

RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE AÇOS FERRAMENTA PARA ESTAMPAGEM A QUENTE

Rogério Breganon

Instituição e endereço IFPR – Instituto Federal do Paraná – Campo Largo/PR
e-mail rogerio.breganon@ifpr.edu.br

Francisco Arieta

Instituição e endereço Tribosystems - Rua Teixeira da Silva, 487 – AP 23, São Paulo, CEP 04002-032
e-mail f.arieta@tribosystems.com.br

Giuseppe Pintaúde

Instituição e endereço UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Curitiba/PR
e-mail pintaude@utfpr.edu.br

Resumo: O presente trabalho apresenta o comportamento mecânico dos aços ferramentas para trabalho a quente 1.2344 (X40CrMoV5-1) similar ao AISI H13, 1.2367 (X38CrMoV5-3) e WP7V, após os tratamentos térmicos de têmpera em banho de sais, com temperatura de austenitização em 1050°C e triplo revenimentos de 2 horas cada. As temperaturas de revenimentos foram selecionadas em função das faixas de durezas de 54 HRC e 57 HRC. São apresentados os valores de energia absorvida obtidos através de ensaio de impacto sem entalhe, seguindo norma SEP 1314, além dos valores de dureza e o modo de fratura analisado por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os resultados mostraram que nos ensaios de impacto sem entalhe, a variação dos valores de energia absorvida foi entre 30,5 e 157 J, dependendo do material e da faixa de dureza. O aço com maior resistência ao impacto sem entalhe foi o 1.2367 e o de menor resistência o aço WP7V. Estas diferenças são discutidas em função das microestruturas resultantes dos tratamentos térmicos.

Palavras-chave: Aços ferramenta para trabalho a quente; Ensaio de impacto; Tenacidade.

1. INTRODUÇÃO

A vida útil das ferramentas utilizadas para estampagem a quente e corte não é apenas uma questão de resistência ao desgaste e resistência à fadiga térmica. Existem outros requisitos a cumprir e que mudam de ferramenta para ferramenta, pois além de oferecer alta dureza e boa resistência ao desgaste, eles também devem ter uma tenacidade suficiente para evitar trincas devido a sobrecargas térmicas e mecânicas (Escher e Wilzer, 2015).

As propriedades dos aços ferramenta podem ser trabalhadas controlando seu tratamento térmico de têmpera, com temperaturas de austenitização da ordem de 1000°C a 1060°C, e revenimento subsequente produzindo grandes alterações na microestrutura e possibilitando uma ampla gama de propriedades alcançadas. O tratamento térmico não é usado apenas para aumentar a dureza, mas também para aumentar a resistência e a tenacidade (Jagota e Sharma, 2020).

Estudos mostram que a durabilidade das matrizes de aço ferramenta para trabalho a quente é fortemente afetada pelos tratamentos térmicos, que definem a microestrutura do material. Esta por sua vez influi diretamente nas propriedades mecânicas dos aços, tais como dureza e tenacidade (Gabardo e Okimoto, 2011). O aço H13 exibe excelentes propriedades mecânicas após tratamento térmico de têmpera com temperatura de austenitização de 1050°C e duplo revenimento a 600°C. Considerando ainda a obtenção de excelente combinação de resistência e tenacidade com a temperatura de revenimento entre 550-650°C. Temperatura de revenimento de 500°C deve ser evitada para o aço H13 (Guanghua *et al.* 2010). A alta resistência dos aços ferramenta tratados termicamente é atribuída à dureza da fase da matriz, principalmente martensita, e à quantidade e tipo de carbonetos, como o cromo, molibdênio, vanádio e tungstênio que permanecem não dissolvidos na matriz (Metals Handbook, 1998).

Há cerca de uma década, seguindo a tendência de crescente importância da estampagem a quente, os aços ferramenta ganharam significativo interesse científico, consequentemente diferentes aços ferramentas para trabalho a quente foram desenvolvidos visando uma combinação otimizada de propriedades voltada para o equilíbrio das propriedades físicas e mecânicas. Esses aços são caracterizados por apresentarem elevadas dureza e resistência, normalmente aliadas à boa tenacidade e manutenção das propriedades de resistência mecânica, em temperaturas elevadas (Schwingenschlogl *et al.* 2019).

