marca Mitutoyo, com resolução de 0,0001 mm, a medida do diâmetro das buchas foi obtida a uma distância de 7,5 mm da face oposta a cabeça da bucha, e as medidas dos diâmetros dos pinos foram obtidas a uma distância de 42,5 mm da face oposta a cabeça do pino.

A variação da rugosidade superficial foi realizada a cada 200.000 ciclos, com a utilização de um rugosímetro da marca Mahr modelo Perthometer S2. A rugosidade tanto dos pinos como das buchas foi medida no sentido radial do diâmetro de 5,00 mm, para os pinos e as buchas a posição de medição da rugosidade foi a mesma utilizada para a medição dos diâmetros, a rugosidade foi medida em Rz. A velocidade de rotação utilizada foi de 0,5 mm/s.

Para quantificar a força de atrito do sistema foi instalado um pressostato na entrada do cilindro pneumático, a pressão foi então vaiada de 0 MPa até uma determinada pressão onde o movimento do sistema iniciasse. A pressão de início do movimento foi multiplicada pela área do cilindro pneumático para obter a força necessária para movimentação do sistema. Para validar esse método foi verificada a força para movimentação do sistema com e sem lubrificante.

A microestrutura dos pinos nitretados, foi caracterizada por meio de análise metalográfica. As amostras foram obtidas por meio de corte da seção transversal de um pino. As amostras foram preparadas conforme norma (ASTM E3/01)⁽⁸⁾, após foram atacadas com reagente Nital 2%. As imagens foram obtidas com a utilização de um microscópio ótico. Foram obtidas imagens do núcleo com 1000 x de ampliação e imagens da camada com 500 x de ampliação.

As medições do perfil de microdureza da superfície até o núcleo da seção transversal do pino foram realizadas com um microdurômetro digital modelo

MV2000A da marca Pantec. Sendo obtidas em escala Vickers, conforme norma (ASTM E92/16)⁽⁹⁾. Para obtenção das medidas de microdureza foi utilizado uma carga de 25 g, e um tempo de aplicação da carga de 10 s. Para cada posição foram realizadas três medições⁽¹⁰⁾.

Para a identificação das fases cristalinas presentes nas camadas dos pinos nitretados a DRX foi utilizada. A análise foi realizada com uma faixa de ângulo de 30° a 90°, passo de 0,02°/s, com configuração de ângulo rasante de 2°⁽¹¹⁾. O difratômetro utilizado foi do modelo XRD-6000, marca Shimadzu.

A caracterização dos mecanismos de desgaste foi realizada com a utilização de MEV, modelo Tescan mira 3. As análises foram realizadas nas superfícies de contato dos pinos nitretados e buchas do dispositivo de extração, após o ensaio de desgaste. A bucha foi cortada ao meio na seção longitudinal, enquanto que para os pinos as amostras foram cordadas a 20 mm da cabeça (região sem desgaste) e a 70 e a 80 mm da cabeça (região com desgaste).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da taxa de desgaste está apresentado na Figura 3, sendo possível observar um desgaste mais acentuado do início até 100.000 ciclos, após esta fase o desgaste entra em um patamar de estabilidade até aproximadamente 500.000 ciclos, a partir desse ponto há uma aceleração da taxa de desgaste.

