

Desenvolvimento de Novo Método de Medição de Temperaturas em Forjamento

Alexandre Polozine, Dr. Em Engenharia, Laboratório de Transformação Mecânica EE UFRGS - Rio Grande do Sul

Diego Rodolfo Simões de Lima, Mestre Em Engenharia, Laboratório de Transformação Mecânica EE UFRGS - Rio Grande do Sul

Lírio Schaeffer, Prof. Dr.-Ing., Laboratório de Transformação Mecânica EE UFRGS - Rio Grande do Sul

Um novo método para medição de temperaturas superficiais de ferramentas de forjamento foi desenvolvido por pesquisadores da UFRGS. Este novo método alia maior eficácia e menor custo, quando comparados aos métodos existentes atualmente.

A qualidade e o custo da peça forjada dependem tanto de propriedades físico-químicas da matéria-prima como do processo da fabricação. Assim, para otimizar a qualidade e o custo da peça, o processo de forjamento deve ser cuidadosamente planejado.

São numerosos os fatores que interferem no processo de forjamento. Um desses fatores, de grande importância, é a temperatura de trabalho da ferramenta de forjamento [1].

A temperatura da ferramenta interfere, durante o forjamento, no estado térmico do tarugo forjado. Quanto maior a temperatura da ferramenta, menor o gradiente de temperaturas no material forjado e a melhor a qualidade metalúrgica da peça.

A temperatura é a variável dominante sobre a vida útil das ferramentas: ela interfere na deformação plástica da ferramenta, nas propriedades do material, na fadiga térmica, na fratura, no atrito, na distribuição de tensões, na dureza (Fig.1) e na desgaste da sua superfície [1].

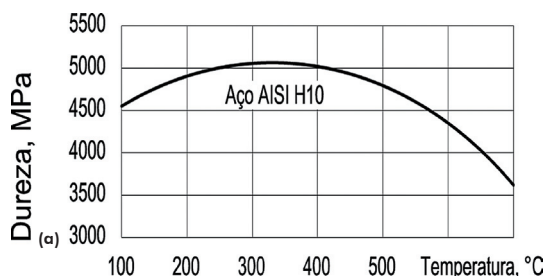


Figura 1. Curva típica.

Na prática, a temperatura ótima da ferramenta num determinado processo de forjamento pode ser escolhida com base em recomendações empíricas. O valor dessa temperatura deve ser rigorosamente controlado.

Aquecimento da Ferramenta de Forjamento

Normalmente, o aquecimento da ferramenta de forjamento ocorre em duas etapas operacionais: o aquecimento prévio por equipamento adicional e posteriormente por contato com o material forjado. Tanto no primeiro caso como no segundo, o aquecimento da ferramenta é realizado através da sua superfície, como é mostrado na Figura 2.

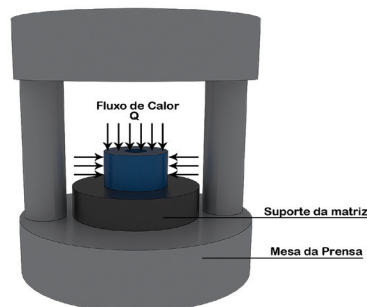


Figura 2. Esquema de aquecimento da ferramenta de forjamento.

Em consequência disso, a temperatura da superfície de trabalho da ferramenta aquecida sempre está maior do que a

Desenvolvimento de Novo Método de Medição de Temperaturas em Forjamento

do interior da mesma, ou seja, a superfície é mais vulnerável ao superaquecimento que pode causar a perda de propriedades mecânicas de forma localizada.

Medição de Temperatura da Ferramenta de Forjamento

A medição de temperaturas na ferramenta, abordada como um bloco homogêneo, é uma tarefa habitual na engenharia e não é discutida neste artigo.

Quanto à superfície, os métodos de medição de temperatura superficial desenvolvidos até o momento atual são insuficientes e apresentam dificuldades na sua utilização. Pode-se dividir estes métodos em dois grupos: medição de temperatura com e sem contato com o corpo investigado.

Para se obter maior precisão na medição sem contato, são requeridos equipamentos sofisticados e caros, além de que medidores a laser, por exemplo, operam em uma faixa restrita de temperaturas, sendo necessário, muitas vezes, uma gama de pirômetros para suprir as diferenças de temperatura entre estágios do processo de forjamento. A medição de temperatura superficial com contato, por sua vez, fornece um erro de medição relativamente grande, quando utilizados da forma tradicional.

