

CORTE DE PRECISÃO DE MATERIAIS FRÁGEIS COM DISCOS ABRASIVOS

L. A. O. Araujo; C. R. Foschini; R. G. Jasinevicius; C. A. Fortulan
Av. Trabalhador São-carlense, 400 – 13566-590 – São Carlos - SP
cfortula@sc.usp.br

Escola de Engenharia de São Carlos – USP

RESUMO

O presente trabalho estuda e experimenta o fatiamento de substratos de alta alumina com o emprego de discos abrasivos. A tecnologia dos componentes eletrônicos modernos está baseada no emprego de finos e estreitos substratos cerâmicos e mono cristais. Uma das técnicas para a obtenção destas peças faz uso da segmentação de um substrato maior por meio de disco abrasivo com a mínima introdução de defeitos e alta produção (dicing process). Corpos de alta alumina (99,9%) foram cortados com discos abrasivos (diamante) em processo “creep feed” variando a profundidade de corte de 1 a 3 mm, velocidade de avanço de 1 a 19 mm/s e velocidade periférica do disco de 10.000, 20.000 e 30.000 rpm. Os ensaios tiveram como saída, o desgaste/integridade do disco, a linearidade e a qualidade do corte. Rotações maiores favorecem o aumento da rigidez do disco abrasivo, sendo que a 30.000 rpm obteve-se maior estabilidade do processo.

Palavras-chave: alumina, *dicing*, *dicing saw*, *dicing machine*.

INTRODUÇÃO

Há pelo menos quatro décadas, o uso do silício na micro-eletrônica foi o principal motivador no desenvolvimento do processo de usinagem de corte de precisão de materiais frágeis. A evolução da tecnologia de corte viabilizou outras aplicações, favorecendo a melhoria e o desenvolvimento de produtos. Hoje, o corte de precisão é caracterizado principalmente pela alta produtividade, qualidade e dimensões/tolerâncias cada vez menores. ^(01, 02)

Esse processo é realizado em máquinas chamadas de serra de precisão ou *precision dicing machine*. Diferente dos *cut-offs*, as *precision dicing machines* são muito mais precisas e sofisticadas com relação ao alinhamento do corte na peça, tipos de disco de corte, repetibilidade, automação e desempenho. Existem três tipos de máquinas de corte de precisão, segundo seu elemento cortante:

- *Dicing saw* – Caracterizada pelo uso de discos de corte abrasivo. É composta por um mancal de alta rotação, em geral, aerostático ou de rolamentos cerâmicos. Tem acurácia a partir de 1 μ m e trabalha com velocidades de corte (avanço) de 0,1 até cerca de 600 mm/s dependendo do material a ser cortado. O disco pode atingir até 60.000 rpm para discos de diâmetro ~51 mm perfazendo velocidade periférica aproximadas a 160 m/s;
- *Laser saw* – Usa um feixe laser como elemento cortante. Sua aplicação se restringe aos filmes finos; ⁽⁰³⁾
- A *water saw* ou *jet saw*, é uma máquina de corte que usa uma combinação de água à alta pressão e grãos abrasivos dispersos pelo fluido. ⁽⁰⁴⁾

A *laser saw* e *water saw*, apesar da flexibilidade na programação de trajetórias, apresentam o inconveniente do limite da espessura de corte e qualidade de corte. Por esses motivos, a *dicing saw* é o método mais difundido no processo de corte de materiais frágeis, tais como o silício, a alumina, vitros cerâmicas e outros.

A maioria dos trabalhos científicos nessa área de usinagem de corte de precisão está voltada para o corte do silício, usando *dicing saw*. Pouco se sabe sobre o desempenho do corte de outros materiais. Tendo em vista a crescente aplicação do processo de usinagem de corte de precisão na fabricação de diferentes produtos, como: sensores cerâmicos, multicamadas e camada simples, sensores piezoelétricos e outros se faz necessário o estudo de desempenho para outros materiais. Nesse trabalho, o estudo do corte abrasivo foi aplicado em substratos de alta alumina.

