

ESTUDO DA USINABILIDADE DO POLIETILENO DE ULTRA-ALTO PESO MOLECULAR (UHMWPE)

*Jefferson Luis Cesar Salles*¹

*Luiz Otávio Corrêa*²

*Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves*³

RESUMO

Neste estudo analisou-se a influência do tipo de ferramenta de corte e dos parâmetros de usinagem no acabamento superficial do UHMWPE. Foram utilizadas três tipos diferentes de ferramenta de metal duro, variando-se a velocidade de corte e o avanço da ferramenta no torneamento do UHMWPE. O acabamento superficial foi avaliado através da rugosidade média aritmética (Ra). São abordados alguns aspectos característicos dos plásticos na usinagem. Os resultados obtidos permitiram relacionar o tipo de ferramenta e os parâmetros de usinagem com a rugosidade superficial no torneamento do UHMWPE.

Palavras-Chave: Usinabilidade, torneamento, acabamento superficial, UHMWPE.

ABSTRACT

In this study the influence of the type of cutting tool and of the machining parameters on the surface finish of UHMWPE was analyzed. Three types different from tool of tungsten carbide were used, being varied the speed cutting and feed rate in the turning of UHMWPE. The surface finish was evaluated through the Average Roughness (Ra). Some characteristic aspects of the plastics in the machining are approached. The obtained results allowed to relate the tool type and the machining parameters to the surface roughness in the turning of UHMWPE.

Key Words: Machining, turning, surface finish, UHMWPE.

¹ Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual Paulista -UNESP, Campus de Bauru. Professor no Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Unidade de Cornélio Procópio. E-mail: jesalles@onda.com.br

² Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual Paulista -UNESP, Campus de Bauru. Professor no Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Unidade de Cornélio Procópio. E-mail: luizotavio@cp.cefet.pr.br

³ Professor e chefe do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Bauru. E-mail: tadeu@bauru.unesp.br

1. INTRODUÇÃO

Os componentes em plásticos normalmente são produzidos por processos de moldagem, mas para a produção de pequena quantidade, formas extremamente complexas ou quando se exige precisão, são empregados processos de usinagem. Em alguns casos, não se conseguem resultados satisfatórios com a usinagem de plásticos, sobretudo pela grande variedade de materiais disponíveis e pela falta de um conhecimento básico do comportamento dos plásticos durante a usinagem. As características da usinagem dependem das propriedades específicas do plástico utilizado. Sendo assim, para cada tipo de plástico será necessário um estudo particular de sua usinabilidade.

O Polietileno de Ultra-Alto Peso Molecular (UHMWPE) é obtido por um processo em suspensão com catalisador tipo Ziegler, que permite a obtenção de plásticos com peso molecular na faixa de dois a oito milhões g/mol, aproximadamente dez vezes maior do que os pesos moleculares de resinas consideradas de alto peso molecular. Tal fato proporciona uma viscosidade tão alta no estado fundido que o seu índice de fluidez $190^{\circ}\text{C}/21,6\text{Kg}$ se aproxima de zero. Assim, não é possível processá-lo por métodos convencionais de injeção, sopro ou extrusão. O método empregado é o de compressão, como a prensagem e a extrusão por pistão (“Ram Extrusion”). Nestes dois casos são obtidos produtos semi-acabados em forma de chapas ou tarugos que, necessariamente, serão usinados para atingirem suas dimensões finais, Polialden.^[1]

Como referência para se considerar um polietileno como sendo de ultra-alto peso molecular, atualmente, é aceito o valor mínimo de 3.100.000 g/mol para o peso molecular. Acima deste valor, ocorre uma melhor combinação entre resistência ao impacto e resistência à abrasão, porém com um conseqüente aumento na dificuldade do processamento deste material. Os UHMWPE apresentam ponto de fusão a 130°C . A temperatura máxima de serviço recomendável é de 93°C em virtude de seu elevado coeficiente de expansão térmica.

O Polietileno UHMWPE possui propriedades e desempenho completamente diferentes dos encontrados nos outros tipos de Polietileno. Sua excepcional resistência à abrasão e baixo coeficiente de atrito conferem-lhe grande potencialidade na substituição de outros materiais. Na Tabela 1 são apresentadas algumas propriedades do UHMWPE.

Atualmente, as aplicações do material UHMWPE abrangem peças técnicas, rotores para bomba, correias transportadoras, tubos, guias, revestimento para caixas de sucção de máquinas de papel, mancais, peças para teares, fibra de alta resistência, materiais para uso médico cirúrgico e outros componentes que exijam máxima resistência à abrasão e a impacto, além de baixo coeficiente de atrito.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da geometria da ferramenta de corte e de alguns parâmetros de usinagem no acabamento superficial do

UHMWPE. No desenvolvimento do trabalho, foram abordadas as características particulares da usinagem de materiais plásticos.

Tabela 1 – Propriedades e características do UHMWPE (UTEC 6540).