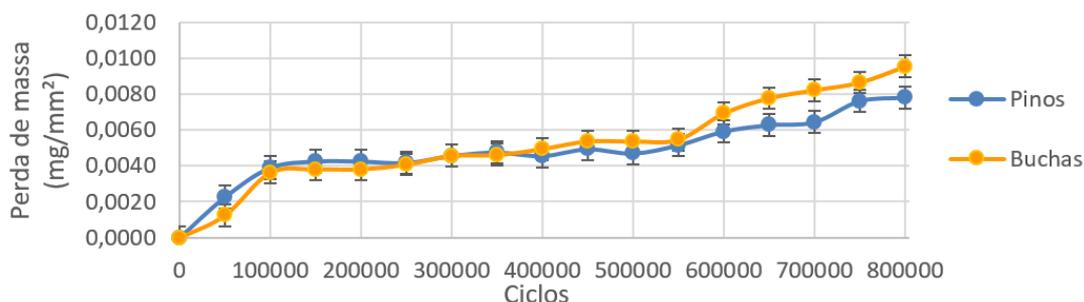


Figura 3 – Taxa de desgaste dos pinos e buchas por unidade de área de contato

A unidade utilizada foi a massa em mg por unidade de área de contato mm², sendo que as buchas apresentavam diâmetro de 5 mm e comprimento de 15 mm com uma área de contato de 235,5 mm² e os pinos apresentavam um diâmetro de 5 mm e um comprimento de contato de 50 mm, com uma área de contato de 785 mm².

A Figura 4 apresenta a variação dimensional da folga entre pino e bucha durante o ensaio em dispositivo de ciclagem. A folga especificada em projeto foi g6/H7 conforme norma (NBR 6158/95)⁽¹²⁾. Para o sistema eixo/furo com diâmetro de 5 mm, as tolerâncias mínima e máxima são de 0,004 e 0,024 mm, respectivamente, ver os limites inferior e limite superior da Figura 4. Foi observado ainda que a variação dimensional da folga para estas condições de trabalho ficou dentro das tolerâncias especificadas em projeto, mesmo com o desgaste.

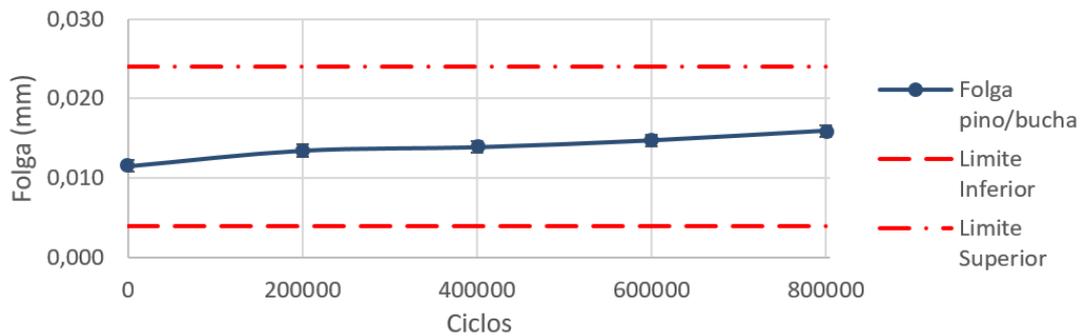


Figura 4 – Variação dimensional da folga entre pino e bucha.

Na Figura 5 é apresentada a variação na rugosidade superficial das buchas e dos pinos durante o ensaio de desgaste. Pôde-se observar que tanto as buchas como os pinos apresentaram uma redução na rugosidade superficial com o aumento do número de ciclos. A queda da rugosidade das buchas foi mais acentuada inicialmente, devido à textura do processo de eletroerosão no furo das buchas.

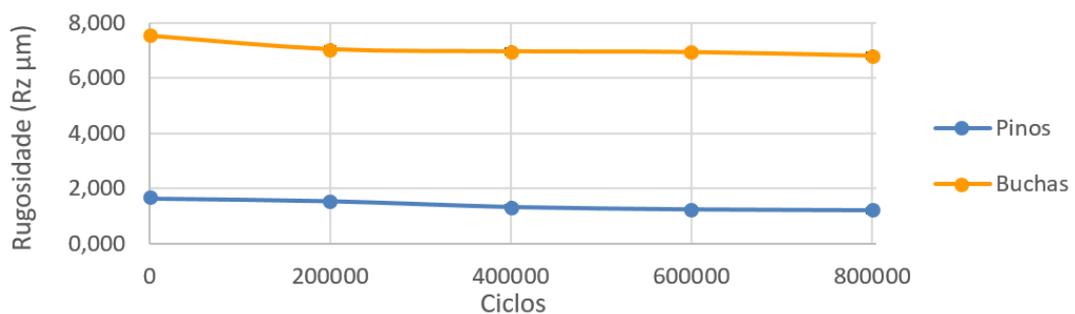


Figura 5 – Variação da rugosidade superficial dos pinos e das buchas.

