

AVALIAÇÃO DA TENACIDADE À FRATURA DE AÇOS FERRAMENTA AISI D2 E VF800AT

*José Divo Bressan*¹
*Leonidas M. Gilapa*²
*Andrei Tramontin*³
*Carmeane Effting*⁴

Resumo:

Uma das principais propriedades dos materiais utilizados na indústria metal mecânica para fabricação de ferramentas de conformação e corte à frio é a resistência ao desgaste. No entanto, falhas por trincas ou desgaste por microlascamento podem ocorrer devido à baixa tenacidade dos aços. O presente trabalho avalia a tenacidade a fratura dos aços ferramenta para os processos de corte e conformação à frio. Os testes de tenacidade foram realizadas de acordo a norma ASTM E 399; os corpos de prova foram de aço ferramenta AISI D2 e VF 800 AT com tratamento térmico, ambos com dureza superficial de 57 RC.

A tenacidade dos materiais foi avaliada através do ensaio de flexão em três pontos. Inicialmente, dez cdp's do tipo SENB de cada material de 11x22x90 mm foram usinados e tratados termicamente por tempera seguida de dois revenimentos a fim de se atingir a dureza de 57 RC. Em seguida, gerou-se uma trinca inicial no fundo do entalhe usinado, feita com um equipamento de laboratório de pré-trincamento de trinca por fadiga e com o comprimento total dentro dos limites da norma ASTM E 399. Foram ensaiados os corpos de prova de cada material, usando o ensaio estático de flexão à três pontos numa máquina universal de ensaios mecânicos com célula de carga de 2 toneladas, marca EMIC ano 2001. Registrou-se a abertura da boca da trinca CMOD através de um "clip gauge" preso no cdp e a carga aplicada lentamente através de leitura de multímetro digital. Finalmente, traçou-se as curvas de carga versus CMOD para o cálculo da tenacidade à fratura K_C de cada aço. Obteve-se os seguintes valores de tenacidade à fratura dos aços: aço D2 : 21 MPa.m^{1/2} e aço VF800AT : 25 MPa.m^{1/2}. Através do MEV, caracterizou-se a superfície de fratura e os mecanismos de fratura frágil desses materiais. O mecanismo de fratura de ambos aços é do tipo fratura frágil intergranular.

Palavras-chave : Ensaio de tenacidade, aços ferramenta, corte, conformação à frio.

Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais - ABMM

2^o Encontro de Integrantes da Cadeia Produtiva de Ferramentas, Moldes e Matrizes.
28 a 30 de Outubro/2003. São Paulo, S.P.

¹ Departamento de Engenharia Mecânica - CCT - Udesc Joinville – Campus
Universitário, 89.223-100 – Joinville/SC – Brasil. email: dem2jdb@joinville.udesc.br

² Instituto Superior TUPY- IST, Sociedade Educacional de Santa Catarina
SOCIESC, Rua Albano Schmidt, 3333, 89227-700 – Joinville/SC – Brasil.
email: leonidas@sociesc.com.br

^{3,4} Departamento de Engenharia Mecânica - CCT - Udesc Joinville - Campus
Universitário, 89.223-100- Joinville/SC - Brasil. email: dem6at@joinville.udesc.br

1. Introdução

Os aços ferramenta para trabalho à frio são amplamente utilizados principalmente pelas indústrias do setor metal-mecânico devido a possuírem uma boa combinação de resistência mecânica e resistência ao desgaste. Entretanto, devido ao tipo de sollicitação que ocorrem nas ferramentas de conformação, é necessário que o material tenha também propriedades como alta dureza, resistência ao choque térmico e elevada tenacidade à fratura, pois as operações de conformação plástica produzem cargas de impacto e os materiais do ferramental sempre apresentam microtrincas superficiais ou internamente na ferramenta. Portanto, é muito importante saber se essas trincas são estáveis ou instáveis para o carregamento sollicitado. Dentre os principais aços ferramenta destacam-se o aço AISI D2, o AISI D6 e o novo aço produzido pela Villares, o VF800AT [2].

Nas operações de conformação de metais podem-se verificar cinco tipos básicos de mecanismos de falha nas ferramentas de conformação à frio que são: desgaste, lascamento, deformação plástica, trinca catastrófica e caldeamento. Portanto, o desempenho de aços ferramenta para trabalho à frio, e conseqüentemente os custos dos processos industriais, estão diretamente relacionado às propriedades mecânicas: resistência ao desgaste, tensão limite de escoamento e a tenacidade à fratura.