PROPRIEDADES	MÉTODOS ASTM	UNIDADES	VALORES TÍPICOS
<i>Peso molecular viscosimétrico</i>	<i>g/mol</i>	<i>>6,0 x 10⁶</i>	
<i>Densidade (no moldado)</i>	<i>D - 1505</i>		<i>> 0,93</i>
<i>Densidade aparente</i>	<i>D - 1895</i>	<i>g/cm³</i>	<i>> 0,4</i>
<i>Resistência à tração na ruptura</i>	<i>D - 1708</i>	<i>MPa</i>	<i>35</i>
<i>Resistência ao impacto IZOLD</i>	<i>D - 256</i>	<i>J/m</i>	<i>Não quebra</i>
<i>Dureza "Shore"</i>	<i>D - 2240</i>	<i>Shore D</i>	<i>63</i>
<i>Temperatura de fusão</i>	<i>D - 3418</i>	<i>°C</i>	<i>133</i>
<i>Temperatura de amolecimento</i>	<i>D - 1525</i>	<i>°C</i>	<i>128</i>
<i>Coefficiente de dilatação linear</i>	<i>D - 696</i>	<i>10⁻⁴ /°C</i>	<i>1,5</i>
<i>Condutividade térmica a 23°C</i>	<i>D- 177</i>	<i>W/m°K</i>	<i>0,4</i>
<i>Absorção de água</i>	<i>D - 570</i>	<i>%</i>	<i>0,01</i>
<i>Resistência à abrasão</i>		<i>Mg/1000ciclos</i>	<i>23</i>
<i>Coefficiente de fricção dinâmico</i>		<i>μ K</i>	<i>0,26</i>

Fonte: Polialden Petroquímica S.A. Junho de 1999

2. CARACTERÍSTICAS DOS PLÁSTICOS RELACIONADAS COM A USINAGEM

O comportamento dos plásticos durante a usinagem dependem especialmente das propriedades mecânicas, térmicas e reológicas. Por conseguinte, qualquer avaliação das características de usinagem deve levar em conta as propriedades particulares do material a ser usado. Cada categoria de plástico, como também muitas subcategorias específicas, demanda diferentes geometrias de ferramenta para um ótimo desempenho e produtividade (Kobayashi apud ALAUDDIN et al.^[2]

Durante a usinagem, é gerado calor pelo trabalho de deformação e de atrito entre o cavaco e a ferramenta, e entre a ferramenta e a peça. Na usinagem de metais, a maior parte do calor é removida da área de corte pelos cavacos. Na usinagem de plásticos, em virtude da baixa condutividade térmica, a maior parte do calor tem que ser removida pela ferramenta. Isto resulta em um aumento de temperatura que pode influenciar no processo de usinagem de dois modos: o aumento do desgaste da ferramenta e uma mudança na qualidade da superfície usinada.

Segundo ERIKSEN^[3], dependendo da temperatura e das propriedades do plástico usinado, o aumento da temperatura pode ser prejudicial. Em alguns casos, pode queimar, derreter ou descolorir a superfície usinada de um modo inaceitável. Mas, em alguns casos, um pequeno derretimento na área de corte pode resultar em uma baixa rugosidade de superfície. Para os termoplásticos, um aumento na temperatura pode resultar em um comportamento mais flexível, que torna o material mais difícil de usinar. Isto pode resultar em uma rugosidade de superfície maior, se houver instabilidade do processo.

Alguns fluidos de corte, utilizados como refrigerante durante a usinagem dos metais, podem degradar os plásticos. Sendo assim, para utilização de fluidos de corte na usinagem de plásticos, é necessário uma análise preliminar da compatibilidade química. Se for necessário o resfriamento, as alternativas mais adequadas são o ar ou a água.

3. MECANISMO DE FORMAÇÃO DO CAVACO

Os tipos de cavacos produzidos podem dar informações importantes sobre a usinagem. No caso particular dos plásticos, podem ocorrer dois tipos de cavaco, os cavacos contínuos ou descontínuos. Os cavacos contínuos podem ser produzidos por uma grande deformação elástica ou por uma ação de cisalhamento ao longo de um plano de corte, ocorrendo quando se emprega pequenas velocidades de corte e em materiais com um grande alongamento. O plano de corte estará na direção em que o trabalho mínimo é exigido para formar um cavaco, e os cavacos são contínuos porque os intervalos de cortes são pequenos. Para obter uma boa qualidade superficial, normalmente, é melhor selecionar os parâmetros de corte e a geometria da ferramenta, de tal modo que ocorra a formação de cavacos contínuos. Porém, deve ser levado em conta que eles também podem causar problemas ao se enrolarem na ferramenta ou da peça.

Segundo Kobayashi apud CARR & FERGER^[4], diferentes tipos de cavacos descontínuos podem ser gerados quando grandes tensões de compressão são envolvidas ou quando um material frágil é usinado. Também pode ocorrer quando um termoplástico está sendo usinado com um ângulo de saída grande ou uma grande profundidade de corte. Isto resulta em uma fissura que se estende para baixo da ponta da ferramenta, e os cavacos são formados pela flexão instantânea, que age no cavaco quando a fissura se estende por um certo comprimento. Este tipo de cavaco dificilmente ocorre na usinagem de metal, com exceção de alguns tipos de ferros fundidos.

