

ANÁLISE DE FRACTURA DE MOLDES PARA PVC EM AÇO DIN X42Cr13

M. Teresa Ferraz, J. Faustino e M. Santos

Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial
IMP, Paço do Lumiar, 1699 LISBOA Codex

Resumo. Analisaram-se as causas de fractura de dois moldes para injeção de PVC com geometria paralelepipedica (679.5 x 533.5 x 86 mm). Os moldes, fabricados em aço DIN 1.2083-X42Cr13, foram tratados termicamente por têmpera e revenido visando a obtenção de uma dureza 50-52 HRC. Apresentaram fracturas não totalmente propagadas, localizadas à superfície do molde na zona central, perpendicularmente ao eixo longitudinal. As fracturas, geradas num furo roscado, foram desencadeadas por acção de forças de tracção resultantes do processo de abertura das roscas por deformação. Os exames fractográficos e metalográficos evidenciaram uma fractura frágil do tipo intergranular associada a uma microestrutura caracterizada por bandas de segregação, precipitação contínua de carbonetos nos limites de grão e carbonetos com uma aglomeração menos usual, cuja precipitação aparenta ser induzida por algumas inclusões não metálicas.

Abstract. Failures in two plastic injection molds having a parallelepipedic geometry (679.5 x 533.5 x 86 mm) were analysed. The steel for injection molds, DIN 1.2083-X42Cr13 was heat treated by quenching and tempering to 50-52 HRC hardness. Brittle and not propagated fractures normal to the longitudinal mold axis were observed in a transversal center plan of the mold. Fractures were originated in a threaded hole by tensile stresses developed in the manufacture of threads by deformation. Fractographic and metallographic analysis showed a intergranular fracture and abnormal microstructural features as banded segregation, continuous carbide precipitation on grain boundaries and less common carbide clusters with preferential precipitation apparently induced by non metallic inclusions.

1. INTRODUÇÃO

As falhas em sistemas mecânicos devem-se principalmente a fractura e fadiga, corrosão, erosão e desgaste. Os custos associados a estas falhas, envolvendo a paragem de linhas de produção, o não cumprimento de prazos e mesmo acidentes pessoais, atinge anualmente cerca de 10% do PNB [1].

De entre as causas gerais de falhas de sistemas mecânicos foram identificadas [1] as devidas ao projecto mecânico (10-40%), tipo de material e tratamento térmico utilizado (3-8%), maquinaria (7-12%), e acabamento, manuseamento durante o fabrico e em serviço (12%).

Não são conhecidos dados relativos aos moldes, em parte devido à sua não divulgação por parte das empresas pressionadas pela resolução de problemas imediatos de produção ou substituição rápida dos moldes acidentados.

Apesar dos elevados custos de maquinaria envolvidos no processo de fabrico dos moldes, são por vezes negligenciados aspectos respeitantes às propriedades dos materiais. Os moldes para plásticos requerem aços limpos de características específicas [2]. Os aços de liga, frequentemente utilizados são muito sensíveis a eventuais problemas surgidos no processo de fabrico e no tratamento térmico, assim como à presença de impurezas na sua constituição.

Salienta-se que os moldes após tratamento térmico podem armazenar tensões residuais que variam entre 30 e 99% da tensão de rotura [3], às quais se sobrepõem muitas vezes tensões residuais induzidas por maquinaria, acabamento e manuseamento.

Assim, não pode ser descurado o controlo de recepção de matérias primas, nem o dos tratamentos térmicos, estes correntemente subcontratados a empresas especializadas.

Para prevenção de falha de um molde deverá ser necessário conhecer os elementos relativos ao funcionamento do mesmo, como sejam: material a injectar, tempo e pressão de injeção, tempo e força de aperto, meio e condições de arrefecimento, meio e forças de extracção do injectado e características da máquina injectora.

As principais causas de falha dos moldes em serviço são a nucleação e propagação de fissuras por fadiga, de origem térmica ou mecânica, e o desgaste. Contudo, a fissuração poderá ocorrer durante o processo de fabrico ou logo no início da utilização.