Dentre os aços ferramenta para trabalho a quente comumente utilizados em ferramentais para estampagem a quente, 02 aços se destacam: o tradicional aço similar a antiga norma DIN 1.2344 (*) (e equivalente ao aço da norma AISI H13) e o aço DIN 1.2367 (**) que tem teores inferiores de carbono e vanádio em relação ao 1.2344

porém superior teor Mo conferindo uma superior resistência mecânica e desgaste a quente e superior condutividade térmica que é fundamental para um resfriamento mais rápido do ferramental. Para outras aplicações mais críticas exigindo-se, por exemplo, superior resistência ao desgaste a quente, adequada tenacidade ao impacto e/ou superior condutividade térmica, outros aços ferramenta tem sido desenvolvidos no mercado.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a resistência ao impacto de 03 aços ferramenta distintos: o tradicional DIN 1.2344 que será designado por 1.2344, o aço DIN 1.2367 que será designado por 1.2367 e o aço especial, ou seja, o WP7V (Escher e Wilzer, 2015). Os aços 1.2344 e 1.2367 foram tratados termicamente para valores de dureza de 54 HRC e o aço WP7V para as faixas de dureza de 54 HRC e 57 HRC. Os testes de impacto foram realizados à temperatura ambiente utilizando-se corpos de prova sem entalhe.

(*) atual designação conforme norma Européia EN ISO 4957: 2018 Tool Steels: Grau X40CrMoV5-1, N° 1.2344

(**) atual designação conforme norma Européia EN ISO 4957: 2018 Tool Steels: Grau X38CrMoV5-3, N° 1.2367

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Aços Ferramenta

A composição química dos aços investigados e denominados de 1.2344, 1.2367 e WP7V na Tab. 1. As análises foram realizadas através do ensaio de espectrometria de emissão óptica realizado conforme IT21 – Ensaio de Espectrometria BRUKER – Rev 03 – Padrão: NIST 1763 com condições ambientais durante o ensaio de 21°C de temperatura e 64% de umidade e norma de referência ASTM E415-2017.

Tabela 1. Composição química dos aços ferramentas.

Material	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W	S	P
1.2344	0,380	0,933	0,354	4,888	0,999	0,898	0,057	0,003	0,012
1.2367	0,350	0,430	0,383	4,829	2,943	0,510	0,140	0,001	0,018
WP7V	0,466	0,869	0,373	7,361	1,110	1,215	0,119	0,001	0,020

As amostras dos aços ferramenta foram processadas termicamente, por meio dos tratamentos térmicos de têmpera e revenimentos em banho de sais na empresa Angra Tecnologia em Materiais, utilizando temperatura de 1050°C para austenitização durante 20 minutos. Após a têmpera foram realizados 3 revenimentos por 2 horas. As temperaturas dos revenimentos foram selecionadas em função das seguintes faixas durezas para este estudo: 54 HRC e 57 HRC.

2.2. Ensaios de Impacto e Dureza

As amostras dos aços ferramenta foram preparadas com dimensões de $10\pm 0,1 \times 55\pm 1 \times 7\pm 0,1$ mm, sem entalhe, especificados pela norma SEP 1314, conforme Fig. 1. A superfície de contato com o martelo de impacto foi retificada com $Ra \leq 0,2\mu m$. Todas as amostras foram preparadas seguindo a mesma orientação para o corte. O ensaio de impacto sem entalhe foi realizado na máquina de ensaio Time 800J.

Após o ensaio de impacto, foram verificadas as medidas de dureza das amostras na escala Rockwell (HRC), sendo realizada 3 medições, numa região onde não ocorreu deformação.

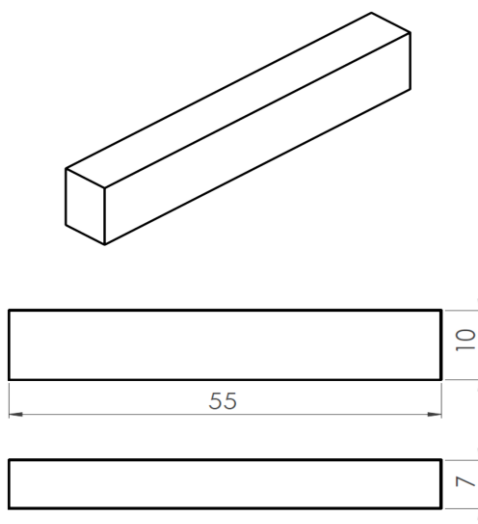


Figura 1. Corpo de Prova para ensaio de impacto SEP 1314.

2.3. Difração por Raios-X

As fases presentes no material foram identificadas através de difração por Raios-X (DRX). O equipamento utilizado foi o Shimadzu, modelo XRD-7000, com radiação de Cobre ($\lambda=1,5418 \text{ \AA}$) utilizando corrente de 30 mA, tensão de 30 kV, com velocidade de varredura de $2^\circ/\text{min}$, de 20 a 120° pelo método $\theta - 2\theta$.

