

MODIFICAÇÕES SUPERFICIAIS NA USINAGEM POR ABRASÃO DE FLUORETO DE LÍCIO

Henara Lillian Costa

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campus Santa Mônica, Bloco 1R, CEP 38400-902, Uberlândia, MG, Brasil.

e-mail: ltm-henara@ufu.br

Wagner de Rossi

Instituto de Pesquisas Energéticas - IPEN, Centro de Lasers e Aplicações – CLA, Cidade Universitária "Armando Salles de Oliveira", Travessa R 400, CEP 05508-900, CP 11049, São Paulo, SP, Brasil

e-mail: wderossi@baitaca.ipen.br

Sônia Licia Baldochi

Instituto de Pesquisas Energéticas - IPEN, Centro de Lasers e Aplicações – CLA, Cidade Universitária "Armando Salles de Oliveira", Travessa R 400, CEP 05508-900, CP 11049, São Paulo, SP, Brasil

e-mail: wderossi@baitaca.ipen.br

Alberto Arnaldo Raslan

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campus Santa Mônica, Bloco 1R, CEP 38400-902, Uberlândia, MG, Brasil.

e-mail: ltm-raslan@ufu.br

Resumo. *O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial da técnica de usinagem por abrasão ultrassônica no processamento mecânico de monocristais de fluoreto de lítio (LiF). Um bloco monocristalino de LiF foi cortado em lâminas usando-se disco de corte diamantado. As lâminas produzidas foram submetidas a processo de usinagem por abrasão ultrassônica. Foi usada uma ferramenta de geometria tubular, fabricada com aço inoxidável austenítico. A mistura abrasiva foi feita com carboneto de silício de granulometria 1000 mesh diluído em água. Foram obtidas amostras de geometria cilíndrica, sem a ocorrência de clivagem. O acabamento superficial foi avaliado com medidas de rugosidade e comparado com resultados obtidos em amostras cortadas com disco diamantado. O corte com disco produziu uma superfície com melhor acabamento que a usinada por abrasão ultrassônica. A microscopia eletrônica de varredura foi usada na avaliação da integridade superficial e mecanismos de desgaste atuantes. O mecanismo de desgaste predominante foi o micro-lascamento. Com a viabilidade do uso da técnica de usinagem por abrasão ultrassônica no processamento mecânico do LiF, abre-se a perspectiva de utilizá-la na obtenção de componentes com diferentes geometrias e com boa qualidade superficial.*

Palavras chave: *Fluoreto de lítio, Usinagem por abrasão ultrassônica, qualidade superficial*

1. Introdução

A técnica de usinagem por abrasão ultrassônica (USM), desenvolvida inicialmente por Wood e Loomis (1927), é especialmente adequada ao processamento mecânico de materiais duros e frágeis (Snoeys, 1986), onde os processos tradicionais de usinagem não são aplicáveis. A principal vantagem sobre os outros processos é a preservação da integridade do material usinado (Sheppard, 1987).

Apesar de o número de parâmetros intervenientes no processo ser grande e diversificado, o processo básico de usinagem por abrasão ultrassônica encontra-se bem descrito na literatura [Markov, 1966). Os equipamentos modernos de usinagem permitem que seja feito um controle automático da maioria destes parâmetros (Raslan e de Mello, 1996).

Entre os diferentes materiais usináveis por abrasão ultrassônica, tais como o vidro, quartzo, silício, cerâmicas, etc., o fluoreto de Lítio (LiF) possui as características que recomendam o emprego da técnica no seu processamento mecânico (Wei, Yu and Lee, 1996).

A pesquisa no campo dos monocristais, principalmente do LiF (fluoreto de lítio) deve-se fundamentalmente às suas propriedades ópticas cada vez mais aprimoradas e exploradas nas indústrias. O fluoreto de lítio é empregado na indústria óptica na fabricação de prismas, lentes, filtros e sensores, apresentando como principais vantagens sua larga faixa de transparência no espectro eletromagnético, além de possuir a maior taxa de transmissão de raios UV entre os materiais utilizados para este fim (Baldochi et al., 1994).

Algumas propriedades representativas do LiF são apresentadas na Tab. (1). Pode-se observar que trata-se de um material de dureza representativa (Dureza Knoop = 102 kg/mm²), não condutor de energia elétrica e de fragilidade elevada, o que dificulta sua usinabilidade, restringindo a conformação de geometrias complexas somadas a bom acabamento superficial.

O IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares vem trabalhando nos últimos anos na fabricação de componentes óticos à base de fluoreto de Lítio. Estes componentes são obtidos de blocos monocristalinos sintéticos. Assim, o processamento mecânico de blocos de LiF encontra dupla aplicabilidade: na obtenção de sementes para produção de blocos e na fabricação de componentes óticos.

Tabela 1- Propriedades características do fluoreto de lítio.

| | |
|--|-------------------------|
| Fórmula química | LiF |
| Arranjo cristalino | Cúbico |
| Parâmetro de rede, Å | 4,03 |
| Peso molecular | 25,94 |
| Densidade, g/cm ³ , (20 °C) | 2,6 |
| Perda de reflexão, % p/ 2 superf. a 4 µm | 4,4 |
| Constante dielétrica, p/ 102-1010 Hz a 298 K | 9,0 |
| Temperatura de fusão, K | 1140,0 |
| Condutividade térmica, W/(mK) a 314 K | 11,3 |
| Expansão térmica, 1/K a 300K | 34.4 x 10 ⁻⁶ |
| Calor específico cal/(gK) a 283 K | 0,37 |
| Temperatura Debye, K | 732,0 |
| Solubilidade, g/100 g H ₂ O a 291 K | 13,6 |
| Dureza Knoop, kgf/mm ² | 100,0 |
| Módulo de Young, GPa | 64,77 |
| Módulo de Cisalhamento, GPa | 55,12 |
| Módulo de Ruptura, GPa | 137,8 |

Em ambos os casos, um dos métodos de fabricação empregados é o processamento mecânico através de métodos convencionais de usinagem. O emprego da trepanação permite a obtenção de peças cilíndricas. Contudo, a alta fragilidade e a facilidade com que o LiF cliva provocam um alto índice de fraturas, o que onera os custos de fabricação. O uso de discos de corte diamantados não causa problemas de fratura, mas as geometrias ficam limitadas a prismas. A qualidade superficial obtida é satisfatória, mas a integridade pode ficar comprometida pela formação de microtrincas durante o corte. A usinagem por abrasão ultrassônica introduz algumas vantagens importantes, como a possibilidade de se obter peças de qualquer geometria, a preservação da integridade superficial e a minimização dos riscos de ocorrência de fraturas (Guzzo, Raslan e de Mello, 1999, Guzzo et al., 2000).

Neste trabalho, o objetivo foi o de obter amostras cilíndricas de LiF com o uso da técnica de usinagem por abrasão ultrassônica. Além disso, procurou-se comparar os resultados obtidos por esta técnica com resultados obtidos por corte convencional com disco diamantado no que diz respeito ao acabamento superficial e à integridade superficial.

2. Metodologia

A partir de um bloco de LiF com seção quadrada de aproximadamente 20 mm por 20 mm e 50 mm de comprimento, foram extraídas lâminas com cerca de 7 mm de espessura. O corte foi feito usando-se uma serra de disco diamantado (SD). Uma lâmina de vidro sodo-cálcico, com 4mm de espessura, foi usada como material de referência.

As usinagens por abrasão ultrassônica foram realizadas em um equipamento Sonic-Mill com potência de 20 KHz. A amplitude de vibração escolhida foi a mínima fornecida pelo aparelho. A carga estática aplicada sobre o sonotrodo foi de 25 N. Uma ferramenta de aço inoxidável austenítico foi fabricada por processo convencional de torneamento. Ela possuía uma geometria tubular, conforme mostra a Fig. (1) com um diâmetro aproximado de 10 mm e uma parede com 1 mm de espessura. A escolha do aço inoxidável austenítico como material para fabricação da ferramenta deveu-se à sua alta resistência ao desgaste abrasivo em relação a outros materiais normalmente empregados, como os aços-carbono e latão (Pratt et al., 2000). A ferramenta foi conectada a um sonotrodo cônico de Titânio com diâmetro de 25,4 mm.

A escolha dos parâmetros de usinagem por abrasão ultrassônica foi no sentido de criar as melhores condições para obter-se bom acabamento superficial e preservação da integridade do material. Por essas razões, foram selecionados uma amplitude mínima de vibração, uma baixa carga estática aplicada ao sonotrodo, um abrasivo fino, uma máxima concentração de abrasivo no fluido e um fluxo máximo, além de reciclagem de mistura na interface ferramenta/amostra a cada 50 µm usinados (Guzzo et al., 2000).

