

FORJAMENTO A QUENTE COM MÁSCARAS METÁLICAS COMO REVESTIMENTO SUPERFICIAL

O uso de máscaras metálicas para proteção contra falhas tem se mostrado eficiente em matrizes para o forjamento a quente. A avaliação em simulador computacional permitiu uma redução de 20% na temperatura superficial da matriz, aumentando a vida útil do ferramental significativamente.

Por Juliana Zottis | Foto Divulgação

Nas indústrias de forjamento vêm sendo testadas diversas técnicas metalúrgicas para a melhoria de superfícies objetivando tanto o aumento da longevidade das matrizes quanto o aumento da produtividade das prensas [1]. Isto porque, durante o processo de forjamento a quente, as matrizes estão sujeitas a tensões mecânicas, a tensões de origem térmica (induzidas pelo ciclo térmico e pelas operações sucessivas de forjamento), que danificam suas superfícies e camadas imediatamente abaixo destas [2]. Essas tensões estão presentes tanto no processo de preenchimento da matriz, deformação e fluxo de material no interior da cavidade, quanto na extração do componente forjado, quando a matriz é refrigerada pelo *spray*¹ lubrificante [3,4].

Segundo Paschke et al [5], os problemas relacionados ao desgaste e fadiga térmica das ferramentas são responsáveis por 70% das paradas de produção na indústria. Para Shirgao-kar [6], os custos das matrizes podem constituir até 30% do custo de produção de uma peça, através, respectivamente, do custo de produção da matriz e das atividades de reparo, tempo de parada da produção, retrabalho e descarte (sucata).

Neste contexto, o desenvolvimento das técnicas baseadas em simulação numérica computacional, como o método de elementos finitos (FEM)², aliado as novas tecnologias de produção de aços mais resistentes, tem proporcionado uma ligação vital entre avanços em *design*³ de ferramentas e equipamentos, por um lado, e uma melhor compreensão do comportamento dos materiais, por outro [7].

Os dados de entradas e as condições de contorno do modelo de elementos finitos incluem as características do material da peça (tensão de escoamento e propriedades térmicas) e da interface ferramenta/peça (propriedades de atrito e de transferência de calor), bem como geometrias de peças e ferramental. Já as saídas incluem uma previsão do carregamento do processo, deformação, velocidade de deformação e gráficos da distribuição de temperatura, além de deformações na ferramenta [8, 9]. Tais resultados são importantes informações que auxiliam na escolha da capacidade do equipamento, determinação do sucesso ou falha no que diz res-

peito ao material, sua capacidade de conformação (ou conformabilidade), e estimativa de fontes prováveis de falha do ferramental [10].

Portanto, este trabalho visa a análise do comportamento térmico do ferramental no processo de forjamento a quente através do método de elementos finitos. Para que seja possível validar o modelo numérico, analisou-se experimentalmente um forjamento nas mesmas condições, utilizando-se uma prensa hidráulica com e sem a utilização de máscaras metálicas. Os dados adquiridos experimentalmente são base para a análise comparativa dos resultados simulados.

Tal análise é uma das etapas do projeto de pesquisa Bra-grecrim⁴ "Evaluation of sheet metal covers to improve tool life in forging" na parceria entre LdTM (UFRGS) e IBF (RWTH Aachen University) na Alemanha. Através deste projeto, busca-se desenvolver um método mais prático e menos oneroso que os tratamentos superficiais atualmente empregados na tentativa de melhorar a vida útil de ferramentas de forjamento a quente. Com este intuito propõe-se a aplicação de chapas de alta resistência como insertos metálicos ou "máscaras metálicas" como revestimento em matrizes de forjamento a quente.

MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de verificar os parâmetros do processo e analisar o comportamento térmico durante o forjamento a quente, foram realizados experimentos com matriz aberta (plana), conforme fluxograma apresentado na figura 1.

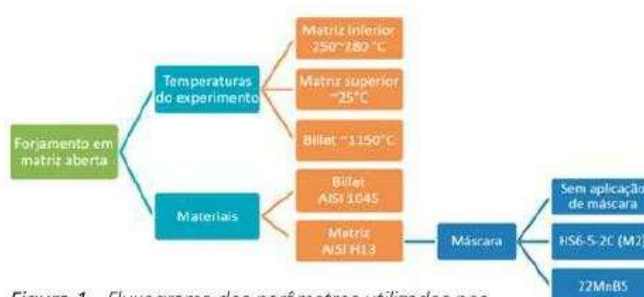


Figura 1 - Fluxograma dos parâmetros utilizados nos experimentos com matriz aberta

Os forjamentos experimentais foram realizados em uma prensa hidráulica EKA[®] com capacidade de 40 toneladas, utilizando matrizes de forjamento com geometria plana fabricadas de aço AISI⁵ H13⁶. A matriz inferior foi instrumentada com termopares tipo K para registro dos dados de temperatura. O posicionamento dos termopares é apresentado na figura 2(a).

Os *billets*⁷ foram aquecidos em um forno elétrico Sanchis[®] a temperatura de 1.100°C. A matriz inferior foi aquecida por contato até 300°C com utilização de resistência elétrica (figura 2b) com temperatura controlada através de dispositivo controlador Novus[®].

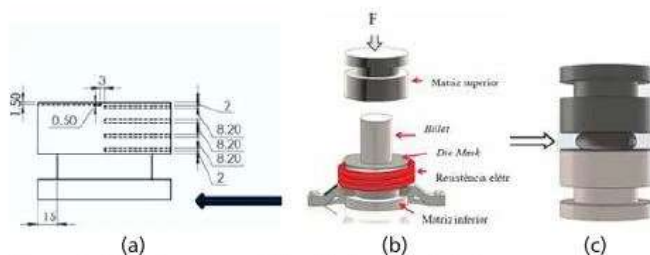


Figura 2 - Desenho esquemático (a) da matriz inferior com posicionamento dos termopares, (b) da montagem experimental para o processo de forjamento com aquecimento da matriz inferior e (c) do final do forjamento

Foram avaliadas as temperaturas da matriz inferior utilizando os materiais 22MnB5⁸ e HS6-5-2C(M2)⁹ como máscaras metálicas, além da aplicação de diferentes forças de forjamento.

As máscaras com 1,5 mm de espessura foram mantidas por cerca de 15 minutos sobre a matriz inferior aquecida a 300°C antes do início do experimento para homogeneização da temperatura, sendo que foram registrados dados de temperatura, força e tempo durante o processo de forjamento. Os mesmos registros foram feitos sem a utilização de máscara.

O processo de forjamento a quente envolve intensa troca térmica entre o *billet* forjado e as matrizes em contato. Como a pressão de contato é um dos parâmetros que afetam a resistência térmica de contato [11], foram avaliadas três forças de processo. Foi utilizado o sistema de aquisição de dados marca HBM, modelo Spider 8, ligado a um computador com o *software*¹⁰ de aquisição de dados Catman 4.0.

Para verificar a perda de temperatura do aço para o ambiente quando retirado do forno foi utilizado um termógrafo da marca Fluke, modelo Ti 400, com a utilização do *software* Fluke Smartview 2.0.

Os termopares tipo K foram conectados a um sistema de aquisição de dados marca National Instruments, ligado a um computador com o *software* de aquisição de dados da mesma empresa. Conforme apresentado na figura 2(a), optou-se por avaliar a temperatura na superfície de contato com o *billet* e sua distribuição até o centro da matriz inferior, em torno de 25 mm abaixo da superfície.

Após o forjamento foram realizadas medições de dureza

nas chapas utilizadas como máscaras a fim de avaliar possíveis mudanças na microestrutura do material das chapas. Os perfis de dureza foram adquiridos utilizando um microdurômetro Vickers¹¹ Insize modelo ISH-TDV1000 e carga de HV1, com uma média de 10 indentações por análise em três direções.

Através dos resultados experimentais obtidos, um modelo numérico foi construído, sendo que o conjunto matriz/máscara/*billet* foi modelado no *software SolidWorks*[®], e exportado para o *software* de simulação numérica computacional DeformTM. As propriedades do material foram inicialmente retiradas do banco de dados do *software* e, em seguida, foram inseridos dados fornecidos pelo fabricante.

Sabe-se que a fadiga térmica é um dos fatores críticos do processo, a qual contribui para o desgaste da ferramenta, e que pode ser analisada em função da troca térmica entre *billet*/matriz e entre *billet*/máscara/matriz. Por isso, a análise numérica inicial foi realizada utilizando os mesmos parâmetros do ensaio realizado em matriz aberta (tabela 1).

Parâmetro	Descrição
Força	60kN
Deformação	2mm
Tempo de contato	40s
Espessura da máscara	1,5mm
Materiais	Banco de dados do software
Temperaturas	Conforme Figura 1

Tabela 1 - Parâmetros utilizados na simulação numérica do processo de forjamento em matriz aberta

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição de temperatura, tempo e força durante os experimentos de forjamento a quente são apresentados na figura 3. Pode-se observar que a força máxima foi atingida após 12 segundos, sendo que o tempo de transporte do corpo de prova até a prensa foi de 7 s e o contato inicial 5 s. Após este tempo percebe-se uma redução em torno de 100°C na temperatura do *billet*, já no final do processo de forjamento é observada uma redução de aproximadamente 360°C.

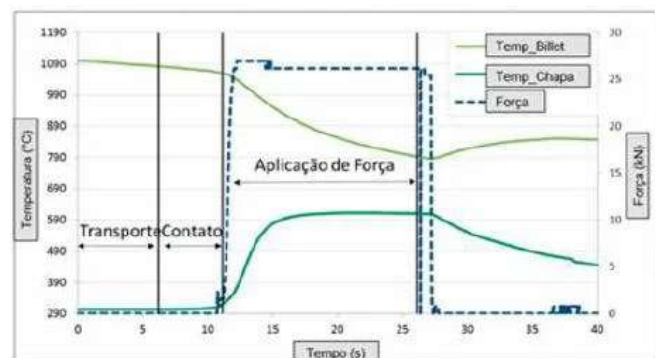


Figura 3 - Perfil de força, temperatura e tempo durante o ensaio de forjamento⁽¹²⁾

Utilizando as máscaras metálicas sobre a matriz inferior, alterando o parâmetro força em três valores progressivos, mantendo os mesmos parâmetros de tempo e temperatura, obte-

ve-se os dados de temperatura referentes à superfície da chapa em contato com a matriz que podem ser vistos na figura 4.

Para o forjamento com máscara de aço DIN¹² 22MnB5 os valores de temperatura foram similares para as três forças ensaiadas, variando de 510°C a 525°C. No experimento com máscara de aço DIN HS6-5-2C foi verificada uma variação entre 450°C para a força de 25 kN e 520°C quando utilizada uma força de 59 kN.

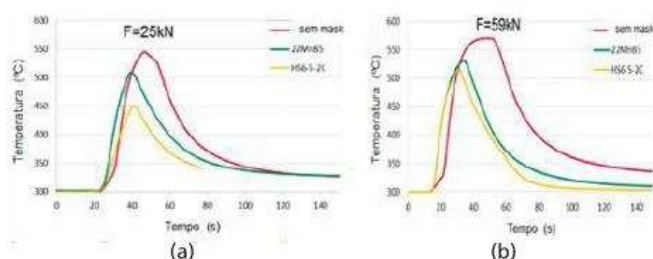


Figura 4 - Comportamento da temperatura com a aplicação de diferentes forças (a) 25kN e (b) 59kN

A modelagem numérica, baseada no ensaio realizado experimentalmente, manteve os mesmos parâmetros de processo e propriedades dos materiais utilizados, exceto para o material das chapas. Inicialmente foram utilizados nas primeiras simulações o banco de dados do software e posteriormente foram inseridas as propriedades das chapas

fornecidas pelo fabricante.

O primeiro modelo construído foi composto de corpo de prova (C45¹³ a 1.100°C), matriz superior (H13 a 150°C) e inferior (H13 a 150°C). A figura 5(a) apresenta os valores simulados de temperatura da matriz inferior de forjamento sem a utilização de máscara metálica. O perfil foi retirado nas mesmas posições do experimento realizado, conforme pode ser observado na figura 5(b), ou seja, na superfície em contato com o bilhet até o centro da matriz inferior. Observou-se um aumento da temperatura nos primeiros segundos da simulação, o que é coerente com os resultados experimentais onde a matriz chegou a temperatura aproximada de 575°C.

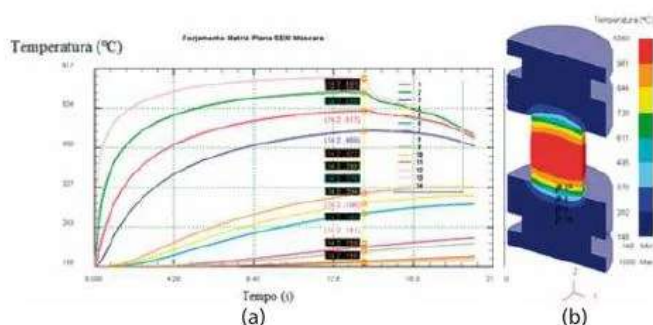


Figura 5 - Variação da temperatura na matriz durante o forjamento sem máscara (a) gráfico dos pontos medidos na matriz inferior e (b) desenho esquemático do modelo

COMO SUA EMPRESA TRATA
QUALIDADE E PRAZOS?

A GTF FERRAMENTARIA
TRATA COM
PRECISÃO!

GTF
FERRAMENTARIA

Estrada da Ilha, 6616 – Distrito Pirabeiraba
Joinville – SC Fone: (47) 3467-3486
www.gtf.ind.br gtf@gtf.ind.br

O mesmo modelo inicial serviu como base para a análise do forjamento utilizando uma máscara metálica entre o corpo de prova a ser forjado e a matriz inferior (figura 6a), sendo que o material utilizado foi uma chapa de 1,5 mm de espessura do aço DIN 9Cr1Mo do banco de dados do *software*.

Conforme mostra a figura 6, ao inserir a chapa metálica no conjunto de forjamento simulado, a temperatura máxima apresenta uma redução de até 106°C. Quanto à matriz inferior, pode ser identificada uma temperatura de 510°C em 3,6 segundos do forjamento. Para que um perfil mais próximo da realidade seja obtido, a modelagem numérica deve ser realizada novamente, melhorando os parâmetros referentes a malha e as condições de contorno.

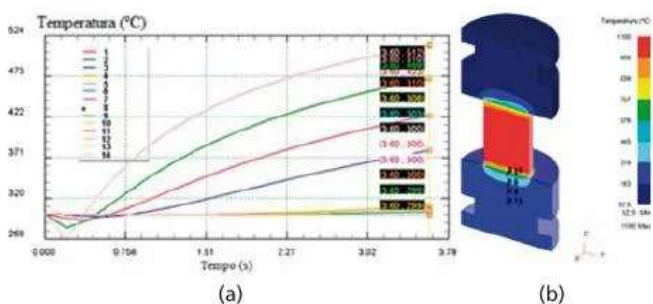


Figura 6 - (a) Variação da temperatura na matriz durante o forjamento utilizando máscara e (b) modelo numérico analisado

A análise quanto a distribuição da temperatura na chapa durante o processo está apresentada na figura 7, podendo ser observada na espessura da chapa e na superfície de contato com a matriz inferior e com o *billet*.

A matriz superior apresentou uma distribuição de temperatura diferenciada por sua temperatura inicial ter sido a temperatura ambiente (24,8°C), como pode ser visto na figura 8, variando entre 370 e 585°C.

Os perfis de dureza das máscaras metálicas foram medidos antes do ensaio de forjamento, sendo realizadas medições em 0°, 90° e 45° da direção de laminação. O resultado da dureza média para as máscaras de 22MnB5 foi de 155,9^{-6,2}, variando entre 145 e 168HV. As chapas de material HS6-5-2C (M2) apresentam a maior diferença na direção de medição a 90° e um elevado desvio padrão entre as medições, o que pode ser atribuído a presença de carbeto primários em bandas na direção de laminação, sendo que a média dos valores obtidos ficou em 185,9^{-30,8} HV.

