Comparativo de rendimento do aço ferramenta Toolox44 em relação ao aço SAE H13 para forjamento a quente

Comparative performance comparison of Toolox44 tool steel versus SAE H13 for hot forging

DOI: 10.46814/lajdv3n3-014

Recebimento dos originais: 01/05/2021

Aceitação para publicação: 31/06/2021

Cledineudo Souza Mendes

Espacialista

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, AM
Ave. Darcy Vargas 1200, Parque 10, Manaus AM, CEP 69050-020

Gilberto Garcia del Pino

Doutor

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, AM
Ave. Darcy Vargas 1200, Parque 10, Manaus AM, CEP 69050-020

Abderrezak Bezazi,

Doutor

Laboratoire de Mécanique Appliquée des Nouveaux Matériaux (LMANM), Université 8 Mai 1945
BP 401, Guelma 24000, Algér

Haithem Boumediri,

Doutor

Laboratoire de Mécanique Appliquée des Nouveaux Matériaux (LMANM), Université 8 Mai 1945
BP 401, Guelma 24000, Algér

José Costa De Macedo Neto

Doutor

Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade do Estado do Amazonas Manaus, AM
Ave. Darcy Vargas 1200, Parque 10, Manaus AM, CEP 69050-020

Aristides Rivera Torres

Doutor

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, AM
Ave. Darcy Vargas 1200, Parque 10, Manaus AM, CEP 69050-020

Antonio Claudio Kieling

Doutor

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, AM
Ave. Darcy Vargas 1200, Parque 10, Manaus AM, CEP 69050-020

Sofia Dehaini Garcia

Aluna de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, AM
Ave. Darcy Vargas 1200, Parque 10, Manaus AM, CEP 69050-020

RESUMO

No trabalho foi feito um estudo teórico e experimental da aplicabilidade de dois tipos de aços ferramentas para obter o melhor resultado no forjamento a quente da mesa inferior da motocicleta que é uma peça de aço resistente. Os dois materiais pesquisados foram o aço ferramenta SAE H13 e o aço SSAB Toolox 44. Como resultado do trabalho foi constatado que o aço Toolox 44 teve melhor rendimento na aplicação em matrizes de forjamento a quente tendo uma melhoria de processo dado por melhor vida útil da matriz de forjamento e maior qualidade da peça forjada.

Palavras chaves: forjamento, aço H13, aço Toolox 44

ABSTRACT

In the work is carried out a theoretical and experimental study of the applicability of two types of tool steels to obtain the best result in the hot forging of the motorcycle bottom table, which is a part of resistant steel. The two materials surveyed were SAE H13 tool steel and SSAB Toolox 44 steel. As a result of the work, it was found that Toolox 44 steel had better performance in hot forging dies, with a process improvement given by a better service life of forging matrix and higher quality of the forged part.

Keywords: forging, H13 steel, Toolox 44 steel

1 INTRODUÇÃO

O objetivo de melhorar os processos de manufatura visando maior eficiência é uma preocupação constante nas empresas especificamente, indústrias metalmecânicas que produzem componentes para a fabricação de carros, motos aviões, barcos etc. Devido à grande competitividade dos mercados, atualmente as empresas estão buscando reduzir seus custos por meio das melhorias da qualidade, flexibilidade, variedade de produtos e inovação. A definição da matéria prima mais adequada ao projeto/processo, além dos meios produtivos como máquinas e equipamentos são determinantes para se obter um resultado positivo, ou seja, o produto de forma eficiente [1-2]

Com a evolução tecnológica as empresas vêm buscando cada vez mais otimizar os seus processos produtivos tanto na parte de fabricação como na parte dos materiais. É muito importante a pesquisa e seleção do material adequado para o processo específico porque disso depende a economia do processo, a funcionabilidade da peça e a vida útil do equipamento produzido. Atualmente existe uma grande variedade de materiais todos com suas características e propriedades específicas marcando uma diferença entre eles com funções específicas como altas resistência mecânica, alta resistência ao desgaste, resistência a altas temperaturas e outros como os materiais compósitos que se caracterizam por seu baixo peso conseguindo então uma alta resistência específica [3].