CARR & FEGGER^[4] apresentaram um modelo para explicar o comportamento do material plástico durante a usinagem em função do ângulo de saída de uma ferramenta mono cortante, conforme a Figura 2. Em um material frágil, quando a tensão de compressão induzida pela aresta de corte excede a tensão de escoamento do plástico, uma fissura se propagará na direção do vetor força. É importante notar que este modelo assume que as fissuras originam e propagam por intermé-

dio do campo de compressão à frente da ferramenta. As fissuras que se formam no campo elástico, atrás da extremidade de corte, têm características de propagação diferentes, move-se ortogonalmente para o vetor força. Com ângulo de saída altamente negativo, a fissura estenderá em direção ao interior do material. A ferramenta se moverá além da fissura e arrancará um pedaço grande de material em sua progressão. O cavaco produzido nesta situação é maciço e tende a ser descontínuo e a superfície final consiste, em grande parte, em erosões produzidas pelo arrancamento do material. Os cavacos produzidos por um ângulos de saída próximos de zero são longos, com extremidades lisas e indicam uma remoção relativamente limpa de material. Um ângulo de saída positivo dirigirá o vetor de força para cima do plano de corte. A Figura 1 ilustra o mecanismo de formação do cavaco no torneamento de materiais plástico, para três ângulos do saída.

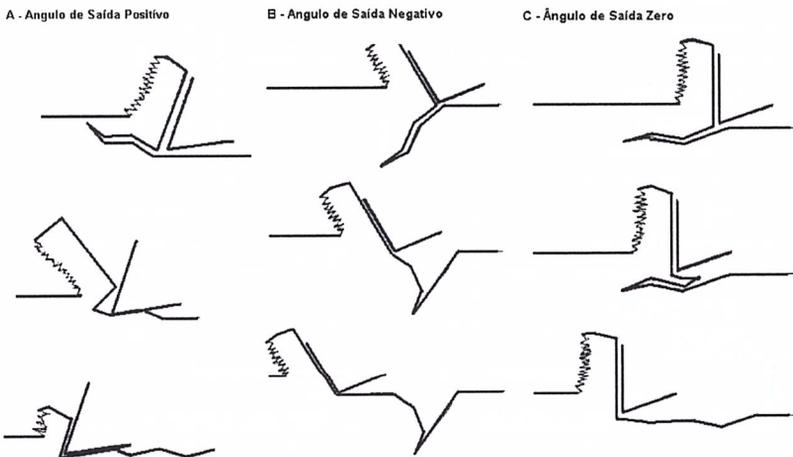


FIGURA 1 – Mecanismos de formação de cavacos em materpoliméricos - CARR & FEGER.^[3]

4. USINABILIDADE

A usinabilidade de um material pode ser definida como uma grandeza comparativa que expressa por meio de índice um conjunto de propriedades de usinagem específicas do material para um determinado processo. As propriedades de usinagem utilizadas para a avaliação da usinabilidade de um material são: o desgaste da ferramenta, a força de corte, o acabamento superficial da peça, a temperatura de corte, a produtividade e as características do cavaco. A escolha da propriedade que será utilizada para a avaliação da rugosidade depende especialmente da aplicação a que se destina o material.

Segundo JIN & SANDSTRÖM^[5], os efeitos da usinagem em um material não são dependentes somente das propriedades, mas também do tipo específico de operações de usinagem, das ferramentas de corte e dos parâmetros de corte.

Por essa razão, a usinabilidade pode ser classificada como uma propriedade tecnológica que controla a capacidade de se usinar um material para atender às exigências comerciais na dimensão, forma e acabamento superficial. Do ponto de vista da engenharia, a usinabilidade pode ser interpretada como a medida da facilidade ou dificuldade com que cada material pode ser usinado. Porém, usinagem é um termo livremente definido; é expressado como o tempo de vida de ferramenta, potência de corte, custo da operação de usinagem ou estado final da superfície. Na Figura 2, é apresentada a relação entre os fatores envolvidos em um processo de usinagem.

