

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MATHEUS DE OLIVEIRA NOVAK

RELATÓRIO FINAL

PROGRAMA DE IC:	MODALIDADE:
<input checked="" type="checkbox"/> PIBIC	<input type="checkbox"/> CNPq
<input type="checkbox"/> PIBIC Af	<input type="checkbox"/> UFPR TN
<input type="checkbox"/> PIBIC EM	<input checked="" type="checkbox"/> Fundação Araucária
<input type="checkbox"/> PIBITI	<input type="checkbox"/> Voluntária

**TÍTULO: Avaliação de ferramentas comerciais na usinabilidade de materiais
poliméricos**

Relatório apresentado à Coordenação de Iniciação Científica e Tecnológica da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial da conclusão das atividades de Iniciação Científica ou Iniciação em desenvolvimento tecnológico e Inovação – Edital 2021.
Orientador (a): Prof. Dalberto Dias da Costa
Título do projeto: Usinabilidade de materiais poliméricos.

CURITIBA

2021

RESUMO

A usinabilidade pode ser entendida como a facilidade de se usinar um dado material. Por ser uma grandeza tecnológica, ela é influenciada pelo processo e condição de corte. No caso de polímeros, têm-se observado um aumento na utilização do processo de usinagem para fabricação de produtos baseados nestes materiais, pois se tornaram bons candidatos na substituição de metais em diversas aplicações. Tendo isto em vista, o objetivo deste trabalho é avaliar a usinabilidade do polímero UHMW-PE, sob o ponto de vista da formação e controle do cavaco, quando torneado com ferramentas de corte comerciais (com diferentes geometrias e tipos de quebra-cavacos), e então comparar os resultados com outros valores previamente adquiridos. O processo de usinagem foi realizado com velocidade de corte constante em 250m/min. Foram avaliadas duas técnicas para controle de cavaco: o roscamento seguido de acabamento e o torneamento com interrupção (G74) onde há uma sequência de recuos e avanços (as quais foram variando conforme os resultados). O avanço originalmente ficou em 0,10mm/rot e a profundidade de corte em 1,25mm. Com os corpos de prova usinados com estes parâmetros, os resultados foram comparados a outro experimento realizado no passado, e então foi analisado o efeito que a técnica e pastilha fizeram de diferente no corpo de prova. Como resultado ao utilizar o método G74, o cavaco não apresentou melhoras, e em alguns casos chegou-se a formar uma casca em volta do corpo de prova. Porém fazendo-se uma rosca em duas etapas, primeiramente com avanço de 2mm/rot e profundidade de 1,25mm, e secundamente com um avanço de 0,1mm/rot e profundidade de 0,1mm, não houve a formação de uma capa. Uma possível solução ao problema encontrado é testar a utilização de uma pastilha para liga de alumínio com ângulo de saída positivo. O esperado é que essa mudança de quebra-cavaco interfira positivamente no controle da forma de cavaco para se obter um melhor acabamento da peça.

Palavras-chave: Polímero 1. Usinabilidade 2. Forma de cavaco 3.

INTRODUÇÃO

Os polímeros de engenharia são uma inovação ao mercado e indústria de plásticos, pois suas propostas consistem em uma transformação mais fácil dos polímeros em peças que são utilizadas em diversos setores do mercado (como exemplo a indústria têxtil, civil e biomédica). Tais peças também podem oferecer propriedades convenientes como alta resistência mecânica e química, versatilidade e uma excelente usinabilidade (facilidade que se tem em ser cortado ou usinado). Porém infelizmente a quantidade de informações que se tem sobre a usinabilidade dos polímeros é um pouco escassa.

Dos processos para a modificação e transformação dos polímeros, a usinagem é uma delas, e, portanto, a usinabilidade é um tema crucial neste aspecto. Neste processo o material polimérico a ser usinado é avaliado em sua usinabilidade, em seu comportamento mecânico, e em seu comportamento termoquímico. E, com essas informações, se escolhe a operação de usinagem e a ferramenta de corte.