Atualmente também existe um outro problema que deve ser considerado nos processos produtivos e utilização de materiais que é o cuidado do médio ambiente e a sustentabilidade para um ótimo aproveitamento dos recursos naturais [4]. Um exemplo disto é a utilização dos processos de

Sinterização onde se consegue uma altíssima economia de matéria prima e propriedades específicas como autolubrificante [5]. Outra gama diferente de materiais são os materiais biocompatíveis os quais podem ser utilizados como próteses no corpo humano com muita boa aceitação como o Polietileno de ultra alto peso molecular, a zircônia, titânio, etc. e procedimentos também específicos para o estudo e fabricação das próteses que substituem o osso humano [6]. Atualmente e visando o problema da sustentabilidade e cuidado do médio ambiente está aumentando a utilização de fibras vegetais como agentes de reforço em materiais compósitos poliméricos em substituição de fibras sintéticas como fibras de vidro ou fibras de carbono devido às boas propriedades mecânicas e baixa densidade entre outras propriedades [7 -8].

Para peças e elementos de máquinas de equipamentos específicos não podemos utilizar processos e materiais como os descritos anteriormente e sim materiais e processos que proporcionem resistência mecânica elevada e resistência a fadiga mecânica para garantir um funcionamento correto sem falhas e o ramo que merece destaque são as peças de veículos automotores que utilizam peças forjadas, proveniente do processo de forjamento a quente, como virabrequins, bielas, engrenagens de transmissão. O forjamento é o processo de elaboração de metal em que a forma útil da peça de trabalho é obtida no estado sólido por forças compressivas que são aplicadas através do uso de matrizes e ferramentas. Pode ser por realizado martelando ou pressionando o metal com prensas hidráulicas ou mecânicas. Este processo de forjamento é um dos processos de manufatura mais antigos [9]

As matrizes de extrusão e forjamento representam um importante segmento de aplicação dos aços ferramentais, que são manufaturadas em aços do tipo citado (*aço ferramenta SAE H13 e o aço SSAB Toolox 44*). As principais propriedades dos aços ferramentais utilizadas em matrizes são a dureza, a resistência ao desgaste, tenacidade e resistência ao revenido. As Matrizes para forjamento a quente estão sujeitas a esforços cíclicos mecânicos e térmicos, os quais influenciam diretamente no comportamento em fadiga do ferramental. A fadiga é uma falha ou um modo de falha importante nas ferramentas no forjamento de peças complexas com superfícies de forma. [10]

No processo de forjamento os custos com ferramentas contribuem significativamente para o custo geral principalmente no processo de forjamento a quente. Portanto, é importante ter a capacidade de estimar a possível vida útil da ferramenta durante o processo na fase de projeto da ferramenta. Assim, as medidas necessárias para aumentar a vida útil da ferramenta podem ser tomadas no início, antes que os componentes reais da ferramenta sejam fabricados e os testes de pré-produção sejam realizados [11].

Investigações realizadas no Institute for Metal Forming e na Universidade de Stuttgart, por Reiss [12] e Hettig [13] fornecem informações detalhadas dos materiais de ferramentas para forjamento e as falhas por fadiga. Hettig monitorou a iniciação e propagação de fissuras na extrusão direta em

matrizes usando dois materiais de matriz diferentes, dois raios de transição e duas matrizes diferentes ângulos de abertura. Assim, diferentes respostas de estresse-tensão foram induzidas na área crítica da ferramenta no raio de transição. [13]

