



## **CORTE DE TÊXTEIS POR MEIO DE UM PROCESSO HÍBRIDO MECÂNICO-TÉRMICO**

**Leonardo Aparecido Verdério**

Universidade de Marília, Faculdade de Engenharia e Arquitetura

[lverderi@sc.usp.br](mailto:lverderi@sc.usp.br) – Marília, SP, Brasil

**Rosalvo Tiago Ruffino**

Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia Mecânica

[ruffino@sc.usp.br](mailto:ruffino@sc.usp.br) – São Carlos, SP, Brasil

***Resumo.** O corte de têxteis constitui-se na etapa básica ao processo de confecção de roupas e afins. Para isto existem vários tipos de processos de corte, cada um com suas vantagens e restrições inerentes. O corte mecânico é o mais empregado devido ao baixo custo do equipamento e ao seu alto rendimento nos cortes retos, embora a sua precisão seja geralmente baixa. O corte por laser exhibe alto desempenho e precisão mas o equipamento é ainda caro. Aqui é descrito um novo processo de corte adequado para cortes com curvaturas acentuadas e que necessitam de flexibilidade na geração das figuras recortadas. Este processo consiste no emprego de uma fresa de topo eletricamente aquecida que degrada uma faixa estreita de tecido e a remove por meio da rotação das suas arestas de corte. Embora exiba velocidades de avanço bastante baixas possui a vantagem de poder cortar simultaneamente várias camadas sobrepostas de tecido, de maneira que o rendimento total é bastante satisfatório. Possui ainda a característica de proporcionar um corte preciso devido as baixas forças que são geradas sobre o tecido.*

***Palavras-Chave:** Corte de têxteis, Degradação térmica da celulose.*

### **1. INTRODUÇÃO**

A necessidade básica de corte de têxteis nos formatos convenientes ao posterior processamento das peças dentro da indústria da confecção determinou o desenvolvimento dos diversos tipos de processos de corte atualmente existentes. Estes processos podem ser classificados em três grupos principais: *corte mecânico*, *corte por laser* e *híbrido mecânico-térmico*. O processo de corte mecânico, que se utiliza de um agente de corte tal como faca, serra, prensa, etc., é de longe o mais empregado, devido principalmente seu baixo custo. Embora perfeitamente adequado para uma grande variedade das aplicações existentes, possui limitações específicas, particularmente em peças delicadas onde a força de avanço provoca dobras e, por conseguinte, o deslocamento do material de sua posição e a imprecisão do corte se medidas restritivas não forem adotadas. Daí a necessidade de gumes cortantes sempre afiados, o que é uma providência dispendiosa para materiais têxteis naturais como algodão, linho, rami, etc., que são bastante abrasivos. O corte mecânico é adequado para cortes retos ou

com curvatura não muito pronunciada e eficiente para o corte simultâneo de várias camadas de tecidos sobrepostas nestas condições, embora a velocidade de avanço seja usualmente bastante baixa.

O processo de corte por laser tem sua principal vantagem na ausência de forças de corte sobre o material, permitindo um corte preciso dependendo da espessura do feixe do laser e da precisão do equipamento de posicionamento do foco sobre o material a ser retalhado – KHOURY (1991), JACKSON et al. (1995). Além disso, permite altas velocidades de avanço. Suas principais desvantagens são o preço do equipamento e a impossibilidade de corte de várias camadas sobrepostas de tecido devido ao pequeno alcance do foco do laser (nos materiais têxteis sintéticos, como poliéster, existe ainda o problema da soldagem das bordas das camadas neste processo de corte). YILBAS (1986) relata seu esforço para obter parâmetros visando a otimização do corte de tecidos por laser. Para tanto foi usado laser de CO<sub>2</sub> com potência de saída de 120-200 W no corte de apenas uma camada de tecido com velocidade de corte de 400 pés/min (122 m/min). Foi analisado também o efeito do desvio de focagem nos valores de 0,25 e 0,50 polegadas (6,35 e 12,7 mm) do tecido em frente ao ponto focal da lente. INOUE e OKUBO (1989) descrevem a operação de um sistema de corte de tecidos por laser de CO<sub>2</sub> que opera com uma velocidade máxima de corte de 70 m/min para o corte reto e velocidade média de 35 m/min para trajetórias curvas. A potência do equipamento é 500 W e é adequado ao corte simultâneo de 2 a 4 camadas de tecido. O corte mecânico-térmico tem emprego bem mais limitado e consiste na degradação do material através do contato de uma ferramenta aquecida. Para têxteis tem sido usado até agora para seccionamento reto.