Tal procedimento é feito para que se tenha o melhor resultado, com o menor nível de falhas possível. E, portanto, se o polímero usinado for satisfatório, poderá ser implementado ao devido projeto visando diminuir custos e aumentar a eficiência. Por ser uma tecnologia em desenvolvimento, se espera que cause um impacto considerável na indústria aumentando a eficiência das produções e criando novas tecnologias. Além disso, se espera também que tudo isso seja a uma economia mais acessível, tanto para o produtor quanto para o consumidor.

REVISÃO DA LITERATURA

A usinabilidade dos polímeros requer mais estudos, pois os conhecimentos deste tema em livros e afins são relativamente escassos. Da bibliografia disponível, uma que se destaca é o livro “Machining of plastics”, de Akira Kobayashi (1967). No que se refere ao conceito de polímeros de engenharia no geral, há outras fontes que dão um grande aparato sobre o tema, como “Ciência dos polímeros”, de Sebastião Vicente C. Jr. (2002), há também “Ciência e engenharia de materiais: uma introdução”, de Willian D. Callister (1985).

Começando com o conceito mais geral sobre o tema. Segundo Callister (1985), como material de engenharia os polímeros apresentam muitas vantagens. São extremamente versáteis, podendo ser encontrados em diversos ramos da indústria. De forma geral os materiais poliméricos apresentam densidade menor que os materiais tradicionais, isso significa que costumam ser mais leves, e isso aumenta o gama de aplicações podendo ser utilizados desde a indústria têxtil, até a construção civil. Pela alta processabilidade dos polímeros, são facilmente moldáveis pelo calor.

A mobilidade de uma cadeia polimérica determina as características físicas do produto, e essa mobilidade provém da agitação dos átomos nas moléculas. Portanto, as características físico-químicas relacionadas aos polímeros são fundamentais para entender seu desempenho termomecânico.

As **Temperaturas de Transição**, presentes em polímeros, podem ser vistas em pelo menos três temperaturas: **Transição vítrea**, **Fusão cristalina**, e **Cristalização**.

A **temperatura de transição vítrea (T_g)** é o valor médio da faixa de temperatura que, durante o aquecimento de um material polimérico de uma temperatura muito baixa até uma temperatura muito elevada, permite que as cadeias poliméricas da fase amorfa consigam mobilidade, ou seja, a possibilidade de mudança de conformação. Abaixo de T_g o polímero não possui força interna suficiente para que tenha deslocamento de uma cadeia com a relação à outra, por isso é rígido, um bom exemplo seria o vidro. Algumas propriedades (como módulo de elasticidade, coeficiente de expansão e calor específico) alteram conforme o T_g, e por isso pode ser utilizado para a determinação dessas características. Da mesma forma pode-se dizer que a transição vítrea ocorre no resfriamento correspondente a uma transição de um material viscoso ou líquido para um material borrachoso, e sequencialmente a um material rígido.

A transição vítrea é uma transição reversível nos materiais amorfos entre um estado relativamente rígido e um estado mole (como um líquido de altíssima viscosidade), mas é importante reforçar que essa transição não é uma mudança de fase. A transição é feita numa faixa de temperatura com algumas convenções, tais como: taxa de resfriamento constante (20K/min), e um limiar de viscosidade de 10^{12} Pa.s.

Segundo SCHNEIDER (2008), a deformação viscosa, que é provocada por temperaturas na zona acima da temperatura de transição vítrea, é essencial para a qualidade do acabamento superficial dos polímeros na usinagem. Nesta situação, conforme explica SALLES (2003), os parâmetros de usinagem devem ser escolhidos para que a temperatura da zona de corte não ultrapasse o T_g, para que também os cavacos não se tornem viscosos.

Além disso, de forma geral, os processos de usinagem relacionados aos polímeros apresentam um custo relativamente baixo, pois o consumo de energia para o processo também é relativamente menor. A aditivação é um ponto positivo aos polímeros, pois podem facilmente ser associados a outras substâncias para melhorar suas propriedades.

