N 139
OUTUBRO 2023

O PAPEL DO MOLDE NO ASPETO ESTÉTICO DA SUPERFÍCIE DE PEÇAS POLIMÉRICAS INJETADAS

Teresa Vieira [1], Francisco Cruz [1], Nânci Alves [2], António Baptista [3], Pedro Costa [4]
1 - CEMMPRE, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra; 2 - ITJ – Internacional Moldes
3 - Centimfe – Centro Tecnológico da Indústria de Moldes, Ferramentas Especiais e Plásticos; 4 - Ramada Aços

HIGHLIGHT

O aspeto visual de um objeto 3D polimérico é essencial para as decisões do consumidor sobre a qualidade e funcionalidade do produto. A aparência da superfície, na maior parte das vezes, governa a qualidade. Quando percecionada pelo utilizador é através das propriedades óticas da superfície (reflexão, refração...), propriedades geométricas (rugosidade, ondulação, etc.) e também, em alguns casos, nas propriedades químicas. O não cumprimento do expectável leva à rejeição de produtos com heterogeneidade no brilho da superfície, mesmo que não haja impacto na funcionalidade pretendida.

A procura de peças poliméricas com elevada qualidade estética continua a ser um dos objetivos prioritários a atingir para satisfazer as exigências do mercado. Cada vez mais se procuram polímeros com propriedades adequadas à sua aplicação, quer estrutural, quer funcional, e que, sobretudo, contribuam duma forma clara para o aspeto da superfície da peça, cuja qualidade se relaciona, ainda, com a interface entre a matriz de conformação e o polímero, durante o seu processo de fabrico.

Há vários anos que o acabamento de superfícies moldantes, normalmente por via manual, é um processo moroso, com uma preocupação permanente em maximizar o brilho da superfície do molde. A medição automatizada desta característica é, ainda hoje, difícil, especialmente para superfícies de geometria complexa.

Muitos componentes fabricados em materiais poliméricos destinam-se a interiores decorativos e exteriores, tais como peças para a indústria automóvel e outros dispositivos de mobilidade. Devido à necessidade de elevada qualidade superficial e ao seu processamento eficiente, muitos destes produtos não possuem qualquer acabamento adicional.

Entre os processos de fabrico mais utilizados para o processamento de componentes poliméricos, o de injeção desempenha um papel primordial. Na verdade, a moldação por injeção é um processo de fabricação eficiente para produção em grande série de peças com geometria complexa, boa qualidade química, física e estética.

Ao longo do tempo, foi demonstrado que o polímero é essencial, mas o molde tem um papel determinante na qualidade estética da superfície da peça, em particular no seu brilho, e, nos últimos 30 anos, a melhoria da mesma tem sido uma das principais áreas de I&D. Vários fatores relacionados com as propriedades do material, o projeto do molde e a configuração do processo afetam a qualidade da superfície dos produtos moldados por injeção. Durante a moldação por injeção, os polímeros sofrem várias alterações reológicas e térmicas devido à pressão de injeção e a rápidas mudanças de temperatura. A contração e o empenamento devido, essencialmente, à transferência de calor e ao campo de fluxo nos moldes, bem como ao material, contribuem para a estabilidade dimensional e para a qualidade da superfície.

A superfície da matriz de conformação sempre desempenhou um papel primordial, desde na adoção de novos sistemas de arrefecimento da superfície moldante e no seu tratamento, através de processos como a nitruração até à presença de revestimentos que permitam, não só proteger a superfície do desgaste por abrasão, como também evitar a adesão do polímero.

A qualidade da superfície do injetado é difícil de estabelecer, não só devido aos muitos fatores que a influenciam, como também às suas complexas interações. Contudo, realça-se a necessidade de manter na superfície moldante uma distribuição homogénea de temperatura, associada a um arrefecimento adequado e sem necessidade de modificar as condições de bombagem do fluido de arrefecimento.

Ao longo da última década, têm-se destacado os sistemas de arrefecimento que permitem, em particular nos insertos e nas buchas usadas nos moldes, atingir as condições enunciadas. A grande limitação têm sido, sem dúvida, os canais conformais de geometrias compatíveis com as técnicas de fabrico disponíveis e habituais, ou seja, processos de fabrico subtrativos e replicativos, que impedem a liberdade geométrica necessária à construção de canais de arrefecimento customizados. Só no decurso deste milénio foi possível, em particular para os materiais metálicos, concretizarem-se geometrias não convencionais, por recurso a processos aditivos, com ou sem ajuda de subtrativos mecânicos e químicos.

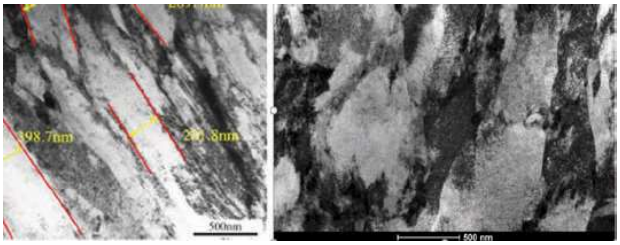
Com o acesso da indústria de moldes aos processos aditivos poderá assistir-se ao início do fabrico de moldes de injeção (insertos e buchas) com sistemas de arrefecimento inteligentes e adequados à forma dos componentes. Todavia, ainda se impõem alguns desafios. Dos processos mais comuns de fabrico aditivo, os denominados por diretos, i.e. fusão em cama de pó (PBF – Powder Bed Fusion), em particular os de Fusão Seletiva por Laser (SLM -Seletive Laser Melting) têm tido grande utilização no fabrico de componentes para a indústria metalomecânica.