Método Recomendado pela ASTM

A American Society for the Testing of Materials – ASTM [3] recomenda um método desenvolvido exclusivamente para as medições de temperaturas superficiais. A desvantagem deste método consiste na impossibilidade de se instalar o ponto sensível do termopar diretamente na superfície examinada, ou seja, a junta de medição do termopar fica abaixo da superfície, o que provoca grande incerteza [4] de medição de temperatura, justamente onde ela é mais crítica: na superfície da ferramenta.

Com isso, vários pesquisadores de processos de transferência de calor procuraram soluções para diminuir esta desvantagem e, nas últimas décadas, o problema de incerteza na medição de temperatura superficial foi resolvido parcialmente [5 e 6]. No entanto, a montagem proposta ainda é complicada demais para ser útil no dia-a-dia das forjarias.

Novo método Desenvolvido no LdtM/UFRGS

A montagem experimental para determinar as temperaturas superficiais em ferramentas de forjamento é mostrada esquematicamente na Figura 3. Trata-se da inclusão de dois canais extremamente rasos, escavados na superfície da matriz, por onde passa um fio cada um, sendo o primeiro da liga alumel e o segundo da liga cromel [4, 7 e 8].

O princípio de funcionamento desta montagem é baseado na Lei dos Metais Intermediários [3]. De acordo com essa Lei, a força eletromotriz gerada por um par termoelétrico não será alterada por um metal genérico diferente dos que compõem o circuito mencionado, ao se inserir o metal em qualquer ponto do circuito, desde que as novas junções formadas sejam mantidas na mesma temperatura. Desta forma, a montagem ilustrada pela Fig.3 pode ser considerado como um sensor de temperatura na região superficial da ferramenta. O método foi testado em dois momentos do aquecimento da ferramenta, conforme é mostrado a seguir.

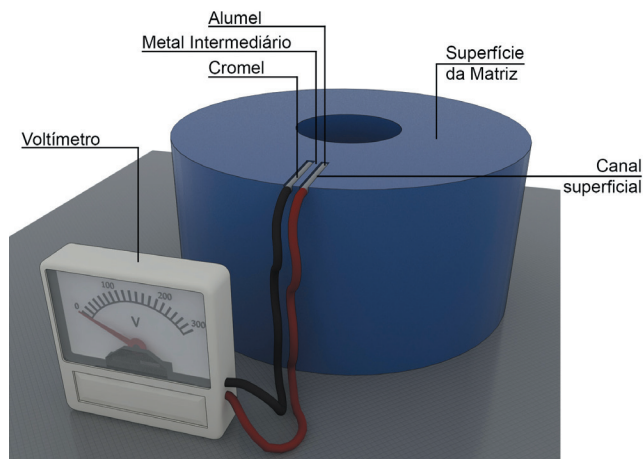


Figura 3. Montagem para determinar as temperaturas superficiais de ferramentas.

Visualização do Processo de Aquecimento da Ferramenta

A visualização e monitoramento do processo de aquecimento da ferramenta foram efetuados com base em experimentos, obtidos para dois casos típicos: aquecimento por incidência de chama (gás GLP) e aquecimento por contato de corpo passivo. O erro obtido se deve principalmente a utilização de dados de entrada obtidos em bibliografias e banco de dados de software, podendo ser minimizado ainda mais se utilizados dados experimentais específicos do processo.

Os objetivos dos experimentos realizados foram o aquecimento da ferramenta até as temperaturas recomendadas para o forjamento de aço e ligas leves e a obtenção das curvas de aquecimento. A descrição detalhada dos experimentos é apresentada nos itens a seguir deste artigo.

Aquecimento de matrizes por incidência de chama (gás GLP)

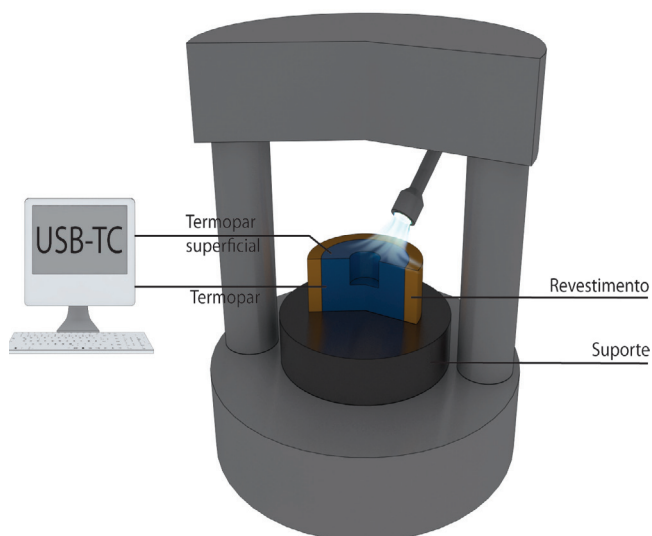


Figura 4. Aquecimento de matriz por chama de gás.

