



DEFINIÇÕES DE ESTRATÉGIAS DE CORTE PARA FABRICAÇÃO DE PROTÓTIPO DE SATÉLITE EM ACRÍLICO

Willian Tavares de Carvalho

Instituto Tecnológico de Aeronáutica / Divisão de Engenharia Mecânica - Aeronáutica Praça
Marechal Eduardo Gomes 50, Vila das Acácias - CEP 12228-900
São José dos Campos – SP
wtavares@ita.br

Janaina Fracaro de Souza

Instituto Tecnológico de Aeronáutica / Divisão de Engenharia Mecânica - Aeronáutica Praça
Marechal Eduardo Gomes 50, Vila das Acácias - CEP 12228-900
São José dos Campos – SP
janainaf@ita.br

Jacson Machado Nunes

Instituto Tecnológico de Aeronáutica / Divisão de Engenharia Mecânica - Aeronáutica Praça
Marechal Eduardo Gomes 50, Vila das Acácias - CEP 12228-900
São José dos Campos - SP
jacson@ita.br

Resumo: *Este trabalho apresenta a usinagem de um simulador de controle de atitude com três graus de liberdade usando um mancal aerostático. A finalidade do simulador é servir de plataforma para avaliar o desempenho de sistemas de controle de atitude para aplicações de um satélite (ITASAT). Para satisfazer as necessidades do sistema, é necessário usinagem de precisão das superfícies para minimizar forças de atrito no mancal aerostático. A partir dessa necessidade, realizou-se um estudo para definir a programação CAM.*

Para isso, foi feita a manufatura de duas peças em acrílico que serão usadas no protótipo de satélite. O objetivo desse trabalho foi comparar dois tipos de estratégias de usinagem para o acabamento da área externa do satélite visando alcançar os valores especificados no projeto, otimização do processo de fabricação e redução de operações para diminuição de custos.

Os valores de rugosidade encontrados utilizando a estratégia de corte radial mostraram que os parâmetros de usinagem estabelecidos na programação CAM final para a manufatura eram adequados.

Palavras-chave: *usinagem, acrílico, operações de usinagem, programação CAM.*

1. INTRODUÇÃO

Na indústria aeroespacial a exigência por produtos complexos, que atendam a requisitos como baixo peso, alta precisão dimensional e rigidez, faz com que o setor de manufatura otimize cada vez mais seus processos industriais. Dentro deste contexto, o investimento em softwares de programação da manufatura auxiliada por computador (CAM) revela-se como uma solução para a otimização do processo de manufatura.

Com o auxílio desses softwares às informações geométricas desejadas da peça são calculadas em forma de descrições matemáticas de área ou volume.

No sistema CAM, essas informações matemáticas são convertidas em linguagem de máquina e são geradas as trajetórias da ferramenta de corte com velocidades de avanço adequadas aos contornos, o que aumenta a precisão e reprodutibilidade. O programador ainda tem liberdade para a geração das estratégias de usinagem e flexibilidade para eventuais modificações (AHRENS, C. H., 1994 and KIRSCHNIK, M. G., 1997).

Para atender a tendência de rapidez em todo o processo de manufatura, foram e ainda estão sendo desenvolvidos softwares capazes de processar as formas mais complexas, e modelar formas antes difíceis em apenas alguns minutos. A tecnologia de usinagem de superfícies complexas está evoluindo cada vez mais e no caso dos Sistemas CAM, são oferecidas diversas opções de métodos e operações para a fabricação do componente. Todo esse conjunto de funções possibilita economia financeira e tempo fornecendo ferramentas excelentes para o cenário atual.

No programa ITASAT de desenvolvimento do simulador do controle da atitude de três graus de liberdade usando um mancal aerostático (figura 1), onde a finalidade do simulador é servir de plataforma para avaliar o desempenho de sistemas de controle de atitude para aplicações em satélite, deve simular as maiores mudanças de orientação possível minimizando o efeito de torques externos. Nesse simulador a parte esférica estará em contato com o mancal aerostático e terá que exercer funções que exigem grande precisão geométrica e baixa rugosidade superficial por essa razão é necessário que seja definido um processo de fabricação que atinja todas as especificações.

O objetivo desse trabalho foi comparar dois tipos de operações de acabamento de usinagem da área externa das hemisferas que compõe parte do satélite de modo a alcançar os valores de rugosidade especificados de $0,05\mu\text{m}$. A necessidade de estudo dessas operações foi importante para a comparação do acabamento superficial e da rugosidade.