Partindo do anterior, no presente trabalho foi feita uma análise da influência do material das matrizes de forjamento a quente no comportamento das ferramentas e das peças, realizando uma revisão da bibliografia e um estudo de caso específico para forjamento da mesa inferior do suporte do garfo do amortecedor dianteiro de motocicleta. Avaliando os dois materiais mais utilizados para ferramentas de forjamento a quente da peça da mesa inferior do amortecedor da motocicleta que foram o aço toolox 44 em relação ao aço SAE H13

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Forjamento é definido como um processo de conformação em que o material a ser forjado é submetido a conformação mecânica dentro da matriz de forjamento tomando forma conforme a geometria e as dimensões da matriz final. Dentro de forjamento temos forjamento a frio, forjamento a morno e forjamento a quente. Como processo, para que ocorra a conformação do metal dentro da matriz o material de forja, precisa ser aquecido a uma temperatura predefinida como temperatura de recristalização onde os grãos do material encruados pela deformação recristalizam, formando novos grãos nas bordas dos grãos deformados e isso permite uma diminuição da dureza proporcionando o amolecimento necessário para poder seguir deformando o material, por exemplo, para o aço Sae-H13, a temperatura de recristalização necessária é de 1100 a 1260°C para conseguir a recristalização do material necessária. [13-14]

O processo de aquecimento do metal a ser forjado pode ser feito por meio de um indutor de corrente. Após o aquecimento o material de forja se desloca até ser conformado dentro das matrizes, cuja deformação é feita em vários estágios. No processo, a perda de temperatura decorrente da troca de calor para a matriz de forjamento é mais importante do que a perda de temperatura por radiação. Importante considerar que a diferença de temperatura entre a peça e a matriz de forjamento determina a velocidade de resfriamento. Para aços pré-aquecidos se a ferramenta matriz estiver com a temperatura em torno de 300°C, é possível reduzir a velocidade de resfriamento. No caso dos metais não ferrosos é possível pré-aquecer as matrizes até a temperatura de forjamento. As peças mecânicas construídas com o processo de forjamento a quente têm muita relação com a indústria dos veículos automotores por prestar boa resistência mecânica e suportar condições ou trabalhos severos e principalmente para peças complexas e que precisem de grandes deformações, para as quais o forjamento a frio seria quase impossível devido ao incremento da dureza e resistência com a deformação [13-14].

Durante o processo de forjamento são eliminadas as possíveis porosidades que pudessem existir dentro do metal devido aos processos iniciais de fabricação, isso incrementa grandemente a resistência a fadiga mecânica das peças forjadas sendo que as porosidades internas atuam como pontos de inicialização de trincas as quais vão avançando até a falha da peça em movimento. Durante o forjamento também acontece o fibramento mecânico, no qual as os possíveis defeitos desses processos iniciais de fabricação como a Fundição se deslocam e distribuem nas bordas de grão, o que melhora as propriedades mecânicas do material. Na atualidade muitas empresas se tornaram especializadas no ramo de forjamento a quente prestando serviços de alto padrão de qualidade [13-14].

Para o projeto e desenvolvimento das matrizes de forjamento são necessários informações que são importantes de base inicial para à melhor otimização do processo. Fatores como formato, dimensão do produto final, quantidade de peças necessárias a produzir, históricos de problemas ocorridos em desenvolvimento anteriores, os custos do projeto, e em alguns casos pode-se inviabilizar esta alternativa de fabricação. [15-16]

O processo de forjamento mais utilizado é forjamento com matrizes fechadas com rebarbas porque o forjamento com matrizes fechadas sem rebarbas o material de forja escoa dentro das matrizes de forma restrita, uma vez que o material a ser forjado, precisa atingir a forma do molde, isso pode gerar tensões na ferramenta e em determinadas situações, causando quebra e inutilizando-a. Mesmo em matrizes fechadas com rebarbas devemos controlar bem as variáveis do processo ou conjunto de fatores que poderiam gerar as quebras das matrizes, por exemplo, a força de prensagem do equipamento, propriedade química do material, temperatura do processo e muitos outros [15-16]

