

MATERIAIS CERÂMICOS PARA ABRASIVOS MICROFORMADOS: MICROESTRUTURA, APLICAÇÕES E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

^{1,2}Fernanda B. Gonçalves, ²Marcelo Yuiti Sasaki, ¹Rafael Salomão

1) Universidade Federal do ABC
Programa de Pós-Graduação em Nanociências e Materiais Avançados
Rua da Catequese, 242 09090-400 Santo André, SP - Brasil

2) Saint Gobain Abrasivos
Rua João Zacharias, 342 07111-150 Guarulhos, SP - Brasil

fernanda.goncalves@saint-gobain.com ou rafael.salomao@ufabc.edu.br

RESUMO

Diversas operações industriais requerem uma etapa de acabamento superficial envolvendo lixamento, já que nem sempre um determinado aspecto de superfície específico pode ser obtido diretamente no processo produtivo, como ocorre na maioria das peças metálicas produzidas por fundição em moldes de areia, por exemplo. Devido às necessidades de efeitos visuais, redução da tensão residual da superfície e de otimização de processos e produtos, novos tipos de abrasivos, com melhor desempenho e durabilidade, têm sido desenvolvidos. Uma classe que vem recebendo constantes aprimoramentos tecnológicos é a dos abrasivos com grãos microestruturados e microformados. Eles são produzidos a partir de material particulado fino, aglutinado com resinas, formando uma textura uniforme. Entre outras vantagens, destacam-se: maior reprodutibilidade e durabilidade. Este trabalho apresenta uma breve descrição do processamento desses materiais, aspectos dos materiais cerâmicos empregados em sua produção e uma comparação com os abrasivos convencionais (produzidos a partir de grãos eletrofundidos monolíticos).

Palavras-chave: abrasivos microestruturados, abrasivos microformados, desgaste, inovação, lixamento.

1. INTRODUÇÃO

A grande maioria dos processos industriais possui uma etapa de acabamento que envolve operações de abrasão, como o lixamento. Processos de desgaste por abrasão podem ser descritos como uma operação na qual novas superfícies são geradas, utilizando-se de ferramentas abrasivas.^(1,2) Elas são necessárias devido às diferenças nos processos de confecção de peças, que nem sempre têm o seu

acabamento superficial realizado de maneira adequada. Devido ao fato de as lixas terem diversas aplicações, ela é a ferramenta abrasiva mais utilizada nas indústrias, sendo que sua aplicabilidade ainda tem grande potencial de crescimento.

A história do uso dos abrasivos se originou há milhares de anos. As ferramentas produzidas pelo homem primitivo utilizaram algum tipo de abrasivo. Os primeiros abrasivos utilizados foram as rochas naturais, como o quartzo e a areia. Com o crescimento das atividades industriais tornou-se necessária a obtenção de grãos abrasivos de características controladas e reprodutíveis.^(3,4) As lixas são ferramentas de corte largamente empregadas nos mais variados tipos de indústria e aplicações, executando desde o trabalho de desbaste até o de polimento por abrasão. Elas são basicamente constituídas de uma base, de adesivos para fixação e de grãos abrasivos.^(1,5) Em geral, esses grãos são feitos de materiais cerâmicos devido à sua elevada dureza. O desempenho da lixa depende fundamentalmente das propriedades individuais de seus componentes e de uma interação adequada entre eles. O entendimento das características de um grão abrasivo e de suas condições de uso torna possível controlar os processos de desgaste.^(1,6,7) Para entender essas relações, este trabalho apresenta uma revisão sobre os vários grãos cerâmicos usados como abrasivos relacionando sua microestrutura e propriedades.