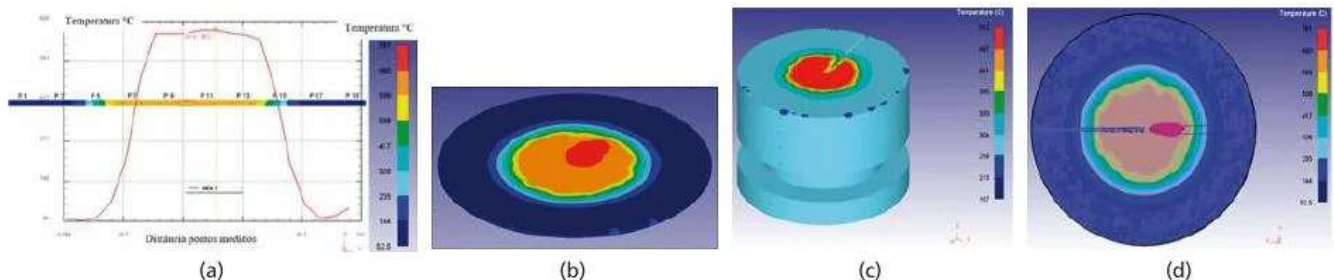


Figura 7 - Distribuição de temperatura durante a simulação de forjamento (a) ao longo da espessura da máscara, (b) na superfície da máscara em contato com o *billet* forjado, (c) na matriz inferior e (d) na superfície da chapa em contato com a matriz inferior

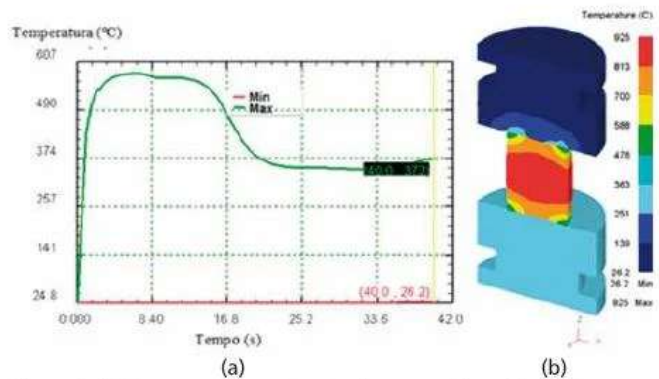


Figura 8 - (a) Temperatura em função do tempo de conformação na matriz superior de forjamento e (b) simulação correspondente

Após a utilização das chapas como máscaras metálicas no ensaio de forjamento, os perfis de dureza foram medidos novamente e os resultados apresentados na figura 9. O ponto 0 (zero) representado no gráfico diz respeito ao centro da chapa, ou seja, região de contato entre a matriz, a chapa e o *billet*.

Observa-se que não houve alterações significativas de dureza nas medidas realizadas na chapa de aço 22MnB5, a qual apresentou uma redução de 10HV, o que pode ser atribuído às características microestruturais do aço. Ao contrário, nas chapas de aço HS6-5-2C nota-se o aumento em torno de 45HV quando comparados ao valor médio de dureza inicial.

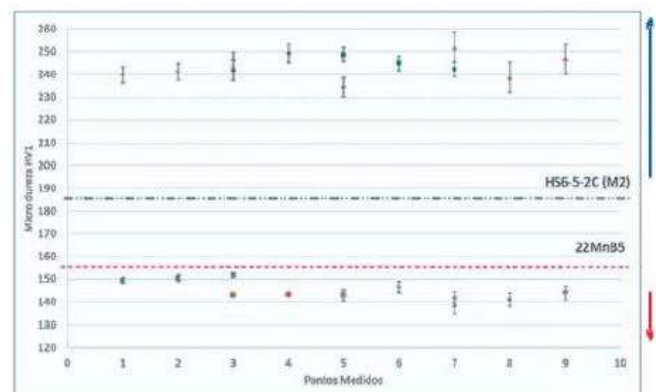


Figura 9 - Perfil de dureza superficial das chapas 22MnB5 e HS6-5-2C (M2) após o forjamento

CONCLUSÕES

Através deste estudo, foi possível analisar o comportamento térmico do ferramental no processo de forjamento a quente, tanto experimentalmente, quanto pelo método de

elementos finitos. Os parâmetros do processo de forjamento em matriz aberta foram utilizados para desenvolver e testar um modelo numérico com e sem a utilização de máscaras metálicas. No entanto ainda são necessárias mais simulações com parâmetros específicos das chapas e uma análise das deformações do *billet* para validação final do modelo.