No trabalho mecânico de forjamento a quente, a deformação plástica é realizada numa faixa de temperatura, e durante um determinado tempo, em que o encruamento é eliminado pela recristalização do metal. A literatura cita que um metal na sua condição encruada possui energia interna elevada em relação ao metal não deformado plasticamente. No caso em que o processo é feito aumentando a temperatura, há uma tendência de o metal retornar à condição mais estável de menor energia interna. O tratamento térmico para obter esse efeito é denominado recozimento e, além da recuperação da estrutura cristalina do metal, este tratamento provoca a diminuição da resistência mecânica e a elevação da ductilidade. [14-15]

Para (Yin, 2015) [17] a investigação com estudo de caso é complexa por envolver fenômenos não controlados nas análises estudadas e terão mais variáveis de interesse do que resultados concretos. O estudo de caso nasce do interesse em estudar fenômenos sem resposta o que vem trazer grande contribuição para a sociedade como um todo. Os modos de falha no processo de forjamento a quente dependem de fatores associados com as ferramentas, com seus formatos, tipos de aço utilizado para confecção, tratamento térmico, dureza, tratamento superficial, etc. [10], entre essas falhas as mais

comuns podem ser fadiga térmica, trincas, e desgaste abrasivo e elas podem ser controladas por várias ações como por cobertura ou revestimento da superfície utilizada para melhorar a vida útil das ferramentas, temperatura de pré-aquecimento das matrizes, determinação da lubrificação correta das matrizes e melhoria das propriedades dos aços ferramentas para forjamento a quente que é o caso de estudo deste trabalho. [18-19]

O objetivo do trabalho foi fazer um estudo comparativo entre os aços ferramentas para serem usados no forjamento a quente da peça denominada Mesa Inferior que é um componente muito importante das motocicletas por assegurar os amortecedores dianteiros da moto ao quadro e suportar muitas cargas de impactos com uma elevada quantidade de número de ciclos. Na figura 1 pode-se observar uma ilustração com o posicionamento da mesa inferior na motocicleta objeto deste trabalho. Na figura 2a pode-se observar a coluna de direção da moto com a mesa inferior acoplada e na figura 2b um desenho em três dimensões da peça. As dimensões da peça forjada podem ser observadas na figura 3 e as dimensões da peça acabada após da usinagem podem ser observadas na figura 4 e 5.

Devido a importância dessa peça e a necessidade de ter propriedades mecânicas elevadas como resistência mecânica, resistência ao impacto, resistência a fadiga mecânica a peça deve ser forjada em matriz fechada com rebarbas e como é uma peça complexa que se necessitam grandes deformações para chegar na peça final forjada deve ser um forjado a quente em vários estágios de forjamento. A mesa inferior que é objeto do forjamento neste trabalho é obtida a partir de uma matéria prima de aço SAE 1035, cujas dimensões podem ser observadas na figura 6 e 7.

Figura 1: Ilustração do posicionamento da mesa inferior na motocicleta.

Adaptado de [2]

Figura 2: a)- Coluna de direção da moto com a mesa inferior acoplada, 2b) desenho em três dimensões da peça

Figura 3: Dimensões da mesa após a forja e sem usinagem

Figura 4: Dimensões da mesa após a usinagem

Figura 5: Desenho 3D da mesa após a usinagem

Figura 6: Dimensões da matéria prima para o forjamento a quente da mesa inferior

Figura 7: Foto da matéria prima para o forjamento a quente da mesa inferior

Na figura 8 pode ser observada uma fotografia da peça após saída da forja com as rebarbas e na figura 9 é mostrada uma fotografia da peça após o processo de eliminação das rebarbas antes da usinagem.