2. GRÃOS ABRASIVOS

Os grãos abrasivos são responsáveis pela remoção de material durante as operações de lixamento. Em geral, eles são obtidos por meio da moagem de grandes blocos de material cerâmico eletrofundido ou sinterizado, dependendo da sua composição e aplicação, sendo em seguida classificados a partir do tamanho do grão, momento no qual é definida a sua granulometria.⁽³⁾ Nas aplicações abrasivas, os grãos apresentam uma variação de tamanho médio de partícula bastante estreita. Esse ponto é de grande importância para se controlar a profundidade dos riscos e cortes produzidos durante o processo. Além da granulometria, a aplicação de grãos abrasivos em lixas requer atenção especial a quatro características importantes (i) dureza; (ii) tenacidade; (iii) resistência química e (iv) friabilidade.^(1,7)

A dureza de um material corresponde à resistência à ação do risco ou desgaste, devido ao movimento relativo entre duas superfícies. Essa propriedade, em muitos casos, é associada diretamente ao módulo elástico ou de Young dos materiais.^(8,9) No entanto, em grãos cerâmicos, a dureza também possui uma

componente relacionada à tensão de ruptura que pode ser fortemente afetada pela presença de defeitos internos (como contornos de grão e poros). Pode ser medida em escalas comparativas entre materiais que se riscam ou não (como na escala de Mohs) ou valores absolutos, a partir da comparação com uma única referência padronizada (escalas Vickers, Brinel ou Knoop). É devido à sua grande dureza que os grãos abrasivos podem ser utilizados para riscar ou cortar outros materiais.^(8,9)

A tenacidade é uma medida da quantidade de energia gasta para romper o grão abrasivo sob uma condição de impacto, ou seja, resistir a impactos sob a ação dos esforços de choque. Pode ser medida com testes de impacto (tipo Izod ou Charpy) ou ensaios de flexão em 3 pontos. Lixas produzidas com grãos tenazes podem resistir mais a impactos sob a ação dos esforços de choque, sem perder o poder de corte, sendo indicadas, principalmente, para operações de elevadas pressões de trabalho.^(4,8,9)

A resistência química dos grãos abrasivos deve ser elevada, já que em alguns casos, as operações de lixamento podem gerar grande quantidade de calor devido ao atrito. Esse aquecimento pode causar reações químicas prejudiciais às propriedades da lixa entre os grãos e o oxigênio (em especial nos grãos não-óxidos como o carbetto de silício) ou com o material que está sendo lixado.

A friabilidade pode ser definida como a facilidade dos grãos de se fraturarem em pedaços, gradualmente, sob uma determinada força ou impacto, possibilitando a existência constante de arestas cortantes sobre a superfície da lixa, sem que apresente desgaste demasiadamente acelerado.^(10,11) A avaliação da friabilidade dos abrasivos é realizada por meio de teste de moagem padronizado que indica o grau de fragmentação dos grãos. O teste consiste em manter os grãos no interior de um moinho de bolas ou martelos por um determinado tempo, sob uma determinada energia de atuação, por um intervalo de tempo padronizado. Em seguida, os grãos são colocados sobre uma malha com abertura inferior ao tamanho inicial dos grãos. A relação entre a massa de grãos não rompidos e daqueles que atravessaram a tela representa o índice de friabilidade.⁽⁴⁾

O índice de friabilidade também pode ser usado para comparar grãos com uma mesma composição química, mas com diferentes tamanhos de partícula ou microestrutura. Em geral, grãos finos do mesmo material são menos friáveis, uma vez que são produzidos por moagem usualmente de material mais grosso. Esse efeito pode ser explicado pelo fato de que, durante a moagem e redução do tamanho

de partícula do material, a concentração de defeitos críticos em sua estrutura diminui, aumentando a energia necessária para ruptura.⁽⁴⁾ Em relação à microestrutura, um importante exemplo a ser considerado é o caso da alumina eletrofundida branca e a alumina sinterizada ou tabular. No primeiro caso, a presença de grande quantidade de bolhas de ar no interior e na superfície dos grãos aumenta significativamente a friabilidade do material, porém reduz sua tenacidade; no segundo, a porosidade é significativamente menor e localizada no interior do grão, tornando-o mais tenaz e resistente ao desgaste. Nas seções a seguir cinco importantes tipos de grãos abrasivos são apresentados.