Os produtos cortados por *dicing saw* tem sua geometria gerada pelo corte abrasivo e os defeitos gerados neste processo tem influência direta na qualidade e desempenho do produto. Defeitos como trincas, lascas, desvios de linearidade e cortes inclinados podem alterar significativamente a leitura ou processamento de informação do produto final. Para estes produtos modernos a manutenção da integridade deve ser atendida com altas taxas de produtividade e no limite de operação falhas podem ser geradas e são dependentes de propriedades e

características dos: materiais; forças de corte (muito altas); tamanho do grão abrasivo do disco de corte; concentração do grão abrasivo no disco; tipo do elemento de liga do disco (resinóide, vítreo ou metálico); profundidade de corte; velocidade periférica do disco abrasivo; velocidade de avanço do disco abrasivo; contaminação do disco abrasivo; refrigeração; remoção do cavaco. ⁽⁵⁻⁶⁾

Alguns materiais quando submetidas ao processo de corte seguem padrões de trincamento e lascamento⁽⁵⁾. Esse trabalho verifica esses defeitos, porém não os classifica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi elaborada uma metodologia para o estudo do corte de corpos de alta alumina. A alumina foi selecionada devido a sua elevada fragilidade, alta dureza baixo custo. Suas propriedades e manufatura são amplamente divulgadas que a torna um material considerado universal para o enfoque deste trabalho.

Matéria prima e manufatura

Corpos de prova com 99,8% de alumina preparadas a partir de pós com adição de 1 vol% de PVAI e 1 vol% de poliacrilato de amônia (dispersal 130) em moagem de bolas via úmida. O pó seco foi prensado uniaxialmente à 80MPa seguido de prensagem isostática a 100MPa e sinterizados à 1600°C com 2 horas de patamar. Foi empregada a Alumina Calcinação A1000-SG, (Almatis, Inc.) com diâmetro médio equivalente de partícula de 0,4 μm , área superficial de 7,7 m^2/g , ρ_{real} : 3,99 g/cm^3 . O formato e dimensões à verde dos corpos de prova são blocos de 40x40x10mm. Resultando em blocos de aproximadamente 34x34x8,5mm (Figura 01).

Preparação dos corpos de prova

Dois grupos de nove peças foram aderidos sobre um bloco metálico de aço ferramenta temperado e retificado com desvio máximo de paralelismo de 1 μm entre as faces, sendo que uma das faces foi ranhurada para penetração e dispersão do adesivo (Figura 01). Foi utilizada como adesivo uma termocera composta por Breu (50 %); de parafina (25 %) e de cera de abelha (25%) (% em peso). As duas faces (34x34mm) dos corpos de prova foram retificadas para garantir homogeneidade dimensional e planicidade (Figura 1). Foi utilizado rebolo de diamantado de liga resinóide tamanho médio de grãos de 91 μm e concentração de 0,66g/cm³, com as

seguintes condições de remoção: velocidade periférica do rebolo 27m/s, velocidade de avanço do rebolo 3mm/min e profundidade de 0,05mm por passe.

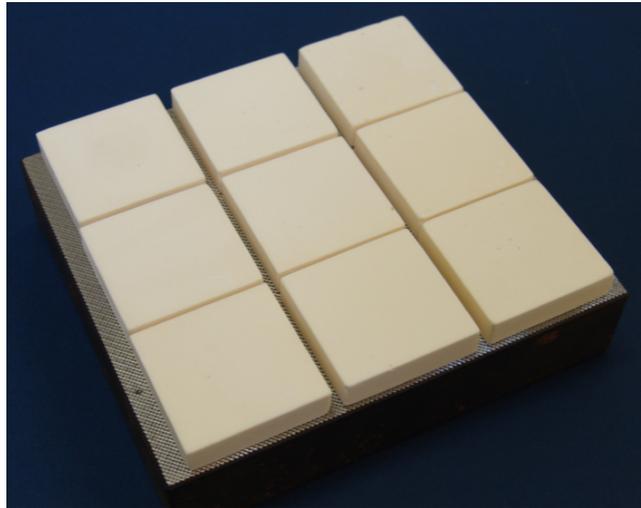


Figura 1 – Disposição das peças sobre base metálica para retificação.

Planejamento e ensaios de corte

Para os experimentos de corte foi selecionado o disco com as características apresentadas na Tabela 1. Os corpos de prova receberam uma numeração e uma letra para ordenação e orientação do corte. Foi definido que os cortes seriam feitos paralelamente à face definida pela letra A (Figura 2).

Tabela 1 – Características do disco de corte abrasivo

Características disco de corte abrasivo	
Diâmetro Externo	57,15mm
Espessura	0,254 ± 0,010mm
Tamanho do grão	54 μm
Resina	Para materiais cerâmicos e cristalinos

Em cada corpo de prova, os seguintes parâmetros foram variados: velocidade de rotação do disco (**w**); profundidade de corte (**p**); velocidade de avanço (**v**). Mede-se o desgaste do disco (**d**), rugosidade superficial (Ra e Rrms) e potência de corte expressa pela corrente elétrica do motor (A).