2.4. Análise Metalográfica e Análise da Superfície de Fratura

A análise metalográfica foi realizada nos corpos de prova, os quais foram lixados e polidos com suspensão de alumina $0,5 \text{ \mu m}$ para análise metalográfica. No ataque químico utilizou-se uma solução de Nital 4% por aproximadamente 2 minutos. A superfície de fratura, dos corpos de prova utilizados nos ensaios de impacto, foi analisada visando verificar o modo predominante de fratura. As microestruturas e a superfície de fratura foram reveladas e analisadas em microscopia eletrônica de varredura utilizando o Microscópio Zeiss, modelo EVO MA 15.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Resultados dos Ensaios de Impacto e Dureza

A Tabela 2 e a Figura 2 apresentam os resultados do ensaio de impacto segundo a norma SEP 1314, e os resultados de dureza. Observa-se que os valores de energia absorvida para o ensaio sem entalhe apresentaram uma variação de 30,5 até 157 J dependendo do material. Os ensaios de Charpy-V também foram realizados, porém com já esperados, os valores foram muito baixos para os aços ferramenta em estudo, recomendando com isso somente o uso de ensaio com corpos de prova sem entalhe, como o SEP 1314, ou ainda o uso de ensaios com Charpy instrumentado como opção de ensaio para aços ferramenta para trabalho a quente, particularmente para faixas de dureza mais elevadas, maiores que 48-50 HRC. Os valores de dureza foram de 54 HRC para todos os materiais e de 57 HRC apenas para o material WP7V.

Tabela 2. Valores de energia absorvida e dureza.

Material	Sem entalhe – SEP1314	
	Dureza (HRC)	Energia absorvida (J)
1.2344	$54,2 \pm 1,2$	114 ± 18
1.2367	$54,9 \pm 0,9$	157 ± 54
WP7V	$54,3 \pm 0,8$	45 ± 23
	$57,3 \pm 0,2$	$30,5 \pm 4,5$

Na Figura 2 estão representados os gráficos relacionando a dureza do material após o tratamento térmico e a energia de impacto medida para cada condição de estudo. Verifica-se que para o ensaio de impacto sem entalhe, os valores de energia absorvida variaram significativamente de 45 a 157 J entre os materiais na condição de 54 HRC. Para a condição de 57 HRC, o aço WP7V apresentou o menor valor de energia absorvida de 30,5 J.

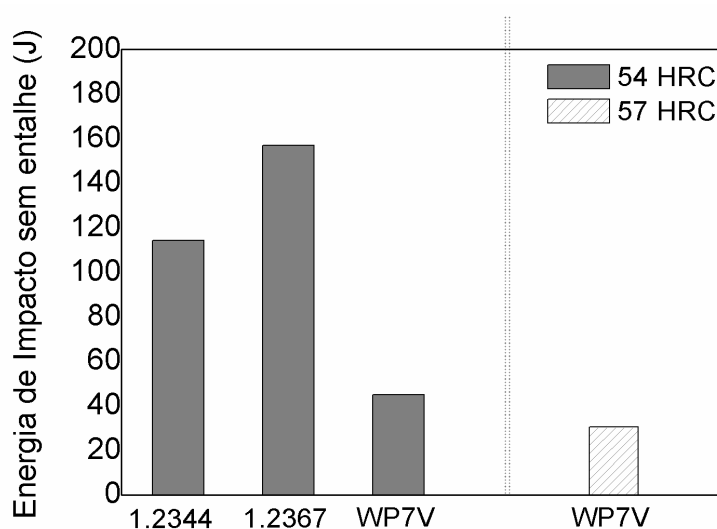


Figura 2. Resultados de impacto sem entalhe SEP 1314.

Para o ensaio de impacto sem entalhe no aço H13, considerando as condições de estudo com triplo revenimentos, Gabardo e Okimoto (2011) encontraram valores de energia de impacto da ordem de 244 J para dureza de 54 HRC, 281 J para dureza de 55 HRC e 196 J para dureza de 57 HRC. Embora esses valores de impacto sejam mais elevados do que os obtidos nesta investigação à durezas similares, isso pode ser explicado pelo fato de que esses autores utilizaram, o aço similar à norma DIN 1.2344 (equivalente ao AISI H 13) porém são refundidos via ESR e que gera carbonetos primários muito mais finos e homogêneo na microestrutura junto com níveis baixíssimos de enxofre de forma a aumentar significativamente a tenacidade se comparados com aço 1.2344 utilizado nesta investigação e que não é refundido. Além disso, outros fatores adicionais, porém relevantes, como diferenças no processamento termomecânico entre usinas diferentes assim como em relação a direção dos corpos de provas e a direção de fibramento (longitudinal ou transversal) da barra original, também podem ter interferido nas diferenças dos resultados de impacto observadas.