A presença de uma fase líquida nos processos SLM abre também novas oportunidades para modificações, não só geométricas, como ao nível da composição química dos componentes do molde. A possível adição aos pós iniciais de elementos reativos com os do pó matriz, sem alteração de parâmetros do processo, poderá contribuir para promover, durante o fabrico, a modificação da composição fásica / propriedades mecânicas, como a dureza nas camadas

dos objetos 3D fabricados, sem necessidade de recorrer a outros processos externos de modificação de superfície, com os custos inerentes.

Considerando o AISI H13 um dos aços mais comuns na indústria de componentes dos moldes, possuindo, após tratamento térmico de têmpera e revenido, características que são compatíveis com a sua aplicação, a sua superfície tem de ser, ainda assim, modificada, de forma a contribuir para um aspeto estético de excelente qualidade das peças injetadas. De notar que a relação dureza/tenacidade desejada nestes componentes resulta de o tratamento térmico promover a formação de carbonetos (vanádio, especificamente) de dimensão muito reduzida e que, por serem coerentes com a matriz em que se encontram dispersos, funcionam como nanoreforços em materiais nanocompósitos. O aumento desta percentagem de nanocarbonetos de vanádio nas camadas superficiais do objeto 3D pode ter um papel crucial no seu comportamento durante a fabricação: aumento significativo da dureza e, consequentemente, resistência à abrasão, além de promover superfícies com brilho extremo.

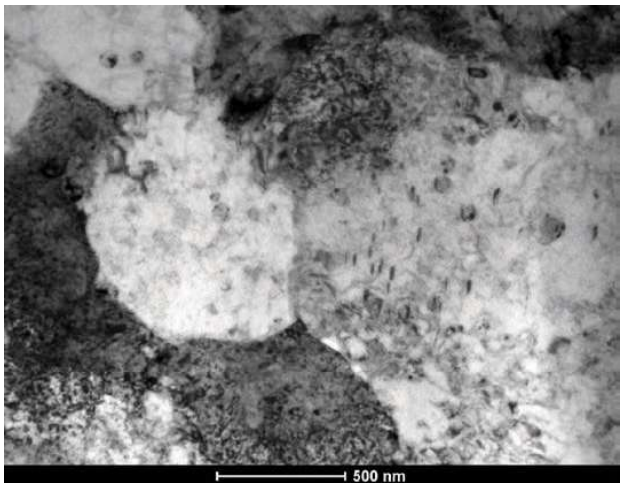
Na Figura 1 é possível, através da microscopia eletrónica de transmissão (TEM), observar a microestrutura típica de um aço AISI H13 convencional após têmpera (a) e após tratamento por SLM (b). A presença de maior número de defeitos é mais significativa no caso do aço AISI H13, tratado por SLM. Em ambos os casos, a presença de precipitados de carbonetos de vanádio não é evidente.



(a) (b)

*// Fig. 1 - Imagens TEM do aço AISI H13 (temperado a partir do aço convencional) * (a), após SLM dos pós (b).*

**A Novel Heat Treatment Strategy Based on Quenching and Carbides Preprecipitation and Subsequent Critical Quenching to Improve the Thermal Fatigue Performance of AISI H13 Tool Steel, Junxuan Zhang, Mingliang Tang, Jingsong Yue, Han Guo, Jun Li, Hengyong Bu, Mengnie Li, and Shaohong Li, Steel Research Int. 2023, 94, 2200834, https://doi.org/10.1002/srin.202200834*



// Fig. 2 - Imagens TEM da mistura de aço AISI H13, com pós de vanádio.

A Figura 2, resultante do tratamento SLM dos pós de H13 com pré-mistura com pó de vanádio, processado nas mesmas condições operatórias das usadas para o pó simples de H13, evidencia que, além de uma maior definição do grão sub- e micrométrico, há uma precipitação extensa de carbonetos, identificados como de vanádio.

O aumento de dureza foi significativo, similar ao de um aço rápido com teor de vanádio semelhante. É evidente que no caso do aço H13 há também necessidade de aumentar, além do vanádio, o teor de carbono na mistura, no caso presente pela adição de grafeno. Pode ocorrer um aumento significativo de austenite residual, devido ao excesso de carbono e à elevada velocidade de arrefecimento no processo SLM, podendo obrigar a eliminar as últimas camadas depositadas, que não sofreram pós-tratamentos térmicos resultantes da deposição de camadas superiores (revenidos), capazes de promover a alteração da austenite em martensite revenida. Se, por um lado, tal parece ser um ponto fraco da solução encontrada, é, no entanto, uma vantagem, pois é um facilitador do tratamento (sempre necessário) de acabamento da superfície, após SLM, em particular no caso de zonas moldantes.

// Fig. 3 - Aspetos da bucha e inserto modificados interna e externamente e da peça injetada.

A Figura 3 evidencia o papel da alteração das características superficiais na qualidade do acabamento dos constituintes do molde selecionados e da peça injetada.

Todos os aspetos estéticos das peças poliméricas podem ser significativamente melhorados com a interface entre o molde e o polímero (sistema de arrefecimento homogéneo e dureza da superfície metálica), durante o seu processo de fabrico.

Há a realçar que é possível, com uma só tecnologia aditiva (SLM), conseguir um multimaterial do interior para a superfície de um objeto 3D metálico, desde que se conheça a sua evolução microestrutural com pós-tratamentos sucessivos a que a zona em análise poderá estar sujeita durante o processo de fabrico aditivo e aplicação.

Este texto foi produzido no âmbito das atividades de disseminação do projeto Highlight - Novas soluções para moldes de injeção com ultra alto brilho, projeto IDT em copromoção Nº47156.

engineering & tooling
FROM PORTUGAL

Cofinanciado por:

COMPETE 2020 PORTUGAL 2020 UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional