

ANÁLISE DE FALHAS EM MOLDES PARA TRANSFORMAÇÃO DE PLÁSTICOS ¹

*Paulo Haddad*²
*Giovani Verdi Cappucio*³

Resumo

A solicitação mecânica relativamente baixa aplicada em moldes para transformação de plásticos torna escassos os registros de falhas em serviço nestes componentes, especialmente quando se trata de aços fornecidos no estado beneficiado como é o caso dos aços da família do AISI P20. O presente trabalho traz a discussão de casos bastante raros onde, em serviço, houve falha catastrófica em aços beneficiados, bem como casos mais freqüentes envolvendo também aços com posterior beneficiamento e problemas relacionados a “porosidades” em superfícies polidas.

Palavras-chave: Aços para molde de plástico; Trincas; Porosidades.

¹ Trabalho apresentado no 4º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 2 a 5 de maio de 2006, Joinville, SC.

² Engenheiro Metalurgista, Mestre em Engenharia, MBA em Gestão Empresarial, Assessor Técnico da Villares Metals S. A., Sumaré, SP, Brasil, email: paulo.haddad@villaresmetals.com.br

³ Engenheiro Metalurgista... , Assessor Técnico da Villares Metals S. A., Sumaré, SP, Brasil, email: giovani.cappucio@villaresmetals.com.br

1 INTRODUÇÃO

A literatura especializada disponível em análise de falhas, com raríssimas exceções, concentra-se predominantemente no estudo do fenômeno de fadiga de elementos estruturais ou componentes mecânicos. Casos de análise de falhas para ferramentas e matrizes podem ser encontrados em limitada literatura,⁽¹⁻³⁾ que apresenta-se redundante nos mesmos exemplos.

Esporadicamente ocorrem casos de falha em ferramentas que, se devidamente analisados e registrados, podem constituir uma importante fonte de referência para engenheiros e técnicos que atuam no projeto, confecção e uso destes ferramentais.

Falhas catastróficas geralmente ocorrem quando uma, ou mais, das seis condições clássicas listadas a seguir não é atendida:⁽³⁾

- 1) Design compatível com o material e o processo de produção da ferramenta;
- 2) Tipo e qualidade do aço adequados;
- 3) Operação de usinagem apropriada;
- 4) Tratamento térmico corretamente aplicado;
- 5) Operações de retífica e eletroerosão corretamente executadas; e
- 6) Manuseio e operação adequados.

Considerando-se também as falhas menores, mas que também acarretam tempos reduzidos de vida de ferramenta, à esta lista deve ainda ser acrescentada, pelo menos a correta realização das operações de polimento e de tratamentos termoquímicos. Estas operações são muitas vezes negligenciadas ou ao menos têm sua importância diminuída no processo de confecção da ferramenta gerando danos frequentemente substanciais ao longo da vida útil da ferramenta.

Este trabalho reúne dois casos exemplares de falhas catastróficas ocorridas em moldes confeccionados com aço da família do AISI P20 e casos de falha em superfícies polidas, inicialmente chamadas de porosidades, tanto em moldes feitos em aços do tipo AISI P20 como também em aços do tipo AISI 420.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os exemplos mostrados neste trabalho foram objeto de reclamações de clientes analisadas pela assessoria técnica da Villares Metals, abrangendo um espaço de tempo de 15 anos. O nome dos clientes foi intencionalmente omitido. As análises foram conduzidas de acordo com o recurso possível e aplicável para cada caso. As falhas catastróficas em 100% dos casos sofreram análises destrutivas, envolvendo retirada de amostras para metalografia, dureza, análise química e mesmo fractografia e ensaios de impacto quando aplicável. No caso das falhas superficiais, foi empregada a técnica de retirada de amostras distantes da superfície, apenas para verificação de conformidade e rastreabilidade do material, neste caso as análises restringiam-se a análise química, metalográfica e de dureza. Quando possível também foi realizada metalografia de campo.

