

AVALIAÇÃO DA TENACIDADE À FRATURA ATRAVÉS DO ENSAIO VICKERS

Jader dos Santos Miranda

Departamento de Engenharia Mecânica - Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ). Praça Frei Orlando, 170 – São João Del-Rei – MG – Brasil – CEP 36307-352
redajbv@yahoo.com.br

Avelino Manuel da Silva Dias

avelino@ufs.edu.br

Cláudio Pellegrini de Castro

pelle@ufs.edu.br

Kurt Strecker

strecker@ufs.edu.br

Resumo: Os testes Vickers têm sido amplamente utilizados para determinação da dureza superficial em diversos materiais. Sua grande versatilidade vem permitindo o desenvolvimento de diversos trabalhos e metodologias para aplicações destes ensaios na avaliação de características mecânicas como módulo de elasticidade (E) e tenacidade à fratura (K_{IC}), principalmente, objetivando caracterizar recobrimentos superficiais e materiais compósitos com características mecânicas peculiares. O objetivo deste trabalho foi avaliar experimentalmente a tenacidade à fratura em pastilhas de corte de carboneto de tungstênio com cobalto através do ensaio de indentação Vickers, assim como estudar os mecanismos de nucleação e propagação das trincas que ocorrem durante estes testes.

Palavras-chave: Ensaio Vickers, Tenacidade à Fratura, Indentação.

1. INTRODUÇÃO

Os testes de indentação Vickers têm sido amplamente utilizados para caracterização de materiais metálicos, cerâmicos, polímeros, compósitos e, recentemente em recobrimentos superficiais (Souza, 2000). O penetrador Vickers é uma pirâmide de base quadrada com um ângulo 136° entre as faces opostas, “Figura 1”. Como o penetrador é feito de diamante, ele é praticamente indeformável e sendo suas impressões semelhantes e proporcionais, a dureza Vickers (H) é uma propriedade que independe da carga de indentação. Ou seja, o valor da dureza obtida é a mesma qualquer que seja a carga utilizada, para materiais homogêneos.

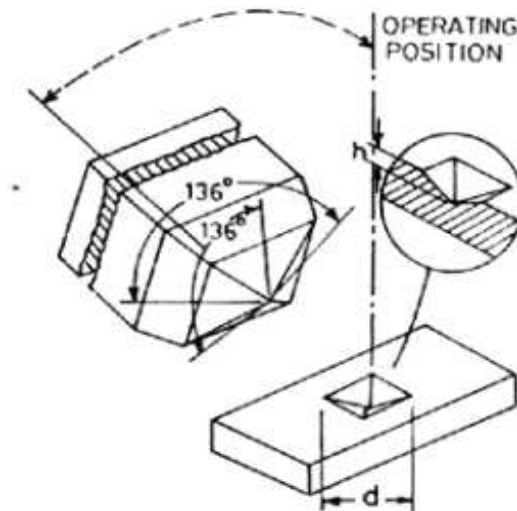


Figura 1. Representação esquemática do indetador de base piramidal Vickers.

Devido à sua grande versatilidade, os ensaios de indentação têm sido estudados para avaliar outras características mecânicas além da dureza superficial como, por exemplo, o módulo de elasticidade (E) e a tenacidade à fratura (K_{IC}) (Niihara, 1983; Zeng & Chiu, 2001), principalmente em materiais sinterizados que apresentam características mecânicas peculiares. Estes materiais, como o carboneto de tungstênio com cobalto (WC-Co), apesar de serem considerados materiais frágeis, apresentam comportamento ligeiramente dúctil sob compressão. Os mesmos são muito utilizados na confecção de ferramentas de corte, onde se deseja uma alta dureza superficial aliada a grandes resistências à compressão e ao desgaste (Trent, 1984). Contudo, estes carbonetos são difíceis de serem analisados através de ensaios mecânicos convencionais, principalmente para avaliação da tenacidade à fratura. A Figura 2 ilustra as trincas radiais superficiais que ocorrem num ensaio de indentação Vickers em uma pastilha de WC-6Co.