A fissuração poderá dever-se a fragilização, quer associada ao material: características mecânicas e metalúrgicas do material de base e resultantes do seu tratamento térmico, quer associada ao processo de fabrico: cantos não arredondados, tensões térmicas e mecânicas residuais, marcas de maquinagem de corte por arranque de aparas ou por electroerosão [3,4].

2. HISTÓRIA DO COLAPSO

Dois moldes para injeção de PVC com geometria paralelepípedica (679,5 x 533,5 x 86 mm) fracturaram ainda na fase de fabrico e ensaio apresentando uma fissura associada a um furo transversal de passagem de água, na secção central (figura 1).

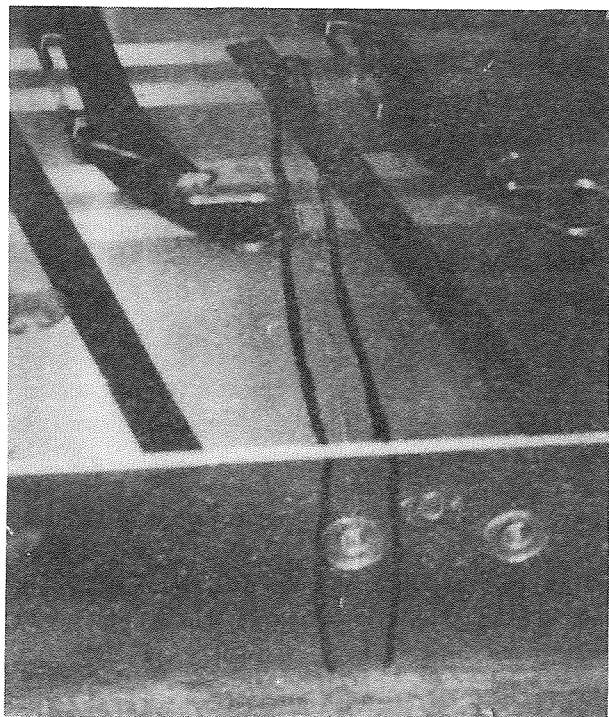


Fig.1. Aspecto e localização da fissura num dos moldes.

Os moldes foram fabricados em aço DIN 1.2083-X42Cr13 fornecido no estado recozido com uma dureza de 195 HB. Após maquinagem de desbaste, abertura de furos e rasgos, foram submetidos a tratamento de alívio

de tensões. Depois de pré-acabados foram temperados em forno de vácuo a partir de uma temperatura de austenitização de 1020°C a que se seguiu um duplo revenido de 8 horas cada a 300°C, tendo sido obtida uma dureza de 52-53 HRC.

3. ANÁLISE DA FALHA

3.1 Fractura

As fracturas, não totalmente propagadas, apresentavam zonas de iniciação e orientação de propagação idênticas. Cada uma das fracturas teve início num furo roscado, obtido por deformação com macho cónico, localizado na secção central e propagou-se perpendicularmente ao eixo do molde.

Para observação, as fissuras foram posteriormente abertas através da realização de cortes por electroerosão, paralelos ao plano de fractura. Uma das superfícies de fractura apresentava o aspecto documentado na figura 2.

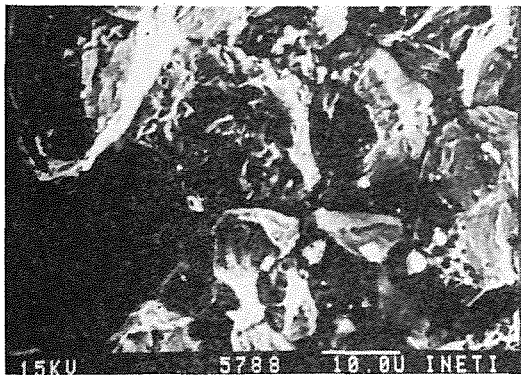


Fig.2. Aspecto de uma superfície de fractura.