Segundo Sebastião (2002), os materiais poliméricos são biocompatíveis, isso quer dizer que são amplamente usados na área médica e de engenharia biomédica. Alguns exemplos de polímeros de adição: polietileno (fabricar sacos de lixo e embalagens), polipropileno (fabricação de poltronas e cadeiras), pvc (usado em tubos para encanamentos hidráulicos), isopor, orlon (usado na obtenção de lã sintética), acrílico e teflon. Alguns exemplos de polímeros e copolímeros de condensação: amido, celulose, náilon, poliuretano (poliéster).

Esse conceito já é empregado em muitas fontes quando o assunto é polímero, principalmente quando o contexto é engenharia e usinagem.

No ramo industrial pouco tem sido feito para desenvolver equipamentos e técnicas para a usinagem de polímeros, a atenção foi muito maior para os metais e madeira. Além disso está sendo muito difícil usinar todos os plásticos com sucesso devido à imensa variedade e pouco entendimento de sua **usinabilidade**.

Em termos mais simples, usinabilidade significa a facilidade (neste caso, de um plástico) que o material tem em ser cortado. E, em todo corte, há a geração de cavacos.

A formação de cavacos na usinagem do polímero é algo a ser controlado. Há diversos tipos de cavacos que podem se formar, desde cavacos contínuos até descontínuos. Um cavaco deformado essencialmente de forma elástica, e com a grossura equivalente a profundidade do corte, é chamado de “*contínuo*”. Esses

cavacos são os que mais se assemelham aos cavacos de metais. Quando o intervalo de torneamento é muito elevado no plano de cisalhamento, cavacos descontínuos são criados.

Não somente os cavacos são um objeto importante de estudo para a usinagem de polímeros, mas também são as deformações do material durante o processo. Como diz Kobayashi ("Machining of plastics", 1967), as deformações precisam ser controladas para se obter a maior precisão de dimensão e a menor distorção depois de usinado.

Durante a usinagem pode ocorrer uma "recuperação elástica" que interfere no tipo de corte. É assim porque a expansão do material comprimido causa atrito entre a superfície recuperada e a superfície com folga. Este atrito também causa calor e desgasta a ferramenta que está sendo utilizada.

Mudanças na direção da deformação varia com o ângulo de inclinação da ferramenta. Já que a tensão é proporcional a deformação, a força correspondente durante o processo também vai variar com o ângulo de inclinação da ferramenta. A figura abaixo mostra um esquema de um corte ortogonal com suas respectivas forças.

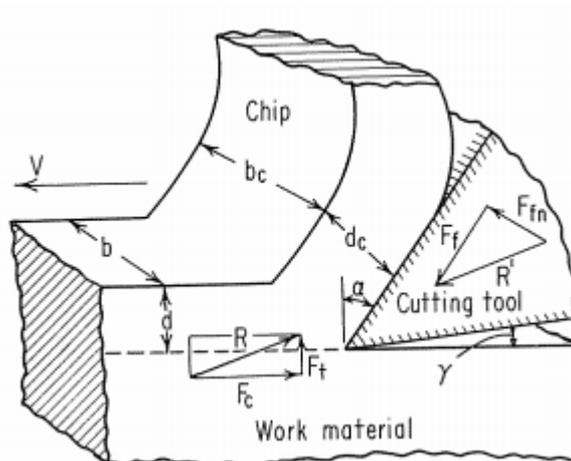


Figura 1.1 - Corte Ortogonal (Fonte: Machining of Plastics. KOBAYASHI, A. 1967)

Então, existem fatores muito importantes a serem considerados para a realização da usinagem de um polímero, como: **Tipo de cavaco produzido, Condições de corte, Formato da ferramenta, Propriedades termomecânicas do polímero.** De forma geral, é preferível que os cavacos sejam contínuos para evitar a geração de calor e diminuir o atrito para ter menos desgaste. As melhores ferramentas

para esses casos precisam ter um grande ângulo de inclinação que geralmente produzem cavacos contínuos.