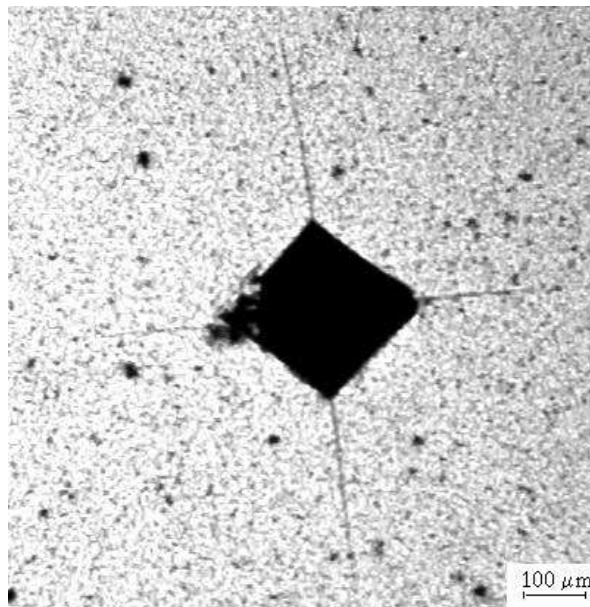


Figura 2. Trincas radiais superficiais em uma amostra de um WC-6Co (Dias, 2004).

A observação das trincas e de seu potencial uso na correlação com a tenacidade à fratura foi primeiramente feita por Palmqvist (1957). Trabalhando com carbonetos de tungstênio contendo cobalto e um indetador piramidal de diamante, este autor identificou a dureza superficial como um importante parâmetro na formação das trincas. A 'Figura 3' ilustra os principais tipos de trincas que podem surgir durante um ensaio de dureza Vickers. Estas trincas podem ser formadas durante a ação do indetador sob um carregamento (quando a carga aplicada no indetador atingir um valor crítico) ou no momento do descarregamento, devido ao campo de tensões residuais ao redor da

impressão superficial. A seguinte terminologia é usualmente encontrada na literatura para designar os tipos de trincas formados: mediana; lateral; Palmqvist; e radial.

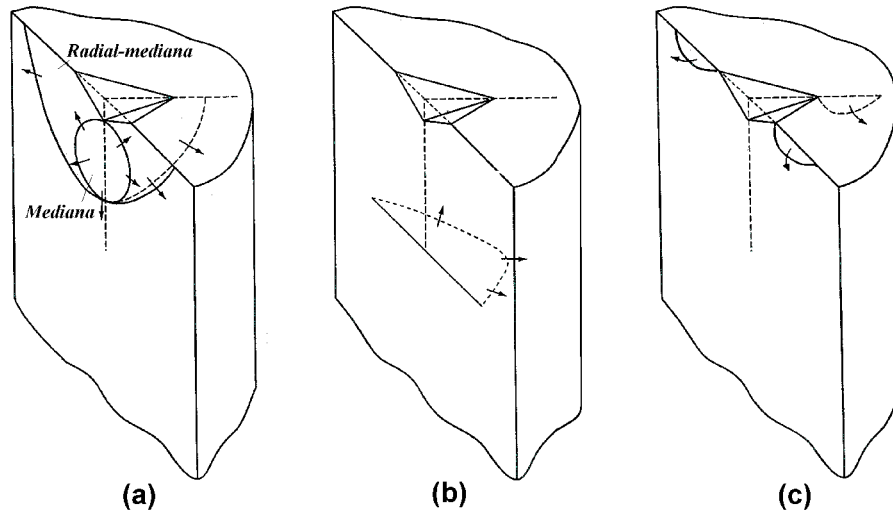


Figura 3. – Ilustração esquemática das trincas: (a) mediana e radial-mediana; (b) lateral; e, (c) Palmqvist.

Entretanto, a técnica de indentação Vickers possui certas limitações e complicações na avaliação da tenacidade nestes materiais, das quais se destacam a diversidade de equações encontradas na literatura especializada, que utilizam dois possíveis modelos para os mecanismos de nucleação e propagação das trincas (Figura 3), além da dificuldade de se identificar o tipo de trinca inicial, sua geometria final e o valor do carregamento crítico. Estes modelos (radial Palmqvist e radial mediana) resultam em formulações matemáticas parecidas para avaliação da tenacidade à fratura, porém, cada formulação utiliza diferentes equações semi-empíricas para avaliação deste parâmetro.