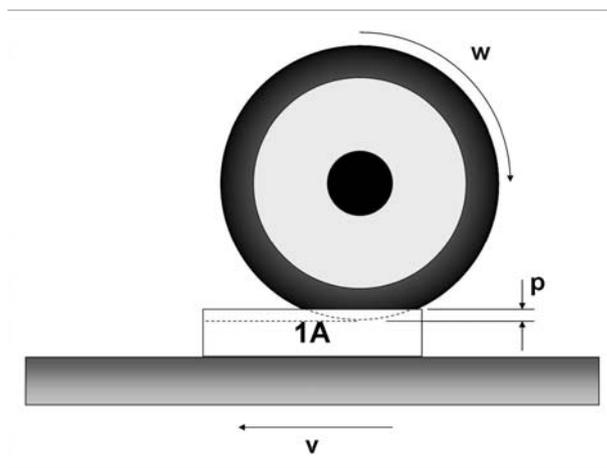


Figura 2 – Condições de corte.

As condições de corte estão apresentadas na Tabela 2 sendo que para os corpos de prova 01 ou 10 é mostrado todo detalhamento do ensaio, para os copos de prova de 02 a 09 as informações estão concentradas. A Figura 3 apresenta os parâmetros de corte variados para cada seguimento.

Tabela 2 – Parâmetros experimentais

Corpo de Prova	Teste	Velocidade de rotação do disco (w) (RPM)	Profundidade de corte (p) (mm)	Velocidade de avanço (v) (mm/s)
01	1 ^a	30.000	1	1
	1B			3
	1C			5
	1D			7
	1E			9
	1F			11
	1G			13
	1H			15
02	2A...2H	20.000	2	1.....15
03	3A...3H		3	1.....15
04	4A...4H		10.000	1
05	5A...5H	2		1.....15
06	6A...6H	3		1.....15
07	7A...7H	10.000	1	1.....15
08	8A...8H		2	1.....15
09	9A...9H		3	1.....15
10	17I	10.000	3	17
10	17J*			19

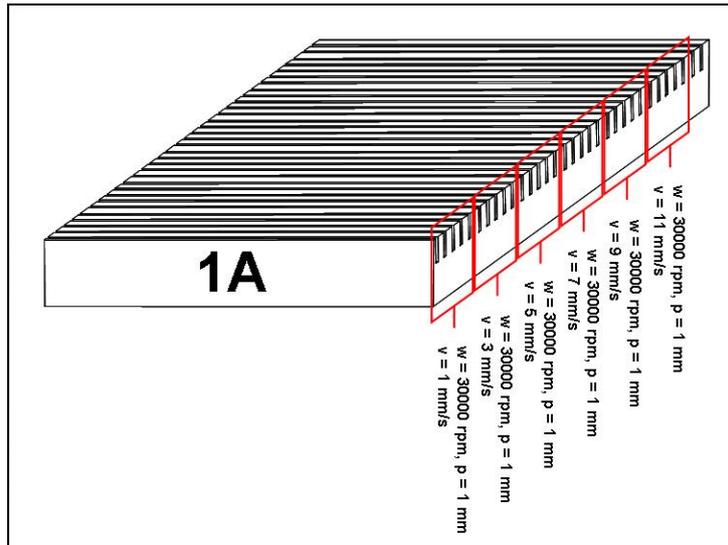


Figura 3 – Peça cortada

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram divididos em dois grupos principais a caracterização dos corpos de prova e desempenho do corte.

Características dos corpos de prova em alumina

Na tabela 3 são apresentados o valor da retração linear média, porosidade aparente, porosidade total e razão de densificação dos corpos de prova.

Tabela 3 – Dados sobre retração e densidade das barras após sinterização

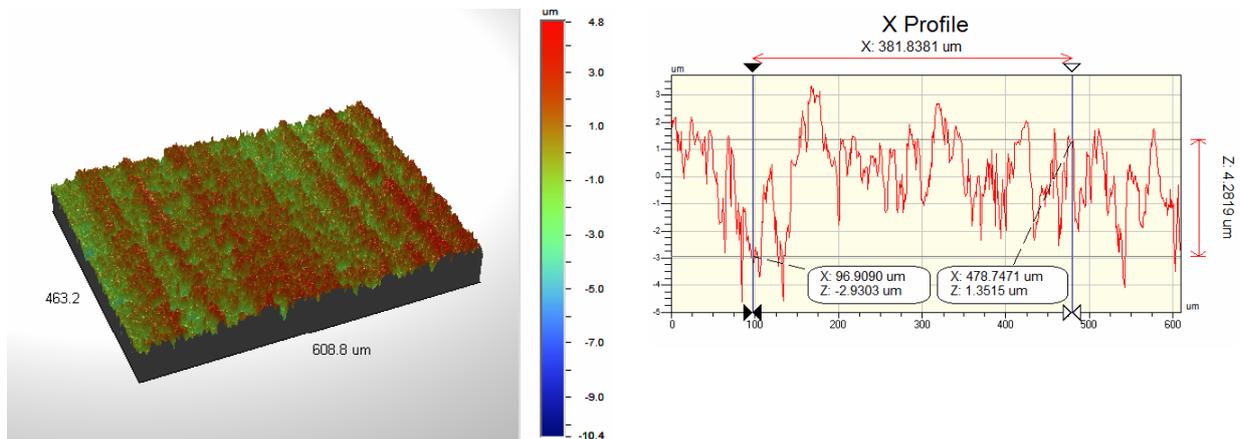
Retração Linear (%)	Porosidade Aparente (%)	Porosidade Total (%)	Densidade Total /Densidade Teórica (%)
15,12±0,14	0,54 ± 0,05	3,88	96,12 ± 0,017