3 FALHAS CATASTRÓFICAS EM MOLDES CONFECCIONADOS EM AÇO PRÉ-BENEFICIADO

A ocorrência de fratura de moldes confeccionados com aços pré-beneficiados é bastante rara, contribuindo para tanto a suficiente resistência mecânica e tenacidade dos aços empregados, e a robustez dos projetos. Mesmo em caso de

acidentes e desvios de operação, não é esperada a quebra de moldes, sendo ao contrário esperados nestas situações amassamentos e riscos na superfície.

Apresentamos a seguir os resultados e a discussão referentes às análises realizadas em duas ocorrências registradas de trinca catastrófica.

Caso 1:

Uma cavidade para a produção de caixas de plástico injetadas, apresentou falha catastrófica, conforme mostrado na foto da Figura 1. O bloco de aço VP20ISO empregado na confecção de tal cavidade tinha as dimensões originais de 240 x 450 x 590mm,

Impressionou a primeira vista o forte degrau formado na região trincada, como evidência de elevado grau de tencionamento do material.

Como histórico de confecção do molde foram informadas pelo cliente as etapas de produção, passando por usinagem convencional de desbaste e acabamento, polimento e tratamento termoquímico de nitretação. Os problemas começaram com trincamentos generalizados na superfície interna da cavidade do molde logo no início de operação. Foram então realizados reparos com solda, repetidos até o final da vida da ferramenta com a falha catastrófica.

Dada a completa alteração das características originais do material pela aplicação de solda em área extensa da cavidade, as amostras para análise foram tomadas em regiões adjacentes à superfície externa do molde.

A composição química de amostra do material, mostrada na Tabela 1, apontou tratar-se efetivamente do lote fornecido, confirmando a rastreabilidade dos documentos apresentados pelo cliente.



Figura 1. Trinca que atravessou a parede do molde de VP20ISO.

Tabela 1. Composição química do material do caso 1, em porcentagem em peso.

	C	Si	Mn	P	S	Mo	Cr	Ni
Corrida XXX5951	0,38	0,36	1,58	0,011	0,0012	0,17	1,87	0,73
Amostra	0,38	0,36	1,56	0,011	0,001	0,17	1,84	0,72

A análise metalográfica revelou a estrutura do material, constituída de martensita revenida e bainita e a presença de camada nitretada, sem camada branca e com precipitados em contornos de grão, como pode ser observado na foto da Figura 2. O nível de inclusões foi avaliado como D(1,5-0,5) conforme ASTM E45. A dureza medida na camada nitretada foi de 740HV1, e fora da camada 34HRC. Foram confeccionados 2 corpos de prova para impacto charpy sem entalhe, de dimensões 7 x 10 x 55mm. Os corpos de prova foram retirados em regiões adjacentes e como a mesma orientação, sendo um preservando a superfície nitretada na face de 10 x 55mm, submetida a tração máxima no ensaio. Os resultados foram 18J para o cp com face nitretada e 236J para o cp sem camada nitretada.

Neste caso não foi possível avaliar a face da fratura e procurar indícios do local de nucleação da trinca devido à modificação causada pelos reparos realizados. Desta maneira, a causa da falha não pode ser determinada de forma inequívoca, mas as evidências apresentadas são muito claras em apontar desvio no tratamento de nitretação, muito provavelmente associado ao início da falha. A presença de precipitados em contornos de grão reconhecidamente causa fragilização do material,⁽⁴⁾ o que foi demonstrado também nesta análise pelos resultados no ensaio de impacto. A diferença de valores de energia encontrada no ensaio de impacto é semelhante a variação encontrada quando se compara resultados de material isento de defeitos ensaiado com e sem entalhe.