Voltando ao assunto de usinabilidade, existem três principais medidas que servem para qualificar a usinabilidade de um plástico, são: **Condição da ferramenta, Acabamento da superfície de corte, Força necessária para realizar o corte e forma de cavaco**. Além disso, uma boa usinabilidade significa um consumo reduzido de energia, pouca deformação na ferramenta e cortes suaves na superfície. A usinabilidade também pode ser quantificada por um fator de usinabilidade:

$$\eta = \frac{Vm}{Vw*hp*Sf} \quad (1)$$

Nesta equação, “*Vm*” é o volume de corte por unidade de tempo [mm³/min]; “*Vw*” é a quantidade de deformação na ferramenta por unidade de tempo [mm³/min]; “*hp*” é o consumo de energia durante o corte [kw]; “*Sf*” é a dureza da superfície de corte [mícron].

Se a temperatura da zona de corte exceder a temperatura vítrea é provável que resultará em uma boa superfície de corte. Isso acontece porque o material está em um estado mais borrachoso e, portanto, com uma força de rendimento menor. Em outro caso seria possível ver fraturas no resultado.

A ferramenta de corte possui tal geometria que permite a criação dos cavacos. Ela geralmente irá constar com uma ponta principal e uma auxiliar, a principal irá cortar a principal parte do material, e a ponta auxiliar irá cortar a superfície secundária e remover o material. Na ponta principal da ferramenta pode haver um lado com uma curvatura, quanto maior essa curvatura melhor será o acabamento da superfície e a força da ferramenta. O ângulo de corte (ângulo relativo a parte cortante da ferramenta, podendo ser mais grosso ou mais fino) influencia diretamente na espessura do cavaco produzido, e também é necessário um ângulo de folga (ângulo relativo a posição da face cortante com a superfície de referência) entre a ponta de corte com a superfície perpendicular. Estes dois ângulos são necessários para, respectivamente, controlar os cavacos e dissipação de calor no gume, e para realizar o corte em si. Experimentos usando um ângulo de folga negativo mostrou como resultado formações de cavacos descontínuos e uma quantidade maior de forças, e conseqüentemente uma superfície de corte mais áspera.

Para determinar os ângulos na cunha (ferramenta) é usado um sistema de referência o qual é constituído por 3 planos ortogonais, e passam pelo ponto de referência do gume de corte. São: plano de referência (perpendicular à direção de corte), plano de corte (perpendicular ao plano de referência) e plano ortogonal (plano ortogonal aos planos de referência e de corte) como mostra a figura 1.2.

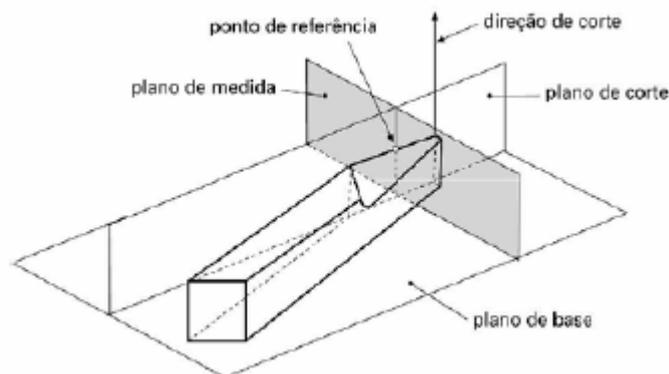


Figura 1.2 – Planos de usinagem (Fonte: COPERVE-UFSC, 2014)

Kobayashi (“Machining of plastics”, 1967) realizou vários experimentos para determinar a usinabilidade de alguns polímeros, e um dos métodos utilizados por ele foi o método de ferramenta de ponta única. Estes foram os resultados de alguns dos polímeros:

- O polietileno possui uma boa usinabilidade, pois é cortado facilmente mesmo com equipamentos básicos de corte. Cavacos contínuos são sempre produzidos no corte de polietileno, e a força de corte é relativamente menor que outros termoplásticos.
- O PVC (Policloreto de vinila) rígido é relativamente fácil de ser cortado, e produz cavacos contínuos quando o ângulo de inclinação não é alto, e nem a velocidade de corte. A variação da força de corte muda de forma similar com os outros termoplásticos.
- O acrílico é relativamente fácil de ser usinado, porém condições impróprias de corte podem causar diversos problemas. Irá ser produzido cavacos contínuos em condições de 0,1mm de profundidade de corte e 0.8 m/min de velocidade de corte. Mudanças nessas condições podem causar diversos tipos de cavacos descontínuos. De forma geral, cavacos contínuos serão produzidos em ângulos de inclinação e velocidade de corte baixas.