A Figura 6 apresenta os resultados para o cálculo da força de atrito do sistema com lubrificação e sem lubrificação. A força de atrito para o sistema com lubrificação foi maior que a força de atrito para o sistema sem lubrificação, essa diferença ocorreu devido à alta viscosidade do lubrificante utilizado.

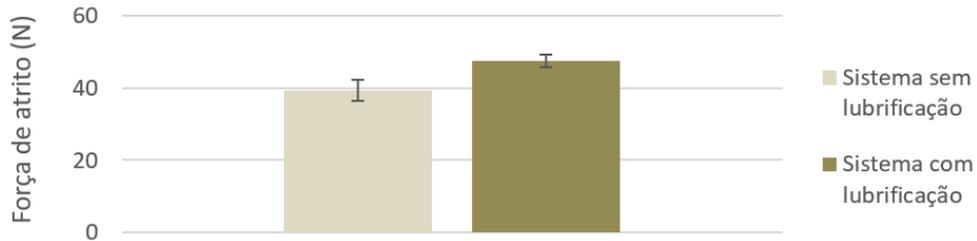


Figura 6 – Força de atrito do sistema com e sem lubrificação.

O perfil de microdureza apresentado na Figura 7 mostrou um comportamento característico de um aço H13 nitretado. A dureza na superfície do pino nitretado se encontrou conforme especificação da norma (DIN 1530/11)⁽⁴⁾ para pinos extratores tipo A, (entre 1100 a 950 HV). A dureza do núcleo de aproximadamente 40 a 41 HRc e a espessura da camada nitretada entre 60 a 80 micrometros.

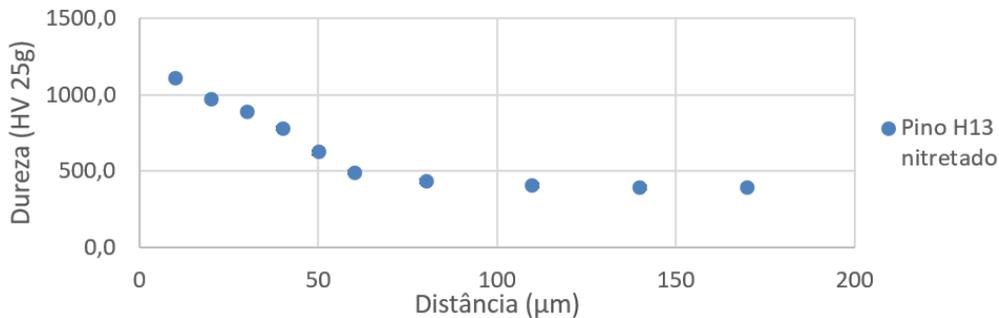


Figura 7 – Perfil de microdureza de um pino nitretado.

A Figura 8 apresentou a microestrutura do núcleo do pino, com um aumento de 1000x e ataque de nital 2%. Foi possível observar uma matriz de martensita revenida com uma distribuição de carbonetos finos⁽¹³⁾.



Figura 8 – Micrografia do núcleo do pino

A Figura 9 apresenta a microestrutura da camada superficial do pino, com um aumento de 500x e ataque de nital 2%.

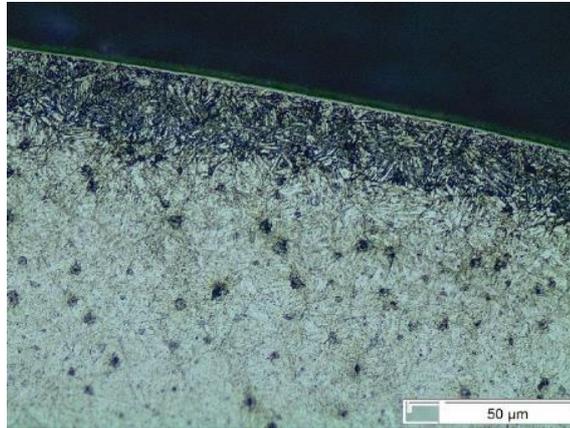


Figura 9 – Micrografia da superfície do pino

E possível observar na figura acima a presença de uma fina camada de composto (camada branca), uma zona de difusão mais espessa, região mais escura⁽¹⁰⁾ e a formação de carbonetos precipitados (globulares) logo abaixo da zona de difusão⁽¹³⁾.