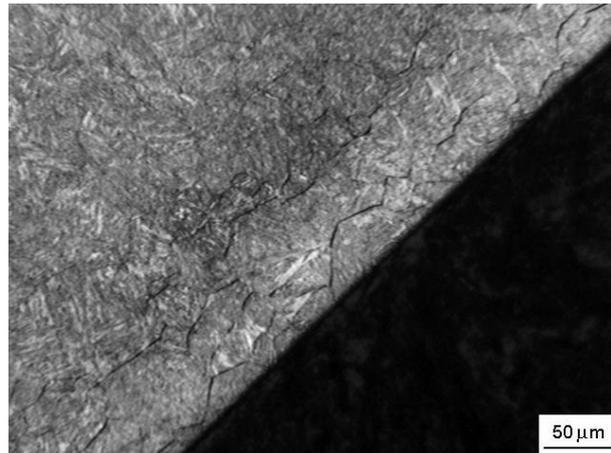


Figura 2. Microestrutura em região superficial do molde mostrando presença de precipitados contínuos em contornos de grão. Aumento: 180x. Ataque: Nital 4%.

A falha se tornou catastrófica, gerando o rompimento total do material e formação de degrau, após o molde ter sido submetido à inúmeras operações de solda. A combinação da fragilização causada pela precipitação em contornos, considerada como um “entalhe metalúrgico”, e as tensões geradas pelas operações de solda levaram o molde à falha final. A necessidade inicial de solda foi causada por microtrincas na cavidade, também efeito do desvio no tratamento de nitretação.

Caso 2:

O segundo caso de molde que apresentou falha catastrófica foi o de injeção de um painel de máquina de lavar roupa. As dimensões do bloco original em aço VP20ISO-F eram 300 x 800 x 800mm. O molde apresentou trinca no início de operação. A trinca atravessou toda a cavidade, partindo de uma aresta existente no fundo da gravura, seguindo pelas laterais. Antes que o molde se rompesse em duas partes foram realizadas fixações com parafusos para que se pudesse manter a produção até que um novo molde fosse confeccionado. Desta maneira o molde trabalhou por aproximadamente 6 meses. Feita a substituição o molde foi cortado para exposição das faces de fratura e retirada de amostras. A foto da Figura 3 apresenta o molde já cortado no momento da abertura da trinca. As fotos da Figura 4 apresentam as faces expostas e o local escolhido para a análise fractográfica em microscópio eletrônico de varredura.

A análise química, cujo resultado é mostrado na Tabela 2, comprovou que o material efetivamente correspondia ao fornecido.

A microestrutura do material é constituída de bainita superior e inferior, e martensita revenida, característica para este aço. A foto da Figura 5 mostra uma região com um canto vivo e também trincada. Todo o fundo da gravura apresenta tal característica, de raio reduzido.

Tabela 2. Composição química do material do caso 1, em porcentagem em peso.

	C	Si	Mn	P	S	Mo	Cr	Ni
Corrida XXX8837	0,37	0,35	1,60	0,013	0,0010	0,15	1,90	0,12
Amostra	0,39	0,34	1,59	0,015	0,0010	0,15	1,84	0,11



Figura 3. Exposição das faces de fratura, após recorte do molde.

A dureza do material é de 31 HRC. O teste de impacto, em ensaio charpy sem entalhe, resultou em valor de 288J, sem que ocorresse a fratura do corpo de prova.

O exame fractográfico foi realizado em amostra retirada na região destacada na foto da Figura 4. Já na referida foto é possível verificar a existência de dois estágios de propagação da trinca. Num primeiro estágio a trinca acompanhou a geometria da peça atingindo profundidade variando em torno de 1mm. Num segundo estágio, alguns pontos se anteciparam em uma propagação catastrófica. Tanto na região do primeiro estágio, como na do segundo, a superfície da trinca apresenta modo de fratura frágil, com a existência de faces de clivagem e de fratura intergranular. Não são verificados alvéolos característicos de fratura dúctil.

A fratura frágil em aço do tipo em estudo só pode ser obtida pela exposição aos fatores abaixo, isoladamente ou pela composição deles:

- falta de tenacidade do material;
- solitação dinâmica em alta velocidade e/ou baixa temperatura (sub-zero);
- estado de tensões (presença de entalhes geométricos ou metalúrgicos(5) / cantos vivos, etc..).