- Materiais como poliestireno, copolímero de estireno, PTFE (Politetrafluoretileno) são amplamente usados na engenharia, e de forma geral são um pouco mais difíceis de serem usinados a condições de baixas tolerâncias.
- O náilon (ou simplesmente nylon) é usado em diversas ocasiões da engenharia mecânica, e requer operações precisas de usinagem. Quando a velocidade de corte, profundidade de corte, e ângulo de inclinação são excessivos há uma grande possibilidade de criar cavacos descontínuos. Mas de forma geral, cavacos contínuos são os mais comuns de acontecerem quando náilon é usinado.
- Os policarbonatos possuem excelente resistência térmica. Os cavacos mais comuns de serem produzidos com a usinagem de policarbonatos são longos e enrijecidos, mas pode-se variar como os outros termoplásticos. Quando a velocidade de corte de baixa, os cavacos formados quase sempre serão contínuos, exceto quando o ângulo de inclinação é grande e negativo.

Nos ensaios de curta duração, os seguintes critérios podem ser utilizados como avaliação: Forças; Integridade da superfície; Temperatura; Energia específica; Forma do Cavaco; Estado da ferramenta sob condições de corte extremos.

Os principais polímeros de engenharia, e suas respectivas propriedades, são dadas a seguinte:

- ABS: Polímero produzido através da polimerização por emulsão do acrilonitrilo e estireno com a presença de polibutadieno. As propriedades que melhor definem o ABS é a sua fluidez, resistência ao impacto e resistência térmica. Graças ao monômero de estireno, o ABS possui boa usinabilidade. Pode ser aplicado em brinquedos, aspiradores, painéis automotivos, lâminas, entre muitos outros.
- PA 6, 6.6: Também conhecidos como Nylon 6, e Nylon 66, são um dos polímeros mais utilizados devido as suas propriedades. São produzidos pela polimerização de um ácido com uma amida. Possuem resistência muito elevada, além de elevada fluidez, resistência a abrasão, e resistência ao envelhecimento. Também possuem uma ductilidade considerável a

temperaturas mais baixas. Por ser um nylon, possui boa usinabilidade, e geralmente são produzidos cavacos contínuos em seu processo de usinagem. É amplamente aplicado em diversos modelos de produção, como a automóvel (para airbags e air fuel), a elétrica (interruptores), ferroviária, mobiliário e outros.

- PC: Também chamado de Policarbonato, é produzido por uma reação de policondensação. Possui peculiarmente uma característica de transparência elevada em relação aos outros polímeros, ao mesmo tempo que pode adquirir cores diferentes com diferentes intensidades. Apresenta elevada tenacidade, alta resistência térmica, boas propriedades dielétricas e boa estabilidade dimensional. Na sua usinabilidade, como dito anteriormente, quase sempre serão produzidos cavacos contínuos com baixa velocidade de corte. É utilizado na produção de faróis, conectores elétricos, carcaças de aparelhos de diálise, discos compactos, difusores e outros.
- PET: É um poliéster com densidade relativamente alta, e é produzido por esterificação direta do ácido tereftálico purificado com monoetileno glicol. O pet possui baixa resistência à tração, porém boas resistências no geral, e isso pode variar de acordo com a produção. Possui também baixa absorção de umidade, boa resistência à deformação e boa resistência química contra ácidos. Possui uma boa usinabilidade e soldabilidade. É usado para fabricação de estojos, bobinas, maçanetas, engrenagens, elementos deslizantes e outros.
- POM: Também conhecido como poliacetal, ou simplesmente acetal. Pode ser dividido em POM Homopolímeros e POM Copolímero, são produzidos por polimerização. O POM homopolímero possui um maior grau de cristalinidade, enquanto o POM copolímero possui uma melhor resistência química. Nos dois casos, há uma elevada rigidez e resiliência, além de um baixo desgaste e absorção de água. Possui boa usinabilidade, porém é importante evitar aquecimentos excessivos por causa de tensões internas prejudiciais. É aplicado na produção de engrenagens, buchas, rotores, placas de desgaste, correntes, fechos e outros.
- PPS: Uma das alternativas favoritas aos metais. O Sulfeto de Polifenileno é um polímero semicristalino com excelentes propriedades mecânicas,

térmicas e químicas. Possui baixa absorção de água, e uma resistência muito elevada à fluência. Possui boa usinabilidade, e é usado em fabricações de disjuntores, bombas automotivas, dispositivos cirúrgicos, bobinas, válvulas e outros.