## 2. NOVO PROCESSO DE CORTE

O processo aqui apresentado emprega um processo híbrido de degradação térmica do material combinado a ação mecânica de gumes de corte, e é apropriado ao retalhamento de tecidos de fibras naturais dispostos em camadas sobrepostas. Sua maior vantagem está em sua capacidade de corte de figuras complexas que apresentem curvaturas bastante acentuadas. A combinação de um processo mecânico com o de degradação térmica permite que as forças de corte sejam bastante baixas, garantindo desse modo a precisão do corte. Uma das áreas que possivelmente se beneficiaria deste tipo de equipamento seria o de confecção de roupas infantis, que utiliza extensivamente o recorte de figuras estampadas. Os processos existentes que concorrem com o aqui descrito para o recorte de figuras com curvaturas acentuadas são hoje o corte por laser através de máquinas com programação computadorizada (CNC), com as características já discutidas, e os cortes mecânicos por tesoura manual, com sua baixíssima produtividade, e por prensa de corte. Este processo permite o recorte simultâneo de várias camadas de tecido sobrepostas mas tem a desvantagem de requerer um estampo de corte para cada formato de figura a ser trabalhada.

Este novo processo de corte consiste na utilização de uma fresa de topo eletricamente aquecida, como mostra esquematicamente a “Fig.1”. Uma campânula cobre a região de contato entre a ferramenta e o tecido e em seu interior é injetado gás nitrogênio como forma de criar-se uma atmosfera inerte que iniba a combustão do tecido. O comprimento eficaz  $L_f$  da ferramenta mostrado na “Fig.2” constitui o corpo da fresa, dotada de dois gumes cortantes. A ferramenta, que apresenta um rasgo ao longo do seu comprimento até próximo da extremidade da sua ponta, constitui-se em parte de um circuito elétrico no qual circulará uma corrente  $I$ . Em decorrência da pequena área da seção transversal do circuito neste comprimento  $L_f$ , da elevada resistividade elétrica do material e do valor elevado da corrente  $I$ ,

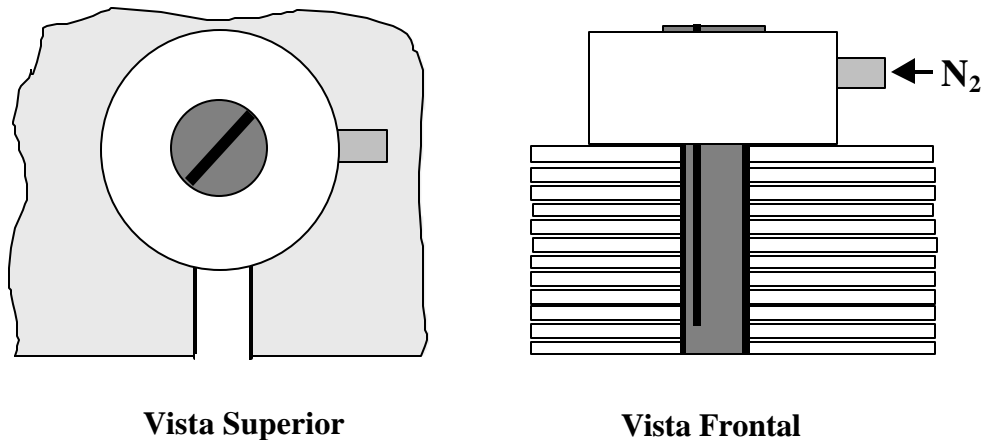


Figura 1 – Mostra esquemática do processo de corte para têxteis por meio de uma fresa de topo eletricamente aquecida.