Um outro fator relevante quando se comprara resultados é o efeito da temperatura de austenitização no crescimento do grão austenítico e seu efeito deletério na tenacidade. Por exemplo, Jagota e Sharma, (2020) observaram em seus estudos com aços H13 através da variação da temperatura de austenitização entre 1000°C a 1060°C que a tenacidade ao impacto diminui com o aumento da temperatura de austenitização, atribuindo ao crescimento dos grãos austeníticos. Esse fato pode ser relacionado com os resultados de impacto obtidos neste trabalho, uma vez que todos os corpos de prova foram austenitizados a temperatura de 1050°C.

Com relação ao aço 1.2367 tratado termicamente com a dureza de 54 HRC, este apresentou uma resistência ao impacto aproximadamente 3 vezes maior que o aço WP7V, mas estatisticamente semelhante ao 1.2344. Em termos de composição química e comparando-se com o aço 1.2344, o aço 1.2367 tem teores inferiores em carbono (C= 0,35% versus 0,38%), silício (Si=0,43% versus 0,93%), vanádio (V=0,50% versus 0,90%) e um teor superior em molibdênio (Mo=3,0% versus 1,0%). Apesar do teor significativamente superior em Mo, grande parte deste elemento é solubilizado durante a austenitização à 1050°C e precipitará no revenimento na forma de carbonetos secundários complexos e nanométricos que aumentarão a resistência mecânica a quente e sem o efeito deletério dos carbonetos primários e micrométricos de vanádio. Estes últimos, necessitando de temperaturas bem mais elevadas para serem solubilizados, em grande permanecerão na microestrutura após o tratamento térmico e sendo muito mais grosseiros, duros e frágeis, serão pontos potenciais de iniciais de trincas e fragilização do aço quanto maior for o seu teor (D. Schwam and X. Zhu, 2012). Por outro lado, o teor inferior em Si (0,40% versus 1,00%) no aço 1.2367 é vantajoso pois favorece formação de carbonetos muito mais finos e mais homogêneamente distribuídos durante o revenimento do que com teores mais elevados de Si (Mesquita e Kestenbach, 2016). Os valores elevados de tenacidade do aço 1.2367 obtidos nesta investigação, junto com seu teor superior em Mo e que propicia uma combinação favorável de elevada resistência mecânica a quente aliada com uma superior condutividade térmica explica o seu uso como uma ótima alternativa em relação ao aço 1.2344 para ferramentais de estampagem a quente assim como para forjamento a quente.

O teor substancialmente mais elevado em carbono (C=0,47%) e cromo (Cr=7,35%) e teores similares em Mo, V e Si em relação ao 1.2344, explicam os valores inferiores descritos para o aço WP7V que, por outro lado, devido ao maior volume de carbonetos é esperado que apresente uma superior resistência ao desgaste em ferramentais de estampagem a quente.

3.2. Resultados de Difração por Raios-X e Análise Metalográfica

A Figura 3 mostra os difratogramas dos 03 materiais em estudo, nas condições: sem tratamento, 54 e 57 HRC. Observa-se a manutenção das características principais dos picos de difração em todas as condições. Também não houve identificação de novos picos quando comparados, o que indica a não formação de outras fases nos materiais.

Os picos de difração mostram a presença da fase Fe- α , martensita revenida (Ficha JCPDS 03-065-4899).

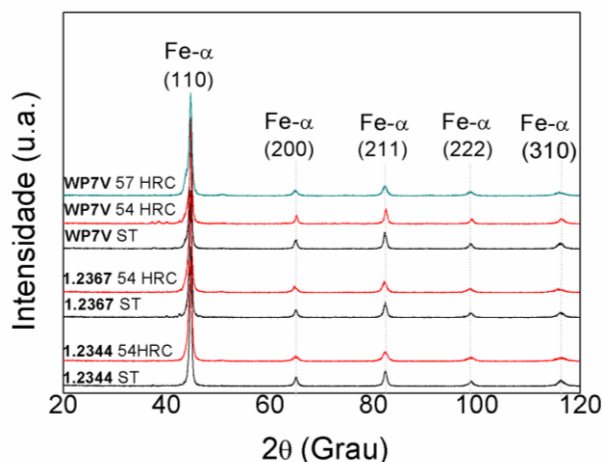


Figura 3. Difratogramas dos aços ferramenta nas condições de estudo.