2.1 Carbeto de Silício (SiC)

O carbeto de silício é obtido por meio da reação de diferentes fontes de sílica (como areia e argila) e carbono (coque, alcatrão, grafite), utilizando-se fornos elétricos ou eletrodos de carbono. A temperatura de produção varia entre 1900 °C a 2400 °C e a duração do ciclo é de 36 a 40 horas. A cor do carbeto de silício varia desde um verde claro a um negro, em função das impurezas que contém.⁽³⁾ O grão em carbeto de silício é o mais duro e o mais afiado dos materiais usados em lixas. Devido a isso, os grãos abrasivos penetram rapidamente no material, removendo cavacos com maior agilidade.^(3,4) Sua elevada dureza e friabilidade são geralmente recomendadas para trabalhos na qual a pressão aplicada seja reduzida e em materiais dúcteis (como alguns metais não ferrosos e não metálicos), ou de baixa resistência mecânica (como mármore).

2.2 Óxido de Alumínio Marrom

A obtenção do óxido de alumínio marrom consiste na calcinação a 900°C da bauxita, seguida de uma segunda etapa que consiste na fusão realizada por meio da utilização de fornos do tipo cuba, onde se carrega a bauxita calcinada e misturada com pequena porcentagem de coque, ferro, além de Ti e MgO₂. A fusão ocorre a uma temperatura de 1900°C a 2000°C em um forno elétrico a arco por um período de 36 horas. Este forno possui dois eletrodos que, em contato com a bauxita estabelece o arco voltaico provocando a fusão da massa e a conseqüente obtenção do Al₂O₃. O óxido de alumínio tem cor marrom mais ou menos claro em função da posição dentro do bloco e do teor de TiO₂.⁽³⁾ Estes grãos são bastantes tenazes devido à reduzida porosidade interna e sua forma de cunha permite penetração

rápida sem fraturar-se ou desgastar-se excessivamente. Portanto, é utilizado em materiais de alta resistência mecânica como o aço e suas ligas.

2.3 Óxido de Alumínio Branco

O óxido de alumínio branco é obtido por meio do processo Bayer, que consiste em dissolver a bauxita em uma solução de soda cáustica em autoclave, obtendo-se em uma primeira fase, aluminato de sódio. Em seguida, esse aluminato é hidrolisado e o hidróxido de alumínio obtido é então calcinado em fornos rotativos, obtendo-se o óxido de alumínio com uma pequena quantidade de impurezas significativamente menor do que seu equivalente marrom. A alumina calcinada pode ser sinterizada (como será visto a seguir) ou eletrofundida em fornos a arco. Nesse caso, a alumina é eletrofundida em fornos a arco, o material formado possui como principal impureza o Na_2O . Sua presença é de grande importância para a friabilidade do material. Devido a seu baixo ponto de fusão e a sua solubilidade limitada na alumina, durante o resfriamento do bloco eletrofundido, pequenos domínios de Na_2O se formam entre os cristais de alumina, que favorecem a friabilidade do grão. Outra característica importante é a elevada porosidade interna desses grãos, formada por bolhas de ar que não conseguem deixar a massa fundida. Este abrasivo terá aplicação nas usinagens leves e em determinados materiais, especialmente nos aços tratados.⁽³⁾

2.4 Óxido de Alumínio Zirconado

O óxido de alumínio zirconado é obtido por meio da combinação do óxido de alumínio com o óxido de zircônio. São constituídos de cristais obtidos a partir da fusão da zircônia e da alumina à temperatura de cerca 1900°C, seguida de resfriamento. Este tipo de abrasivo é composto de alumina, óxido de zircônio em teores de 10, 15 e 40% e outros componentes em quantidades menores.⁽³⁾ O óxido de alumínio zirconado é recomendado em operações de desbaste pesado em metais e madeiras.⁽³⁾