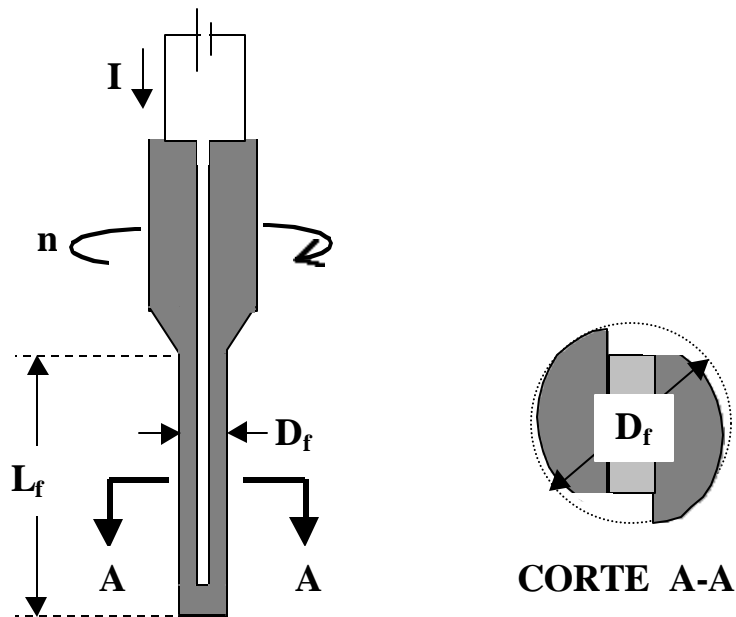


Figura 2 – Mostra esquemática da ferramenta de corte.

a temperatura nesta região se elevará devido ao calor gerado pelo *efeito Joule* e esta energia será absorvida pelo meio material que circunda a ferramenta. Quanto maior for a temperatura na ferramenta maior será a energia transferida para o meio ao seu redor por condução e radiação. A temperatura na ferramenta deverá limitar-se a 850–900°C, que é o limite tolerado pelo material do qual é feita para a manutenção das propriedades mecânicas desejadas. O calor transferido então da ferramenta para o material têxtil degrada o tecido na região ao redor da ferramenta, fazendo com que este perca suas propriedades de resistência mecânica, favorecendo assim sua extração por meio de processo mecânico. Sabe-se das pesquisas realizadas que a celulose (matéria básica que constitui as fibras dos tecidos naturais) tem sua rigidez (dada quantitativamente pelo seu módulo de elasticidade) diminuída, assim como sua resistência à tração (dada quantitativamente pela sua tensão de ruptura), com o aumento da

temperatura até um certo limite, a partir do qual a cadeia polimérica da celulose é degradada com a conseqüente formação de outros subprodutos. Com o avanço da ferramenta e a retirada do material degradado pelos gumes de corte outras zonas serão expostas aos efeitos térmicos da ferramenta.

O mecanismo de corte pode então ser sucintamente descrito como uma degradação térmica do material seguido de sua remoção mecânica pelas arestas de corte da ferramenta. Apropriado para o corte de várias camadas de tecidos sobrepostas (de espessura máxima total de 20 mm), a ferramenta possui um diâmetro na região de trabalho  $D_f$  de 2,0 a 2,5 mm e pode gerar cortes de figuras complexas com curvaturas bastante acentuadas. Segundo os modelos físicos desenvolvidos para a descrição do processo de corte a velocidade de avanço de corte máxima  $v_{aMax}$  é dada por

$$v_{aMax} = \frac{P}{\frac{z_m}{\Phi} + \frac{4}{nD_f}} \quad (1)$$

sendo  $z_m$  a energia específica (energia por volume) necessária para degradar o material do tecido a ser seccionado,  $n$  a rotação da ferramenta e  $F$  o fluxo de calor na ferramenta, definido  $F = P_T/A_{Lf}$ , sendo  $P_T$  a potência térmica gerada na ferramenta pelo efeito Joule e  $A_{Lf}$  a área lateral da ferramenta, dada por  $A_{Lf} = pD_fL_f$ . O fluxo de calor pode ser dado então por

$$\Phi = \frac{16}{p^2} \frac{r_e I^2}{D_f^3} \quad (2)$$

onde  $r_e$  é a resistividade elétrica do material da ferramenta.