- SAN: É um copolímero de estireno com acrilonitrilo. Possui elevada transparência, rigidez e dureza superficial. Além de uma boa resistência química, é utilizado em processos onde requer uma resistência considerável a temperaturas mais elevadas. Possui um acabamento brilhante, por isso é escolhido para a produção de displays.
- UHMW-PE: O Polietileno de ultra alto peso molecular é um termoplástico com uma das maiores forças de impacto entre os polímeros. É resistente a químicos corrosivos, e possui uma baixa absorção de umidade. Além disso, possui um coeficiente de fricção baixo, o que o torna um auto lubrificante. É extremamente resistente à abrasão, podendo ser quinze vezes mais resistente do que aços de carbono. É utilizado nas áreas automotivas, industriais, bens de consumo, utensílios domésticos, e médico hospitalares.

MATERIAIS E MÉTODOS

O primeiro passo a ser feito é a coleta de informações, e, portanto, uma revisão bibliográfica sobre os temas: polímeros (comportamentos mecânicos e termoquímicos), usinagem e usinabilidade (ferramentas de corte, ângulo de corte, formações de cavacos, e processos de usinagem). O objetivo é entender o que é um polímero, quais são seus comportamentos mecânicos e termoquímicos, o que é a viscoelasticidade e a temperatura de transição vítrea de um polímero. Além disso também se tem como objetivo procurar entender o que é usinabilidade, conhecer os tipos de usinagem e como aplicá-los, saber qual a importância da produção de cavacos e sobre como utilizar as ferramentas de corte durante a usinagem.

A partir destas informações determinar um material polimérico a ser submetido a um certo processo de usinagem e a certas condições específicas de ferramenta de corte, e fazer simulações. No caso deste projeto, o polímero é o polietileno de alto peso molecular (UHMW-PE).

O torno utilizado é equipado com um comando numérico computadorizado (CNC), seu modelo é QTN 100II, da marca Mazak. Os corpos de prova são cilindros de UHMW-PE. O porta-ferramenta é do modelo MWLNL-2020 K06 (Sandvik), e a pastilha é uma WNMG 060404-KF 3005 (Sandvik), recomendada para acabamentos e usinagem de ferros fundidos.

O ensaio de usinabilidade foi baseado nos critérios de forma de cavaco. E o formato da programação da máquina foi o G74 (onde, durante o processo de torneamento, há uma intercalação de avanços e pequenos recuos pela ferramenta de corte. Ver figuras 1.3), e posteriormente foi realizado ensaios por roscamento. Antes do ensaio acontecer, foi realizado um pequeno desbaste para melhorar a superfície da peça e retirar dela as rebarbas.