Em projetos de ferramentas, bem como em sua execução, o maior raio possível é sempre necessário para não gerar excessiva concentração de tensão. Neste caso a existência de uma aresta no fundo da cavidade com reduzido raio foi o fator determinante para a ocorrência da falha.

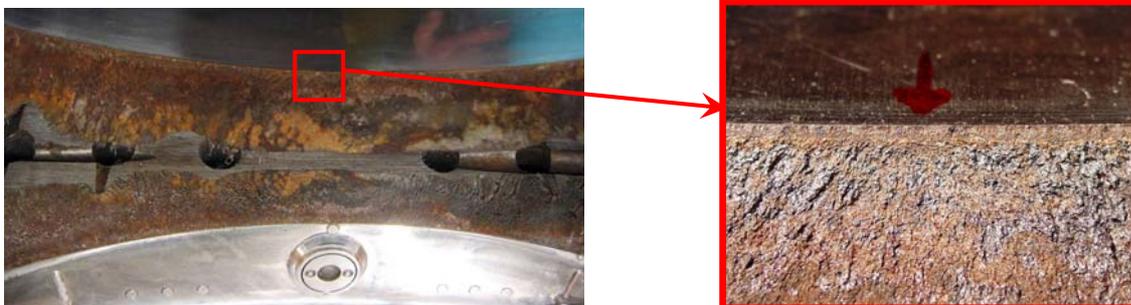


Figura 4. Imagem das partes do molde justapostas e detalhe de posição de retirada de amostra para análise fractográfica.

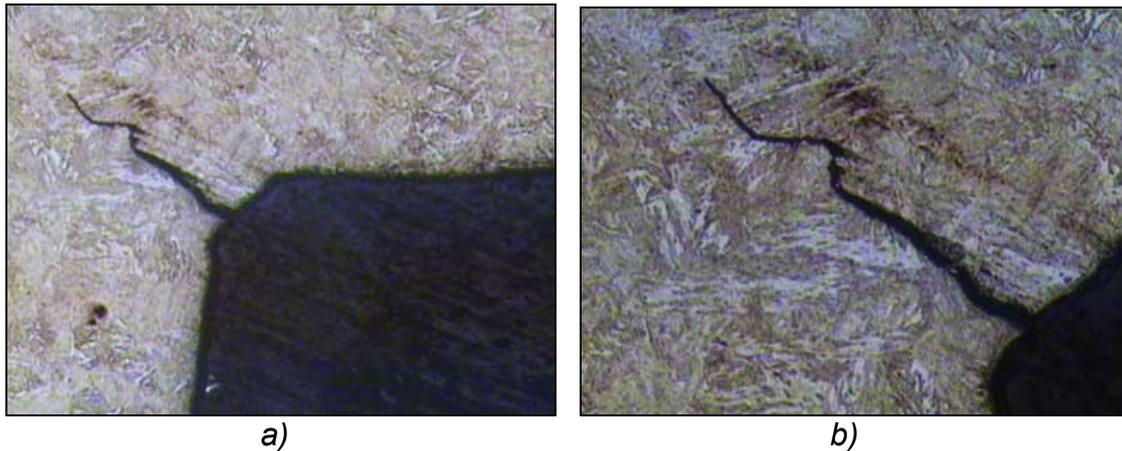


Figura 5. Detalhe de região com canto vivo e presença de trinca sem descarbonetação. Ataque: Nital 4%. Aumentos: a)100x e b)200x.

Os resultados apresentados para os dois casos analisados confirmam valores normais de tenacidade tanto para o VP20ISO como para o VP20ISO-F. Os históricos registrados de operação também não apontam para a ocorrência de sobrecargas ou acidentes com os moldes.

Simples detalhes como o desvio estrutural na camada nitretada, numa profundidade da ordem de décimos de milímetros, no primeiro caso e um reduzido raio no fundo da gravura no segundo caso foram fatores determinantes para a ocorrência das falhas.