O presente trabalho apresenta um estudo comparativo da tenacidade à fratura entre os aços ferramenta AISI D2 e VF 800 AT, ambos com tratamento térmico. Para isto utilizou-se o ensaio de tenacidade de flexão a três pontos conforme a norma ASTM E 399.

2. Materiais e Métodos

Os resultados de resistência à tenacidade são usualmente obtidos através da realização de ensaios de flexão em 4 pontos em corpos de prova não entalhados [1] ou ensaio de flexão em três pontos em corpo de prova com entalhe. O ensaio foi realizado numa máquina universal de ensaios mecânicos sendo a carga aplicada com gradual aumento até o ponto de ruptura.

Os corpos de prova dos aços AISI D2 e VF800AT foram obtidos seguindo os métodos convencionais de usinagem, isto é, torneamento faceamento, retificação das faces paralelas e plainamento do entalhe no meio do corpo de prova conforme mostra a figura 1. Após confecção dos corpos de prova foram submetidos a tratamento térmico (temperado e revenido) para aumento da sua resistência mecânica e de acordo com a dureza de utilização como ferramental. A tabela 1 apresenta as condições de tratamento térmico e as respectivas durezas obtidas.

Tabela 1 – Condições de tratamento térmico e as respectivas durezas dos aços.

Tratamento Térmico	AISI D2	VF800AT
Tempera		
Preaquecimento	800 °C	750 °C
Austenitização	1020 °C	1030 °C
Homogeneização	540 – 580 °C	500-550 °C (banho sais)
Revenimento		
Aquecimento	1° a 500 °C; 2° a 500 °C	600 °C
Dureza	58 RC	57 RC

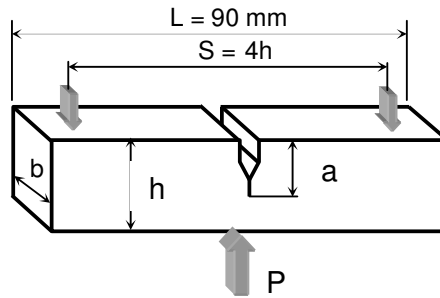
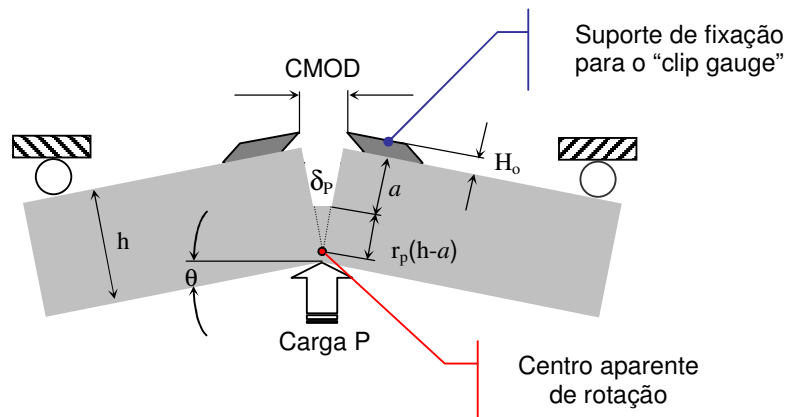


Figura 1. Corpo de prova do tipo SENB para ensaio de tenacidade.
 $S = 88 \text{ mm}$; $L = 90 \text{ mm}$; $b = 11 \text{ mm}$; $h = 22 \text{ mm}$, $a_0 \sim 4 \text{ mm}$.

Os ensaios de tenacidade foram realizados em corpos de prova entalhados do tipo SENB, conforme norma ASTM E 399 [3], com dimensões $90 \times 22 \times 11 \text{ mm}^3$, como visto na figura 1. No fundo do entalhe foi realizado uma fenda via eletroerosão com fio $\varnothing 0,3 \text{ mm}$ e altura de $\approx 1,0 \text{ mm}$ para facilitar o início da trinca e garantir sua propagação reta e perpendicular a face inferior do cdp. Primeiramente o corpo de prova foi colocado numa máquina de fadiga com a finalidade de simular o início da trinca. A flecha da máquina foi de $0,08 \text{ mm}$ e o número médio de ciclos para iniciar a trinca foi de 4 horas à 400 rpm . Isto gerou uma trinca de aproximadamente $3,0 \text{ mm}$ (a medida foi realizada com microscopia ótica), entretanto o comprimento total a_0 foi de 10 mm . Na seqüência os corpos de prova foram levados para a máquina universal de ensaios, onde foi realizado o ensaio de flexão em 3 pontos. A abertura da boca do entalhe V_P (ou CMOD) foi medida com a ajuda de clip gauge até a propagação catastrófica da trinca como mostra a figura 2.