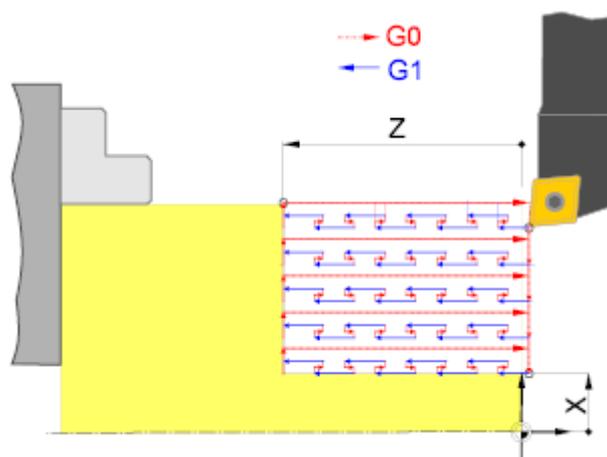
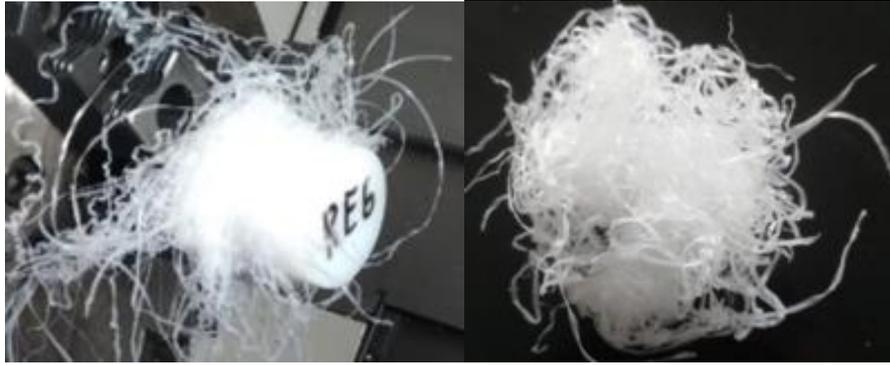


Figura 1.3 – Ciclo de torneamento G74 (Fonte: Programación CNC, 2018. Disponível em: <<https://www.programacioncnc.es/g74-ciclo-desbaste-longitudinal/>>)

A última etapa foi avaliar visualmente o formato do cavaco criado, e discernir se o resultado foi bom ou ruim.

RESULTADOS e DISCUSSÃO

Segundo o trabalho realizado por Welton Santos (2018), o cavaco de um cilindro de UHMW-PE torneado com as especificações: 250m/min (velocidade de corte); 0,10mm/rot (avanço); e 1,25mm (profundidade de corte), resulta numa forma de cavaco mostrada na figura a seguir:



(Figura 1.4 - $V_c = 250\text{m/min}$; $f = 0,10\text{mm/rot}$; $A_p = 1,25\text{mm}$. SANTOS, F. W. 2018.)

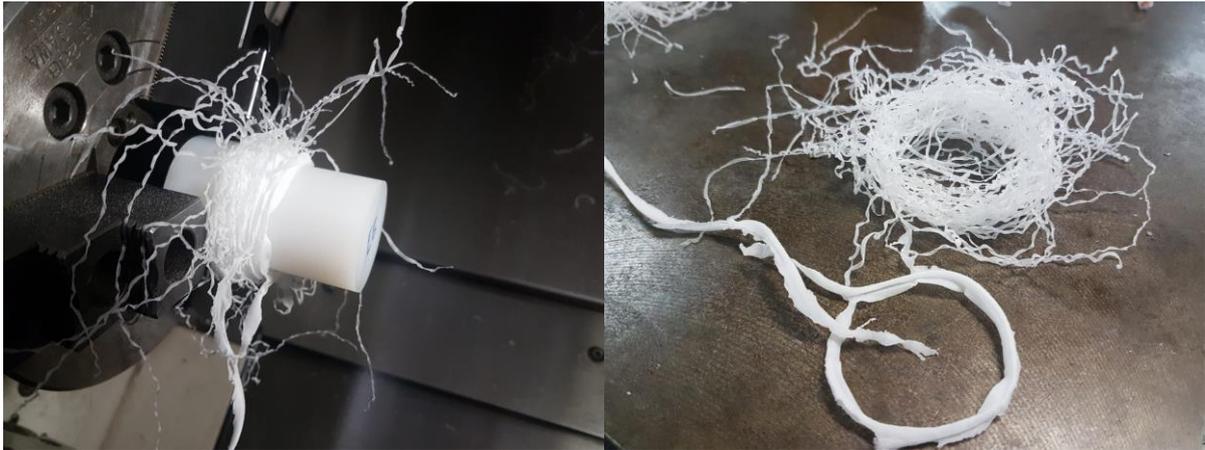
Mantendo os valores, porém agora aplicando a programação G74 com 0,1mm de recuo, o resultado foi:



(G74; $V_c = 250\text{m/min}$; $F = 0,10\text{mm/rot}$; $A_p = 1,25\text{mm}$; $\text{Recuo} = 0,1\text{mm}$)

É notável que não houve uma melhora no cavaco, pois neste caso houve até o surgimento de uma espécie de capa, mostrando que o cavaco não chegou a quebrar.