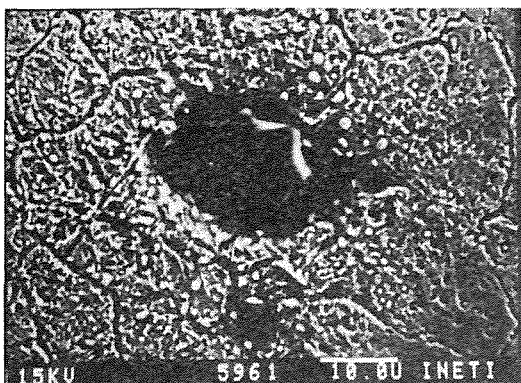
As superfícies de fractura dos dois moldes, observadas visualmente e numa lupa estereoscópica, apresentavam características equivalentes: superfície plana, pouco rugosa, iniciação da fractura na zona da rosca do furo e propagação instantânea.

Em amostras seccionadas na zona de iniciação da fractura de ambos os moldes, observou-se no microscópio electrónico de varrimento (SEM), na zona de iniciação e na zona de propagação, uma fractura frágil do tipo intergranular (figura 3.a) com partículas finas globulares no centro e nos limites de grão.

Em amostras metalográficas (figura 3.b), observou-se este tipo de partículas, provavelmente carbonetos ou mesmo nitretos, no centro e limites de grão, assim como à volta de inclusões não metálicas também com forma globular.



a)



b)

Fig.3. Aspecto da superfície de fractura (a) e da microestrutura (b) na zona de iniciação da fractura.

3.2 Microestrutura

O aço utilizado apresentou uma composição química dentro dos intervalos previstos para o aço DIN X42Cr13, tendo sido confirmado um teor em carbono de 0.45%, pelo método do LECO de carbono, e um teor de 13.3% de cromo, por OES.

A microestrutura geral era constituída por martensite revenida com carbonetos na matriz e nos limites de grão. Estes estavam na forma de partículas globulares e de filmes contínuos.

Na vizinhança da superfície de fractura de ambos os moldes a microestrutura apresentava bandas de segregação que em alguns locais evidenciavam a presença de carbonetos de solidificação com a forma "script" característica dos carbonetos de cromo eutéticos (figura 4).

A macrocontrastação desta área com ácidos fortes (figura 5) permitiu revelar que a macrosegregação se concentrava preferencialmente na zona dos furos.

Na zona da fractura, normalmente em associação com as bandas de segregação e carbonetos, observaram-se

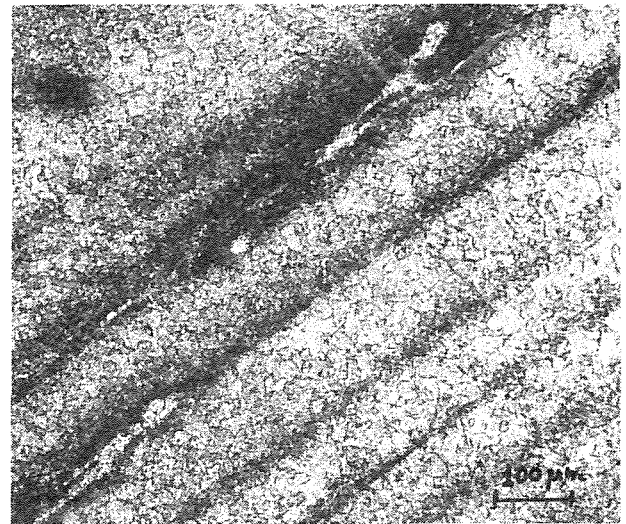


Fig.4. Microestrutura na zona da fractura.

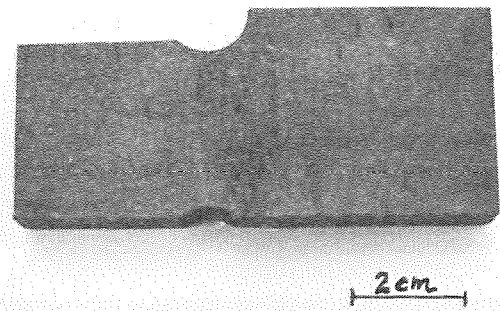


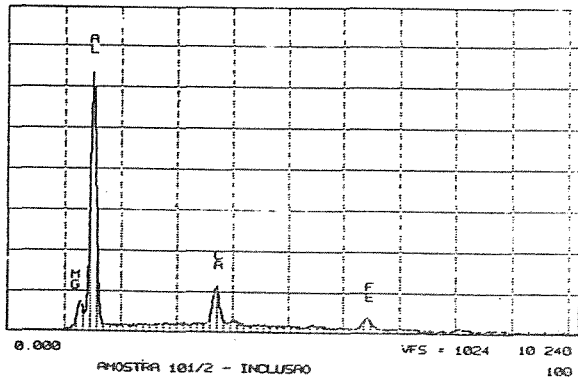
Fig.5. Aspecto da distribuição da segregação na face lateral do molde.