A Figura 10 apresenta o difratograma da camada nitretada do pino. De acordo com o difratograma foi possível observar a presença das fases ϵ -Fe₂₋₃N (hexagonal compacta) e γ' -Fe₄N (cubica de face centrada)⁽¹⁴⁾.

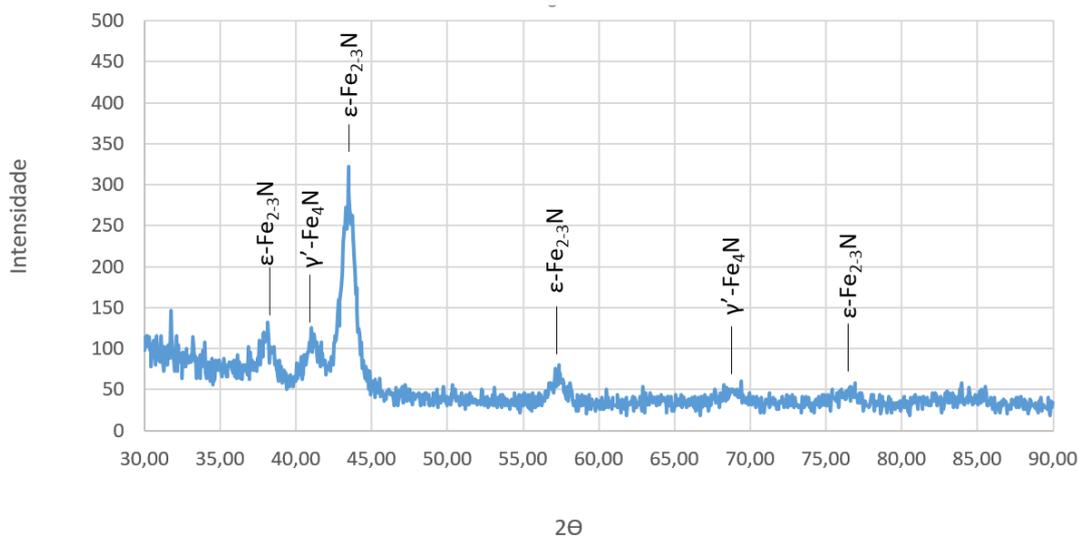


Figura 10 – Difratograma da camada nitretada do pino

A Figura 11 apresenta uma imagem do MEV da superfície do pino sem desgaste, a Figura 12 apresenta uma imagem da região de desgaste do pino e a Figura 13 apresenta uma imagem de região de desgaste da bucha.

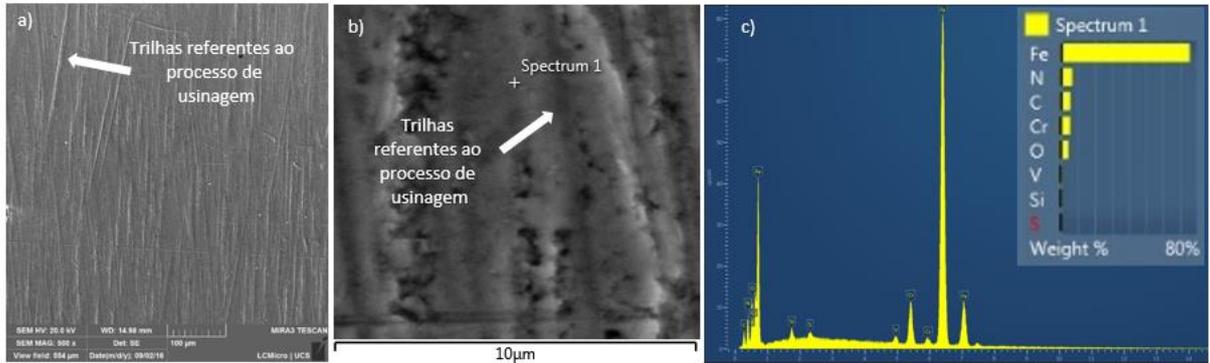


Figura 11 – a) aumento de 500x de um pino sem desgaste, b) posição de análise da composição química, c) composição química da amostra.