A porosidade em torno de 4% é relativamente alta e pode ser devida a baixa pressão isostática (100 MPa) e a temperatura de sinterização também relativamente baixa para alumina 99,8% (1600°C-2h). Na observação das imagens por microscopia eletrônica de varredura da superfície, após o corte, deve ser considerada esta porosidade pré-existente.

Desempenho de corte - Análise de Imagens

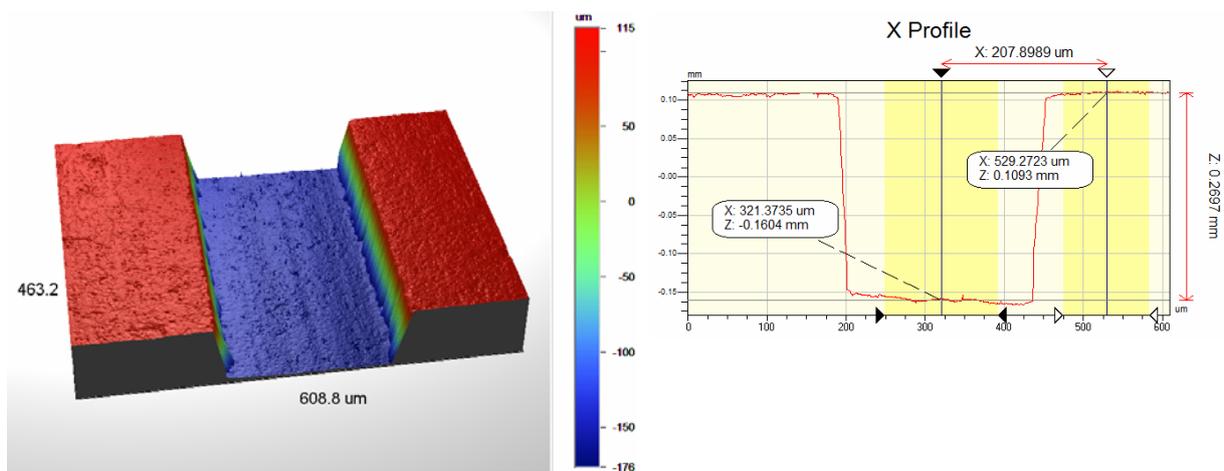
A Figura 4 apresenta as imagens de um corpo de prova retificado antes e após o corte. A Figura 4a) apresenta a imagem tridimensional da superfície retificada antes do corte e em b) o perfil da seção transversal desta superfície, nela a

rugosidade medida usando filtro passa alto foi de $Ra=0,233 \mu\text{m}$ e $Rrms= 0,355 \mu\text{m}$. A Figura 4c) mostra a imagem tridimensional da superfície com o canal gerado após o corte com profundidade programada de 0,3mm. No vale do canal foi medido $Ra=0,180 \mu\text{m}$ e $Rrms= 0,290 \mu\text{m}$. As medidas demonstram que o corte melhora o acabamento superficial relativo ao obtido na retificação.



a)

b)