2.5 Óxidos de Alumínio Tabular ou Sinterizado

Os grãos de óxidos sinterizados são obtidos por meio da prensagem e sinterização de partículas finas e ultrafinas. Essas partículas podem ser obtidas por meio de dois processos principais. 1) Por meio da moagem do óxido de alumínio calcinado ou eletrofundido. 2) Por métodos químicos tipo sol-gel, onde há a

formação de uma solução organometálica que é reduzida a uma composição final por vários tratamentos térmicos. Uma vantagem importante do processo sol-gel é que o produto obtido pode ser sinterizado em temperaturas mais baixas, em comparação com as temperaturas usadas nos processos convencionais.^(3,9) Após a sinterização, o produto obtido é bastante tenaz e denso, adequado para trabalho que exija grande esforço do grão abrasivo. Esses grãos abrasivos possuem uma estrutura cristalina bastante refinada derivada do processo de sinterização, conforme demonstrado na Figura 1c. Possuem dureza e resistência superiores quando comparados aos óxidos de alumínio obtidos pelo processo de eletrofusão. Indicado para o uso em materiais de difícil abrasão. Permitem resultados superiores em uma grande gama de aços carbono, ferro, metais não ferrosos como o titânio, ligas especiais e alguns aços inoxidáveis.



Figura 1. Fotos do grão óxido de alumínio sinterizado.

2.6 Considerações

Os diferentes grãos abrasivos, por possuírem diferentes características, são indicados para operações que exijam esforços distintos, conforme demonstrado na Figura 2. Para determinar o melhor grão abrasivo para uma operação é necessário conhecer sua aplicação. Em geral, o que caracteriza a agressividade de uma operação é a interação do abrasivo com a peça (tamanho do cavaco removido) e o tipo de material a ser lixado (resistência do material ao lixamento).⁽¹²⁾ Na Tabela I pode-se comparar as durezas e a friabilidade de alguns grãos abrasivos, pode-se notar que os grãos em óxido de alumínio possuem diferentes propriedades devido às características do seu processo de fabricação.

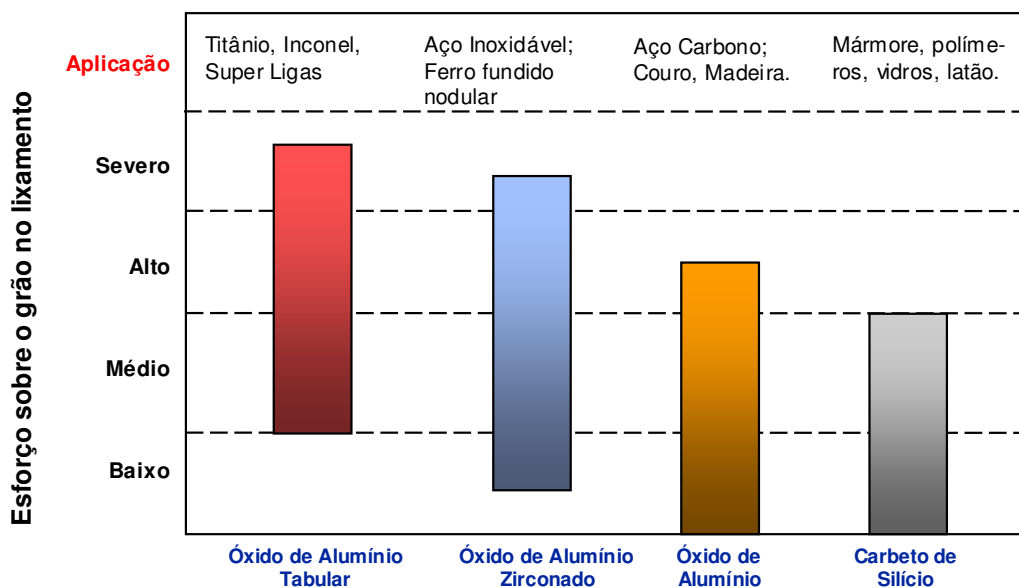


Figura 2. Esforço sobre o grão no lixamento X Tipo de grão abrasivo.⁽¹³⁾

Tabela I. Dureza e índice de friabilidade de diferentes grãos Al_2O_3 e SiC.⁽⁴⁾

Tipo de Grão	Dureza Knoop (kg/mm ²)	Índice de Friabilidade
Óxido de Alumínio		
Modificado (3% Cr)	2260	65.0
Branco	2120	56.6
Monocristalino	2280	47.7
Regular	2040	35.6
Microcristalino	1950	10.9
10% ZrO ₂	1960	10.9
40% ZrO ₂	1460	7.9
Sinterizado	1370	6.5
Carbetto de Silício		
Verde	2840	62.5
Preto	2680	57.2

3. TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS DE LIXAS

Os processos abrasivos e operações de lixamento tornam-se cada vez mais complexas uma vez que os processos produtivos já existentes melhoram a cada dia. Exigências de mercado, como a racionalização dos processos e a automação, resultaram em demanda por abrasivos mais confiáveis e com elevadas produções. Além da grande variedade de grãos abrasivos e de lixas convencionais, existem também maneiras diferentes e inovadoras de processá-las, o que amplia ainda mais os resultados positivos no processo de abrasão e que satisfaçam as necessidades das indústrias. De forma geral, as lixas convencionais são constituídas de um

costado, grãos abrasivos e de adesivos para fixação e revestimento do grão.⁽⁵⁾ O costado recebe a aplicação de adesivo, a deposição dos grãos abrasivos e outro adesivo para sustentar estes grãos no costado, conforme demonstrado na Figura 3.

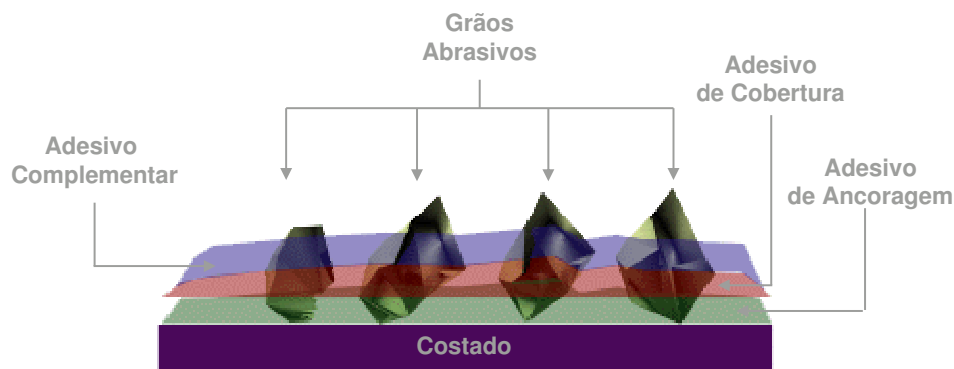


Figura 3. Esquema de uma lixa convencional.⁽⁵⁾

O processo convencional de fabricação de lixas possui certas limitações, entre elas podem-se citar: (i) a complexibilidade na fabricação de lixas para uso industrial em grãos muito finos; (ii) a dependência da friabilidade do grão para a remoção de material e (iii) a distribuição pouco homogênea dos grãos abrasivos no costado da lixa. Entre os novos processos produtivos desenvolvidos recentemente destacam-se dois principais: os abrasivos de grãos agregados e os abrasivos microformados.

3.1 Abrasivo de Grão Agregado

No abrasivo de grão agregado os grãos possuem uma aparência mais grosseira que aqueles utilizados nos abrasivos convencionais de mesma granulometria. Isso ocorre porque o grão agregado consiste em numerosos pequenos grãos de óxido de alumínio ou carbetto de silício aglutinados por uma resina uns sobre os outros, conforme Figura 4a. Este abrasivo é obtido primeiramente pela produção dos grãos aglutinados, que posteriormente são colocados sobre o costado da lixa e fixados por uma resina. Os grãos utilizados vão se desprendendo deste grão maior que devido às forças do processo de lixamento, libera uma nova aresta de corte, conforme demonstrado na Figura 4c.^(5,13) Esse mecanismo pode ser interpretado como um mecanismo de aumento de friabilidade artificial, mais controlado e eficiente que o observado nos grãos convencionais.