Observou-se que o modelo desenvolvido é válido para analisar o processo de forjamento, sendo que, apesar das limitações até o presente momento, os resultados da simulação numérica ficaram coerentes com os resultados experimentais. No ensaio experimental sem a utilização da máscara, a temperatura superficial da matriz atingiu um valor em torno de 575°C, enquanto a simulação numérica indicou um valor na superfície de 590°C.

Os dados obtidos foram comparados em relação à força, temperatura e tempo de processo. Ao aumentar a força aplicada ao processo, com e sem a utilização de máscara metálica, foi possível identificar um aumento na temperatura superficial da matriz inferior em torno de 50°C. Da mesma maneira, ao inserir no modelo a chapa metálica com 1,5 mm de espessura sobre a matriz inferior no forjamento simulado, os valores da temperatura superficial da matriz reduziram em 106°C, representando cerca de 20% da temperatura sem a máscara.

Assim, a inserção de máscaras metálicas como revestimento de ferramentas realizada experimentalmente indica uma redução de aproximadamente 15% na temperatura próximo a superfície da matriz. Apesar de o modelo numérico analisado considerar as propriedades do banco de dados do *software*, os resultados simulados são coerentes com a realidade, sendo observada uma diferença de apenas 5% entre a temperatura simulada e a medida experimentalmente.

Conforme diversos autores indicam, a temperatura superficial da matriz de forjamento está diretamente ligada ao desgaste e à fadiga térmica, portanto, reduzindo-se a temperatura da superfície da matriz durante os ciclos de trabalho será possível reduzir significativamente o seu desgaste.

Observa-se a necessidade de aprimorar o modelo construído, inserir as propriedades do material, como curva de escoamento, e refinar a malha utilizada. Com isso será possível atingir maior acurácia e, então analisar parâmetros como atrito, diferentes geometrias e condições de processo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES¹⁴ pelo apoio através do Projeto Bragecrim (AUXPE 2203/2015). Ao Prof. Dr. Gerhard Hirt, diretor do Instituto de Conformação Mecânica (IBF) da Universidade Técnica de Aachen (Alemanha) pela cooperação neste intercâmbio de informações. Ao Dr. Alberto Moreira Guerreiro Brito, pela participação na idealização deste projeto. ■

¹⁴*Spray*: do inglês, significa borifo.

¹⁵*FEM*: do inglês Finite Element Method ou Método de Elementos Finitos -

MEF. É uma forma de resolução numérica de um sistema de equações diferenciais parciais. É uma análise matemática que consiste na discretização de um meio contínuo em pequenos elementos, mantendo as mesmas propriedades do meio original. Esses elementos são descritos por equações diferenciais e resolvidos por modelos matemáticos, para que sejam obtidos os resultados desejados. A origem do desenvolvimento deste recurso ocorreu no final do século XVIII, quando Johann Carl Friedrich Gauss propôs a utilização de funções de aproximação para a solução de problemas matemáticos. Entretanto, a sua viabilização tornou-se possível somente com o advento dos computadores, facilitando a resolução das enormes equações algébricas. O MEF pode ser utilizado em diversas áreas das ciências exatas e biológicas.

¹⁶*Design*: processo técnico e criativo relacionado à configuração, concepção, elaboração e especificação de um artefato. [www.wikipedia.com.br].

¹⁷*Bragecrim*: sigla para Brazilian-German Collaborative Research Initiative on Manufacturing Technology. É um programa para custear e suportar projetos colaborativos entre grupos de pesquisas da Alemanha e Brasil no campo de tecnologias de manufatura avançada.

¹⁸*AISI*: do inglês American Iron and Steel Institute, que significa Instituto Americano de Ferro e Aço. Os aços ferramenta são classificados de acordo com a sua composição, aplicação ou meio de resfriamento. Os sistemas de classificação em uso atribuem aos aços códigos de identificação, compostos em geral de combinações de letras e números. No Brasil é seguida a classificação AISI, mas também é comum encontrar as classificações estabelecidas pela norma americana SAE (Society of Automotive Engineers = Sociedade de Engenheiros Automotivos) e pela norma alemã DIN (Deutsches Institut für Normung = Instituto Alemão de Normatização).