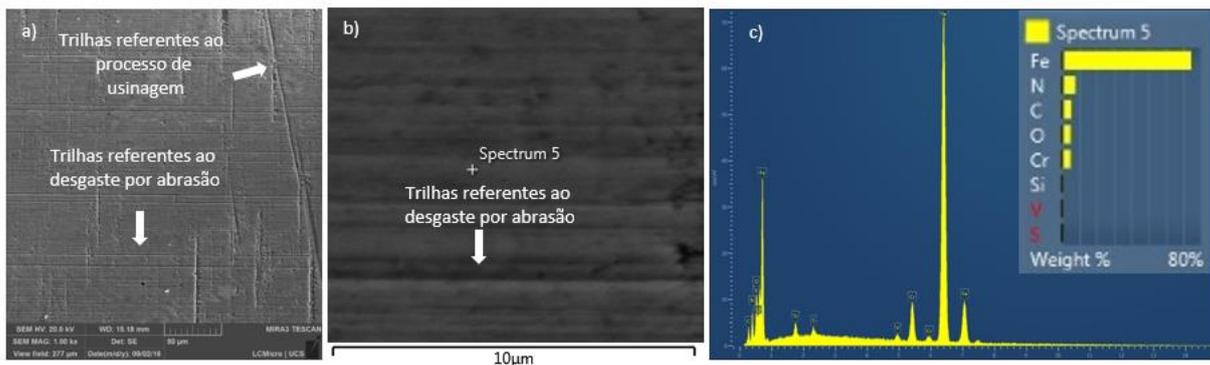


Figura 12 – a) aumento de 1000x de um pino com desgaste, b) posição de análise da composição química, c) composição química da amostra.

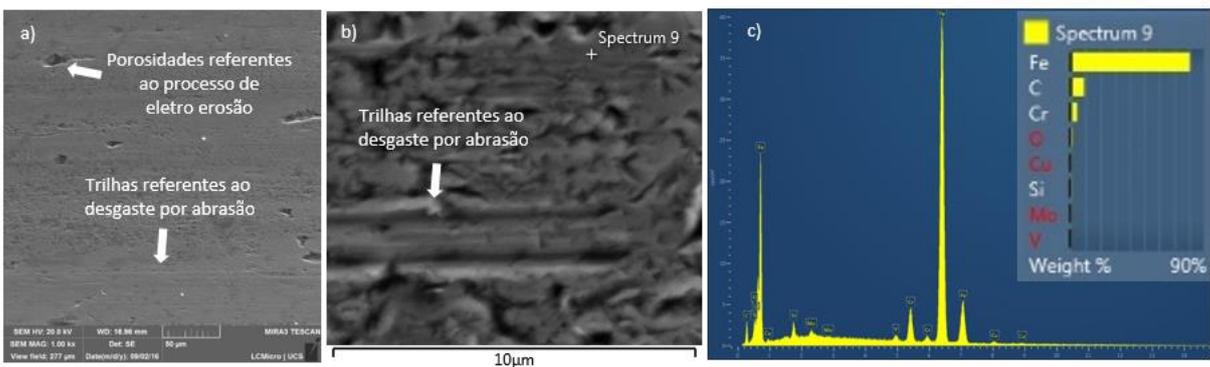


Figura 13 – a) aumento de 1000x de uma bucha com desgaste, b) posição de análise da composição química, c) composição química da amostra.