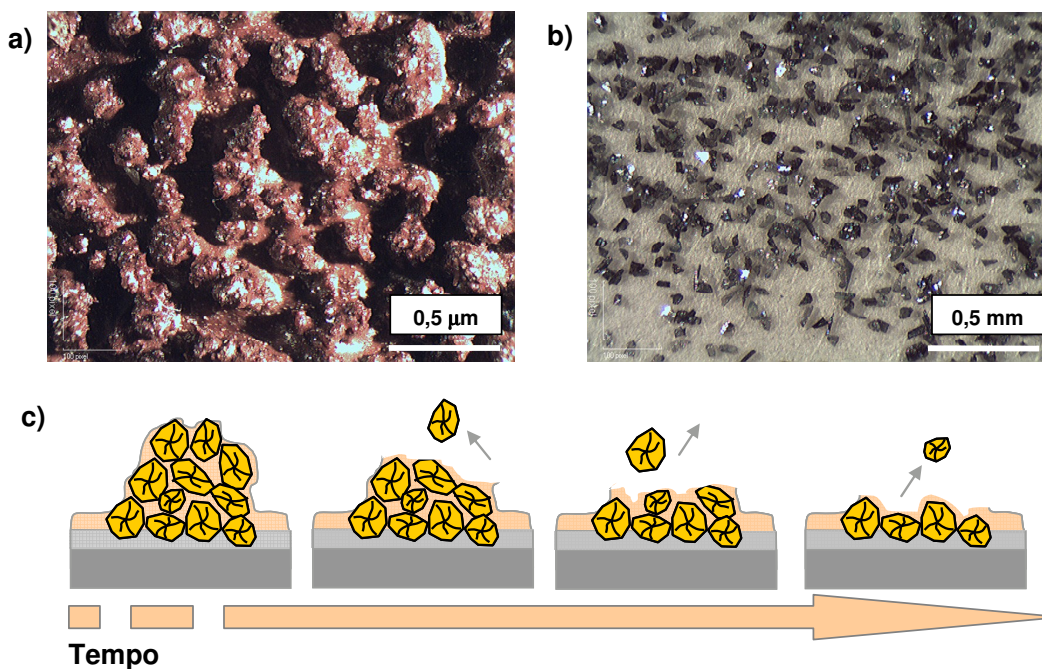


Figura 4. a) Lixa de grão agregado P120, b) grão abrasivo SiC P120 e c) simulação do processo de desgaste do grão agregado em função do tempo.

As lixas de grão agregado são ideais para processos de lixamento contínuos, pois possuem taxas de remoção mais constantes e proporcionam rugosidade superficial uniforme por toda a vida útil da ferramenta, conforme demonstrado na Figura 5.