A metodologia apropriada para se calcular a tenacidade a fratura K_{IC} de materiais frágeis que obedecem a Mecânica da Fratura Linear Elástica está baseada na norma da ASTM E 399.



onde: CMOD = deslocamento de abertura da boca da trinca;
 δ_p = deslocamento da abertura da ponta da trinca (CTOD);
 r_p = fator de rotação plástica;
 h = altura do corpo de prova;
 a_0 = comprimento da trinca;
 H_0 = espessura do suporte de fixação do "Clip Gauge".

Fig 2.– Representação do corpo de prova SENB sofrendo a abertura da trinca durante o ensaio e seus dados característica.

A abertura da boca da trinca, CMOD ou V_p , é calculada pela equação 1 onde a variação da intensidade de tensão foi de $0,5\mu A$ numa faixa de $0,00$ a $17,50 \mu A$, a leitura da tensão foi feita por multímetro. O deslocamento da ponta da trinca " δ_p " em mm é calculada pela equação 2 [4],

$$V_p = 28,304I - 98,894 \quad (1)$$

$$\frac{\delta}{V_p} = \frac{r_p(h - a_o)}{r_p(h - a_o) + a_o + z} \quad (2)$$

Do gráfico de carga P versus CMOD, identifica-se na curva o ponto crítico P_Q e calcula-se a tenacidade à fratura provisória K_Q através da equação,

$$K_Q = \frac{P_Q}{bh} F\left(\frac{a}{h}\right) \quad (3)$$

onde:
$$F\left(\frac{a}{h}\right) = 6\sqrt{a} \frac{1,99 - \frac{a}{h} \left(1 - \frac{a}{h}\right) \left(2,15 - \frac{3,93a}{h} + 2,7\left(\frac{a}{h}\right)^2\right)}{\left(1 + 2\frac{a}{h}\right) \left(1 - \frac{a}{h}\right)^{3/2}}$$

A validade de K_Q para K_{Ic} requer: $b > 2.5 (K_Q/\sigma_0)^2$; σ_0 é o limite de escoamento, P_{max} / P_Q menor que 1.1 e comprimento da trinca a/h deve estar entre 0.45 e 0.55.

3. Resultados e discussões:

Os resultados de tenacidade (K_{Ic}) em função da trinca inicial (a_o) para os materiais AISI D2 e VF800AT tratados termicamente e com dureza semelhantes foram obtidos nos ensaios de flexão e são apresentados na figuras 3 e 6. Devido a quebras de cdp's na fase de geração da trinca por fadiga, somente alguns ensaios foram feitos.

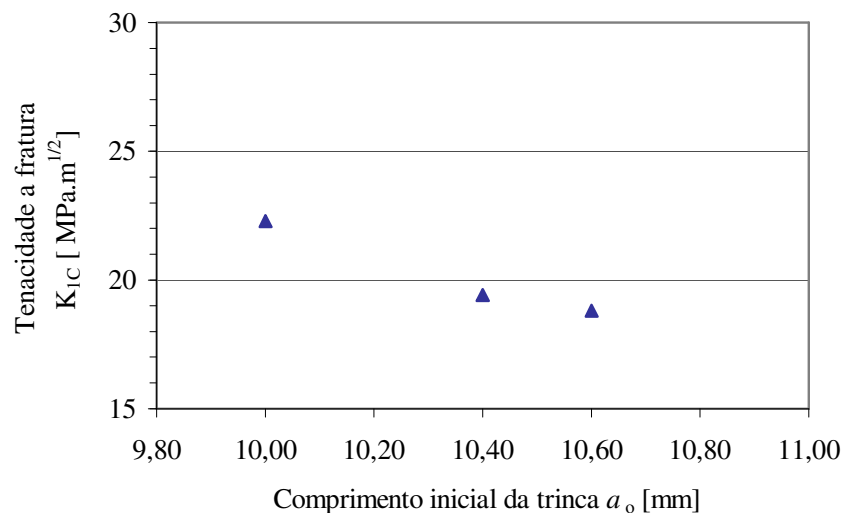


Figura 3. Tenacidade à fratura K_{Ic} em função do comprimento inicial da trinca " a_o " no ensaio de flexão a três pontos. Cdp's SENB de aço AISI D2.

