

ESTUDO DA FORMAÇÃO DE TRINCAS DE ORIGEM TÉRMICA NO FRESAMENTO

Anderson Clayton Alves de Melo

Álison Rocha Machado

Sinésio Domingues Franco

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, 38400-902, Uberlândia, MG, Brasil.

E-mail: acamel@meccanica.ufu.br

Resumo

São apresentados os resultados obtidos no estudo da evolução de trincas de origem térmica em ferramentas de metal duro da classe P25 sem revestimento, utilizadas no processo de usinagem por fresamento. A pesquisa foi realizada observando-se as condições das arestas e a quantidade de trincas térmicas geradas nestas após a usinagem do aço ABNT 1045 em várias condições de corte. Os testes foram realizados à seco e utilizando fluido de corte. As análises das arestas foram conduzidas em um microscópio eletrônico de varredura.

Palavras-chave: Fresamento, Trincas térmicas, Microscopia Eletrônica de Varredura

1. INTRODUÇÃO

O processo de usinagem por fresamento é um dos principais responsáveis pelo grande volume de peças produzidas na indústria moderna. Caracteriza-se por ser interrompido, ou seja, durante o corte a ferramenta passa por fases em que está engajada na peça e por fases onde está livre deste engajamento. Vários fenômenos surgem devido a esta característica “interrompida”. Um destes é o aparecimento de trincas perpendiculares à aresta principal de corte da ferramenta, motivadas pela carga térmica cíclica que submete a área de contato cavaco-ferramenta, sobre a superfície de saída, à variações de temperatura entre valores máximo e mínimo (ΔT). A evolução destas trincas leva ao aparecimento de sulcos profundos que reduzem drasticamente a capacidade de corte das ferramentas, levando-as ao colapso. Tais trincas são denominadas de trincas térmicas ou trincas de origem térmica. Segundo Braiden e Dugdale (1970), os primeiros a referenciá-las na literatura, foram Boston e Gilbert (1947), que as observaram sobre a superfície de saída de ferramentas de metal duro usadas para fresar ferro fundido. Optiz e Fröhlich (1954), observaram o fenômeno sobre a superfície de saída de ferramentas de metal duro após a usinagem de aços estruturais e sugeriram um mecanismo térmico de formação dessas trincas. Após simulações usando um gerador térmico de alta frequência para aquecer barras de metal duro, concluíram que o fenômeno poderia ser devido às tensões térmicas geradas durante o processo de usinagem. Zorev (1963), realizando ensaios experimentais, pôde estabelecer que a relação entre o tempo de corte real (período ativo) e o tempo total durante um ciclo é um parâmetro importante no desenvolvimento das trincas térmicas e portanto, na vida de ferramentas de metal duro usadas no corte intermitente. Segundo ele, devido ao rápido resfriamento da superfície de saída da ferramenta durante o período inativo, surgem tensões de tração nesta região que podem conduzir à formação das trincas térmicas. Okushima e Hoshi (1962, 1963), realizaram experimentos no fresamento frontal e mostraram que as trincas

térmicas podem se desenvolver tanto na superfície de saída quanto na superfície de folga da ferramenta de corte. Neste último caso, as trincas foram encontradas somente quando uma quantidade considerável de desgaste de flanco esteve presente, consequência do calor gerado devido ao desgaste. Wang *et al.*(1996) analisaram teórico e experimentalmente o campo de temperatura dinâmico sobre o dente de uma fresa, levando em consideração o efeito convectivo durante o período inativo. Foi encontrado que este efeito não é tão significativo à ponto de provocar grandes mudanças no gradiente de temperatura no corpo da ferramenta na saída do corte, descartando a tese da grande maioria os pesquisadores que imaginavam que as trincas térmicas teriam sua origem durante o período inativo.

Observa-se na literatura que ainda existem muitas divergências com relação ao processo físico que conduz à formação das primeiras trincas térmicas durante o processo de corte interrompido. Ferraresi (1970), afirmam que as primeiras trincas surgem na saída da ferramenta de corte da peça que está sendo usinada, porém Wang *et al.*(1996) afirmam que o fenômeno ocorre na entrada da ferramenta na peça. Independente de como o processo ocorre fisicamente, o fenômeno é extremamente prejudicial tanto tecnicamente quanto economicamente, e ainda hoje continua sendo um grande problema no processo produtivo que se utiliza da usinagem interrompida.

O surgimento das trincas de origem térmica promovem a fragilização da aresta cortante, facilitando o aparecimento de trincas mecânicas que normalmente se apresentam paralelas a aresta de corte da ferramenta. O encontro das trincas mecânicas com as trincas de origem térmica, provocam o destacamento de porções da aresta de corte, acelerando o desgaste da ferramenta.

Sabe-se que as trincas de origem térmica aparecem mais facilmente em ferramentas de metal duro de classes inferiores (P25, por exemplo). Isto se deve ao fato de que, nessas classes, a relação entre a quantidade de cobalto (material que tem a finalidade de ligar os grãos de carbonetos) e a quantidade de carbonetos é inferior à das classes superiores (P45, por exemplo). Baixa quantidade de cobalto e alta quantidade de carbonetos resulta em ferramentas com alta resistência ao desgaste e baixa tenacidade, o que lhes confere características apropriadas para serem aplicadas em operações de acabamento. Ferramentas de classes superiores, tais como a P45 ou a P40, possuem maior quantidade de cobalto, o que lhes garantem boas características de tenacidade e, conseqüentemente, boa resistência à choques mecânicos e térmicos.

Tendo em vista a característica de baixa resistência ao choque térmico observada nas ferramentas de classes inferiores, optou-se pelo uso destas (neste caso utilizou-se ferramentas da classe P25) para se fazer um estudo das trincas térmicas considerando os principais parâmetros de corte envolvidos no processo de fresamento (velocidade de corte, profundidade de corte e avanço por dente) e a aplicação de fluido de corte. Tais ferramentas possibilitam a obtenção de resultados (formação de trincas térmicas) numa taxa bem superior às ferramentas de classes superiores, o que as tornam adequadas para o estudo em questão. Este estudo foi conduzido no microscópio eletrônico de varredura-MEV, analisando-se o número, a morfologia e a origem das trincas.

2. TESTES EXPERIMENTAIS

2.1. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Os seguintes materiais e equipamentos foram utilizados na pesquisa:

- Fresadora ROMI INTERACT IV 16KW;

- 6 insertos de metal duro classe P25 SEMN 12 04 AZ da SANDVIK Coromant (com 4 arestas de corte cada);
- 1 porta inserto R260 22 080 15 da SANDVIK Coromant.
- 1 barra de aço ABNT 1045 com a seguinte composição química: 0.49% C, 0.71% Mn, 0.19% Si, 0.024% P, 0.033% S, 0.18% Cr, 0.17% Ni, 0.04% Mo, 0.22% Cu, 0.01% Sn, 0.034% Al e dureza de 237 HV, dimensões de 500 mm de comprimento e seção transversal de 110 mm × 110 mm.
- Fluido refrigerante sintético FE 20 da Shell Lubrificantes, concentração 3%.
- Microscópio eletrônico de varredura modelo LEO 940 A da Zeiss.

Apesar do porta inserto permitir a utilização de até 8 arestas (dentes), optou-se pela utilização de apenas uma aresta por ensaio.

2.2. METODOLOGIA

Foram utilizados 6 insertos divididos em dois grupos de 3. No primeiro grupo, os ensaios foram realizados à seco, enquanto que no segundo grupo os mesmos testes realizados à seco foram repetidos com o uso do fluido de corte. Para cada grupo foram variados a velocidade de corte no primeiro inserto (valores utilizados em cada aresta em m/min – 100, 170, 240 e 310), o avanço por dente no segundo inserto (valores utilizados em cada aresta em mm/dente – 0.10, 0.15, 0.20 e 0.25) e a profundidade de corte no terceiro inserto (valores utilizados em cada aresta em mm – 1.0, 1.5, 2.0 e 2.5). Cada aresta foi ensaiada através de um comprimento de avanço igual a 500 mm e uma penetração de trabalho de 55 mm. Após o término do ensaio com uma determinada aresta, a mesma era trocada por uma nova para que um novo teste fosse realizado. Para garantir a identificação de cada inserto e de cada aresta, as mesmas eram marcadas com uma caneta apropriada. Finalizado os testes de fresamento, as ferramentas eram levadas para serem limpas e analisadas no microscópio eletrônico de varredura, onde eram feitas fotos e a contagem, com um aumento de 400 ×, do número de trincas térmicas geradas.

A figura 1 mostra de maneira esquemática e resumida os ensaios realizados à seco e com fluido de corte.

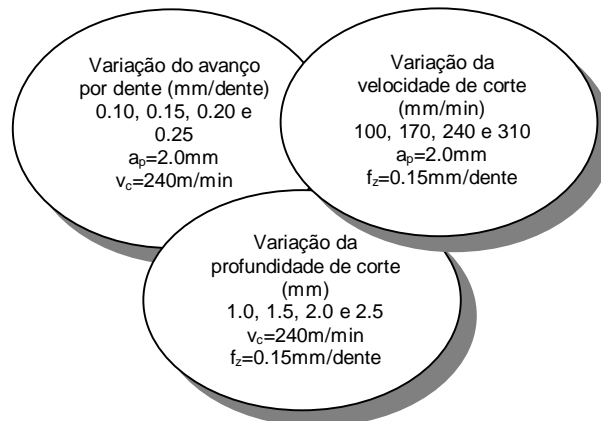


Figura 1. Esquema mostrando os ensaios de fresamento realizados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas da figura 2 mostram, respectivamente, o número de trincas térmicas observado sobre as arestas de corte testadas quando variou-se a velocidade de corte com e sem o uso de fluido de corte.

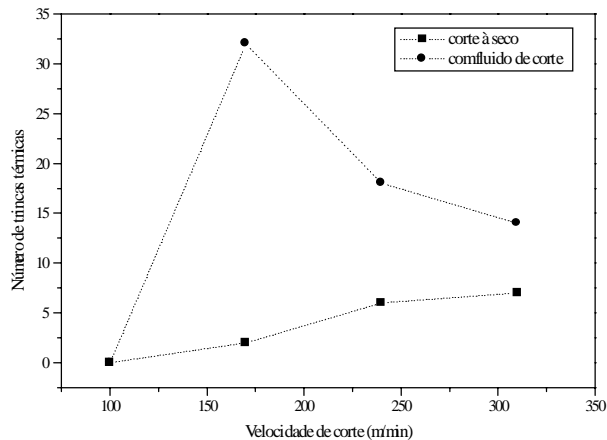


Figura 2. Curvas que mostram a quantidade de trincas térmicas geradas em função da velocidade de corte, com e sem o uso de fluido de corte.

Nota-se que o aumento da velocidade de corte, provocou um aumento na quantidade de trincas térmicas observadas no caso da usinagem à seco. Este comportamento pode ser explicado da seguinte forma: o aumento da velocidade de corte aumenta a diferença entre as temperaturas máxima e mínima durante um ciclo (ΔT), fazendo com que as tensões térmicas no corpo da ferramenta de corte sejam mais intensas nestas situações, elevando a taxa de geração de trincas (Bhatia *et al.*, 1980). No caso da usinagem com fluido de corte ocorre a mesma situação, porém, o diferencial de temperatura é bem maior do que no corte à seco devido ao alto coeficiente convectivo do fluido. Nesta situação, o número de trincas térmicas pode ser mascarado. Sugere-se que a taxa de geração destas é mais alta, o que fragiliza mecanicamente a aresta de corte em poucos ciclos e, conseqüentemente, proporciona o aparecimento de trincas mecânicas (paralelas à aresta de corte). Com o decorrer do processo de usinagem, as trincas térmicas e mecânicas se encontram provocando o destacamento de porções da aresta de corte, levando consigo algumas trincas térmicas. Este fenômeno pode explicar o comportamento das curvas da figura 2 para o corte com fluido. As figuras 3 e 4, mostram arestas de corte ensaiadas com parâmetros de usinagem idênticos ($v_c=170\text{m/min}$; $a_p=2\text{mm}$; $f_z=0.15\text{mm/dente}$), porém sem e com o uso de fluido de corte, respectivamente.