O abrasivo utilizado foi o carbeta de Silício (SiC), com tamanho médio de grão abrasivo de 6 µm (1.000 mesh). Entre os abrasivos normalmente empregados, carbeta de silício (SiC) e carbeta de Boro (B₄C), o SiC foi escolhido por sua disponibilidade no mercado brasileiro e baixo custo em relação ao B₄C. A desvantagem é que o SiC degrada mais rapidamente do que o B₄C.

A mistura abrasiva, usando água como diluidor, tinha a proporção 1:2,5 (abrasivo: água), em volume. A velocidade de corte (vc) foi determinada medindo-se, com cronômetro digital, o tempo despendido para usinar 50 µm de profundidade, em diferentes estágios da usinagem. A profundidade era medida com relógio comparador.

As rugosidades das superfícies usinadas foram medidas através de um perfilômetro a laser UBM. Este equipamento permite uma avaliação tridimensional (3D) da topografia da superfície a ser analisada. A caracterização topográfica das superfícies foi feita com base em alguns parâmetros tridimensionais de rugosidade: rugosidade aritmética média (Sa), rugosidade quadrática média (Sq), kurtosis (Sk) e skewness (Ssk). Como ferramenta auxiliar de análise, utilizou-se a

microscopia eletrônica de varredura (MEV). A análise por MEV também foi usada na caracterização dos micromecanismos de desgaste atuantes e na avaliação da integridade superficial.

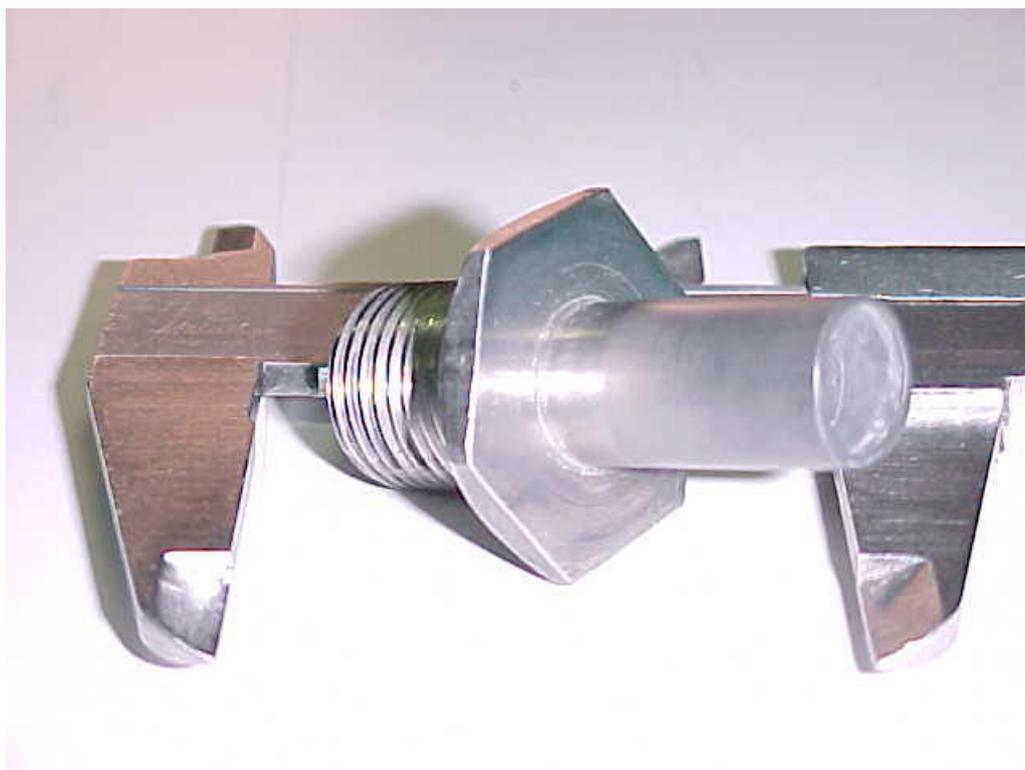


Figura 1 – Ferramenta de usinagem.