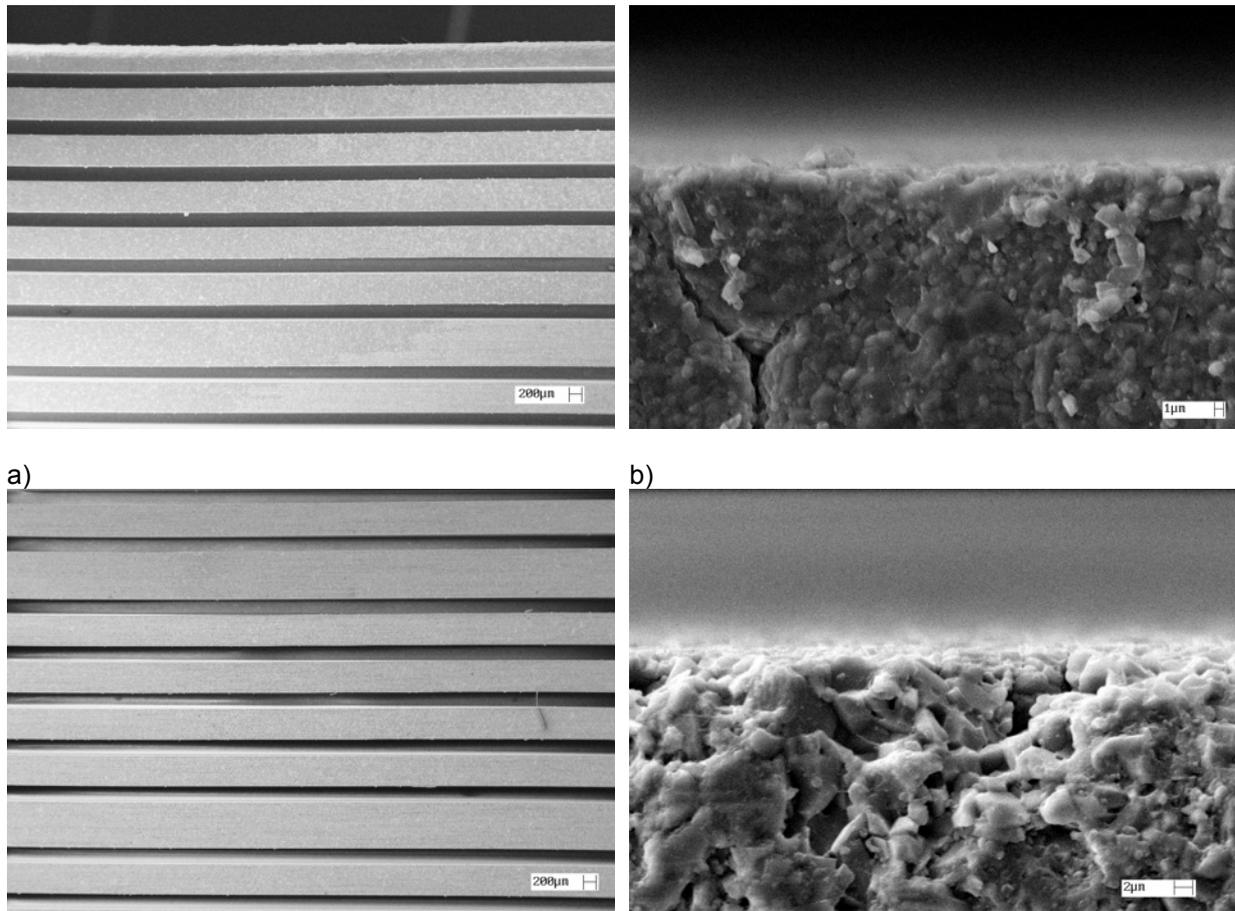
c)

d)

Figura 4 – Corpo de prova em a) após retificação da superfície, em b) perfil transversal à direção de corte, em c) superfície após um canal de corte com profundidade $\sim 0,3\text{mm}$ e em d) perfil transversal à direção de corte

Das condições experimentais, foram selecionados os experimentos 1A e 9H para aquisição de imagem. A Figura 5 mostra a peça 01 após sucessivos cortes 1A (a) e 9H(c) e em detalhe a aresta de corte da 1A (b) e 9H (d). É observado que a amostra 1A em condições de corte de menor agressividade mantém a integridade da aresta quando comparado com a 9H que é notado fratura de grandes proporções na forma intergranular. Com relação à linearidade observa-se que na condição mais

agressiva (9H) observam-se desvios no perpendicularismo dos canais observados pelo sombreamento da superfície lateral dos canais.



a) b)
c) d)
Figura 5 – Experimento 1A, em a) imagem dos 5 corte 1A e início do corte 2A, em b) detalhe da aresta de corte.

As medidas do perfil e rugosidade das amostras 1A e 9A são mostradas na Figura 6, em a) o perfil do corte 1A e em b) o perfil longitudinal do corte 1A próximo ($1\mu\text{m}$) da aresta, onde é observado $R_a = 0,15\mu\text{m}$ e $R_{rms} = 0,23$; em c) o perfil do corte 9H e em d) o perfil longitudinal do corte 9H próximo ($1\mu\text{m}$) da aresta, onde é observado $R_a = 0,42\mu\text{m}$ e $R_{rms} = 0,64$. As medidas obtidas pelo perfilômetro comprovam a imagem de perda de integridade superficial observada pela imagem de MEV (Figura 5).