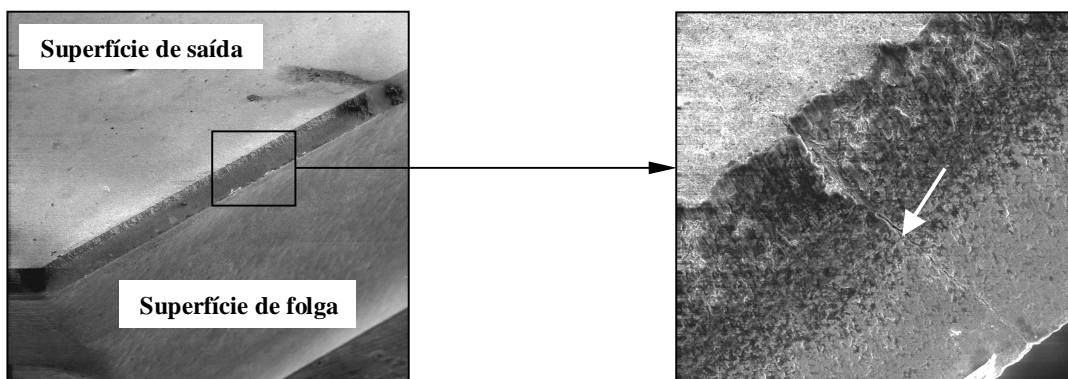


Figura 3. Aresta de corte ensaiada à seco (30x) e ampliação de uma região desta mostrando a formação de uma trinca térmica (seta) (400x). $v_c=170\text{m/min}$, $a_p=2\text{mm}$ e $f_z=0.15\text{mm/dente}$.

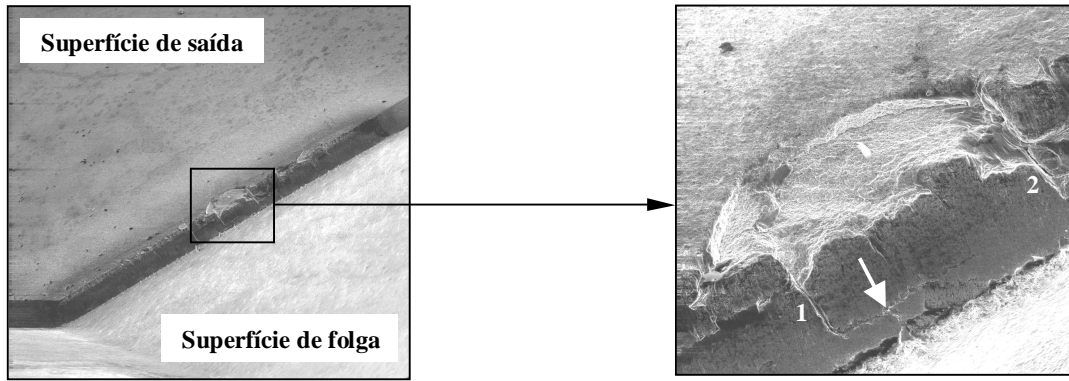


Figura 4. Aresta de corte ensaiada com o uso de fluido de corte (30×) e ampliação de uma região desta mostrando o destacamento de material devido ao encontro de trincas térmicas (1 e 2) e mecânicas (seta) (200×). $v_c=170\text{m/min}$, $a_p=2\text{mm}$ e $f_z=0.15\text{mm/dente}$.

Na ampliação correspondente à figura 4, onde a usinagem foi realizada com o uso de fluido de corte, observa-se que uma porção de material da aresta de corte foi destacada, conseqüência do encontro de trincas térmicas com trincas mecânicas. Entretanto, trincas térmicas (1 e 2 na figura 4) e mecânicas (seta na figura 4) ainda são evidentes.

A figura 5 mostra como a ferramenta de corte se comportou, com relação à geração de trincas de origem térmica, quando o avanço por dente foi variado.

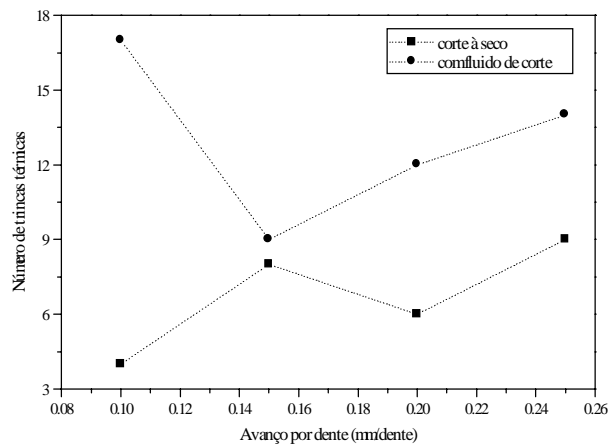


Figura 5. Curvas que mostram a quantidade de trincas térmicas geradas em função do avanço por dente, com e sem o uso de fluido de corte.