3. Resultados e discussão

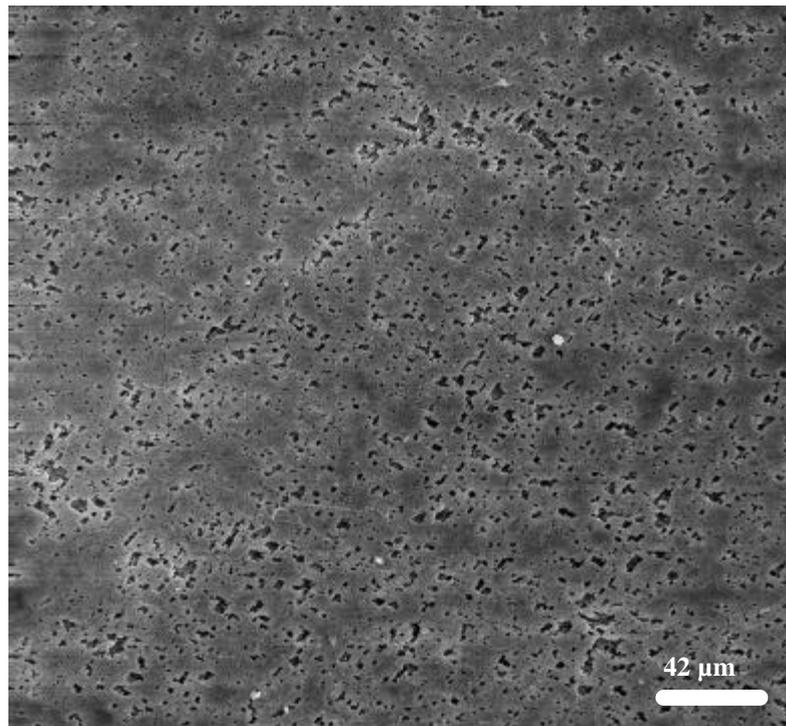
Com a escolha adequada dos parâmetros de usinagem, foi possível obter amostras cilíndricas de LiF, a partir de uma lâmina. Não houve ocorrência de clivagem. Isso indica a possibilidade de se obter amostras com geometrias diferentes da habitualmente produzida por trepanação (cilíndricas) ou corte com disco diamantado (prismas).

Os resultados obtidos para a velocidade de corte (v_c) no vidro e no LiF usinados por abrasão ultrassônica, além dos parâmetros relacionados à topografia de superfície correspondentes (S_a , S_q , S_k e S_{sk}), são mostrados na Tab. (2). Observa-se que a velocidade de corte no LiF é bastante superior à velocidade de corte no vidro. Os parâmetros de topografia de superfície indicam uma perda de qualidade na amostra usinada por abrasão ultrassônica em relação à amostra cortada com disco diamantado, já que os valores de rugosidade aritmética média (S_a) e de rugosidade quadrática média (S_q) foram bastante inferiores para o corte com disco. Porém, todos os processos utilizados para a usinagem do LiF produziram superfícies bastante simétricas em relação à linha média o que pode ser verificado pelos valores de skewness (S_{sk}) próximos de 0 tanto para a usinagem por abrasão quanto para a usinagem por corte diamantado. Os valores de kurtosis não variaram muito em função do processo de fabricação utilizado. Além disso, estes valores estiveram próximos de 3, que corresponde ao valor de kurtosis típico para uma superfície gaussiana, ou seja, uma superfície com uma distribuição normal de alturas topográficas. Valores de kurtosis superiores a 3 indicam uma superfície com uma distribuição de alturas centralmente distribuída e valores inferiores a 3 indicam uma distribuição de alturas bastante “espalhada” (Dong et al., 1994).