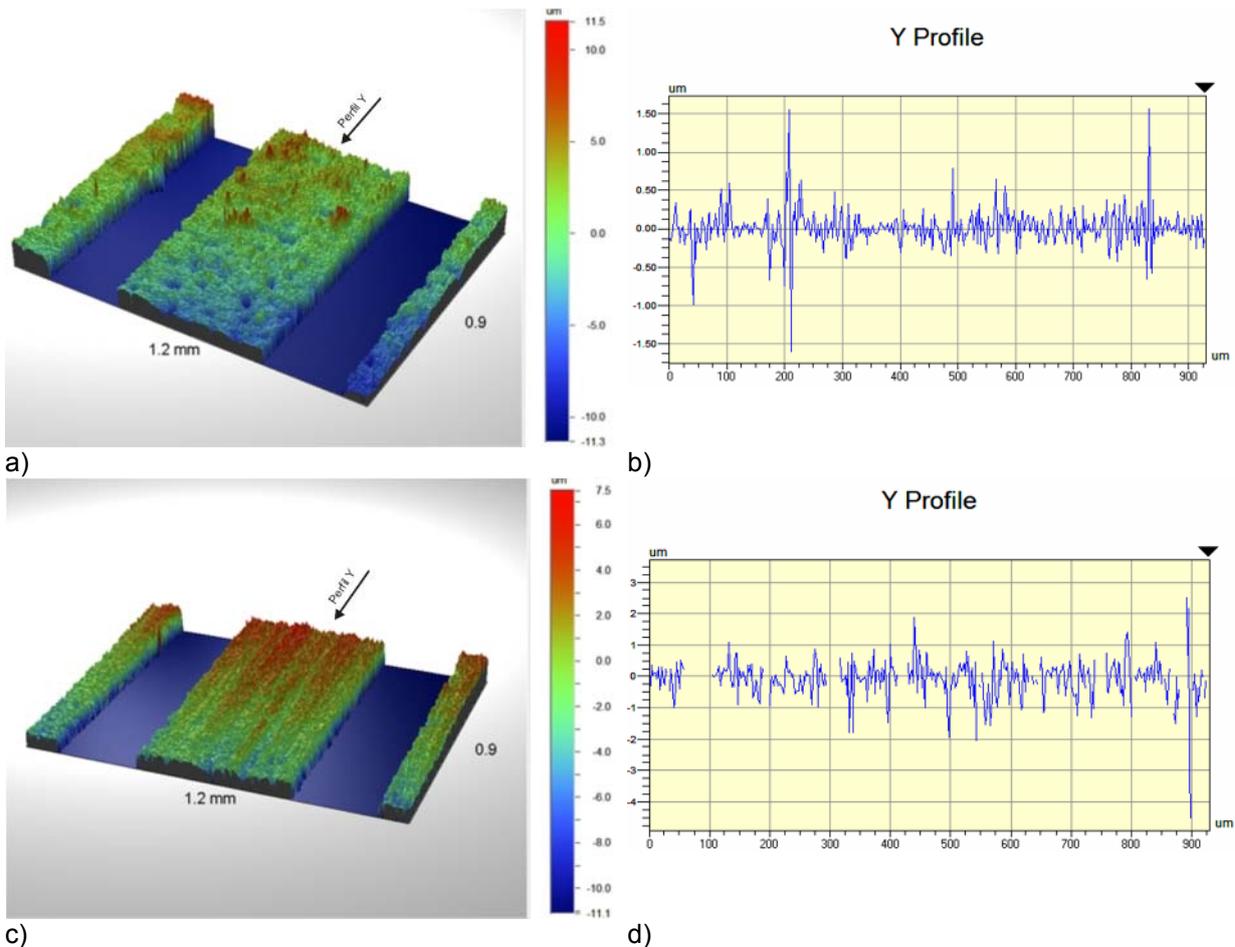


Figura 6 – Perfis e medidas de rugosidade, em a) e b) teste 1A e em c) e d) teste 9H.

Desempenho de corte - Desempenho do disco

Mediu-se o desgaste do disco de corte em função da a velocidade de avanço do disco mostrado na Figura 7.