Observa-se uma tendência de aumento de trincas com o aumento do avanço. Sugere-se que, assim como ocorre para o caso da variação da velocidade de corte, o aumento do avanço provoca um aumento na amplitude de flutuação da temperatura de interface cavaco-ferramenta, favorecendo o surgimento de trincas de origem térmica. Neste caso o fluido de corte também agravou a situação, acelerando a geração de trincas térmicas e fragilizando a aresta de corte.

As figuras 6(a) e 6(b) ilustram duas arestas de corte ensaiadas à seco, onde podem ser identificadas algumas trincas de origem térmica.

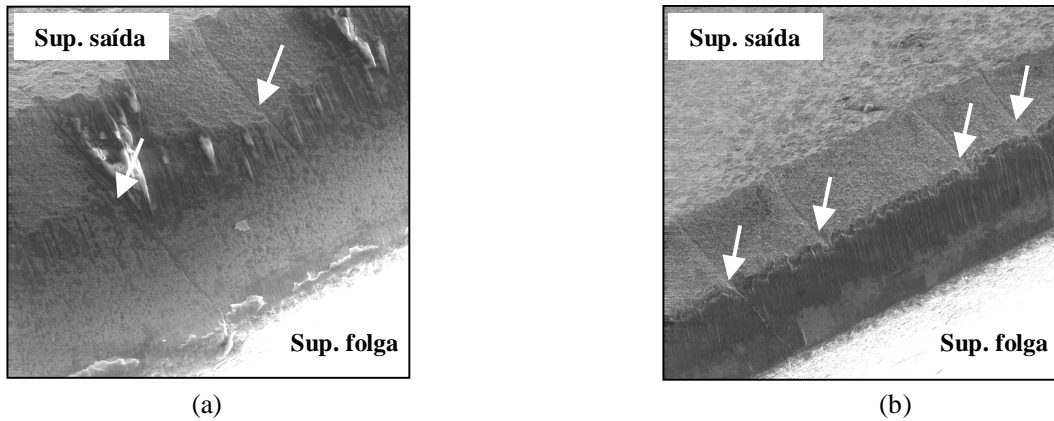


Figura 6. Arestas de corte apresentando trincas de origem térmica na usinagem à seco. (a) $v_c=240\text{m/min}$; $a_p=2\text{mm}$ e $f_z=0.15\text{mm/dente}$ ($300\times$) e (b) $v_c=240\text{m/min}$; $a_p=2\text{mm}$ e $f_z=0.25\text{mm/dente}$ ($150\times$).

As curvas da Fig. 7 apresentam os resultados obtidos quando a profundidade de corte foi variada durante os ensaios.

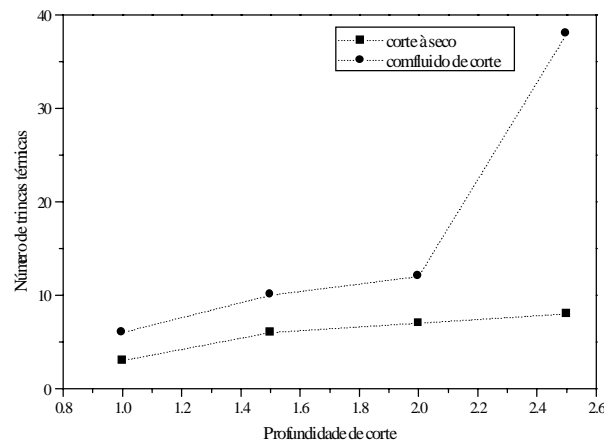


Figura 7. Curvas que mostram a quantidade de trincas térmicas geradas em função da velocidade de corte, com e sem o uso de fluido de corte.

Observa-se que tanto no caso do corte à seco quanto no corte refrigerado, a quantidade de trincas térmicas aumentou com o aumento da profundidade de corte. Duas explicações podem ser dadas para este comportamento: em primeiro lugar, o aumento da profundidade de corte provoca a elevação da temperatura durante a fase ativa, o que pode promover o aumento no diferencial de temperatura (ΔT) durante um ciclo facilitando o aparecimento das trincas térmicas, em segundo lugar, é óbvio que quando aumenta-se a profundidade de corte, aumenta-se também o comprimento da aresta sujeita à formação de trincas de origem térmica, aumentando a quantidade das mesmas. Neste caso, o uso de fluido novamente acelerou a geração de trincas e a deterioração da aresta de corte, como pode ser observado comparando-se as figuras 8(a) e 8(b) seguintes.