inclusões não metálicas alongadas do tipo sulfureto (figura 4). Nesta zona, normalmente no intervalo entre bandas e em distribuição ao acaso, eram visíveis inclusões globulares do tipo óxido e mistas óxido/sulfureto, que se analisaram por EDS (figura 6).

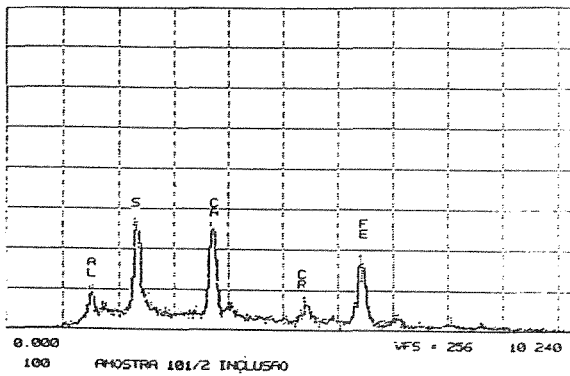
As inclusões não metálicas globulares, em geral isoladas e distribuídas ao acaso, apresentavam dimensões entre 5 e 20 μm , da ordem de grandeza do diâmetro médio do grão (figura 7).

Após contrastação algumas das inclusões globulares, principalmente aquelas que pareciam ser óxidos ricos em Al e Mg, apresentavam uma auréola escura constituída por uma precipitação muito fina, com configuração acicular, e partículas arredondadas provavelmente de carbonetos ou nitretos.

Numa observação não sistemática das secções, o grau de severidade para as inclusões não metálicas globulares do tipo óxido não ultrapassou o grau 1/2 da série espessa e as inclusões alongadas do tipo sulfureto não ultrapassaram o grau 1 da série espessa do mapa JK modificado (quadro III, método D, ASTM E45).



a)



b)

Fig.6. Espectros de inclusões globulares do tipo óxido (a) e do tipo sulfureto ou mista óxido/sulfureto (b).

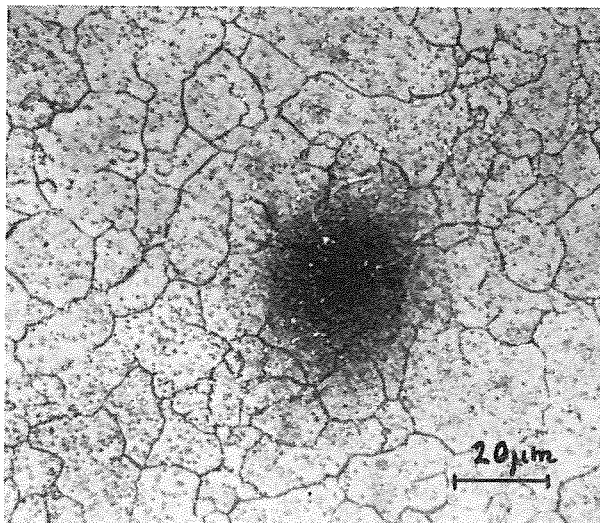


Fig.7. Inclusão não metálica do tipo óxido.

4. DISCUSSÃO

A repetição da ocorrência de uma fractura não propagada, com início e sentido de propagação idênticos, em dois moldes iguais fabricados com o

mesmo material, sujeitos às mesmas fases e processos de maquinagem e tratamento térmico, deverá ser atribuída apenas a factores que influam na nucleação da fissuração das mesmas.

Verificou-se, pela avaliação da microestrutura e exame da superfície de fractura, que o aço apresentava uma fractura frágil intergranular característica de um material não dúctil e fragilizado nos limites de grão [5,6,7].

Nos aços utilizados no fabrico dos moldes é importante a obtenção de elevados níveis de sanidade, principalmente na zona central, onde se localizam muitas das suas cavidades [8].