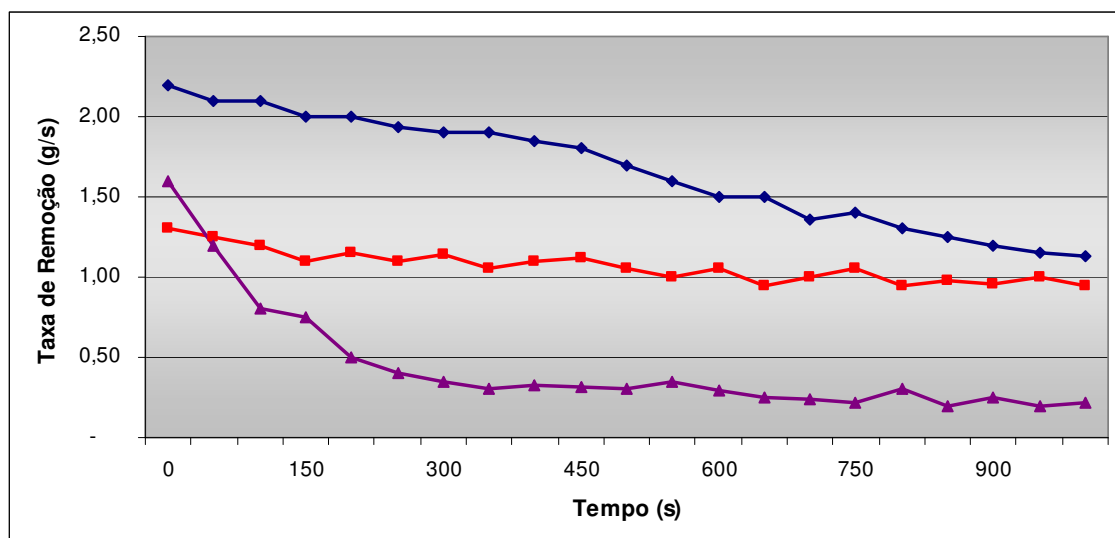


Figura 5. Gráfico Taxa de Remoção x Tempo.⁽¹³⁾

Pode-se considerar que a taxa remoção do abrasivo convencional e agregado são diferentes. Comparados com abrasivos convencionais, a tecnologia de grão agregado produz uma maior uniformidade das superfícies trabalhadas associado a um menor número de tempo de ajuste de máquinas devido ao seu maior rendimento. Eles proporcionam igualdade na profundidade dos riscos e, portanto maior igualdade na superfície das peças.^(5,13)

3.2 Abrasivo Microformado

Os abrasivos microformados são formados por grãos ainda mais finos que os utilizados nos abrasivos de grãos agregados e convencionais e um processo de conformação tridimensional que resulta em uma lixa que possui multi camadas com áreas de contato feitas sob medida, conforme demonstrado na Figura 6. Devido a isso, oferecem um melhor desempenho em relação aos abrasivos convencionais, na qual os grãos abrasivos são colocados aleatoriamente sobre o costado.^(5,13) À medida que estas estruturas microformadas se desgastam, surgem novas partículas de grão abrasivo com arestas cortantes, que asseguram um elevado desempenho e um acabamento uniforme, do início ao final da vida útil da lixa. As vantagens do abrasivo microformado sobre o abrasivo convencional são (i) maior durabilidade; (ii) constante substituição das arestas cortantes; (iii) acabamento superficial superior e consistente; (iv) alta flexibilidade; (v) menor descarte de material e (vi) cobre faixa de granulometria mais larga gerando redução do número de operações.^(5,13)

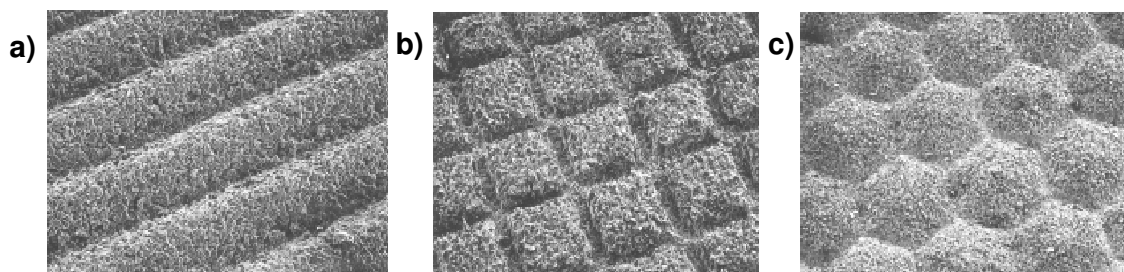


Figura 6. Diferentes padrões do abrasivo microformado. a) formato estriado, b) formato quadriculado e c) formato colméia.

Com a utilização do abrasivo microformado é possível obter um ótimo acabamento na peça obra, podendo eliminar o processo de polimento com massas abrasivas na maioria dos casos. O processo de acabamento com esta tecnologia é uma operação que considera a remoção superficial de material em quantidade quase desprezível, e em peças consideradas já acabadas dimensionalmente. Ela é

realizada para aumentar a vida útil da peça e melhorar seu funcionamento no conjunto geral do sistema a que estiver incorporado, proporcionando também um ótimo acabamento visual da peça. O abrasivo microformado pode ser produzido em três padrões diferenciados, na qual são designados para operações que exijam pressões de trabalho diferenciadas. Os segmentos de mercado que utilizam o abrasivo microformado são os que exigem ótimo acabamento (visual e com baixas rugosidades) como, por exemplo, próteses ortopédicas e instrumentos cirúrgicos.