¹⁹*Aço H13*: aço para trabalho a quente, ligado ao Cromo-Molibdênio-Vanádio (Cr-Mo-V), temperável em óleo ou ar, de excelente tenacidade, alta resistência mecânica e boa resistência ao desgaste em temperaturas elevadas. Apresenta boa resistência à fadiga térmica, ótima resistência ao choque térmico e ao amolecimento pelo calor. Tem 0,90% de Vanádio enquanto o H11 tem 0,45%. O H11 e o H13 também possuem uma característica comum - ter 1% de Silício, bem acima dos 0,3% usuais dos aços. Equivalências normativas ABNT H13, AISI H13, W Nr. 1.2344, JIS SKD 61, Villares VH-13. Cores de identificação: Vermelho-Branco-Vermelho.

²⁰*Billet*: do inglês, significa lingote.

²¹*Aço 22MnB5*: aço com 0,22% de carbono (C), 1,2/1,4% de manganês (Mn), 0,11/0,2% de cromo (Cr), 0,2/0,3% de silício (Si), 0,02/0,05% de alumínio (Al), e 0,002/0,005% de boro (B).

²²*Aço M2*: aço rápido ligado ao molibdênio (Mo), vanádio (Va) e tungstênio (W), que apresenta alta temperabilidade, alta tenacidade, alta resistência ao desgaste e excelente propriedade de corte. Cores de identificação: Azul-Cinza-Azul.

²³*Software*: ou programa de computador, é uma sequência de instruções a serem seguidas e/ou executadas, na manipulação, redirecionamento ou modificação de um dado/informação.

²⁴*Dureza Vickers HV*: é um método de classificação da dureza dos materiais baseada em um ensaio laboratorial. Neste método, é usada uma pirâmide de diamante com ângulo de diedro de 136° que é comprimida, com uma força arbitrária *F*, contra a superfície do material. Calcula-se a área *A* da superfície impressa pela medição das suas diagonais. O Número Vickers é então determinado pela razão entre a carga (kgf) e a área superficial da impressão (mm²). A grande vantagem deste método é a pequena impressão deixada, sendo que este procedimento é utilizado em ensaios de micro e nano-dureza. As desvantagens são a necessidade de preparar a amostra previamente e o uso de um microscópio adequado.

²⁵*DIN*: do alemão Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemão para Normatização) é a organização nacional na Alemanha para padronização, representante da International Standardization Organization (Organização Internacional para a Padronização - ISO) no país.

²⁶*Aço C45*: aço de boa usinabilidade, boa resistência mecânica, média soldabilidade e alta forjabilidade. Equivalências normativas ABNT 1045, AISI 1045, SAE 1045, DIN-C45/Ck45/Cm45/Cq45/Cf45, JIS-S45C, UNI-C45/C46, BS 080 A 47, AFNOR-C45, Villares VT45. Cores de identificação: Azul.

¹⁴ **CAPES:** Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Desempenha papel fundamental na expansão e consolidação da pós-graduação stricto sensu (mestrado e doutorado) em todos os estados da Federação. Em 2007, passou também a atuar na formação de professores da educação básica ampliando o alcance de suas ações na formação de pessoal qualificado no Brasil e no exterior. (www.capes.gov.br).