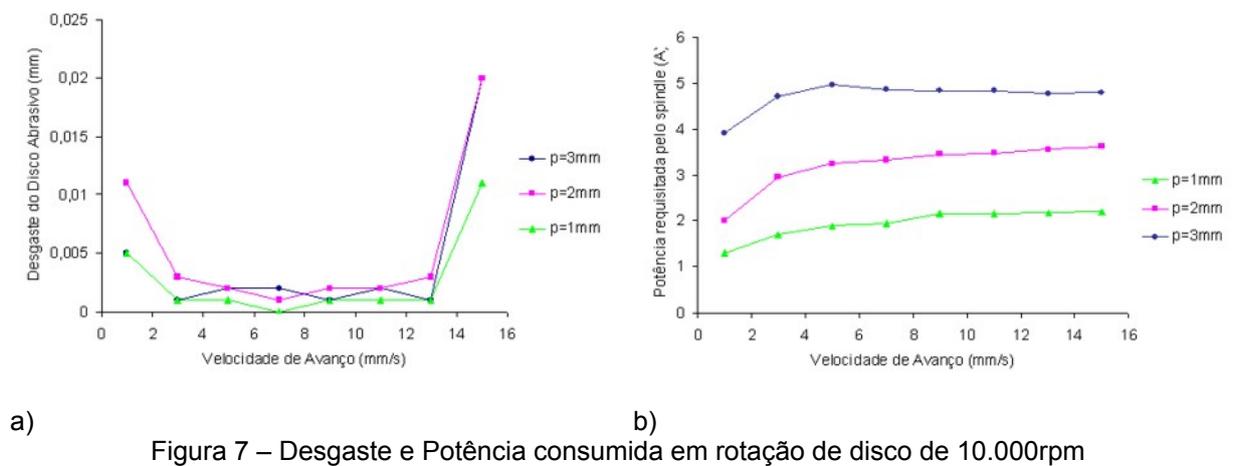
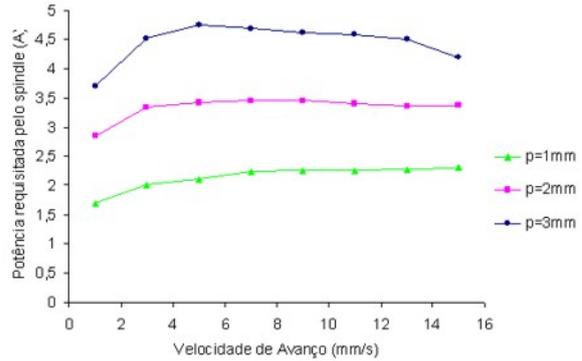
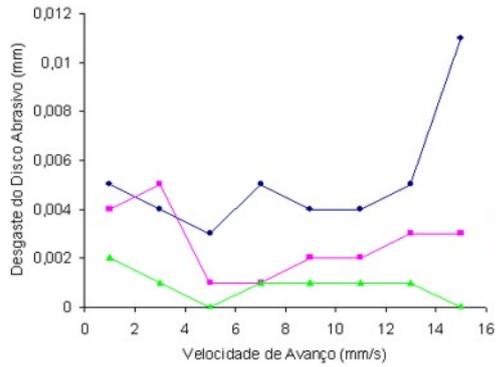


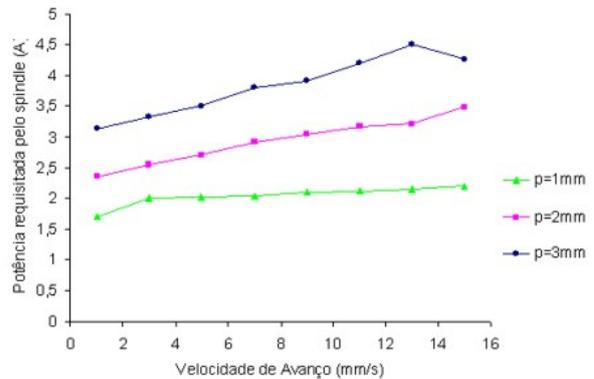
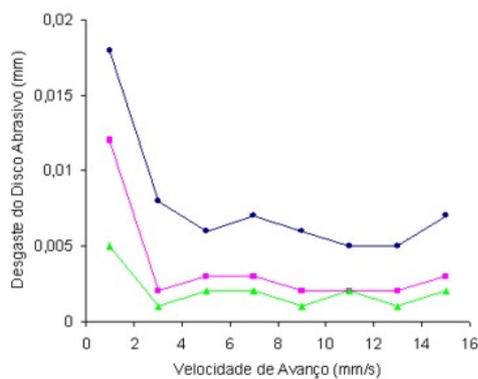
Figura 7 – Desgaste e Potência consumida em rotação de disco de 10.000rpm



a)

b)

Figura 8 – Desgaste e Potência consumida em rotação de disco de 20.000rpm



a)

b)

Figura 9 – Desgaste e Potência consumida em rotação de disco de 30.000rpm

Combinando o desgaste médio das três profundidades de corte (p) em cada faixa de velocidade de rotação (w) do disco abrasivo têm-se o desempenho mostrado pela Figura 10.