### 3. DEGRADAÇÃO TÉRMICA DA CELULOSE

A pirólise ou degradação térmica de material celulósico envolve uma seqüência de reações concorrentes e consecutivas que são fortemente influenciadas pelas condições existentes. Estudos conduzidos por diversos autores mostraram que as maiores variáveis são: (1) a composição do substrato, desde os diferentes tipos de fibras naturais até os componentes existentes em uma única célula dessa fibra – MURPHY (1962), RAMIAH (1970), DOLLIMORE e HOLT (1973), BASCH e LEWIN (1973), CALAHORRA et al. (1989) –, (2) o perfil tempo-temperatura, cobrindo desde longos períodos de aquecimento a relativamente baixas temperaturas a rápida pirólise envolvendo intenso aquecimento por curtos períodos de tempo – LIPSKA e PARKER (1966), (3) a atmosfera ambiente e pressão, que pode ser inteiramente inerte, tal como nitrogênio, ou conter moléculas reativas, tais como oxigênio, água ou dióxido de carbono – FUNG (1969), FAIRBRIDGE et al. (1978), SHAFIZADEH e BRADBURY (1979), e (4) materiais inorgânicos presentes como impurezas (contidos nas cinzas) e outros produtos adicionados que podem agir como retardantes ou catalisadores – RAMIAH (1970), SEKIGUCHI e SHAFIZADEH (1984). Essas variáveis afetam profundamente a seqüência e a cinética das reações e os produtos resultantes.

Em contraste com a relativamente lenta degradação em baixas temperaturas, a celulose aquecida acima de 300°C experimenta uma rápida decomposição. A curva termogravimétrica da celulose em atmosfera inerte indica que a perda de peso inicia-se em 310-320°C e procede muito rapidamente até aproximadamente 390°C onde a reação parece estar completa, deixando um resíduo de combustão não-volátil de 12%. A máxima taxa de perda de peso

ocorre em 360°C e uma forte reação endotérmica ocorre entre 360 e 380°C. Geralmente as energias de ativação encontradas por técnicas isotérmicas são significativamente menores que aquelas derivadas da termogravimetria dinâmica. Os valores para a *energia de ativação molar* na pirólise da celulose variam numa faixa bastante ampla (150-251 kJmol<sup>-1</sup>) devido possivelmente as diferentes composições das amostras de celulose e das diferentes condições em que a pirólise se desenvolve.

#### 4. EQUIPAMENTO DE CORTE

Foi construído no Laboratório de Máquinas-Ferramentas (LAMAPE) um equipamento para a comprovação prática do processo de corte. O equipamento, mostrado na “Fig.3”, pode ser descrito como uma fresadora de topo na qual se verifica a passagem de corrente elétrica para a ferramenta. Isto é possível através de um dispositivo eletro-mecânico de alta precisão, denominado anel coletor, que permite a transmissão de correntes elétricas elevadas em altas velocidades de deslizamento entre seus contatos. O anel coletor empregado possibilita correntes de até 60A para rotação máxima de 2000 rpm. O eixo-árvore do equipamento é acionado por motor elétrico de 1/2 CV e possui rotação de 2000 rpm. Inserida no eixo-árvore está a ferramenta (removível), que possui terminais de contato co-axiais que se conectam internamente ao anel coletor. O cabeçote de corte possui movimentação vertical apenas, necessário ao posicionamento da ferramenta com relação às peças de tecido, e sob ele está montada uma mesa de coordenadas com movimentos horizontais em dois eixos. Esta mesa é controlada por meio de programa computacional rodado em micro-computador.