As Figuras 4 e 5 mostram as metalografias dos aços ferramenta de acordo com as condições do estudo.

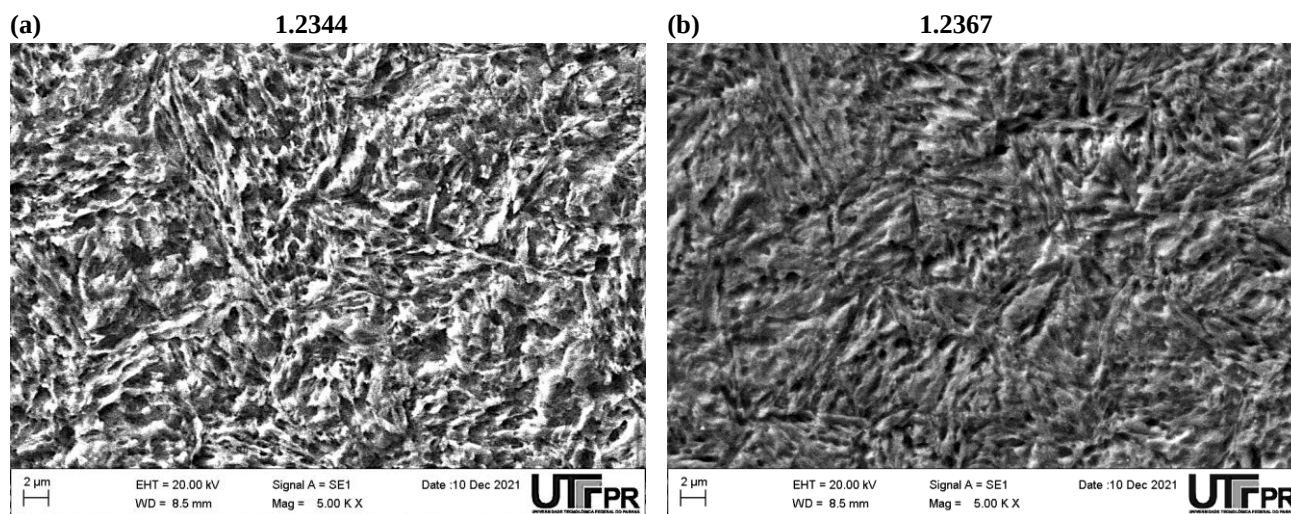


Figura 4. Metalografias dos aços ferramenta: (a) 1.2344 com 54 HRC; (b) 1.2367 com 54 HRC. Aumento de 5000X. Nital 4%.

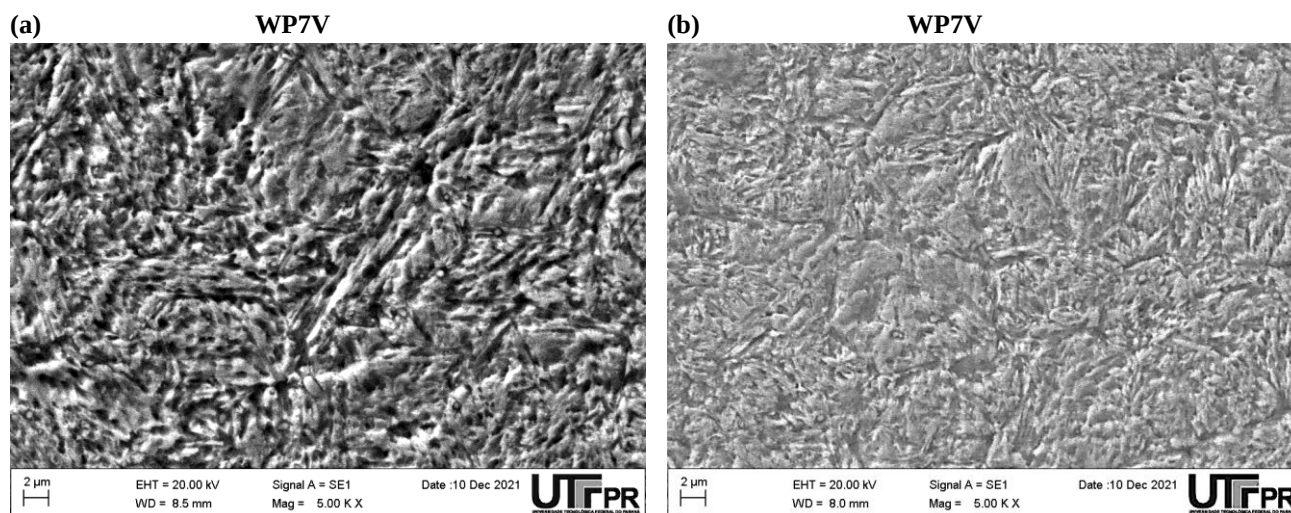


Figura 5. Metalografias dos aços ferramenta: (a) WP7V com 54 HRC; (b) WP7V com 57 HRC. Aumento de 5000X. Nital 4%.