A proposta deste trabalho foi estudar experimentalmente as características mecânicas de pastilhas de corte ISO SNMA 120408 HIP composto de carboneto de tungstênio com 6% de cobalto, com o intuito de comprovar a viabilidade da utilização da técnica de indentação Vickers para a caracterização da tenacidade à fratura (K_{IC}) nestas ferramentas. Nos cálculos da tenacidade à fratura deste trabalho, foi considerado o modelo geométrico para trincas radiais Palmqvist (Niihara, 1983), devido a um razoável consenso existente entre os pesquisadores de análise da fratura em ensaios de indentação Vickers.

2. METODOLOGIA

As amostras analisadas neste trabalho experimental provém da pastilha de corte ISO SNMA 120408 HIP que, segundo o fabricante, possui dureza Vickers de 1835 HV (18,001 GPa), nanodureza 22 GPa, módulo de elasticidade de 619,5 GPa e limite de escoamento (σ_y) de 5760 MPa (Sandvik, 2000).

2.1 Preparação das Amostras

As amostras de HIP foram embutidas em corpos rígidos de baquelite, executando-se posteriormente lixamento (utilização de lixas com granulometrias 120, 240, 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1400 e 1500, sucessivamente) e polimento com Alumina de número dois (0,05 μm). Este procedimento teve como principal objetivo não acarretar tensões residuais na sua superfície. Assim como, uma superfície espelhada tende a facilitar a visualização dos comprimentos das trincas superficiais geradas no ensaio. Posteriormente, utilizou-se o MEV (microscópio eletrônico de varredura), para avaliar a uniformidade na distribuição do carboneto de tungstênio na matriz de cobalto.

2.2 Ensaio de dureza

Os ensaios de dureza Vickers foram executados em um durômetro Heckert, por intermédio de um indentador de base piramidal Vickers, com a aplicação de uma carga de 588,6 N e velocidade de penetração que variou no intervalo de 0,001 mm/s a 0,02 mm/s durante 30 segundos, seguindo as orientações da norma DIN50133 (1972). Após este intervalo de tempo, o indentador foi removido da superfície analisada e as dimensões da impressão foram mensuradas através de um microscópio óptico (Souza 2000).

A tenacidade à fratura (K_{IC}) foi determinada utilizando duas equações semi-empíricas para as trincas do tipo Palmqvist. A “Equação (1)” foi formulada por Niihara (1983) e modificada por Szutkowska (1999), e a “Equação (2)” foi proposta por Shetty *et al.*(1985).

$$(K_{IC}\Phi / Ha^{1/2}) (H / E\Phi)^{2/5} = 0,035 (l / a)^{-1/2} \quad (1)$$

$$K_{IC} = 0,0937*(HW)^{1/2} \quad (2)$$

Onde K_{IC} é a tenacidade à fratura, H é a dureza Vickers, E é o módulo de elasticidade, a é a metade da diagonal da impressão do indentador, l é o comprimento da trinca radial Palmqvist, “Figura 2”, Φ é um fator de restrição sugerido por Szutkowska (1999), $W = P/4l$, e P é a força de indentação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

“A Figura 4” mostra uma microfotografia feita pelo microscópio eletrônico de varredura (MEV). Apesar do fabricante desta ferramenta de corte garantir uma homogeneidade na distribuição de carboneto de tungstênio na matriz de cobalto (Sandvik, 2000), foi possível verificar uma distribuição não uniforme. Esta não uniformidade pode resultar em valores diferentes de K_{IC} para a ferramenta ao longo de uma mesma amostra.

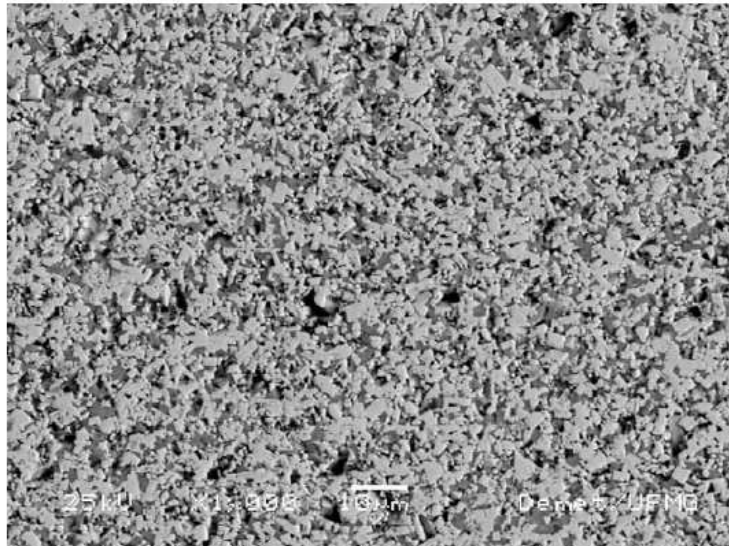


Figura 4. Microfotografia da superfície (1000x) de GC 415 (ferramenta de corte).