Figura 8: Peça forjada com rebarbas

Durante o forjamento a quente da peça a ferramenta entra em contato com a peça quente muitas vezes e foi notado que durante o trabalho de forjamento a matriz superior feita de aço H13 apareciam trincas de diferentes tipos como trincas internas na figura 8, trincas no canal da rebarba que é a superfície por onde flui o material na direção da rebarba e trincas superficiais. De esta forma observou-se que o aço ferramenta H13 mesmo sendo o mais utilizado para esses tipos de processo não apresentou bom resultado de durabilidade durante o trabalho, isso é visualizado com surgimento de trinca e deformação e até mesmo quebra total da ferramenta (figura 10).

Figura 9: Peça forjada sem rebarbas: a) vista superior, b) vista inferior

a)

b)

Figura 10: Matriz feita com o aço H13 mostrando trincas

3 PARTE EXPERIMENTAL

Para tentar eliminar o surgimento das trincas e elevar a vida útil da ferramenta primeiramente foram realizadas pesquisas melhorando alguns parâmetros como a velocidade de forjamento, a lubrificação e usando ferramentas com diferente tipo de tratamento térmico, mas, sem resolver o problema. A quantidade de ciclos de aquecimento e resfriamento que a ferramenta sofre em sua operação faz com que diminua a dureza e resistência mecânica do aço H13 e sua estrutura inicia a formação de microfissuras com início na superfície e adentrando o material até uma formação catastrófica da trinca como mostrado na figura 10. Devido a isso foi feito um estudo com o objetivo de utilizar um melhor aço para a fabricação das matrizes. Para isso primeiramente foram estudadas as características do aço H13 para buscar na literatura um aço similar, mas que suportasse maior quantidade de ciclos de trabalho.

O aço H13 é usado para forjamento a quente por apresentar boa tenacidade e ductilidade e resistência ao desgaste. Dos aços utilizados para forjamento a quente o aço H13 é o mais comum devido ao equilíbrio entre desempenho e custo de fabricação das ferramentas, esse aço é caracterizado por apresentar elevada dureza e resistência à abrasão, com manutenção das propriedades de resistência mecânica em temperaturas elevadas. Essas características normalmente se mantêm, com adição de altos teores de carbono e elementos de liga como W, Mo, V, Mn e Cr. A sua composição é mostrada na tabela 1 [20- 21].

Tabela 1: Composição química do aço SAE H13 [20]

C%	S%	Mn%	Cr%	Mo%	V%
0,4	1,0	0,35	5,2	1,5	0,2

O aquecimento para tempera deve ser entre 1010 e 1030 °C. Recomenda-se pré-aquecer as ferramentas. Óleo apropriado com agitação e aquecido entre 40 e 70 °C e banho de sal mantido entre 500 e 550 °C. Pode ser temperado em forno a vácuo. As ferramentas devem ser revenidas imediatamente após a têmpera, tão logo atinjam 60 °C. Fazer, no mínimo, 2 revenimentos e entre cada revenimento as peças devem resfriar lentamente até a temperatura ambiente. Temperaturas de revenimento entre 550 e 650 °C, conforme a dureza desejada (curva abaixo). O tempo de cada revenimento deve ser, de no mínimo, 2 horas. Para peças maiores que 70 mm, deve-se calcular o tempo em função de sua dimensão. Considerar 1 hora para cada polegada de espessura. A dureza pode atingir de 32 a 55 HRC. [20- 21]

O aço que foi encontrado similar ao aço H13 foi o aço Toolox 44. Na indústria é frequente utilizar no campo do forjamento um aço pré-endurecido para matrizes de extrusão e componentes de engenharia conhecido comercialmente como aço pré-endurecido Toolox 44 é ideal para matrizes de extrusão e componentes de engenharia que requerem alta resistência e possui boas propriedades de fabricação. Este tipo de material é um aço para ferramentas pré-endurecido que apesar de sua alta dureza, combina ótima usinabilidade com estabilidade dimensional durante a usinagem. A composição química deste aço pode ser observada na tabela 2. [22]