No aço em análise a zona central era precisamente a mais problemática, pois aí foram detectadas segregações de carbonetos primários e inclusões não metálicas contendo magnésio. Estas resultam normalmente da incorporação de materiais externos provenientes p.ex. de refractários dos fornos ou de outro equipamento de vazamento [9,10].

Não se conhecem referências sobre qual o nível inclusionar máximo admissível em aços destinados ao fabrico de moldes, no entanto, refere-se que os valores determinados correspondem ao máximo permitido em algumas aplicações, como p.ex. aço para rolamentos [11] ou molas.

O tipo de aço utilizado é bastante sensível a variações da temperatura de austenitização, velocidade de arrefecimento de têmpera e condições de revenido. O tratamento seleccionado poderá não ter sido o mais adequado para prevenir a fragilização [5,8].

A dureza, utilizada como valor de referência a obter no tratamento térmico, e cujo valor está dentro do esperado, não serve só por si para conferir credibilidade a uma boa execução deste.

A localização do início da fissuração na rosca de um furo de passagem de água de refrigeração, em ambos os moldes, indica a existência de um maior nível de tensões nessa região para o que deverá ter contribuído a abertura da rosca realizada por um processo de deformação plástica da superfície.

5. CONCLUSÕES

A falha detectada em dois moldes para injeção de plástico, fabricados em aço DIN X42Cr13 ocorreu por:

- nucleação de uma fractura frágil intergranular;
- propagação da fenda no sentido da laminagem.

e ficou a dever-se à conjugação de:

- heterogeneidades microestruturais;
- associação de tensões residuais de tratamento térmico e tensões mecânicas de abertura da rosca.

Contribuíram para a fractura frágil:

- bandas de segregação;
- carbonetos precipitados no limite de grão e junto de algumas inclusões não metálicas.

6. AGRADECIMENTOS

Agradece-se o apoio prestado pelos técnicos do Laboratório de Caracterização de Materiais do IMP, Lia Soares, A.Geraldes e P. Verdasca, na execução das análises e ensaios.

7. REFERÊNCIAS

- [1] Faria, L., "Influence of Designers on Failure of Systems and Corresponding Economic Losses". Proc., Symposium "Risk and Economic Evaluation on Failure and Malfunctions of Systems" vol.1 (25-32). SPM, Oct-Nov. 1995, Lisbon.
- [2] Young, W. e Davies Jr., C.C., "Materials for mold making", em *Plastics Mold Engineering Handbook* (Ed. DuBois, J.H. e Pribble, W.I.) pp. 112-154. Van Nostrand Reinhold Company, New York, 3ªed. (1978).
- [3] Riedel, J.Y., "Tooling Tecnology in the 1970: Why Tool and Die Fail", *Metal Progress*, 99 (April), 101-104, (1970).
- [4] "Analysing Field Failures in Die Blocks" *Forging Technology*, Supplement November, 44, (1993).
- [5] "Metals Handbook Ninth Edition - Vol. 11: Failure Analysis and Prevention" American Society for Metals, Metals Park, Ohio, USA, (1986).
- [6] Olefjord, I., "Temper Embrittlement - Review 231" *International Metals Reviews* 23 (4), 149-163, (1978).
- [7] Briant, C.L., Banerji, S.K., "Intergranular Failure in Steel: the Role of Grain-Boundary Composition - Review 232" *International Metals Reviews* 23 (4) 164-199 (1978).
- [8] Young, W., "A Stainless Grade for Plastic Molds", *Metals Progress*, 99 (April) 71-72, (1970).

[9] Kiessling, R., "Non metallic Inclusions in Steel, Part II" Publication 100, The Iron and Steel Institute, London, (1966).

[10] Kiessling, R., "Non metallic Inclusions in Steel, Part III: The Origin and Behaviour of Inclusions and their Influence on the Properties of Steels" ISI Publication 115, The Iron and Steel Institute, (1968).

[11] Vander Voort, G.F., "Inclusion Measurement" em *Metallography as a Quality Control Tool* (Ed. McCall, J.L. e French, P.M.) pp. 1-100, Plenum Press, New York, (1980).