4 FALHAS RELACIONADAS A “POROSIDADES” EM SUPERFÍCIES POLIDAS

O crescente uso de produtos de plástico criou uma também crescente demanda por moldes de acabamento especular. Aços produzidos por processos de refusão tornaram-se especialmente importantes para a confecção de tais ferramentas. Encontra-se disponível para a aplicação em moldes de alto brilho toda uma família de opções. O processo de refusão empregado na produção destes aços oferece ao usuário aços com melhor compactação, maior isotropia, reduzido nível de inclusões não metálicas, alta homogeneidade química e estrutural e correspondente resposta ao tratamento térmico. Todas estas características contribuem para um melhor resultado de polimento. As características individuais de cada liga diferenciam o resultado de caso para caso, sendo que as altas durezas, possíveis após tratamento térmico, e sua fina estrutura tornam o VH13IM, similar ao AISI H13 refundido por ESR (Eleto Slag Refining), uma excelente alternativa para a obtenção de alto grau de polibilidade. A resistência à corrosão dos similares ao DIN 1.2083, dentre os quais destacamos o VP420IM, os habilitam como opção em casos de produção em ambientes agressivos, como ocorre na fabricação de produtos de PVC que necessitem da superfície especular. O VP50IM oferece as vantagens de uma dureza intermediária entre os similares do AISI H13 ESR e os similares do AISI P20, com enorme facilidade de tratamento térmico, e excelentes polibilidade e resposta à texturização mesmo em superfícies soldadas. O VP80IM, que é um aço inoxidável, assim como o VP50IM também é um aço endurecível por precipitação, de forma que ao invés de ser necessário tratar por têmpera e revenimentos, os moldes após “try-out” são envelhecidos, ou seja, tratados em temperatura da ordem de 500° C, sem os inconvenientes riscos de quebra e distorções normais da têmpera e revenimentos.

Da mesma maneira, existem produtos de menor exigência quanto à qualidade do espelhamento, para os quais o aço de produção convencional, mas de boa qualidade, é suficiente. As opções neste caso geralmente recaem sobre os derivados do AISI P20.

Acontece, no entanto, que desvios ocorrem por diversos motivos que vão desde a escolha inadequada do aço, passando por erros nas operações de usinagem de acabamento e de polimento, e até mesmo por falha da matéria prima, gerando imperfeições nas superfícies dos moldes que traduzem-se em defeitos visíveis nos produtos. Indiscriminadamente tais imperfeições são chamadas de “porosidades”.

Os casos a seguir são representativos de uma grande quantidade de ocorrências semelhantes, sendo alguns mais freqüentes e outros mais raros, mas todos ajudam bem a entender a dimensão do problema “porosidades”.

Caso 3 :

Um molde de aço VP20ISO, em sua versão similar ao DIN 1.2312, para moldagem de assentos em SMC, foi produzido por rota não habitual, sendo retemperado para dureza na faixa de 40/44HRC. Após polimento especular o molde recebeu camada de cromo duro. Nesta fase foi constatada a presença de “poros” por toda a superfície cromada. A camada de cromo duro foi removida e para determinação da causa da falha foi realizada uma análise metalográfica de campo, com o uso de microscópio portátil. A conclusão neste caso foi de que houve arrancamento de inclusões não metálicas da superfície. Um novo polimento foi realizado e mais uma vez se tentou aplicar a camada de cromo. Novamente surgiram as “porosidades”. A causa do arrancamento das inclusões não estava na prática de polimento, conforme se apurou com rigorosa inspeção no molde após esta nova preparação. O arrancamento ocorria no momento da inversão de polaridade no processo eletrolítico de deposição, que ocorre no início de operação para limpeza / despassivação da superfície. Para o aproveitamento deste molde foi necessário desistir da aplicação do cromo duro. A causa da falha, portanto, foi o elevado nível de inclusões característica desta versão do VP20ISO, que recebia adições de enxofre como forma de melhorar a usinabilidade.