Tabela 2: Composição química do aço TOOLOX44 [21]

C%	S%	Mn%	Cr%	Mo%	V%	N%
0.32	0.6-1.1	0.8	1.35	0.80	0,14	1

A dureza nominal deste aço Toolox 44 é de 450 HBW/45 HRC, torna a sua escolha ideal para aplicações exigentes em moldes e matrizes. A alta pureza do aço confere excelentes capacidades de polimento, brilho e texturização. Em aplicações que exigem uma dureza adicional de superfície para combater o desgaste, é possível realizar a nitretação e revesti-lo com PVD, a fim de customizar as propriedades do molde ou da matriz. É possível realizar tratamentos de superfície, contanto que a temperatura de deposição não ultrapasse os 590°C (1094°F). Na figura 11 pode ser observado que o aço toolox 44 tem a mesma dureza que o aço H13, mas, para essa mesma dureza o aço Toolox 44 tem uma resistência ao impacto muito maior. [22]

Figura 11: Comportamento de dureza e resistência ao impacto do aço ferramenta TOOLOX 44 e outros aços [22]

O aço toolox 44 é produzido no processo com sua propriedade de aços refundido por eletroescória (ESR), após esse processo o aço passa para etapa de laminação cruzada em que o material gira 90° em cada processo de laminação. Possui estrutura fina e homogênea, com alta pureza isso comparado com outros aços refundidos em ESR, a combinação dimensional durante a usinagem faz com que o material tenha uma boa estrutura cristalina. O material é comercializado sem a necessidade de tratamento térmico posterior isso elimina custo adicionais no processo de fabricação das ferramentas. No processo de refusão por eletro-escoria (ESR) é usada para refinar o tamanho do grão do aço e melhora a microestrutura deixando mais uniforme e apresenta uma melhoria em sua estrutura que lhe concede melhor resistência a trabalho a quente e impacto. [22]

Para o aço ferramenta Toolox 44 SSAB a sua fabricação na siderurgia não é necessário processo de tratamento térmico posterior pois já vem pronto para fazer usinagem e logo após revestimentos superficiais com cobertura PVD ou nitretação. A sua dureza fica entre 44-46 HRC antes do revestimento superficial e chegando a 60 HRC na superfície do material após cobertura em comparação com aços para forjamento a quente essa dureza é suficiente para obter bom rendimento da ferramenta. [22]

Foram feitas matrizes do aço H13 e do aço Toolox 44 e foram submetidas a 100 ciclos de forjamento a quente e posteriormente foram examinadas visualmente e com microscópio ótico, diferentes variáveis em relação com a estabilidade da matriz de forja e das peças forjadas. Para o estudo e comparativo entre os materiais do estudo, de forma geral as variáveis foram controladas em 100 peças, resultado de processos com matriz em ambos os materiais. As principais variáveis são as seguintes: Descarbonetação, queima, incrustação de óxidos, gotas frias, trincas superficiais, trincas internas nas peças e na matriz, trincas nas rebarbas, desgaste e quebra de partes

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a realização da pesquisa foi constatado de forma mais repetitiva fluxos anormais do material dentro das matrizes de aço H13 principalmente com incrustações das rebarbas sobre as peças como consequência de dobras acidentais do tipo de gotas frias. Outro resultado a destacar é que ficaram retidas nas peças com matriz de aço H13 com maior frequência camadas de óxido em comparação com as peças com defeitos trabalhadas com a matriz do aço Toolox 44, sendo que o desprendimento dessas camadas se realizou com maior facilidade em peças conformadas com o aço Toolox 44. O comportamento das trincas superficiais foi mais marcado no aço H13 que no aço Toolox 44 como pode ser observado na figura 12.

Figura 12: Trincas superficiais a) Trincas superficiais na matriz feita com o aço (Toolox 44), b) trincas superficiais na Matriz feita com o aço H13.