Para todos os materiais e condições de estudo, tem-se a formação de microestrutura essencialmente martensítica, com a presença de carbonetos dispersos na matriz. Essa microestrutura também foi observada por Moraes *et al.* (2019) nos estudos dos aços 1.2344 e 1.2367 e Schwingenschlogl *et al.* (2019) nos estudos dos aços AISI H13 e 1.2367.

3.3. Análise da Superfície de Fratura dos Corpos de Prova dos Ensaios de Impacto

Para caracterizar o tipo de fratura predominante, as superfícies de fratura após os ensaios de impacto foram analisadas com auxílio do MEV. As Figuras 6 e 7 mostram as fractografias do ensaio de impacto sem entalhe, para os aços temperados 1.2344 e 1.2367 de 54 HRC e para o aço WP7V, respectivamente.

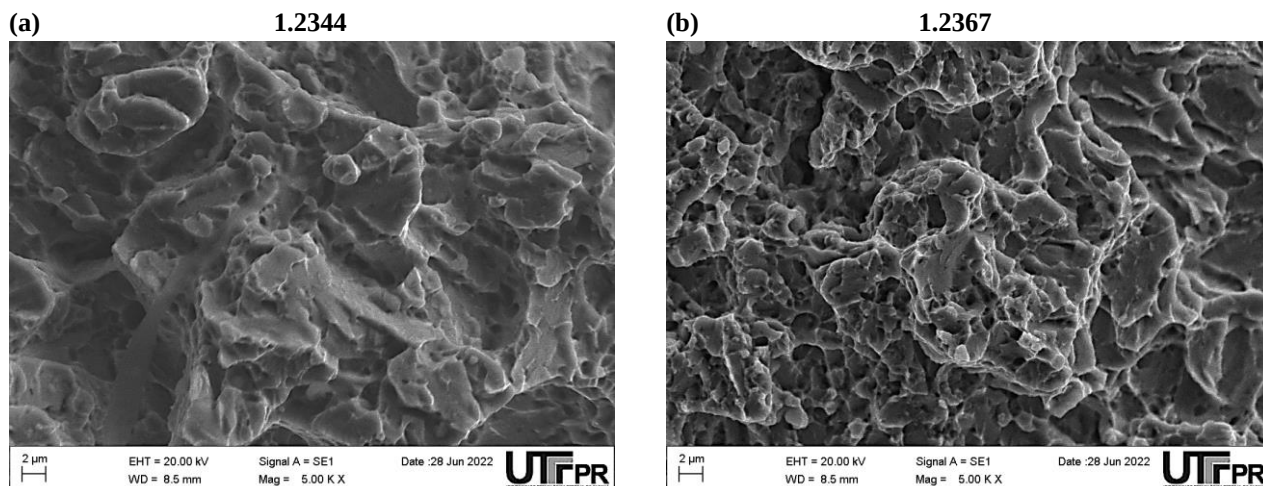


Figura 6. Fractografias do ensaio de impacto sem entalhe dos aços ferramenta: (a) 1.2344 com 54 HRC; (b) 1.2367 com 54 HRC. Aumento de 5000X.

A comparação dos aspectos de fratura das Figuras 6(a) e 6(b) mostra que há semelhanças entre os comportamentos dos aços 1.2344 e 1.2367. A fratura pode ser caracterizada como mista, com proporções entre semi-clivagem e micro-cavidades. Esta semelhança justifica os valores médios serem estatisticamente similares, embora o valor médio de resistência ao impacto da Tabela 2 indique melhor desempenho do aço 1.2367. Entretanto, este mesmo material apresentou desvio bastante elevado, o que pode ser um indicativo de maior variação ao longo das diferentes seções extraídas para confeccionar os corpos de prova.

A fratura mista é reportada pela literatura com frequência para o aço AISI H13 (1.2344), podendo-se citar os trabalhos de Ning *et al.* (2022), Zhou *et al.* (2020), Wang *et al.* (2020), Jagota e Sharma, (2020) e Ma *et al.* (2009).