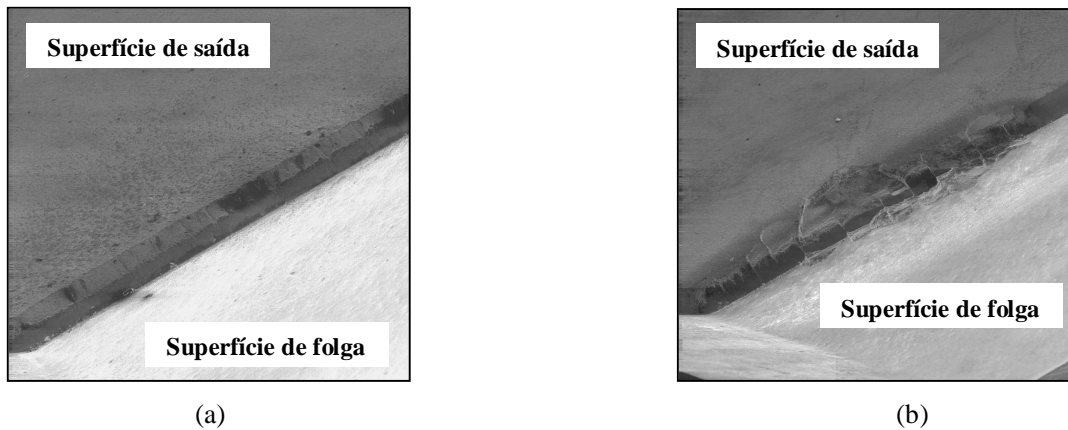


Fig. 8. Arestas de corte ensaiadas (a) à seco (40×) e (b) com fluido de corte (30×).
 $v_c=240\text{m/min}$, $a_p=2\text{mm}$ e $f_z=0.15\text{mm/dente}$.

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que o aumento dos parâmetros velocidade de corte, avanço por dente e profundidade de corte, por aumentarem a amplitude de flutuação da temperatura na interface cavaco-ferramenta durante um ciclo, favoreceu o surgimento de trincas de origem térmica na aresta de corte da ferramenta testada. O uso de fluido refrigerante agravou ainda mais esta situação, pois aumentou a diferença entre a temperatura máxima e mínima durante um ciclo.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro para a elaboração desta pesquisa, à Villares Metals S/A pelo fornecimento do aço para os ensaios, à Sandvik Coromant pelas ferramentas e aos Laboratórios de Ensino e Pesquisa em Usinagem e Tribologia e Materiais da Universidade Federal de Uberlândia pelos equipamentos cedidos para a efetivação da pesquisa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bhatia, S. M., Pandey, P. C., Shan, H. S., 1980, “The thermal condition of the tool cutting edge in intermittent cutting”, *Wear*, 61, pp. 21-30.
- Boston, O. W. and Gilbert, W. W., 1947, “Influence on tool life and power of nose radius, chamfer and peripheral cutting edge angle when face milling a 40000 psi cast iron”, *Trans. ASME*, 69, pp. 117-124.
- Braiden, P. M. and Dugdale, D. S., 1970, “Failure of carbide tools in intermittent cutting, *Materials for Metal Cutting*”, Proc. Conf. of BIRSA, Scarborough, pp. 30-34.
- Ferraresi, D., 1970, “Fundamento da Usinagem dos Metais”, Edgard Blücher.
- Okushima, K. and Hoshi, T., 1962, “Thermal crack in the carbide face milling cutter” (1st Report), *Bull, JSME*, 5 (17), pp. 151-160.

- Okushima, K. and Hoshi, T., 1963, “Thermal crack in the carbide face milling cutter” (2st Report), Bull, JSME, 6 (22), pp. 317-326.
- Opitz, H. and Fröhlich, K. H., 1954, VDIZ, 96, 822.
- Wang, Z Y., Sahay, C. and Rajurkar, K. P., 1996, “Tool temperatures and crack development in milling cutters”, Int. J. Mach. Tools. Manufact., vol. 36, No. 1, pp. 129-140.
- Zorev, N. – 1963, Ann. CIRP, II