A corrente na ferramenta provém de uma sucessão de transformações, originando-se na rede elétrica – 220V, 60Hz – e alimentando primeiramente um transformador variável (Variac). A corrente na saída do Variac passa então por um transformador convencional que reduz a tensão e eleva o valor dessa corrente, podendo suportar correntes máximas de 60A. O controle da corrente na ferramenta é feita manualmente através da manipulação do Variac e por meio do acompanhamento do seu valor por amperímetro.

Foram construídas ferramentas com diâmetros de 2,0 e 2,5 mm, designadas aqui por F1 e F2 respectivamente, como forma de observar-se os seus comportamentos nas dimensões consideradas como limitantes ao processo. O material do qual é feito o corpo da fresa deve apresentar características especiais para a aplicação a que deverá ser submetido. Deve oferecer propriedades como boa resistência mecânica, boa tenacidade e um alto módulo de elasticidade para suportar os esforços e deformações decorrentes da ação de corte nas condições de elevada temperatura em que irá operar. Deve ainda possuir uma boa resistência à oxidação na temperatura de trabalho e um valor apreciável de resistividade elétrica para poder originar um valor considerável de energia térmica a partir da elétrica. Dos materiais disponíveis comercialmente optou-se pela superliga *Nimonic 80*, por serem as superligas os que apresentam o melhor conjunto de propriedades para emprego em elevadas temperaturas e, dentre essas, as superligas à base de níquel.

A resistência oxidativa das ligas para serviço em altas temperaturas deve-se, geralmente, a formação de uma película que dificulta a difusão de oxigênio e íons metálicos e, para as superligas, o alto teor de cromo responde por sua elevada resistência à oxidação e à corrosão à quente. A resistividade das superligas é, para uma parte delas, equivalente a dos materiais para elementos de aquecimento, que, por sua vez, têm suas composições assemelhando-se a de algumas superligas à base de níquel.

A temperatura na ferramenta depende da corrente elétrica que a atravessa e das condições em que o calor gerado é dissipado. Medidas de temperatura foram efetuadas em função da



Figura 3 – Equipamento construído para a comprovação do processo de corte.

corrente na condição “sem operação”, situação na qual a ferramenta encontra-se envolta apenas pelo meio fluido e que corresponde a situação de menor dissipação de energia e na qual uma temperatura potencialmente elevada pode comprometer as propriedades do material da ferramenta. Foi empregada uma técnica de medida de temperatura através do espectro de radiação emitida pela ferramenta – BORELLI et al. (2000). Para a ferramenta F1 obteve-se a curva extrapolada para as correntes de 15;17,5;20;22,5 e 25A que é mostrada na “Fig.4”.