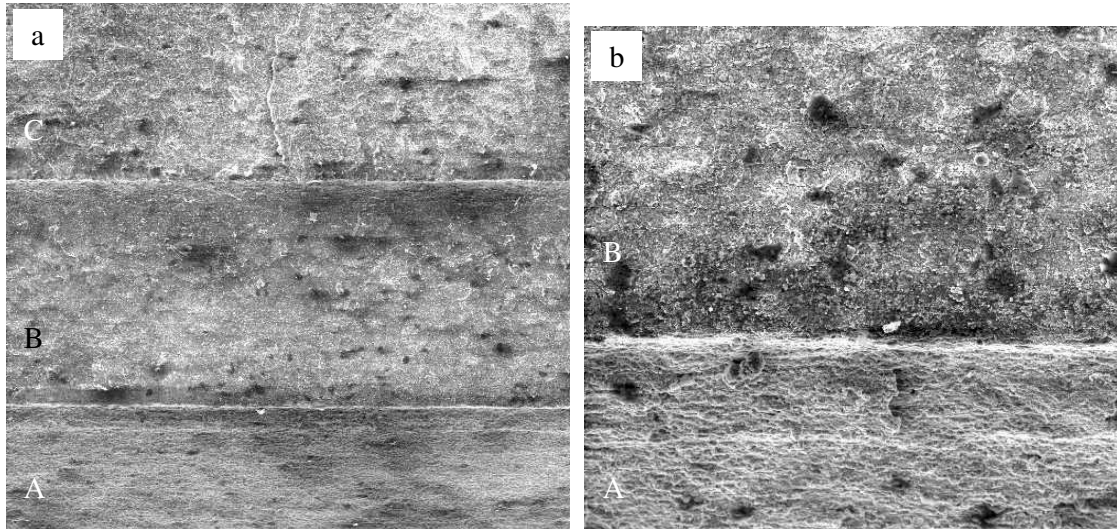


Figura 4 . Superfície de fratura do cdp de aço AISI D2. a) regiões de eletroerosão (A), crescimento da trinca por fadiga (B) e ruptura catastrófica (c). 50x.
b) início da trinca por fadiga: transição da região (A) para (B). 200x.

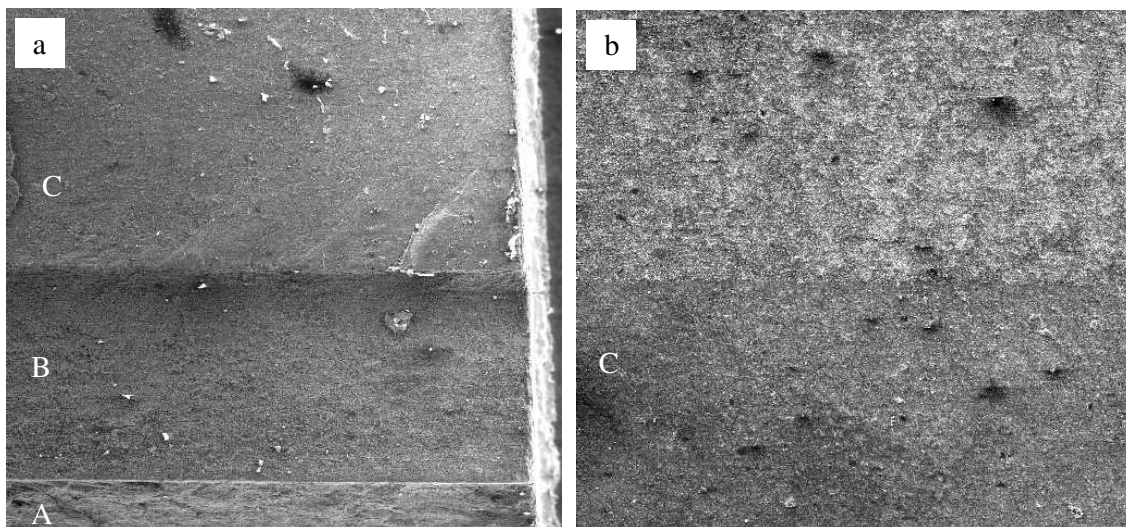


Figura 5 . Superfície de fratura do cdp de aço VF800AT. a) regiões de usinagem (A), eletroerosão (B) e região de crescimento da trinca por fadiga (c). 50x.
b) transição da região de fadiga (c) para região de ruptura instantânea. 50x.