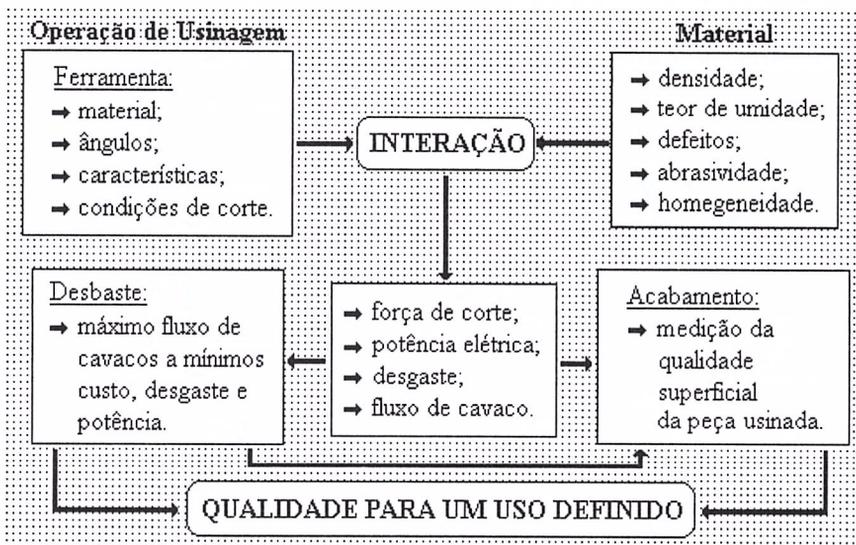


FIGURA 2 - Descrição geral do processo de usinagem, TRIBOULOT et al^[6]

Neste trabalho foi escolhido, como critério para avaliação da usinabilidade, a rugosidade superficial. Sendo que a principal característica deste material é a resistência a abrasão, acredita-se que uma melhor qualidade superficial possa influenciar diretamente o comportamento dos componentes produzidos em UHMWPE.

5. METODOLOGIA DE ENSAIOS

O estudo da usinabilidade do Polietileno UHMWPE foi realizado em um Torno a Comando Numérico Computadorizado da marca EMCO, modelo TURN 120, utilizando três diferentes ferramentas de metal duro, variando-se o avanço da ferramenta e a velocidade de corte. Na escolha dos parâmetros utilizados levaram-se em consideração os parâmetros freqüentemente utilizados pelo setor industrial, bem como as limitações impostas pelo equipamento utilizado.

Inicialmente realizou-se ensaios para determinar a condição de melhor acabamento superficial, para cada ferramenta utilizada, variando-se a velocidade de corte e o avanço da ferramenta. Os resultados deste ensaio permitiram estabelecer os parâmetros utilizados nos demais ensaios. A Tabela 2 apresenta os parâmetros utilizados nos três tipos de ensaios realizados.

TABELA 2 – Parâmetros de usinagem utilizados nos ensaio.

ENSAIOS	PARÂMETROS FIXOS	PARÂMETROS VARIÁVEIS
Condição de melhor acabamento superficial	Prof. de corte: 1 mm	Avanços: 0,025 - 0,05 - 0,10 - 0,15 - 0,20 - 0,25 - 0,30 Velocidade de Corte: 160 - 220 - 280 - 340 - 400
Comparação entre ferramentas variando-se o avanço	Prof. de corte: 1 mm Vel. de Corte: 220 - 280	Avanços: 0,025 - 0,05 - 0,10 - 0,15 - 0,20 - 0,25 - 0,30
Comparação entre ferramentas variando-se a vel. de corte	Prof. de corte: 1 mm Avanço: 0,05 - 0,10 - 0,20	Velocidade de Corte: 160 - 220 - 280 - 340 - 400

Avanços em mm/volta

Velocidade de Corte em m/min

Profundidade de corte em mm

Os catálogos de ferramentas de metal duro para torneamento, geralmente, não definem ferramentas específicas para a usinagem de materiais plásticos, sendo recomendadas as ferramentas para metais não ferrosos. Neste estudo, utilizaram-se duas ferramentas de metal duro indicadas para o torneamento de alumínio e uma ferramenta indicada para o torneamento de aço carbono, conforme Tabela 3. A disposição do corpo de prova no torno CNC antes da realização do ensaio é apresentada pela Figura 3.

O material utilizado neste trabalho foi o Polietileno de Ultra-Alto-Peso Molecular designado: PE-UAPM - UTEC 6540, em barras cilíndricas com diâmetro de 35 mm e comprimento de 1000 mm.

TABELA 3 – Descrição da geometria das utilizadas para a geração das superfícies.

CÓDIGO ENSAIO	ESPECIFICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS
A	DCGX070204 AL	Pastilha rômica 55°, de metal duro sem cobertura, geometria positiva indicada para alumínio.
B	DCMT070204 U	Pastilha rômica 55°, de metal duro sem cobertura, geometria positiva indicado para aço / usinagem média.
C	RCGX0803 AL	Pastilha redonda, de metal duro sem cobertura, geometria positiva indicada para alumínio.

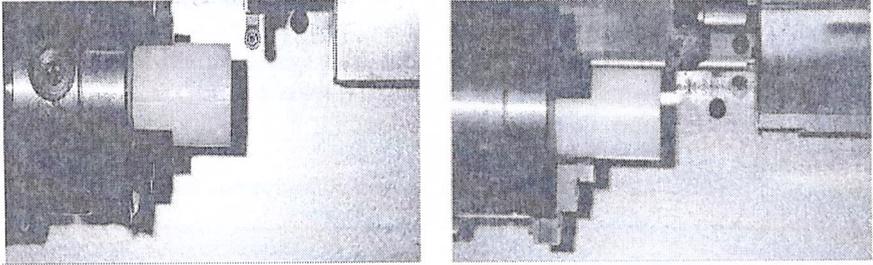


FIGURA 3 – Representação das ferramentas utilizadas no estudo.

6. AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL

A avaliação da rugosidade nas superfícies torneadas realizou-se utilizando um rugosímetro TAYLOR HOBSON, equipado com uma ponta apalpadora de diamante, de forma cone-esférica, com raio de ponta de 2 μm , em conjunto com o programa de análise de superfícies Talyprofile.

Os comprimentos de onda limite (cut-off - λ_c) foram adotados segundo os valores sugeridos pela ABNT^[7]. O comprimento de amostragem adotado foi 0,8 mm e o filtro de onda utilizado foi o 2CR-fase corrigida.

Os resultados obtidos nos ensaios foram analisados por meio de procedimentos estatísticos. Este método permitiu investigar a influência de alguns parâmetros de usinagem no acabamento superficial. O procedimento estatístico empregado foi a análise de variância (ANOVA), que permitiu determinar, em um intervalo de 95% de confiança, se os parâmetros estudados influenciaram no acabamento superficial

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos resultados realizou-se pela tendência dos resultados com relação às condições de usinagem. Por este motivo não se realizou uma análise dos desvios das medidas experimentais. Os valores de rugosidade R_a mencionados neste trabalho, tratam-se de valores médios.

A Figura 4 apresenta os resultados obtidos nos ensaios com a ferramenta DCGX11T308 AL com relação ao comportamento da rugosidade das peças torneadas em consequência da variação do avanço e da velocidades de corte. Os pontos dignos de nota nesta figura são:

- *O comportamento da rugosidade pode ser considerado proporcional a variação do avanço para os valores utilizados na pesquisa, com exceção do avanço 0,025 e 0,30 mm/volta. Sendo assim, os valores da rugosidade R_a aumentaram quando se aumentou os valores do avanço.*
- *A influência da velocidade de corte na rugosidade superficial foi pouco significativa para a ferramenta DCGX11T308 AL.*

- Utilizando-se o avanço 0,05 mm/volta e a velocidade de corte de 280 m/min, resultou em uma rugosidade Ra de aproximadamente 1 μ m, que pode ser considerado um ótimo resultado para operações de torneamento.

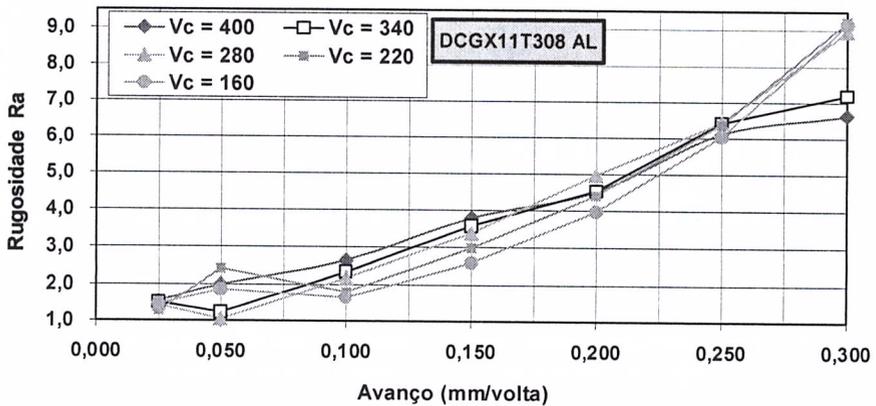


FIGURA 4 - Resultado comparativo da rugosidade superficial para a ferramenta DCGX11T308 variando-se a velocidade de corte e o avanço.

A Figura 5 apresenta os resultados obtidos nos ensaios com a ferramenta DCMT070204 com relação ao comportamento da rugosidade das peças torneadas em consequência da variação do avanço e da velocidades de corte. Os pontos dignos de nota nesta figura são:

- O comportamento da rugosidade não apresentou relação uniforme com a variação do avanço. Sendo que, o avanço que resultou no menor valor de Ra para todas as velocidades de corte utilizadas, foi de 0,20 mm/volta.
- A influência da velocidade de corte na rugosidade superficial foi pouco significativa, sem apresentar um comportamento bem definido.
- Utilizando-se o avanço 0,20 mm/volta e a velocidade de corte de 280 m/min, resultou em uma rugosidade Ra de 2,16 mm. Os resultados da rugosidade Ra obtidos neste situação, correspondendo a um avanço superior ao apresentado pelas demais ferramentas na melhor condição, poderiam ser considerados como interessante para a produção industrial. A limitação deste tipo de ferramenta para a usinagem do UHMWPE foi o calor excessivo gerado no processo de corte e a problemas relacionado com a saída do cavaco. O cavaco enrolou-se na peça e se fundiu em forma de anel, inviabilizando o torneamento em escala de produção. O tipo de cavaco gerado na usinagem com a ferramenta DCMT070204 é mostrado na Figura 6.