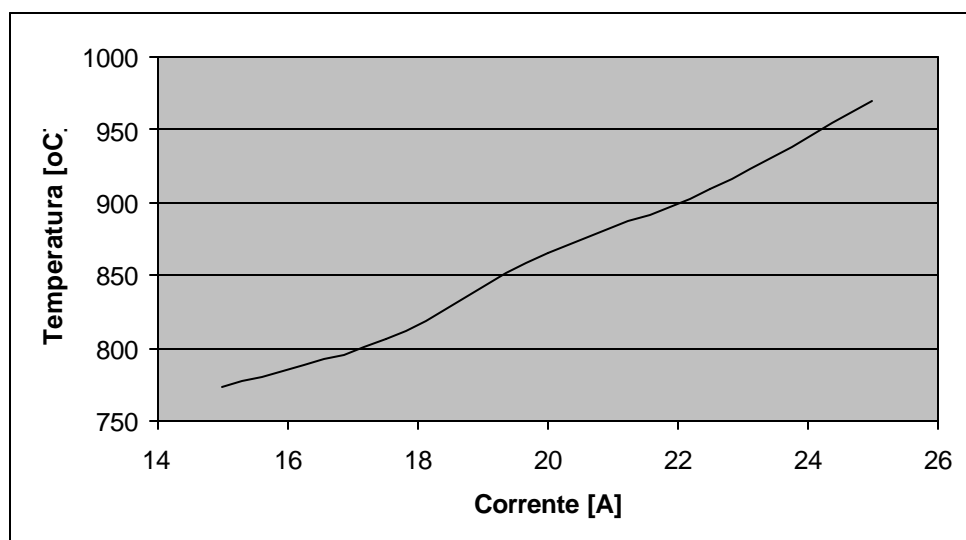


Figura 4 – Temperatura na ferramenta em função da corrente elétrica.

## 5. RESULTADOS

Experimentos de corte foram efetuados empregando-se tecidos de algodão com os valores de corrente limitados a 25A para a ferramenta F1 e 40A para F2, uma vez que valores mais elevados poderiam comprometer as propriedades dessas ferramentas. Verificou-se que o emprego de várias camadas superpostas causava o abaixamento da temperatura na ferramenta, denunciada pela alteração da cor amarelo-alaranjada para um tom enegrecido, e que causava uma redução acentuada na velocidade de avanço de corte  $v_a$ . A manutenção da temperatura elevada poderia ser conseguida com a elevação da corrente, mas isto só poderia ser feito com segurança por meio de um sistema retroalimentado.

As camadas de tecido foram presas por agulhas espetadas numa placa de isopor colocada abaixo das camadas de tecido. Foi observado que as forças sobre o tecido no processo de corte dependiam do número de camadas de tecido empregado e da velocidade de corte. Um número maior de camadas e uma maior velocidade implicavam em maiores forças. A ferramenta F2, de diâmetro maior, também provocava forças maiores. O acabamento nas bordas devido ao processo de corte apresenta uma estreita orla negra ( $\approx 0,5$  mm) conforme pode ser visto na “Fig.5”. A força de corte sobre o material é pequena, de modo que a potência exigida para o acionamento da ferramenta também é bastante baixa e, embora a velocidade de avanço de corte seja pequena, a possibilidade de corte de camadas sobrepostas faz com que a produtividade seja elevada.

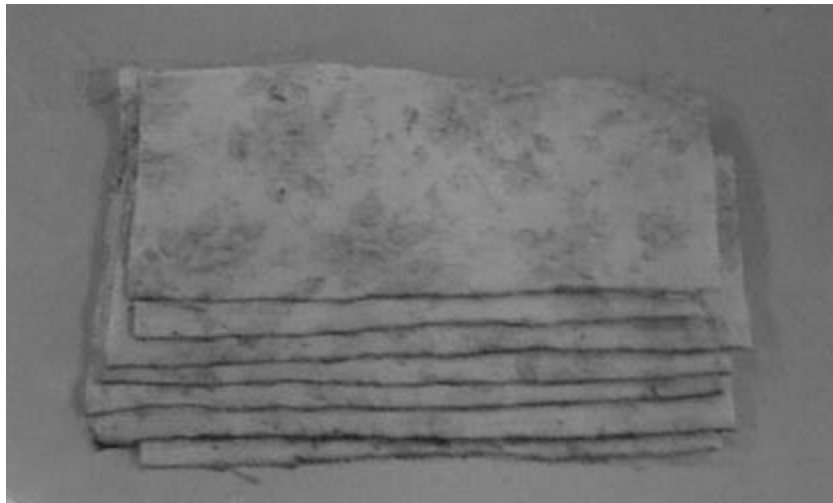


Figura 5 – Aspecto do acabamento nas bordas do tecido resultante do processo de corte.

### *Agradecimentos*

Este trabalho contou com o apoio financeiro da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo).

### REFERÊNCIAS

BASCH, A. & LEWIN, M., 1973, The influence of fine structure on the pyrolysis of cellulose. I. Vacuum pyrolysis, Journal of Polymer Science, vol.11, pp.3095-3101.