REFERÊNCIAS

- [1] Pye, D.; *Técnicas de modificação de superfície para matrizes de forjamento*. Metallurgical Consulting - EUA. FORGE edição 13 de Julho de 2015. Disponível em: <<http://www.revistaforge.com.br/artigo-tecnico/tecnicas-de-modificacao-de-superficie-para-matrizes-de-forjamento/2955>>. Acessado em dezembro 2015.
- [2] Magri, M. L.; *Influência da topografia superficial na vida da matriz de forjamento a quente*. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Campinas, 2011.
- [3] Berti, G. A.; Monti, M.; *Thermo-mechanical fatigue life assessment of hot forging die steel*. Fatigue Fracture Engineering Material Structure, v. 28, p.1025-1034, 2005.
- [4] Kim, S. B.; Huh, H.; Bok, H. H.; Moon, M. B.; *Forming limit diagram of auto-body steel sheets high-speed sheet metal forming*. Journal of Materials Processing Technology, 211., p.851-862, 2011.
- [5] Paschke, H.; et al.; *Adapted surface properties of hot forging tools using plasma technology for an effective wear reduction*. Wear Journal. 330-331. 429-438. Elsevier, 2015.
- [6] Shirgaokar, M.; *Technology to improve competitiveness in warm and hot forging - Increasing die life and material utilization*. Doctor Thesis. Ohio State University, 2008.
- [7] ASM, Metals Handbook; *Cold and hot forging: Fundamentals and applications*. Process Modeling in Impression-Die Forging Using Finite-Element Analysis, p. 193-200. 2005
- [8] Cook, R. D.; Malkus, D. S.; Plesha, M. E.; *Concepts and applications of finite element analysis*. Third Edition, John Wiley & Sons, 1989.
- [9] Behrens, J. A.; Schäfer, F.; *Prediction of wear in hot forging tools by means of finite-element-analysis*. J Mater Process Tech 167, pp. 309-315, 2005.
- [10] Behrens, J. A.; *Finite element analysis of die wear in hot forging processes*. CIRP Ann-Manuf Techn 57/1, pp. 305-308, 2008.
- [11] Polozine, A.; *Desenvolvimento da técnica analítica para determinar a resistência térmica de contato no processo de forjamento*. Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais - PPG3M da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.
- [12] Haussmann, A. K.; *Master's Thesis. Charakterisierung des druckabhängigen Wärmeübergangskoeffizienten und dessen Auswirkungen auf das Gesenkschmieden unter Einsatz einer Blechschuttschicht*. RWTH Aachen: Institut für Bildsame Formgebung, 2015.



Juliana Zottis - Doutoranda pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com ênfase em processos de fabricação - Forjamento. Mestre em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - Processos de Fabricação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2013), com ênfase em Simulação Numérica Computacional de Processos de Trefilação de Barras. Mestrado realizado em parceria com o Institut für Umformtechnik und Leichtbau (IUL) - Technische Universität, Dortmund, Alemanha (2012/-2013). Bacharel em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Maria (2010). Possui experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase na área de máquinas agrícolas e inspeção de qualidade. Atua principalmente nas áreas de Simulação numérica computacional (FEA), Conformação mecânica, Caracterização de materiais metálicos e Análise de processos de forjamento a quente.
<http://lattes.cnpq.br/4986396164438452>
juliana.zottis@ufrgs.br

Luana De Lucca de Costa - Graduação em Engenharia Mecânica pela Faculdade SATC (2012) e mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2014). Atualmente é professora do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico no Instituto Federal de Educação do Rio Grande do Sul e doutoranda do programa de pós graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2014). Tem experiência na área de Fabricação Mecânica, Ciência dos Materiais e Metalurgia Física.
<http://lattes.cnpq.br/9328075528327119>
luana.lucca@ufrgs.br

Alexandre da Silva Rocha - Doutor em Ciência dos Materiais em 2000, pelo programa de pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Pesquisador no projeto "Distortion Engineering" da universidade de Bremen na Alemanha de 2001 a 2004. Atualmente é professor associado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, onde atua desde 2005. Pesquisador e orientador de mestrado e doutorado pelo PPG3M (Programa de pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) da UFRGS. Atua nas áreas de engenharia de materiais e metalurgia, com ênfase em Conformação Mecânica, Engenharia de Superfícies, Metalurgia do Pó, Tensões Residuais e Nitretação a Plasma.
<http://lattes.cnpq.br/8989325256190621>
alexandre.rocha@ufrgs.br

Lírio Schaeffer - Engenheiro Mecânico, Doutorado em Conformação Mecânica - Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule/Aachen/Alemanha (1982). Desde 1976 é Professor Titular na Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS - Departamento de Metalurgia e coordena o Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), atuando principalmente nas seguintes áreas: forjamento, estampagem, metalurgia do pó, materiais biomédicos. Tem experiências na área de Energias Alternativas. Atualmente é consultor ad hoc da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), consultor do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Consultor da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).
<http://lattes.cnpq.br/1093242836059112>
schaeffer@ufrgs.br