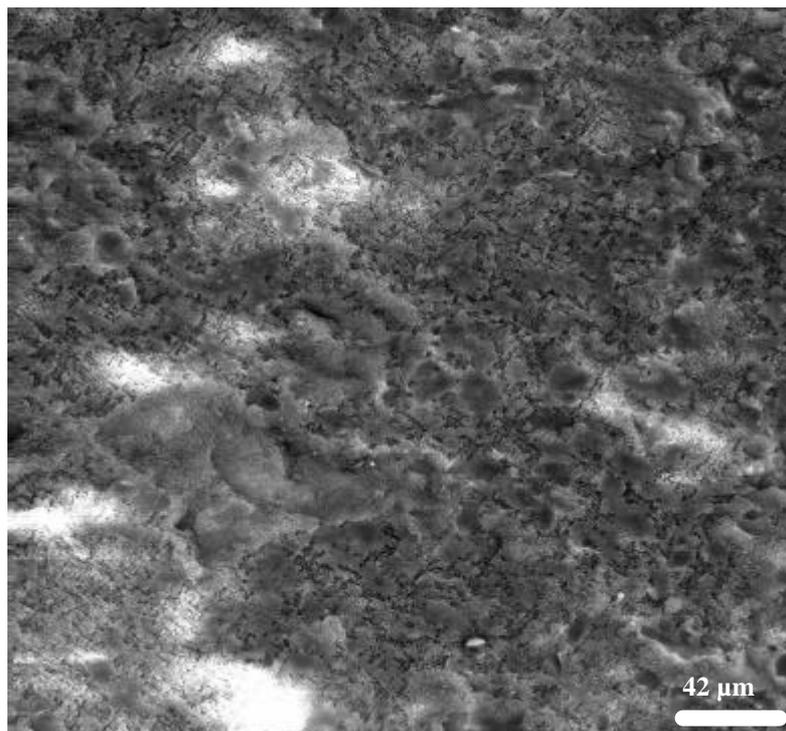
Tabela 2 – Resultados obtidos para velocidade de corte (v_c) e topografia de superfície (S_a , S_q , S_k e S_{sk}) de vidro e LiF, usinados por abrasão ultrassônica (USM) e cortados com serra diamantada (SD).

| Material | v_c , $\mu\text{m/s}$ | S_a , μm | S_k | S_{sk} | S_q |
|-----------|-------------------------|-----------------------|-------|----------|-------|
| Vidro | $5,8 \pm 0,4$ | 1,14 | 4,11 | -0,45 | 1,47 |
| LiF (USM) | $10,9 \pm 2,2$ | 0,91 | 3,76 | -0,16 | 1,17 |
| LiF (SD) | -xx- | 0,29 | 4,01 | 0,17 | 0,37 |

Os resultados da análise complementar feita no MEV na superfície usinada e cortada do LiF são mostrados na Fig. (2). Observa-se um acabamento superficial superior da amostra cortada com disco diamantado em relação à amostra usinada por abrasão ultrassônica.



(a)



(b)

Figura 2 – Aspecto das superfícies usinadas de LiF: (a) - SD; (b) - USM.

Apesar de a qualidade do acabamento superficial obtida na usinagem por abrasão ultrassonora ser inferior em relação ao corte com disco diamantado, não se pode dizer que a qualidade como um todo é inferior. Normalmente, a usinagem por abrasão ultrassonora permite a obtenção de superfícies com uma melhor preservação da integridade (Guzzo et al., 2000).

O fluoreto de Lítio é usinado com maior facilidade (maior velocidade) do que o vidro, em função da sua maior fragilidade. Isso facilita a atuação de mecanismos de desgaste por microlascamento, aumentando a taxa de remoção de matéria.

Um dos meios de avaliação da qualidade de amostras obtidas por diferentes processos mecânicos de usinagem, seria o uso dessas peças em situações reais, como no crescimento de cristais e emprego como componentes de instrumentos óticos (Lasers).

5. Conclusões

Com o emprego da técnica de usinagem por abrasão ultrassonora, foi possível obter amostras cilíndricas a partir de uma lâmina de fluoreto de Lítio.

Não foi observada a ocorrência de clivagem, mas o acabamento superficial foi inferior ao de um prisma obtido por corte com serra de diamante.

Por ser mais frágil do que o vidro, o LiF é usinado com maior velocidade. O mecanismo de desgaste atuante foi o microlascamento.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao aluno Eduardo Boccardo pelo auxílio técnico na realização dos ensaios e ao CNPq e ao RECOPE/FINEP pelo suporte financeiro dado ao desenvolvimento deste trabalho.