Por sua vez, a Figura 7 mostra aspectos de fratura transgranular muito mais acentuados do que os verificados na Figura 6, justificando os maiores valores de resistência ao impacto para os aços temperados com dureza de 54 HRC. A variação de dureza de 54 para 57 HRC afetou pouco o comportamento quanto ao impacto do aço WP7V, tanto na predominância dos aspectos de fratura, quanto nos valores médios de resistência ao impacto. Ressalta-se o desvio muito superior para a condição 54 HRC, o que pode ter relação com variações ao longo das seções de extração dos corpos de prova, como foi observado para o aço 1.2367. É possível afirmar que há uma presença maior de micro-cavidades para a dureza de 54 HRC, enquanto no caso da condição de 57 HRC um número expressivo de facetas que caracterizam a fratura transgranular se faz presente.

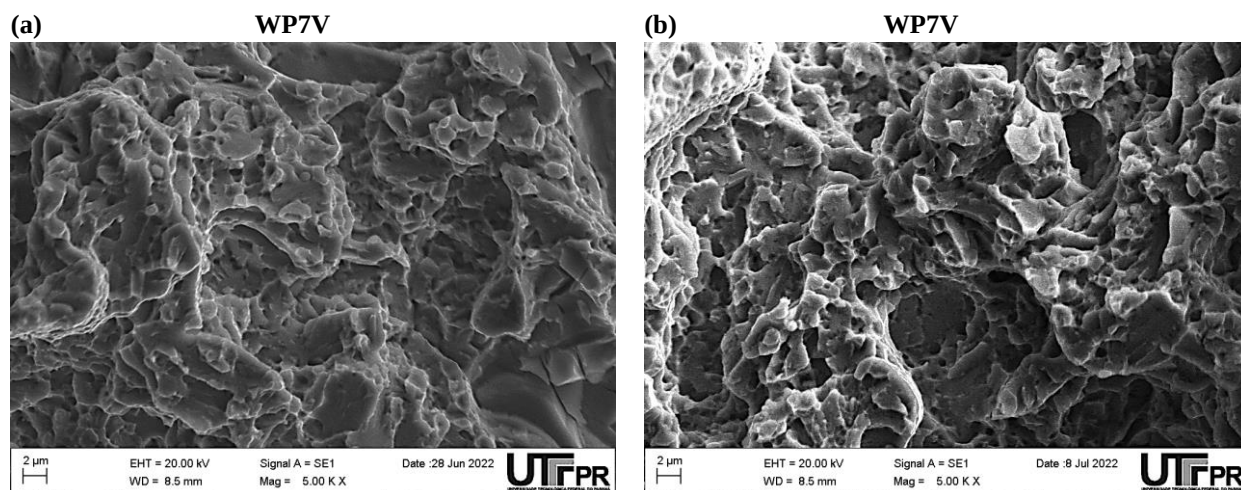


Figura 7. Fractografias do ensaio de impacto sem entalhe dos aços ferramenta: (a) WP7V com 54 HRC; (b) WP7V com 57 HRC. Aumento de 5000X.

4. CONCLUSÕES

Três aços ferramenta para trabalho a quente, tradicionalmente utilizados em ferramentais para estampagem a quente de aços foram analisados quanto sua resistência ao impacto sem entalhe após tratamento térmico de tempera revenimento e dois níveis de dureza. A análise dos resultados permitiu concluir que:

- Os valores de energia absorvida nos ensaios de impacto sem entalhe apresentaram variação de 30,5 a 157 J.
- O aço com maior resistência ao impacto sem entalhe foi o 1.2367 e o de menor resistência o aço WP7V.
- Os aspectos de fratura justificam os valores médios de resistência ao impacto: embora em todas as condições a fratura foi predominantemente mista, nos aços tratados para 54 HRC há maior predominância de microcavidades, enquanto para o aço WP7V prevaleceram facetas típicas de fratura transgranular.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Metalli Aços Especiais Ltda pela doação dos materiais em estudo; a Angra Tecnologia em Materiais Ltda, pela realização dos tratamentos térmicos; ao Centro Multiusuário de Caracterização de Materiais – CMCM da UTFPR-CT, pelas análises de microscopia eletrônica de varredura e difração por Raios-X; A Villares Metals S.A. pela realização dos ensaios de impacto sem entalhe e ao Instituto Federal do Paraná – IFPR, Campus Campo Largo.

6. REFERÊNCIAS

ASM Metals Handbook – Desk Edition – Segunda Edição, 1998.

Chantzis, D., Liu, X., Politis, D.J., Fakir, O.E., Chua, T.Y., Shi, Z. e Wang, L., 2020. Review o additive manufacturing of tooling for hot stamping. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 109:87-107 – Springer.