“A Tabela 1” mostra os resultados experimentais obtidos no teste de dureza da amostra HIP. O valor médio de dureza (19,08) está aproximadamente 10,8% acima do valor experimental de dureza do WC-6Co encontrado na literatura. A razão entre o comprimento de trinca e a metade da diagonal da indentação (l/a) se encontra dentro do intervalo 0.25-2.5, que também segundo a literatura especializada, configura uma trinca radial Palmqvist (Niihara, 1983; Ponton & Rawlings, 1998; Schubert *et al.*, 1998).

Tabela 1: Resultados experimentais obtidos no ensaio de indentação Vickers

Carga	Dureza (GPa)	Comprimento da diagonal ($2a$)	Comprimento da trinca (l)	razão (l/a)	$\Phi = H / \sigma_y$
588,6 N	19,08	240,6 μm	207,38 μm	1,72	3,31
		237,8 μm	113,27 μm	0,95	
	19,66	235,6 μm	139,53 μm	1,18	3,41
		235,6 μm	102,87 μm	0,87	
	18,79	240,6 μm	129,77 μm	1,08	3,26
		241,4 μm	157,88 μm	1,31	
	19,11	241,1 μm	135,28 μm	1,12	3,32
		236,9 μm	151,09 μm	1,28	
	19,01	241,4 μm	169,53 μm	1,40	3,30
		237,8 μm	145,02 μm	1,22	
	18,67	241,4 μm	113,61 μm	0,94	3,24
		242,2 μm	157,17 μm	1,30	
	19,08	242,2 μm	150,44 μm	1,24	3,31
		236,2 μm	142,20 μm	1,20	
	19,27	236,2 μm	165,84 μm	1,40	3,35
		239,8 μm	155,30 μm	1,30	

A tenacidade à fratura (K_{IC}) foi calculada através das “Equações (1) e (2)”. Nestes cálculos foram utilizados os dados apresentados na “Tabela 1”. A “Tabela 2” mostra os valores de K_{IC} encontrados no presente trabalho, comparando-os com os valores de K_{IC} obtido na literatura (10MN/m^{3/2}) através do ensaio de flexão em três pontos (Trent, 1984).

Tabela 2. Tenacidade à fratura de HIP obtida no ensaio de indentação em comparação com o valor de K_{IC} do ensaio convencional da mecânica da fratura de flexão em três pontos.

Equação	K_{IC} (MN/m ^{3/2})	Diferença (%)
“Equação (1)” (Szutkowska, 1999)	13,09	30,9
“Equação (2)” (Shetty <i>et al.</i> , 1985)	10,15	1,5

O método de determinação da tenacidade à fratura através do ensaio de indentação Vickers se mostra bastante susceptível a tensões residuais oriundas do processo de preparo da amostra. Szutkowska (1999) avaliou a tenacidade à fratura em metais duros através do ensaio Vickers e concluiu que a presença de tensões residuais presentes nas amostras em decorrência do preparo das mesmas poderia interferir nos resultados de K_{IC} , recomendando a utilização de um processo de recozimento para aliviar estas tensões.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho experimental apresentou resultados obtidos no ensaio de indentação Vickers em pastilhas de carboneto de tungstênio com 6 % de cobalto (HIP).

Apesar das limitações, os resultados ressaltam a viabilidade do processo, destacando a simplicidade na preparação das amostras, a rapidez nos procedimentos, a caracterização como ensaio não-destrutivo e o baixo custo.

A tenacidade à fratura deste material foi avaliada por meio de duas equações semi-empíricas difundidas na literatura especializada. Segundo a literatura, a equação de Niihara modificada por Szutkowska (1999) apresenta os melhores resultados na avaliação da tenacidade à fratura de ferramentas de corte contendo WC-Co, a partir do ensaio de indentação.