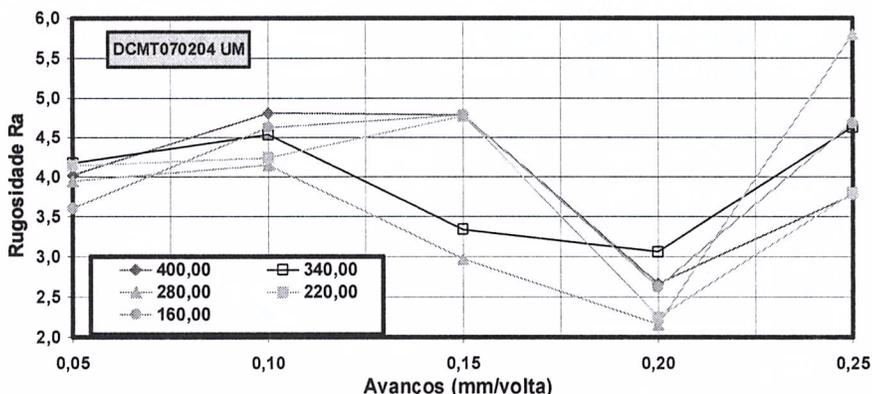


FIGURA 5 - Resultado comparativo da rugosidade superficial para ferramenta DCMT070204, variando a velocidade de corte e o avanço.

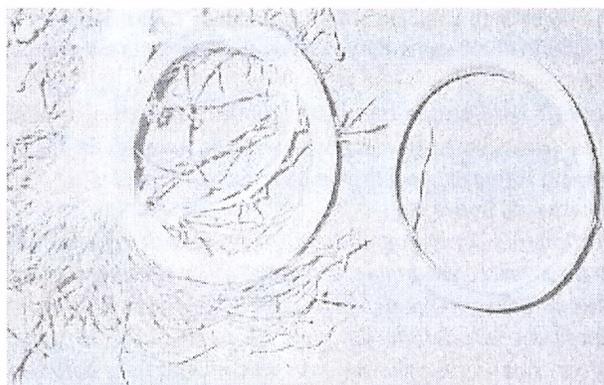


FIGURA 6 – Cavaco formado no torneamento com a ferramenta DCMT070204, para avanço 0,25 mm/volta e velocidade de corte 280m/min.

A Figura 7 apresenta os resultados obtidos nos ensaios com a ferramenta RCGX0803MO com relação ao comportamento da rugosidade das peças torneadas em consequência da variação do avanço e da velocidades de corte. Os pontos dignos de nota nesta figura são:

- *O comportamento da rugosidade não foi proporcional a variação do avanço. Pode-se observar que a variação da rugosidade Ra foi pequena entre os avanços 0,025 e 0,15 mm/volta; isto ocorreu em virtude da forma redonda desta ferramenta, que permite maior estabilidade dos valores de rugosidade com a variação do avanço.*

- A influência da velocidade de corte na rugosidade superficial foi pouco significativa para a esta ferramenta, pode-se observar, no entanto, que a menor velocidade de corte (160 m/min) com também a maior (400m/min), resultaram na maior faixa de rugosidade para este ensaio.
- Utilizando-se o avanço 0,10 mm/volta e a velocidade de corte de 220 m/min, foi encontrada uma rugosidade Ra de 1,4 mm, que é um resultado aceitável para operações de torneamento.

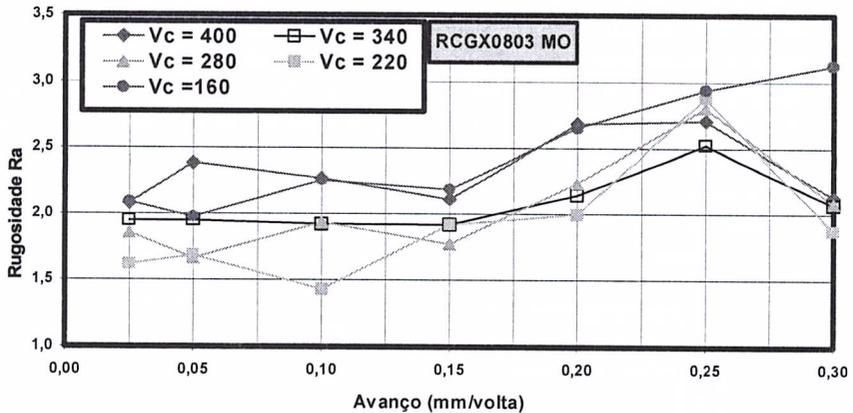


FIGURA 7 - Resultado comparativo da rugosidade superficial para a ferramenta RCGX0803MO, variando a velocidade de corte e o avanço.

Pela Figura 8, observa-se que o cavaco produzido no torneamento com a ferramenta DCGX11T308 é do tipo contínuo, que segundo a literatura é o mais indicado para a usinagem de materiais plásticos. Realmente o cavaco contínuo correspondeu aos melhores valores de rugosidade encontrados, especialmente o cavaco contínuo na forma de “mola”, que podemos observar na foto da direita, quando o avanço foi 0,05 mm/volta. Por outro lado, o cavaco contínuo obtido no avanço 0,025 mm/volta, que pode ser visto na foto a esquerda, enrolou-se de forma prejudicial ao torneamento.