Foi feito então outro torneamento, porém desta vez com recuo de 0,5mm. Eis o resultado:



(G74; $V_c = 250\text{m/min}$; $F = 0,10\text{mm/rot}$; $A_p = 1,25\text{mm}$; $\text{Recuo} = 0,5\text{mm}$)

Neste caso, alterar o recuo mostrou não ser eficiente, pois o cavaco continuou na mesma qualidade que o teste anterior. Além disso, o tempo de usinagem aumentou em relação ao último teste, esse tipo de situação pode trazer consequências a qualidade de peça usinada devido ao aumento de temperatura durante o processo.

No próximo teste o recuo foi aumentado para 2mm, eis o resultado:



(G74; $V_c = 250\text{m/min}$; $F = 0,10\text{mm/rot}$; $A_p = 1,25\text{mm}$; $\text{Recuo} = 2\text{mm}$)

Aqui parte do cavaco foi quebrado, porém no final ainda gerou uma espécie de capa e parte do cavaco continuou presa ao corpo de prova.

Como a programação do torno em G74 não deu bons resultados, a estratégia foi mudada para roscamento seguido de acabamento.

No primeiro teste, o roscamento foi realizado com avanço de 2mm, este é um valor relativamente alto e, portanto, o processo foi extremamente rápido. Depois então

é feito o acabamento com avanço de 0,1mm/rot e 0,1mm de profundidade de corte. Eis o cavaco que se surgiu:



(Rosçamento; $V_c = 250\text{m/min}$; $F = 2\text{mm/rot}$; $A_p = 1,25\text{mm}$)



(Acabamento; $V_c = 250\text{m/min}$; $F = 0,10\text{mm/rot}$; $A_p = 0,1\text{mm}$)

Neste caso é possível ver que o cavaco quebrou, porém, a superfície ficou muito rugosa comprometendo então sua qualidade.

Nenhum dos métodos utilizados provou ser eficiente na usinagem do polímero UHMW-PE, por isso será necessário fazer novos testes.

CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS

A usinagem dos polímeros ainda é uma área que está sendo descoberta, ainda há muito o que aprender e muitos testes a se fazer. Por este motivo é importante que se tenha uma série de estudos sobre a usinabilidade de polímeros específicos, sob condições de usinagem específicas.

O UHMW-PE mostrou não ser bem usinado sob as condições realizadas neste projeto, porém ainda que isto já sirva como conhecimento, é possível pensar em meios que possam resolver isso.

Utilizar um inserto que tenha um ângulo de saída positivo pode sanar os problemas que foram encontrados utilizando o inserto deste ensaio. Pois tendo o ângulo de saída positivo o cavaco tende a ter uma melhor forma, e com isso, a peça usinada tenderá a ter uma qualidade melhor, e o processo de usinagem estará energeticamente mais eficiente.

REFERÊNCIAS

SANTOS, F. W. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DE FERRAMENTA NA USINABILIDADE DE MATERIAIS POLIMÉRICOS. Trabalho de conclusão de curso. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

KOBAYASHI, A. Machining of plastics. United States of America: McGRAW-HILL BOOK COMPANY. 1967.

SEBASTIÃO, V.; CANEVAROLO, Jr. Ciência dos polímeros: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 3ª Edição. Brasil: Artliber. 2010.

WILLIAM D. CALLISTER, Jr. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 7ª Edição. Estados Unidos da América: LTC. 2008.

SALLES, J.I.C; CORRÊA, L.O; GONÇALVES, M.T.T. Effects of machining parameters on surface quality of the ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE). Revista Matéria, Rio de Janeiro, v.8, p. 1- 10, 2003.

SCHNEIDER, E. L; MARQUES, A. C; FALLER, R. R; JÚNIOR, W. K; Análise dos Parâmetros de Usinagem no Acabamento Superficial de Polímeros. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.