As discrepâncias entre os valores obtidos podem ser explicadas pela não uniformidade na dispersão do carboneto de tungstênio na matriz de cobalto (Figura 4), com grandes impactos na utilização da equação formulada por Niihara e modificada por Szutkowska (1999). Através dos resultados obtidos usando a equação de Shetty *et al.* (1985), foi possível concluir a boa versatilidade do ensaio de indentação Vickers para caracterização da tenacidade à fratura e a pequena susceptibilidade desta metodologia a diferenças de dureza em uma mesma amostra.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve apoio da FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais), através do processo EDT 405/05. Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e a UFSJ (Universidade Federal de São João del Rei – MG) pelo suporte financeiro. Agradecimentos também, à Francisco Marcelino da Silva pela ajuda na realização dos ensaios experimentais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dias, A.M.S., 2004, “Análise Numérica do Processo de Fratura no Ensaio de Indentação Vickers em uma Liga de WC-Co”. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, p177.
- DIN 50133, 1972, “Testing of Metallic Materials – Vickers hardness Testing”. Deutschen Normen, 7p.
- Laughier, M. T., 1985, Palmqvist Crack Extension and the Center-load Penny Crack Analogy, *Journal of the American Ceramic Society*, v. 68[2], C51-52.
- Niihara, K. A., 1983, “Fracture Mechanics Analysis of Indentation-Induced Palmqvist Crack in Ceramics”. *Journal of the Materials Science Letters*. v.2 , p. 221-223.
- Palmqvist, S., 1963, “Method of Determining the Toughness of Brittle Materials”, Particularly Sintered Carbides, *Jernkontorets Annalen*, 141, (5), p300,1957 & 167, p208.
- Ponton, C.B.; Rawlings, R.D., 1989, “Vickers Indentation Fracture Toughness Test, Part 1: Application and Evaluation of Standardized Indentation Toughness Equations”. *Materials Science and Technology*. v.5, p.961-976.
- Sandvik, 2000, “Manual do Fabricante”.
- Schubert, W. D.; Neumeister, H.; Kingler, G.; Lux, B., 1998, “Hardness to Toughness Relationship of Fine-grain WC-Co Hardmetals”. *International Journal of Refractory Metals & Hard Metals*. 16, p.133-142.
- Shetty, D. K.; Wright, I. G.; Miner, P. N.; Clauer, A. H., 1985, “Indentation Fracture of WC-Co Cermets”. *Journal of Materials Science*. 20, p.1873-1882.
- Souza, S.A., 2000, “Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos: Fundamentos Teóricos e Práticos”. Ed. Edgard Blücher LTD, 5th Ed., 286p.
- Szutkowska, M., 1999, “Fracture Toughness Measurement of WC-Co Hardmetals by Indentation Method”. *Journal of Advanced Materials*. 31, p.3-7.
- Trent, E. M., 1984, “Metal Cutting”. Butterworths & Co. LTD., 2nd Edition, 245p.
- Zeng, K.; Chiu, C., 2001, “An Analysis of Load-Penetration Curves from Instrumented Indentation”. *Acta Materialia*. 49, p.3539-3551.

5. DIREITOS AUTORAIS

os autores serão os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho

EVALUATION OF FRACTURE TOUGHNESS THROUGH VICKERS TESTING

Jader dos Santos Miranda

Mechanical Department – Federal University of São João Del-Rei (UFSJ). Frei Orlando Square, 170 – São João Del-Rei – MG – Brazil – CEP 36307-352
redajbv@yahoo.com.br

Avelino Manuel da Silva Dias

avelino@ufsj.edu.br

Cláudio Pellegrini de Castro

pelle@ufsj.edu.br

Kurt Strecker

strecker@ufsj.edu.br

Abstract: *The Vickers testing have been use commonly for characterization of the surface the hardness in several materials. Your great versatility is allowing the development of several papers and methodologies for applications in the mechanics characteristic's evaluation as module of elasticity (E) and fracture toughness (K_{IC}). Mainly aiming at peculiar mechanical characteristics. The object of this paper was to evaluate the fracture toughness experimentally in manufacture cutting tools of tungsten carbide with cobalt through in the Vickers testing indentation, as well as studying the mechanics nucleation and propagation of the cracks that happen during these tests.*

Keywords: *Vickers Testing, Fracture Toughness, Indentation.*