As trincas no canal da rebarba que é a superfície por onde flui o material na direção da rebarba foi muito similar em ambas as matrizes sem ter comportamento significativo nas peças produzidas com matrizes de aço H13 ou matrizes de aço Toolox 44. No aço toolox 44 essas trincas se manifestaram um pouco mais concentradas no extremo e no aço H13 mais espalhadas na superfície como pode ser observado na figura 13.

Figura 13: a) Trincas na garganta da rebarba na matriz feita com o aço (Toolox 44), b) trincas na garganta da rebarba na matriz feita com o aço (H13)

O comportamento das trincas internas foi mais marcado no aço H13 que no aço Toolox 44 como pode ser observado na Figura 14, manifestando-se mais nas peças. A análise metalográfica deu como resultado sinais de material encruado em maior magnitude nas peças forjadas em matriz de aço H13. Como media o acabamento superficial foi bem melhor nas peças obtidas com a matriz de aço Toolox 44 (R_z 6,3) e nas peças forjadas na matriz feita de aço H13 foi de $R_z = 12,7$. O desgaste foi maior nas matrizes de aço H13, com maior índice de pequenas quebras nas zonas de mudanças de secção e raios menores.

Figura 14: a) Trincas internas na matriz feita com o aço (Toolox 44), b) trincas internas na matriz feita com o aço (H13)

5 CONCLUSÕES

A comparação entre as duas ferramentas permite afirmar que o estado superficial da ferramenta de aço Toolx 44 é melhor que a ferramenta de aço H13. Na medida que cada matriz realizou maior número de operações de forjamento, menor a rugosidade superficial das peças fabricadas na matriz de aço Toolx 44 em comparação com as peças fabricadas na matriz de aço H13. No processo de controle de fabricação das matrizes em cada material, na precisão das dimensões se consegue o menor custo e em menor tempo quando se trabalha com o aço Toolox 44. Quando se avaliam os resultados devemos considerar que a combinação das propriedades do aço H13, se justifica principalmente para ser utilizado em altas temperaturas, adequado para a utilização em outras aplicações, tais como: fabricação de moldes para a injeção de plásticos, matrizes para a extrusão de alumínio e de suas ligas, mas, não para este tipo de forjamento a quente de muitos ciclos de força e variações de temperatura. O comportamento e custo ferramental justifica dar prioridade na seleção do material de aço Toolox 44 nas condições de trabalho para a fabricação deste tipo de peça, facilitando-se também a fabricação de matriz.