Caso 4 :

Uma tampa de bacia para vaso sanitário injetada em molde confeccionado em aço VP420IM apresentou marcas em alto relevo, indicando a presença de “porosidades” no macho da ferramenta. O aço inoxidável martensítico para emprego na confecção de moldes deve sempre ser produzido por processo de refusão, exceto em casos em que não seja necessário polimento. Mesmo assim esta família de aços requer prática primorosa de polimento. Pois é freqüente o aparecimento do defeito do tipo “casca de laranja” por superpolimento, ou seja, se na tentativa para se obter um melhor resultado for empregado excesso de tempo ou força de polimento, perde-se o trabalho e eventualmente compromete-se o molde.

Também neste caso foi possível o uso de microscópio portátil para realização de análise metalográfica de campo. As marcas foram localizadas a olho nu para posicionamento preciso do microscópio. A observação do defeito permitiu sua caracterização como produto de operação mecânica produzida por ferramenta

giratória em curso por linhas retas e mudança de curso em ângulo de 90°. Tratava-se, portanto, de marcas de usinagem não completamente removidas no polimento.

Não se concluiu por erro de polimento, mas sim por possível desvio na operação de usinagem de acabamento. Uma aplicação de polimento por maior tempo poderia ter gerado o efeito de “casca de laranja” por toda a superfície do molde.

Caso 5 :

Uma lente para sistema de iluminação pública foi injetada em molde cuja cavidade foi confeccionada em aço VP20ISO, apresentou defeitos em alto relevo que indicavam a existência de “porosidades” na ferramenta. Os defeitos não foram observados em peças produzidas para “try-out”, quando a ferramenta ainda não havia sido nitretada. Este fato já constituía uma importante evidência de desvio associado à operação de nitretação. Análise feita em amostra retirada em um canto da ferramenta possibilitou a confirmação da causa do defeito. A foto da figura 6 mostra a existência de camada branca junto à superfície nitretada, apresentando espessura irregular acentuando a irregularidade observada no substrato, bem como regiões de aparente deslocamento. As irregularidades no substrato aparecem neste caso por tratar-se de região não polida da ferramenta, mas o deslocamento e a irregularidade de espessura da camada branca podem efetivamente ser consideradas as causas da perda na qualidade de espelhamento após a nitretação.



Figura 6. Detalhe de região da superfície apresentando irregularidades na camada branca da nitretação e deslocamentos. Ataque: Nital 4%. Aumento:200x.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os casos foram apresentados com o objetivo de divulgar fatos e ocorrências, cujo conhecimento pode contribuir para a prevenção de reincidências. Muitos outros casos, abrangendo toda a linha de ferramentas, são analisados e respondidos aos clientes anualmente e fazem parte de um amplo acervo que a partir de agora pretendemos passar a publicar.

REFERÊNCIAS

- 1 ASM INTERNATIONAL. **Failure analysis and prevention**. 10.ed. Metals Park, Ohio: ASM, 1975. (Metals handbook, v.10.)
- 2 THE TOOL steel trouble-shooter. New York : Bethlehem Steel Company, 1952.
- 3 KALPAKJIAN, S. **Tool and die failure-source book**. Metals Park, Ohio: ASM, 1982.
- 4 YOSHIDA, S. Recomendações para aumento da vida útil em ferramentas para fundição sob pressão de alumínio. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS, 1997, São Paulo. [S.n.t.]
- 5 EBERT, L.; KOTRINE, F.T.; TROIANO, A.R. Why case hardened components fracture. metal progress – Source book in failure analysis. Metals Park : [s.n.] 1966. p.80-83

FAILURE ANALYSIS IN PLASTIC MOULDS

*Paulo Haddad
Giovani Verdi Cappucio*

Abstract

The low mechanical strength requirements for plastic moulds make uncommon the registration of in service failure in these components, especially when the mould material is a pre-hardened steel, as AISI P20 or similar grades. Nevertheless, the present paper discusses some rare cases where failures occurred with this type of steel; in addition, are also discussed other most frequent cases, where hardened steels show pitting or pin holes after polishing.

Key words: Plastic mould tool steels; Cracks; Pitting.