Desenvolvimento de Novo Método de Medição de Temperaturas em Forjamento

O aquecimento de matriz por incidência de chama foi realizado com um bico de gás, alimentado por um botijão de GLP, conforme apresentado na Figura 4.

Aquecimento de ferramenta por aquecedores passivos

O experimento de aquecimento de ferramenta por aquecedores passivos foi realizado com base da montagem composta por uma prensa hidráulica, um forno, um sistema de aquisição e gravação de dados, duas matrizes revestidas lateralmente por material isolante térmico e seis aquecedores passivos de aço, sendo que estes entram em contato com as matrizes um por vez, com temperatura inicial de 600 °C. O desenho esquemático desta montagem é mostrado na Figura 5.

Resultados e Discussões

Os dados registrados pelos sensores, no aquecimento por incidência de chama, são apresentados na Figura 6. O gráfico mostra duas curvas suaves: AB (temperatura da superfície) e A1B1 (temperatura do centro). O aquecimento começou no ponto A, durou cerca de 40 minutos e terminou no ponto B, com temperatura da superfície próxima dos 300°C. A curva BC se refere ao resfriamento da ferramenta por perdas térmicas para o meio ambiente.

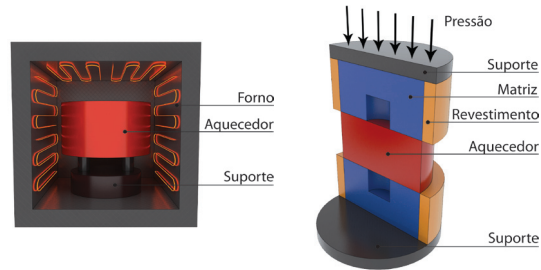


Figura 5. Aquecimento da ferramenta por contato de aquecedor passivo. À direita, o aquecimento em forno. À esquerda, o contato aquecedor-ferramenta.

Paralelamente, a temperatura do centro da matriz subiu, por condução térmica, de 26°C no ponto B para 257°C no ponto B1.

A curva B1C1 é referente ao resfriamento do centro da ferramenta.

Em relação ao aquecimento por contato com corpo passivo, os dados obtidos pelos termopares geraram o gráfico exposto na Figura 7. Pode-se perceber ondulações nas curvas DE (temperatura da superfície) e D1E1 (temperatura do centro), devido ao processo pulsante de aplicação/retirada de cada um dos seis aquecedores passivos do contato com a ferramenta. O tempo de aplicação de

JAMO
AQUECIMENTO INDUTIVO

Aquecedor Indutivo

Forjamento Parcial

Rapidez | Controle | Segurança | Homogeneidade | Repetibilidade

Fone (47) 2107-3394 - jamo@jamo.ind.br
www.jamo.ind.br

FERRAMENTAIS COMPLETOS

para forjamento a quente, produzidos em centros de usinagem High-Speed de última geração

Modelação completa em 3D, com qualidade assegurada.

FALE CONOSCO:
(11) 4703-0622
doca.contato@doca.ind.br

doca
TOOLS & PARTS

Venha nos conhecer ou solicite uma visita técnica

Desenvolvimento de Novo Método de Medição de Temperaturas em Forjamento

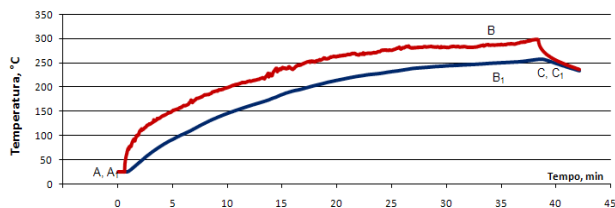


Figura 6. Curvas de aquecimento da matriz por chama.

cada um dos aquecedores foi de aproximadamente 4 minutos.

O aquecimento total começou no ponto D, durou cerca de 30 minutos e terminou no ponto E, com temperatura da superfície de aproximadamente 417°C. A curva EF se refere ao resfriamento desta ferramenta por perdas térmicas para o meio ambiente. Paralelamente, a temperatura do centro da matriz subiu de 26°C no ponto D1 para 334°C no ponto E1, devido à condução térmica. A curva E1F1 apresenta o resfriamento do centro da ferramenta.

Em relação ao aquecimento por contato com corpo passivo, os dados obtidos pelos termopares geraram o gráfico exposto na figura 7. Pode se perceber ondulações nas curvas DE (temperatura da superfície) e D1E1 (temperatura do centro), devido ao processo pulsante de aplicação/retirada de cada um dos seis aquecedores passivos do contato com a ferramenta. O tempo de aplicação de cada um dos aquecedores foi de aproximadamente 4 minutos.