REFERENCIAS

- [01]- Xu, Y, Elgh, E., Erkoyuncu, J. A., Bankole, O., GOH, Y., CHEUNG, W. M., Baguley, P., Wang, Q., Arundachawat, P., Shehab, E., Newnes, L., Roy, R. Cost Engineering for manufacturing: Current and future research. In: International Journal of Computer Integrated Manufacturing. Londres: v.25, n.4-5, 2012. 300-314p
- [02]- Silva A. R. V., Macêdo N.J. C., Miranda A. G., Verçosa L. A., Garcia del Pino G., Rodrigues R. A., Nascimento D. A., Influência do tratamento térmico de normalização na microestrutura e propriedades mecânicas do aço SAE 1035 utilizado em motocicletas, ATENAS, Doi: 10.22533/at.ed.6222105043, 2021.
- [03]- Callister, W. D. Materials science and engineering: An introduction, 7, ed, New York: John Wiley & Sons, 2007.
- [04]- Moreira I. S.; Ruwer L. M. E.; Mundo do trabalho, serviço social e desenvolvimento sustentável; Latin American Journal of Development, v. 2, n. 5; p. 206-227; 2020.
- [05]- Machado Á. S. R., Shimomoto E. K., Silverio R., Garcia del Pino G., Chagoyén C. A. M., Rodríguez J. L. M., Sinterización un proceso de conformación de metales como alternativa económica de un bajo impacto ambiental, Revista Centro Azúcar, v44, 83 – 93, 2017.
- [06]- Queiroz R. D., Lima R. G., Garcia del Pino G., Mestriner L. A., Takata E. T; Análise do desgaste do polietileno do componente acetabular da prótese total do quadril, utilizando o método de elementos finitos de simulação computadorizada; Revista Brasileira de Ortopedia v 36, (5), 149 – 154; 2001.
- [07]- Garcia del Pino G., Diaz F. R. V, Rivera, J. L. V. Kieling A. C., Torres A. R., Evaluation of composite materials with fiber of curauá pineapple (Ananas Erectifolius). Review of Research, v.4, p.1-7, (2015)
- [08]- Garcia del Pino G., Bezazi A., Boumediri H., Kieling A. C., Silva C. C., Dehaini J., Rivera J. L. V., Valenzuela M. G. S., Diaz F. R. V., Panzera T, H., Hybrid epoxy composites made from treated curauá fibres and organophilic clay. Journal of Composite Materials, 1(0) 1-13, (2020), DOI: 10.1177/0021998320945785.
- [09]- Mahendra G. R., Nilesh A. J. An Overview of Forging Processes with Their Defects. International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 2 Issue 6, June 2014.
- [10]- Bacalhau, José Britti; Rodrigues, Fernanda Moreno; Mesquita, Rafael Agnelli. Caracterização de novo aço ferramenta para matrizes de extrusão de alumínio*. <http://dx.doi.org/10.4322/tmm.2014.017> Tecnol. Metal. Mater. Min., vol.11, n2, p.112-116, 2014
- [11]- Markus K; Kurt L; Taylan A. Fatigue failure of cold forging tooling: causes and possible solutions through fatigue analysis, Journal of Materials Processing Technology, Elsevier. Volume 46, Issues 1–2, October 1994, Pages 57-71
- [12]- Hippert Jr., E., Investigação experimental do comportamento dúctil de aços API X70 e aplicações de curvas de resistência J-a para previsão de colapso em dutos, Tese de D. Sc., Escola Politécnica - USP, São Paulo, SP, Brasil, 2004.

- [13]- Schaeffer L. Forjamento. Porto Alegre: Editora Imprensa Livre; 2001.
- [14]- Catálogo de produtos do grupo vallourec & Manesmann tubes, Componentes tubulares forjados. Disponível em <http://www.vmtubes.com.br/vmbinternet/filesmng.nsf/.pdf>, acessado em novembro de 2013.
- [15]- Cetlin, Paulo Roberto; Helman, Horácio. Fundamentos da Conformação Mecânica dos Metais. 1ª Edição. Artliber Editora Ltda. SP. 2011.
- [16]- Fábio J. C, Lúcio Schaeffer, Aplicação da teoria elementar da plasticidade (TEP). . Tecnol. Metal. Mater. Miner, p.222-227; 2015
- [17]- Yin K. R.; Estudo de caso planejamento e métodos: 5º ed.São paulo: BOOKMAN LTDA, 2015
- [18]- Rogério D.N,Estudo da Recuperação por Soldagem e por Revestimento superficiais na vida de Matriz de Forjamento a Quente.2017.140f. Dissertação de Mestrado- universiade federal do rio grande do sul. Rio grande do sul, 2017
- [19]- Kalpakjian,S.;Schmid,S.R.; Manufacturing Engineering and Technology, 2001; 4o edição; Prentice Hall.
- [20]- Gomes, M.R., Filho, E. B. Propriedades e Usos de Metais Ferrosos. Editora da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais (ABM). São Paulo, 2000.
- [21]- Chiaverini, Vicente. Aços e Ferros Fundidos. Editora da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais (ABM). São Paulo.2009
- [22]- <https://www.ssab.com.br/products/brands/toolox/products/toolox-44>, consultado 3/abril/2021