7. Referências bibliográficas:

- Baldochi, S.L. et al., 1994, "Study of the Crystalline Quality of Czochralski Grown Barium Lithium Fluoride Single Crystals", *Materials Research Bulletin*, Vol. 29, pp. 1321-1331.
- Dong, W.P. et al., 1994, "Comprehensive Study of Parameters for Characterising Three-Dimensional Surface Topography III: Parameters for Characterising Amplitude na Some Functional Properties", *Wear*, Vol. 178, pp. 29-43.
- Guzzo, P.L. et al., 2000, "Characterization of Synthetic Quartz Crystals Grown from Cylindrical Seeds Produced by Ultrasonic Machining", *Proceedings of the 1st. Arian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology*, Sendai, Japan.
- Guzzo, P.L., Raslan, A.A e De Mello, J.D.B., 1999, "Relationship Between Quartz Crystal Orientation and the Surface Quality Obtained by Ultrasonic Machining", *Proceedings of the Joint Meeting of the European Frequency and Time Forum and The IEEE International Frequency Control Symposium*, Besançon, France, Vol. 2, pp. 792-795.
- Markov, A.I., 1966, "Ultrasonic Machining of Intractable Materials", *Illife Books*, 1966.
- Pratt, S., Costa, H.L. e Raslan, A.A., 2000, "Desgaste de Ferramentas de Aço ABNT 1045 usadas na Usinagem por Abrasão Ultrassonora", *Máquinas e Metais*, n. 41, pp. 94-104.
- Raslan, A.A. e De Mello, J.D.B., 1996, "Usinagem por Abrasão Ultrassonora: Princípios e Potencialidades", *Anais do 12^o CBECIMAT, Águas de Lindóia, SP, Brasil*, pp. 461-464.
- RASLAN, A.A. e DE MELLO, J.D.B., 1997, "Usinagem do Quartzo por Processos Mecânicos", *Anais do II Congresso Internacional de Tecnologia Metalúrgica e de Materiais/ABM, São Paulo, SP, Brasil*, disponível em CD.
- Sheppard, L.H., 1987, "Machining of Advanced Ceramics", *Advanced Mat. And Process*, Vol. 12, pp. 40-48.
- Snoeys, R., 1986, "Advances in Non-Traditional Machining", *ASME*, pp. 1-20.
- Wei, M., Yu, C.C., Lee, S., 1996, "Mechanical Healing of Lithium Fluoride Single Crystals at Elevated Temperatures", *Physica Status Solidi (A) Applied Research*, Vol. 153, pp. 77-92.
- Wood, R.W. and Loomis, A.L., 1927, "The Physical and Biological Effects of High-Frequency – Waves of Great Intensity", *Philosophical Magazine*, Vol. 4, pp. 417-436.

SURFACE MODIFICATIONS IN ABRASION-MACHINED LITHIUM FLUORIDE (LiF)

Henara Lillian Costa

Federal University of Uberlândia, School of Mechanical Engineering, Campus Santa Mônica, Bloco 1R, Zip Code 38400-902, Uberlândia, MG, Brazil.

e-mail: ltm-henara@ufu.br

Wagner de Rossi

Institute of Energy Research - IPEN, Center of Lasers and Applications, Cidade Universitária "Armando Salles de Oliveira", Travessa R 400, Zip code 05508-900, PO Box 11049, São Paulo, SP, Brazil

e-mail: wderossi@baitaca.ipen.br

Sônia Licia Baldochi

Institute of Energy Research - IPEN, Center of Lasers and Applications, Cidade Universitária "Armando Salles de Oliveira", Travessa R 400, Zip code 05508-900, PO Box 11049, São Paulo, SP, Brazil

e-mail: wderossi@baitaca.ipen.br

Alberto Arnaldo Raslan

Federal University of Uberlândia, School of Mechanical Engineering, Campus Santa Mônica, Bloco 1R, Zip Code 38400-902, Uberlândia, MG, Brazil.

e-mail: ltm-raslan@ufu.br

Abstract. *The goal of this paper was to evaluate the potentiality of using ultrasonic abrasive machining (USM) to process Lithium Fluoride (LiF) single crystals. A single crystal LiF block was sawed with diamond-coated cutting wheels. The produced sheets were machined by USM, with tubular stainless-steel tools. The abrasive slurry consisted of 1000-mesh SiC abrasive particles mixed with water. Cylindrical samples were obtained without the occurrence of cleavage. Surface finishing was evaluated by three-dimensional (3D) topographic measurements and the results were compared to those obtained in the samples sawed with diamond-coated cutting wheels. The sawing process produced samples with better surface finishing. Scanning electronic microscopy (SEM) investigated surface integrity and wear mechanisms in the machined samples. The results evidenced the possibility of using USM to process LiF. This is important because it allows the obtaining of components with different geometries and good surface quality.*

Key-words. *Lithium Fluoride, Ultrasonic abrasive machining, Surface quality*