Os valores de tenacidade a fratura do aço VF800AT, média de $24,9 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, são levemente superiores aos do aço AISI D2 cuja média é de $21 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$. São valores de comportamento semi-frágil. Entretanto, ambos valores são baixos para suportar cargas dinâmicas ou de impacto. Ou seja, qualquer microtrinca superficial ou subsuperficial é suficiente para produzir lascamento ou quebra catastrófica do material do ferramental. Nas figuras 4 e 5 observam-se a superfície da seção de fratura de ambos aços. Distinguem-se as regiões de usinagem do entalhe, do corte por eletroerosão e do crescimento da trinca inicial por fadiga. Na figura 5b vêem-se a transição da zona de fadiga ou de propagação lenta para a zona com uma espécie de nevoa branca característica de propagação instantânea ou rápida da trinca.

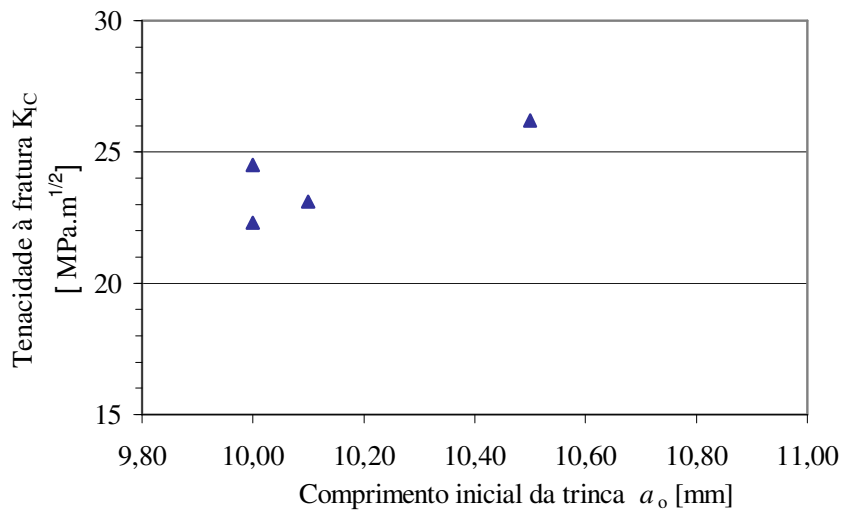


Figura 6. Tenacidade à fratura K_{1C} em função do comprimento inicial da trinca “ a_0 ” no ensaio de flexão a três pontos. Cdp’s SENB de aço VF800AT.

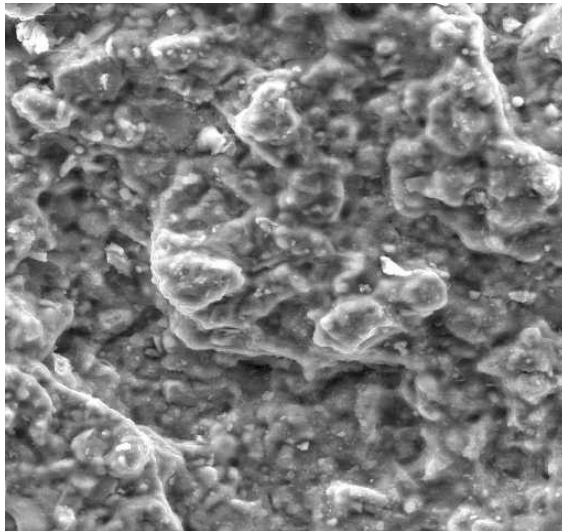


Figura 7. MEV da superfície de fratura instantânea do aço AISI D2. 1000x.

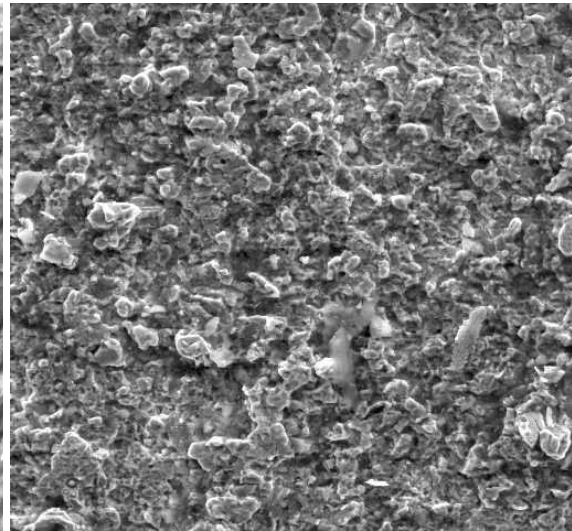


Figura 8. MEV da superfície de fratura instantânea do aço VF800AT. 700x.