- BORELLI, J.E., BRANGHINI Jr., A., COELHO, R.T. e GONZAGA, A., (2000), Diagnóstico do estado da ferramenta nos processos de usinagem de alto desempenho com o uso de “lógica fuzzy” e imagens de infravermelho. Congresso de Usinagem 2000. Revista Máquinas e Metais, Editora Aranda. Teatro de Convenções do Anhembi, São Paulo, SP.
- CALAHORRA, M.E., CORTÁZAR, M., EGUIAZÁBAL, J.I. and GUZMÁN, G.M., 1989, Thermogravimetric analysis of cellulose: effect of the molecular weight on thermal decomposition, Journal of Applied Polymer Science, vol.37, pp.3305-3314.
- DOLLIMORE, D. & HOLT, B., 1973, Thermal degradation of cellulose in nitrogen, Journal of Polymer Science, vol.11, pp.1703-1711.
- FAIRBRIDGE, C., ROSS, R.A. and SOOD, S.P., 1978, A kinetic and surface study of the thermal decomposition of cellulose powder in inert and oxidizing atmospheres, Journal of Applied Polymer Science, vol.22, pp.497-510.
- FUNG, D.P.C., 1969, Kinetics and mechanism of the thermal degradation of cellulose, Tappi Journal, vol. 52, n.2, pp.319-321.
- INOUE, J. & OKUBO, H., 1989, A high-speed laser apparel-cutting system, Mitsubishi Electric Advance, 446, March, pp.28-29.
- JACKSON, M., PRESTON, M. and TAO, L., 1995, High speed cutting of patterned shapes from fabrics, 1995, Mechatronics, vol.5, n.2/3, pp.197-213.
- KHOURY, J., 1991, PC-based vision in laser cutting of upholstery fabric, Photonics Spectra, august, 123-124.
- LISPKA, A.E. & PARKER, W.J., 1966, Kinetics of the cellulose in the temperature range 50-300°C, Journal of Applied Polymer Science, vol.10, pp.1439-1453.
- MURPHY, E.J., 1962, Thermal decomposition of natural cellulose in vacuo, Journal of Polymer Science, vol.58, pp.649-665.
- RAMIAH, M.V., 1970, Thermogravimetric and differential thermal analysis of cellulose, hemicellulose, and lignin, vol.14, pp.1323-1337.
- SEKIGUCHI, Y. & SHAFIZADEH, F., 1984, The effect of inorganic additives on the formation, composition, and combustion of cellulosic char, Journal of Applied Polymer Science, vol.23, pp.1431-1442.
- SHAFIZADEH, F. & BRADBURY, A.G.W., 1979, Thermal degradation in air and nitrogen at low temperatures, Journal of Applied Polymer Science, vol.23, pp.1431-1442.
- YILBAS, B.S., 1986, Cloth cutting by CO<sub>2</sub> laser, Indian Journal of Textile Research, vol.29, Sept., pp.1267-1286.

### **CUTTING OF TEXTILES BY MEAN OF A MECHANIC THERMAL HYBRID PROCESS**

***Abstract.** Textile cutting is the basic stage in the manufacturing process of clothes and other articles. For this reason there exist various cutting process, each one with its own inherent advantages and restrictions. Mechanical cutting is the most used due to the low cost of equipment and cutting rate on straight cuts, although the precision is generally low. Laser cutting shows high performance and precision but the equipment is still expensive. Here, a new cutting process is described which is adequate for accentuatedly curved cuts and which require flexibility in the generation of various cut figures. The process consists of the use of an electrically heated router which degrades along a thin cut while the rotacional movement of the cutting edges removes the degraded material. Although the method shows relatively low advance rates it has the advantage of being able to cut various superposed layers of textile, turning the total yield satisfactory. The method also possesses precision cutting characteristics due to the low cutting forces applied to the textile.*



**Keywords:** *Textile cutting, thermal degradation of cellulose.*