FIGURA 8 – Cavaco formado no torneamento com a ferramenta “DCGX11T308 AL” para o avanço 0,025 mm/volta e 0,050 mm/volta.

As Figuras 9 e 10 apresentam resultados comparativos da rugosidade Ra para os três tipos de ferramentas de metal duro utilizadas no torneamento do UHMWPE, variando-se o avanço, para duas velocidades de corte fixas. Os pontos dignos de nota nestas figuras são:

- Os resultados da rugosidade Ra para a ferramenta DCGX11T08 AL foram mais influenciados pela variação do avanço que as demais ferramentas. Para a ferramenta RCGX0803 MO, a influência da variação de avanço, na rugosidade Ra pode ser considerado insignificante.
- Pode-se considerar que não houve diferença entre o comportamento da rugosidade Ra para as velocidade de corte de 220 e 280 m/min, ou seja, entre os gráficos da Figura 9 e 10. A exceção foi a ferramenta DCMT070204 para o avanço 0,025 mm/volta.
- A utilização da ferramenta DCMT070204 é pouco recomendável para o torneamento do UHMWPE, em virtude do calor excessivo gerado no processo de corte e a problemas relacionado com a saída do cavaco.

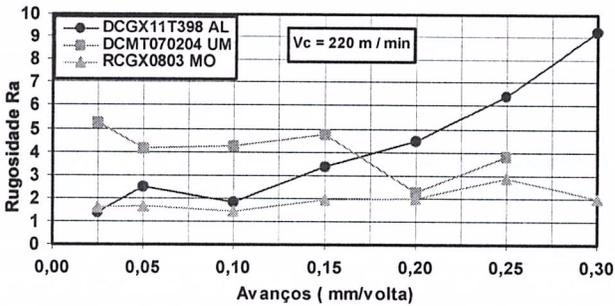


FIGURA 9 – Resultado comparativo entre a rugosidade superficial gerada por três diferentes geometrias de ferramenta, sendo a velocidade de corte de 220 m/min.

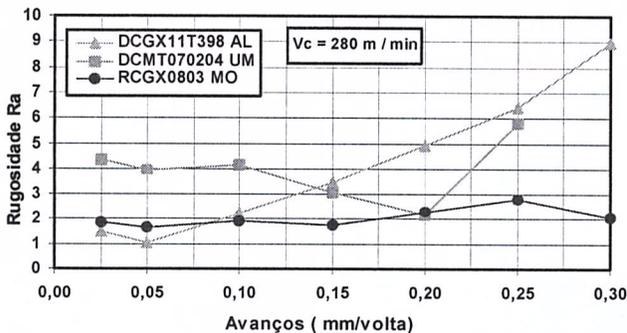


FIGURA 10 – Resultado comparativo entre a rugosidade superficial gerada por três diferentes geometrias de ferramenta, sendo a velocidade de corte de 280 m/min.

As Figuras 11, 12 e 13 apresentam resultados comparativos da rugosidade Ra para os três tipos de ferramentas de metal duro utilizadas no torneamento do UHMWPE, variando-se a velocidade de corte, para três avanços fixos. Os pontos dignos de nota nestas figuras são:

- A variação da velocidade de corte teve pouca influência na rugosidade superficial do UHMWPE.
- Para as velocidades de corte de 220 e 280 m/min, o comportamento da rugosidade Ra, variando-se o avanço, foi praticamente o mesmo. Ou seja, a ferramenta DCMT070204 UM apresentando o pior resultado, e as demais ferramentas assinalando resultados muito próximos. Para o avanço 0,20 mm/volta a situação se inverte, ou seja, a ferramenta DCGX11T08 AL apresenta o pior resultado, enquanto a ferramenta DCMT070204 UM passa a apresentar um resultado próximo daquele registrado pela ferramenta RCGX0803 MO, sendo que esta última, apresenta o melhor resultado nos três casos.

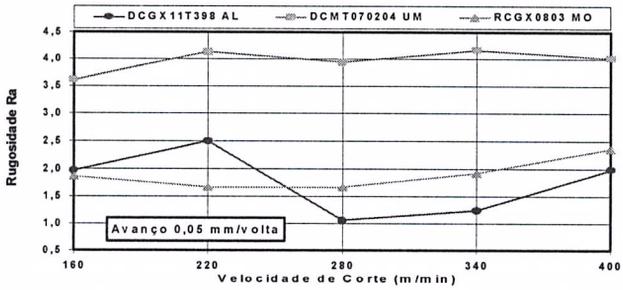


FIGURA 11 - Resultado comparativo entre a rugosidade superficial gerada por três diferentes geometrias de ferramenta, sendo o avanço 0,05 mm/volta.