Na figura 7 observa-se a superfície de fratura da região de propagação instantânea da trinca no cdp SENB do aço AISI D2. Conclui-se que a fratura é do tipo totalmente frágil e devido ao mecanismo de ruptura intergranular, pois não há presença de poros ou fratura alveolar típica da fratura dútil. No caso do aço VF800AT, o mecanismo de fratura também é a ruptura intergranular, como nota-se na figura 8. Ambos aços tem uma microestrutura de aglomerado de grãos refinados.

4. Conclusões

Da análise dos gráficos de tenacidade à fratura K_{1C} versus tamanho da trinca inicial observa-se que houve pequena diferença de valores entre a tenacidade dos aços AISI D2 e VF800AT, ambos temperado e revenido e com mesma dureza 57 RC

, embora tenha ocorrido uma dispersão dos resultados experimentais. Os valores médios obtidos foram para o aço VF800AT, média de 24,9 MPa.m^{1/2}, e para o aço AISI D2 a média foi de 21 MPa.m^{1/2}. Portanto, os valores estão muito próximos, não indicando uma vantagem significativa na tenacidade do aço VF800AT. Entretanto, é necessário realizar-se mais ensaios para se obter uma média estatisticamente confiável.

O mecanismo de fratura de ambos aços é do tipo fratura intergranular, característica de um material frágil, não apresentando nenhuma fratura alveolar típica dos materiais duteis.

A microestrutura é de grãos finos com dispersão dos carbeto.

5. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o suporte financeiro recebido do CNPq na forma de bolsa de pesquisa, como também a CAPES, a SOCIESC e a Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

6. Bibliografia

- [1] Adriano M., Carlos E. P., Helio G., Tenacidade do aço ferramenta para trabalho a frio AISI D2 – parte I influencia da microestrutura de partida. In: 1 encontro de integrantes da cadeia produtiva de ferramentas, moldes e matrizes, São Paulo / SP Outubro de 2003.
- [2] Mesquita, R. e Barbosa, C.A., Aços de alta tenacidade para matrizes de trabalho a frio. In: 1º Encontro de Integrantes da Cadeia Produtiva de Ferramentas, Moldes e Matrizes. ABM, SP / Brasil, outubro, (2003), p.1-10.
- [3] ASTM Standards E 399-82, "Standard Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials". American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA .(1993).
- [4] Effting, C., " Mecânica da Fratura Aplicada aos Materiais Duteis e Frágeis ". Dissertação de Mestrado, UDESC Joinville, fevereiro, (2004), p. 140.

EVALUATION OF TOUGHNESS OF AISI D2 AND VF800AT TOOL STEELS

*José Divo Bressan*¹
*Leonidas M. Gilapa*²
*Andrei Tramontin*³

Abstract:

Wear resistance is one main property of materials used in metal-mechanics industries for manufacturing tools and dies for cold metal forming and blanking. However, cracks failure or wear by microdelamination can occur due to low toughness of these steels. Present work evaluates fracture toughness of tool steels for cold blanking and metal forming.

Toughness tests were carried out according to the ASTM E 399 standard; the specimen were AISI D2 and VF800AT tool steels with heat treatment, both had 57 RC of superficial hardness.

Material toughness were evaluated through the three point bending tests. Initially, ten SENB specimens of each steel with dimensions 11x22x90 mm were shaped by cutting and were quenched followed by two tempers in order to obtain 57 RC of hardness. Next, an initial pre-crack was generated by fatigue and with a total length in the limits established by ASTM E 399 standard. Specimens of each material were tested using the static three point bending test in an universal tensile test machine with load cell of 2 ton, made EMIC, year 2001. The crack mouth opening displacement CMOD were obtained by a clip gauge attached to the specimen and the statically applied load by a digital multimeter. Finally, the load versus CMOD curves were plotted for calculation of the fracture toughness of each steel. The following values of tool steel toughness were obtained: AISI D2 was 21 MPa.m^{1/2} and VF800AT was 25 MPa.m^{1/2}. The specimens surfaces of fracture were characterised by SEM and the mechanisms of brittle fracture were identified. The fracture mechanism of both steels are intergranular brittle fracture type.

Key-words : Fracture toughness test, AISI D2, VF800AT, metal forming, blanking.