O aquecimento total começou no ponto D, durou cerca de 30 minutos e terminou no ponto E, com temperatura da superfície de aproximadamente 417°C. A curva EF se refere ao resfriamento desta ferramenta por perdas térmicas para o meio ambiente. Paralelamente, a temperatura do centro da matriz subiu de 26°C no ponto D1 para 334°C no ponto E1, devido à condução térmica. A curva E1F1 apresenta o resfriamento do centro da ferramenta.

A análise dos resultados experimentais revelou algumas particularidades do processo de aquecimento da ferramenta que não são descritas nas referências de forma direta, tais como:

- A temperatura da superfície da matriz em aquecimento por chama do gás GLP é muito menor que a dos pontos críticos de temperatura do aço ferromagnético, ou seja, o aquecimento por gás GLP não faz ameaça de perda de propriedades mecânicas da superfície da ferramenta;
- O aquecimento da ferramenta por aquecedores passivos é mais significativo do que por chama e gera no material da ferramenta gradientes de temperatura maiores. Ainda assim, a temperatura da superfície da ferramenta nunca poderá ultrapassar a temperatura inicial do aquecedor;
- Ambos os processos de aquecimento requerem um tempo relativamente grande, o que permite maior controle.

Conclusões

A visualização e o monitoramento do processo de aquecimento fornecem ao engenheiro uma variedade de detalhes sobre a

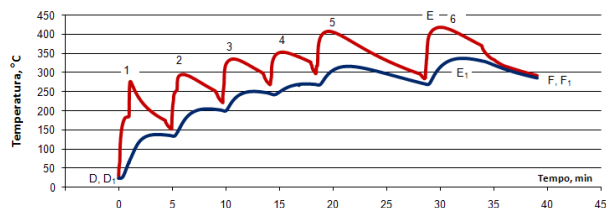


Figura 7. Curvas de aquecimento da matriz por aquecimento passivo.

transferência de calor para a ferramenta. Isso facilita o entendimento do processo e a escolha adequada do método de aquecimento.

Esta visualização possibilita o monitoramento direto da temperatura da ferramenta, tanto no processo de pré-aquecimento como durante todo o processo de forjamento.

Ambas as formas de aquecimento se mostraram viáveis, embora o aquecimento por chama seja mais seguro – já que atinge temperaturas mais baixas – e o aquecimento por corpo passivo seja mais potente – permite maiores temperaturas e controle e menor tempo de pré-aquecimento.

O método desenvolvido se mostrou eficiente para a medição de temperaturas superficiais e permitiu a visualização das diferenças existentes na superfície e no centro da peça. Assim, o método apresentado de visualização do processo de aquecimento pode ser recomendado para uso na indústria de forjados. 🔗

Agradecimentos

São deixados agradecimentos ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelas bolsas dos autores e apoio financeiro aos projetos do Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM/UFRGS).

Referências

- [1] ASM International. Cold and Hot Forgings: Fundamentals and Applications. ASM International, USA, 2004.
- [2] DAHL, C., VASQUEZ, V., ALTAN, T. Final Report on the Effect of Process Parameters on Die Failure and Die Life in Precision Forging. ERC for Net Shape Manufacturing, Report No. 99-R-14. The Ohio State University, 1998.
- [3] American Society for the Testing of Materials. Manual on the Use of Thermocouples in Temperature Measurement. STP 470B. ASTM, 1981.
- [4] POLOZINE, A. Desenvolvimento da técnica analítica para determinar a resistência térmica de contato “material forjado - ferramenta” para o processo de forjamento. Porto Alegre-RS, 2009. 180f.. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/15577/stats>>.
- [5] CHANG C. C., BRAMLEY A. N. Determination of the heat transfer coefficient at the work piece-interface for the forging process. Part. B-Journal of Engineering Manufacture, v.216, n.8, 2002.
- [6] KELLOW, M.A., BRAMLEY, A.N., BANNISTER, F.K. The measurement of temperatures in forging dies. International Journal of Machine Tools and Manufacture, v.9, p. 239-260, 1969.
- [7] POLOZINE, A., SCHAEFFER, L., LIMA, D.R.S. New research tool for the study of thermal contact resistance of the blank – die interface. Journal of Metal Working, Polytechnics, n. 3(57), 2010.
- [8] POLOZINE, A., SCHAEFFER, L. Testing of Thermocouples in The High Gradient Temperature Field. Scientific Bulletins of Rzeszow University of Technology (Mechanics73), Rzeszow University of Technology, n. 253, 2008.