4. CONCLUSÃO

A demanda de mercado por acabamentos mais uniformes e controlados, com bom desempenho e com custos mais acessíveis fez com que as lixas e abrasivos passassem a serem vistos como materiais de engenharia. Novos tipos de grãos e formas de conformá-los foram desenvolvidos, pois a existência dos grãos e processos atuais já não satisfazia as necessidades tecnológicas, como por exemplo, a necessidade de rugosidades muito baixas. Diversos fatores podem ser considerados, no entanto, de forma geral o bom desempenho de uma lixa depende não somente do grão adequado, mas de uma atuação harmônica entre seus componentes e da seleção adequada da lixa. A escolha ideal do abrasivo em relação o tipo de aplicação, o material a ser trabalhado e a exigência do processo permitem processos de lixamento mais precisos, obtendo como resultados melhor desempenho, maior eficiência e menores custos para a indústria na qual esta sendo utilizado.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Saint-Gobain Abrasivos Ltda e em destaque o Departamento de Pesquisa & Desenvolvimento e Engenharia de Aplicação pelo suporte fornecido a este trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- 1 AMERICAN SOCIETY FOR METALS INTERNATIONAL.; AGGEN, G.; AKSTENS, Frank W.; ALLEN, C. Michael; AVERY, H. S.; BABU, P.; BAYER, Alan M.; BELLO, Felix; BHAT, Shrikan P.. ASM. **ASM handbook**. USA: ASM International, c1998, Friction, lubrication, and wear technology. v. 18.
- 2 Matthieu Barge, Joel Rech, Hedi Hamdi, Jean-Michel Bergheau. **Experimental study of abrasive process**. Wear, v. 264, p. 382–388, 2008.

- 3 NUSSBAUM, Guillaume Ch. **Rebolos & abrasivos: tecnologia básica**. São Paulo: Ícone, c1988. 503 p.
- 4 S. MALKIN. **Grinding Technology: theory and applications of machining with abrasives**. Ellis Horwood Limited, 1989.
- 5 Apostila de Treinamento. **Conhecendo Produtos, Serviços e Aplicações**: Saint-Gobain Abrasivos Ltda, 2008.
- 6 RABINOWICZ, Ernest. **Friction and wear of materials**. New York ; London: John Wiley, 1966, c1965. 244 p.
- 7 SCHEY, John A. **Tribology in metalworking: friction, lubrication and wear**. Ohio: ASM International, c1983. 736 p.
- 8 CALLISTER JÚNIOR, William D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Sergio Murilo Stamile Soares (Trad.). 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
- 9 JAMES F. SHACKELFORD; **Introduction to Materials Science for Engineers**; Prentice Hall; 6 ed, 2004.
- 10 Pagani C, Miranda C B, Bottino M C **AVALIAÇÃO DA TENACIDADE À FRATURA DE DIFERENTES SISTEMAS CERÂMICOS** J Appl Oral Sci 2003; 11(1): 69-75
- 11 E. C. Bianchi, P. R. de Aguiar, E. J. da Silva, C. A. de Freitas, A. R. R. Bianchi **Avaliação do desempenho de corte de diferentes grãos adiamantados** Cerâmica 50 (2004) 362-367.
- 12 SUBRAMANIAN, K. **The System Approach**. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, 2000.
- 13 Apostila de Treinamento. **Operações de Lixamento em Metalurgia**: Saint-Gobain Abrasivos Ltda, 2006.

CERAMIC MATERIALS FOR MICROFORMED ABRASIVES: MICROSTRUCTURE, APPLICATIONS AND TECHNOLOGICAL INNOVATION

ABSTRACT

Currently the most industries seek more efficient processes in order to reduce costs and improve quality of their goods. Some of these processes involve abrasion and sanding is the most used among them. It is necessary due to the surface finishing requirements that some parts present because previous manufacturing steps did not offer the suitable visual aspect or geometry. Due to these needs, new processes involving the production of sandpapers have been developed, including different types of abrasives grains as well as novel assembling methods. Micro-formed abrasives are an innovative class of sandpapers, which advantages include better reproducibility, performance and durability when compared to conventional ones. This paper presents a brief description of the new technologies for ceramic abrasive grains employed in the production of sandpapers.

Key-words: micro-structured abrasives, micro-formed abrasives, wear, innovation, sanding.