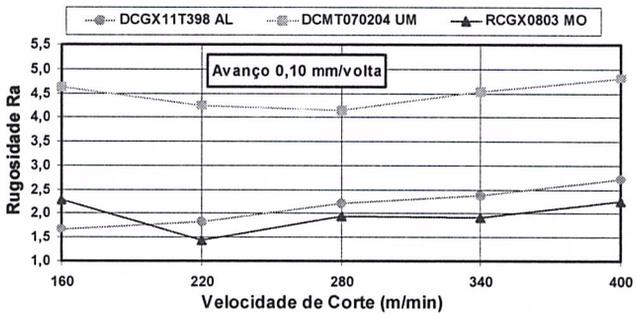


FIGURA 12 - Resultado comparativo entre a rugosidade superficial gerada por três diferentes geometrias de ferramenta, sendo o avanço 0,10 mm/volta.

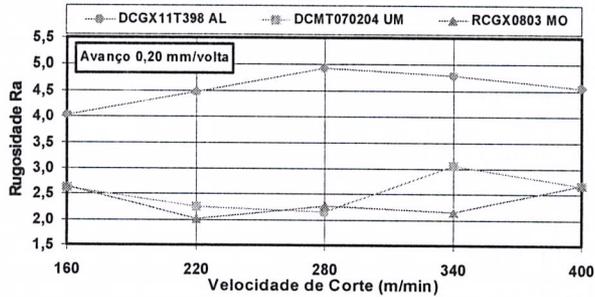


FIGURA 13 - Resultado comparativo entre a rugosidade superficial gerada por três diferentes geometrias de ferramenta, sendo o avanço 0,20 mm/volta.

8. CONCLUSÕES

Por meio da análise dos resultados obtidos nos ensaios realizados, verificou-se que a rugosidade superficial (R_a) para o material UHMWPE, em operações de torneamento, sofre grande influência do tipo de ferramenta utilizada. Com a utilização da ferramenta e dos parâmetros adequados, é possível a obtenção de excelente acabamento superficial no torneamento do UHMWPE. Portanto, pode-se concluir que:

- O avanço tem grande influência no acabamento superficial para o torneamento do material UHMWPE. O comportamento da rugosidade com o aumento dos valores do avanço ocorreu de maneira distinta para cada geometria de ferramenta. A ferramenta RCGX0803 apresentou o melhor comportamento, visto que o acabamento superficial se manteve praticamente constante na faixa de avanço de 0,025 a 0,15 mm/volta. O resultado assinalado pela ferramenta DCGX11T308 AL foi muito influenciado pelo avanço; porém, o melhor acabamento superficial desta pesquisa foi obtido para esta ferramenta, quando o avanço foi 0,05 mm/volta.
- A velocidade de corte teve influência pouco significativa no acabamento das superfícies geradas no torneamento do material UHMWPE. Pode-se concluir que, para todas as ferramentas utilizadas neste estudo, as velocidades de corte que resultaram em melhor acabamento superficial foram 220 e 280 m/min.
- Dentre as ferramentas utilizadas neste trabalho, conclui-se que as insertos DCGX 11T308 AL e RCGX 0803 MO AL, são os mais indicadas para o torneamento do material UHMWPE, quando o objetivo for o acabamento superficial. Os melhores resultados obtidos com estas ferramentas foram para a faixa de avanço de 0,025 a 0,100 mm/volta e a velocidade de corte foi de 220 a 280 mm/volta.

9. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- [1] UTEC. *Boletim técnico* 6. São Paulo, 1998.
- [2] ALAUDDIN, M. et al. Plastics and their machining. *Journal of material processing technology*. v.54, p.40–46, 1995.
- [3] ERIKSEN, E. *Machining of short fibre reinforced thermoplastics*. Aalborg, August 1997. 169p. Ph.D thesis: Aalborg University, Denmark.
- [4] CARR, J. W.; FEGER, C. Ultraprecision machining of polymers. *Precision Engineering*, outubro 1993. Nº 4, p. 221-235.
- [5] JIN, L. Z.; SANDSTRÖM, R. Evaluation of Machinability Data. *Journal of Testing and Evaluation*, Suécia, Estocolomo, Maio 1994. Volume 22, nº 3, p.204-211.
- [6] TRIBOULOT, P.; KREMER, P.; MARTIN, P., 1991. *Planning of Norway Spruce With Very Ring Width*. *Holz als Roh und Werkstoff*, v49, p 181-184.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Rugosidade das Superfícies Procedimento*. NBR 6405. Rio de Janeiro, 1988.
- [8] KOBAYASHI, A.; HIRAKAWA, K. Ultraprecision Machining of Plastics, part 1, polymethyl methacrylate. *Polym. Plast. Technol. Eng.*, Japão, 1984. Nº 1, p. 15-25.
- [9] SONG, J. et al. Effects of Machining on tribological behavior of ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE) under dry reciprocating sliding. *Wear*, Charlton, EUA, 1999. p. 716-723.

RECONHECIMENTOS

Os procedimentos experimentais deste estudo foram realizados nos Laboratórios da Faculdade de Engenharia - UNESP, Campus de Bauru.

Manifestamos nossos agradecimentos à empresa Titana Tecnologia Comércio e Indústria de Polímeros Ltda, e a Empresa PS Ferramentas, pelo apoio técnico e material concedido para a realização deste trabalho.