Escher, Ch.; Wilzer, J. 2015 Tool steel for hot stamping of high strength automotive body parts. Dörrenber Edelstahl GmbH, Qualitätszentrale, 51766 Engelskirchen, p 219-228.

Gabardo, J. F. e Okimoto, P. C., 2011 Estudo de tratamentos térmicos aplicados às ferramentas fabricadas com o aço AISI H13 visando o aumento de sua vida útil. 6º Cobef - ABCM, Caxias do Sul.

Guanghua, Y., Xinmin, H., Yanqing, W., Xingguo, Q., Ming, Y., Zuoming, C. e Kang, J. 2010 Effects of Heat Treatment on Mechanical Properties of H13 Steel. Metal Science and Heat Treatment, Volume 52 393 – 395.

Jagota, V. e Sharma, R.K., 2020 Impact of Austenitizing Temperature on the Strength Behavior and Scratch Resistance of AISI H13 Steel. The Institution of Engineers India 101 93 – 104.

Ma, D.S., Zhou, J., Chen, Z.Z., Zhang, Z.K., Chen, Q.A. e Li, D.H. 2009 Influence of Thermal Homogenization Treatment on Structure and Impact Toughness of H13 ESR Steel. Journal of Iron and Steel Research, International 16 56 – 60.

Mesquita, R. A.; Kestenbach, H.-J., 2010 Complete model for effects of silicone in 5%Cr hot work tool steels. International Heat Treatment and Surface Engineering, 44, 145-151.

Morais, N. N.; Corrêa, E. C. S.; Lopes, W.; PimentaI, A.A.S.; Silva, C.F., 2019 Influência da composição química e da temperatura de austenitização na microestrutura e no comportamento mecânica de aços ferramenta para trabalho a quente. 74º Congresso Anual da ABM.

Ning, A.G., Liu, Y., Gao, R., Yue, S., Wang, M. e Gua, H., 2022 Effect of austenitizing condition on mechanical properties, microstructure and precipitation behavior of AISI H13 steel. China Iron and Steel Research Institute Group – Springer.

Schwam, D.; Zhu, X., 2012 Toughness and Thermal Fatigue Resistance of Premium Die Steels. Congress of North American Die Casting Association (NADCA).

Schwingschlogl, P.; Niederhofer, P.; Merklein, M., 2019 Investigation on basic friction and wear mechanisms within hot stamping considering the influence of tool steel and hardness. Wear, p 378-389.

Zhou, W., Zhu, J. e Zhang, Z., 2020 Austenite Grain Growth Behaviors of La-Microalloyed H13 Steel and its Effect on Mechanical Properties. Metallurgical and Materials Transactions A. The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International – Volume 51A 4662 – 4673.

Wang, J., Xu, Z. e Lu, X., 2020 Effect of the Quenching and Tempering Temperatures on the Microstructure and Mechanical Properties of H13 Steel. Journal of Materials Engineering and Performance – Volume 29 1849 – 1859.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

IMPACT RESISTANCE OF HOT STAMPING STEEL TOOLS

Rogério Breganon

Institution and address IFPR – Federal Institute of Paraná – Campo Largo/PR
e-mail rogerio.breganon@ifpr.edu.br

Francisco Arieta

Institution and address Tribosystems – Rua Teixeira da Silva, 487 – AP 23, São Paulo, CEP 04002-032
e-mail : f.arieta@tribosystems.com.br

Giuseppe Pintaúde

Institution and address UTFPR – Federal Technology University of Paraná – Curitiba/PR
e-mail pintaude@utfpr.edu.br

Abstract. *The present work presents the mechanical behavior of hot work tool steels 1.2344 (X40CrMoV5-1) similar to AISI H13, 1.2367 (X38CrMoV5-3) and WP7V, after the heat treatments of quenching in a salt bath, with austenitization temperature at 1050°C and triple tempering of 2 hours each. Tempering temperatures were selected based on the hardness ranges of 54 HRC and 57 HRC. The values of absorbed energy obtained through the impact test without notch, following the SEP 1314 standard, are presented, in addition to the hardness values and the fracture mode analyzed by scanning electron microscopy (SEM). The results showed that in the impact tests without notch, the variation of the absorbed energy values was between 30.5 and 157 J, depending on the material and the hardness range. The steel with the highest impact strength without notch was 1.2367 and the lowest strength was WP7V steel. These differences are discussed in terms of the microstructures resulting from the heat treatments.*

Keywords: *Tool steels for hot work; Impact test; Tenacity.*

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.