Foram encontrados parâmetros que ofereceram condição extrema para a integridade do disco de corte com desvios de retilinearidade e perpendicularismo acarretando na quebra do disco, ensaio 17J. A Figura 11 a) ilustra que já no momento de entrada do disco no corpo de prova houve o desvio de perpendicularismo demonstrando que a força de corte atuando sobre o disco superou sua rigidez fazendo a lâmina exposta do disco se curvar e assim penetrar inclinada. Na Figura 11b) é observado a consequência deste inclinação de entrada que acarretou na perda de linearidade do corte e quebra do disco.

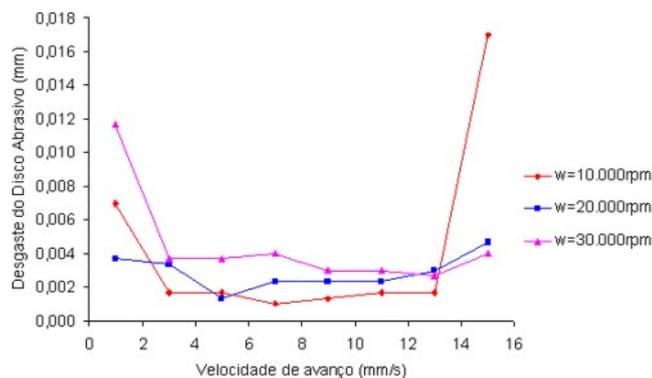


Figura 10 – Desgaste médio do disco abrasivo



a)



b)

Figura 11 - Corte em desvio, em a) vista frontal de entrada do rebolo e em b) vista superior.

CONCLUSÕES

A agressividade de corte (w , p e v grandes) pode acarretar danos na qualidade do corte e integridade do substrato a ser fatiado. Foi observado que, antes da perda de linearidade, já havia sido constatado danos na aresta de corte do substrato.

Os experimentos mostraram que ao se aproximar da condição limite de agressividade o disco teve seu desgaste muito acentuado, podendo ser um bom parâmetro de avaliação do desempenho de corte.

O aumento do desgaste do disco tem comportamento similar ao aumento da amperagem do *spindle* (potência requerida). Velocidades de avanço menores que 5 mm/s e maiores que 13 mm/s apresentaram regiões de comportamento instável, e, o aumento da instabilidade foi maior quanto menor a rotação testada. Nesse experimento, a rotação de 30.000 rpm apresentou maior estabilidade quanto às variações não controladas do processo e de material.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) MIZUNO, M.; IYAMA, T.; ZHANG, B., Analysis of the sawing process with abrasive circular saw blades. **Journal of Manufacture Science and Engineering**, v.130, p011012-1 – 011012 – 15, 2008.
- (2) EFRAT, U., Optimizing the wafer dicing process. **Fifteenth IEEE/CHMT Int. Electronics Manufacturing Technology Symposium**, p245 – 253, 1993.
- (3) CHEUNG, A. T. Dicing Advanced Materials for Microelectronics. **Advanced Packaging Materials: Processes, Properties and Interfaces, International Symposium**, p149 – 152. 2005.
- (4) PERROTET, D.; DURANT, P.; RICHERZHAGEN, B. Water-jet-guided laser technology a damage free dicing solution. **Adv. Packaging**, v15, n.6, p24-26, 2006.
- (6) KIM, S.; LEE, E.; KIM, N.; JEONG, H. Machining characteristics on the ultra-precision dicing of silicon wafer. **Int. J. of Adv. Man. Tech.**, v. 33, p662 – 667. 2007.
- (6) LUO, S. Y.; WANG, Z. W. Studies of chipping mechanisms for dicing silicon wafer. **Int. J. of Advanced Manufacturing Technology**, v. 35, p1206 – 1218, 2008.

PRECISION DICING OF HARD MATERIALS WITH ABRASIVE BLADES

ABSTRACT

The present work shows the experiments on dicing of high alumina substrates using abrasive blade. The technology used by modern electronic components is based on narrow and thin ceramic and single crystals substrates. One of the techniques to obtain these products is to dice a larger substrate using an abrasive blade to generate low damages and high productivity (dicing process). Samples with high alumina (99,9%) were diced by abrasive blades (diamonds) in "creep feed" process, changing cutting depth from 1 to 3 mm, feed speed from 1 to 19 mm/s and blade speed 10.000, 20.000 and 30.000 rpm. The information monitored on this experiment were the blade wear, the linearity and quality of dicing. Higher blade speed increases the blade stiffness and on these experiments, 30.000 rpm performed a more stable process.

Key words: alumina, dicing, dicing saw, dicing machine.