De acordo com as Figuras 11 a 13 foi possível observar as trilhas de desgaste características de um desgaste por abrasão⁽⁵⁾. A composição química nas Figuras 11

e 12 são características de um aço H13 nitretado e a composição química na Figura 13 é característica de um aço H13 sem nitretação.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos foi possível verificar que o sistema de extração de um molde de injeção sob as condições do método criado para avaliação de desgaste do sistema de extração de molde de injeção, apresenta uma taxa de desgaste mais acentuada inicialmente, passando por um patamar de estabilidade e tornando a aumentar acima de 500.000 ciclos.

Quanto à especificação de projeto foi possível concluir que o sistema de extração de um molde de injeção, sob estas condições de trabalho e lubrificação atendem aos requisitos dimensionais especificados.

Conforme observado nas imagens de MEV foi possível identificar como principal mecanismo de desgaste a abrasão.

Com este novo método de ensaio foi possível ainda identificar o comportamento do sistema de extração de um molde de injeção em condições próximas do sistema real, avaliando o sistema com lubrificação, possibilitando novos ou futuros estudos de outras possibilidades de tribosistemas para a extração de peças em moldes de injeção de termoplásticos.

REFERÊNCIAS

1. MENNIG, G. **Wear in plastics processing: How to understand, protect, and avoid**, Munich: Hanser, 1995.
2. EICHINGER, P.; WASSENBERG, M. **Ejector reduces wear in mould-making**. Kunststoffe., v 7, p. 81-83, 2006.
3. MANRICH, S. **Processamento de termoplásticos: rosca única extrusão e matrizes injeção e moldes**, São Paulo: Artliber, 2005.
4. DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 1530: Tools for moulding**. Berlin, 2011. 6p.
5. KATO, K.; ADACHI, K. **Modern tribology handbook - Wear mechanisms**. Vol.2. 2001.
6. BAYER, R. G. **Mechanical wear prediction and prevention**. Michigan: Marcel Dekker, 1994.
7. CZICHOS, H. **ASM handbook - Design of friction and wear experiments**. Vol.18, 1992.

8. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E3**: Standard practice for preparation of metallographic specimens. Philadelphia, 2001. 12p.
9. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E92**: Standard Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials. Philadelphia, 2016. 27p.
10. JACQUES, R. C.; REGULY, A. **Caracterização de amostras de H13 nitretadas a baixas pressões com diferentes misturas gasosas**. Tecnol. Metal. Miner., v.6, n.4, p. 201-205, 2010.
11. TOMIELLO, S. S. **Tratamento termoquímico assistido a plasma para incremento da resistência à corrosão de aço-carbono**. 2012, 85p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, UCS/RS, Caxias do Sul.
12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6158**: Sistema de tolerâncias e ajustes. São Paulo, 1995. 72p.
13. KONESHLOU, M.K.; ASL, K. M.; KHOMAMIZADH, F. **Effect of cryogenic treatment on microstructure, mechanical and wear behaviors of AISI H13 hot work tool steel**. Cryogenics., v.51, n.1, p. 55-61, 2011.
14. RENALLI, G. A., et.al. **Efeitos da nitretação por plasma com pós-oxidação e por banho de sal na resistência à corrosão de um aço ferramenta**. Revista Matéria., v.14, n.2, p. 814-823, 2009.

TRIBOLOGICAL TESTS FOR WEAR ASSESSMENT IN EJECTION SYSTEM FOR THERMOPLASTICS INJECTION MOULD

ABSTRACT

This study aims to evaluate the wear in extraction system for thermoplastic injection mold. For evaluation of the wear was made a device for simulation of the extraction system of an injection mold, where the extractor pins H13 material were tested. The wear was evaluated by weight loss, dimensional variation and analysis of surface roughness profile every 50,000 cycles. The characterization of the microstructure of the pins was performed using metallography, micro hardness and X-ray diffraction (XRD). The characterization of the wear mechanism was performed using SEM. As the results, it was possible to measure the wear rate over the lifetime of an injection mold with 800,000 cycles. The images obtained show that the main wear mechanism involved in this system was by abrasion wear.

Key-words: injection molding, ejection system, wear, tribology