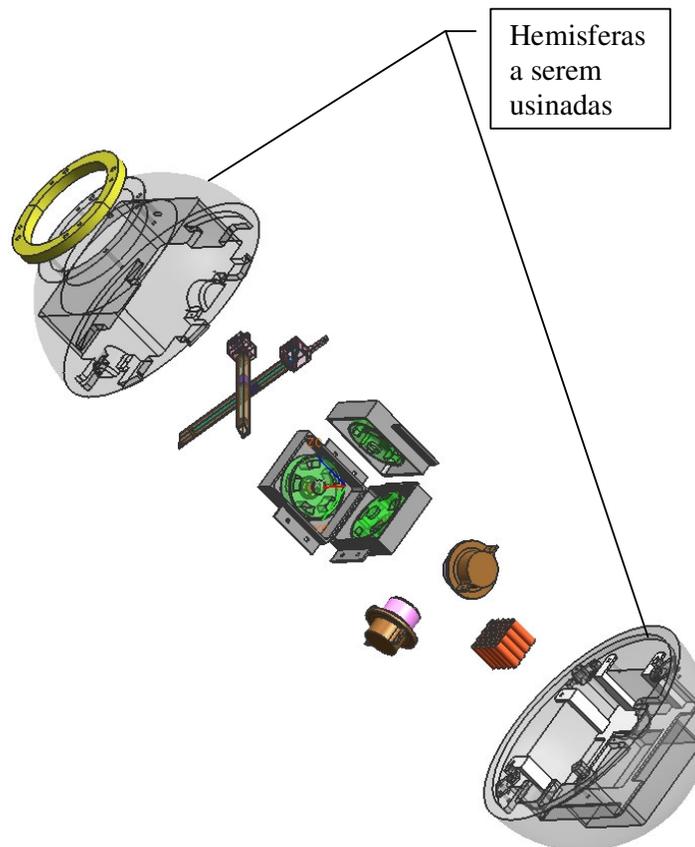


Figura 1: Simulador de atitude de três graus de liberdade

2. REVISÃO DE LITERATURA

Para o desenvolvimento dos testes propostos neste trabalho faz-se necessária a abordagem teórica dos elementos envolvidos no processo de usinagem, entre eles, a estratégia de corte, as condições de contato da ferramenta na operação de fresamento a altas velocidades e por fim, a rugosidade superficial.

2.1 Estratégia de corte

Dentre as estratégias de corte oferecidas pelo software *Unigraphics NX4*, foram escolhidos dois tipos para comparação, a trajetória de movimentação de corte espiral e a trajetória de movimentação de corte radial.

2.1.1 Estratégia de corte do tipo espiral

A estratégia de corte espiral (figura 2) permite definir os pontos de movimentação espiral para fora de um ponto central especificado. Os pontos de movimentação são criados dentro do plano normal ao vetor e ao centro da projeção do ponto central. Esses pontos são projetados então sobre às superfícies selecionadas da peça. Ao contrário de outros métodos de movimentação que requerem uma mudança abrupta no sentido devido à passagem do corte seguinte, o método de movimentação espiral é uma transição direta e constante para fora, por isso mantém uma velocidade constante do corte e um movimento suave, portanto útil para aplicações à máquina de alta velocidade (UGS Corporation, 2004).

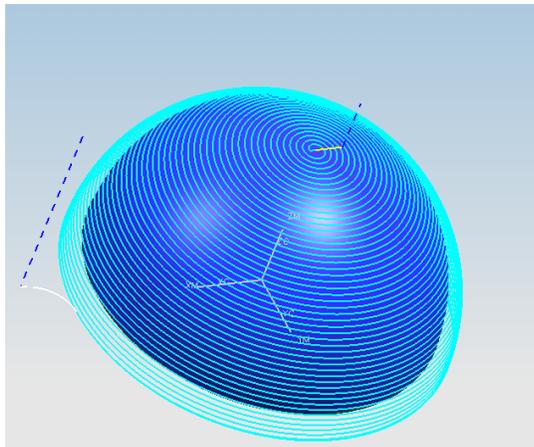


Figura 2: Trajetória Espiral

2.1.2 Estratégia de corte tipo radial

A estratégia de corte radial (figura 3) permite gerar os trajetos de movimentação perpendiculares a um ponto ou linha e ao longo de um limite dado, usando uma distância, uma largura de faixa e um corte especificado (UGS Corporation, 2004). Inicialmente, a ferramenta pode fazer Zig ou Zig-Zags ao longo do limite no sentido dos indicadores de limite como ilustrado na figura 3 abaixo.

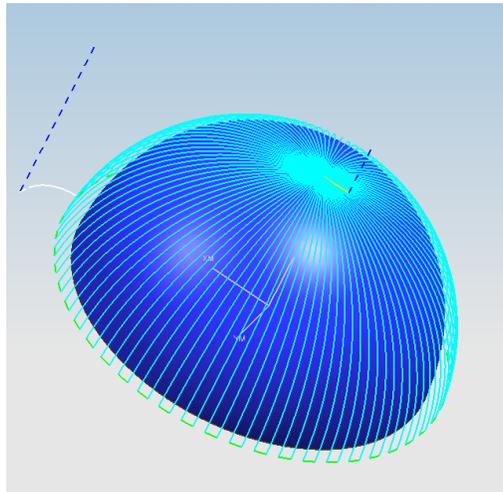


Figura 3: Trajetória Radial

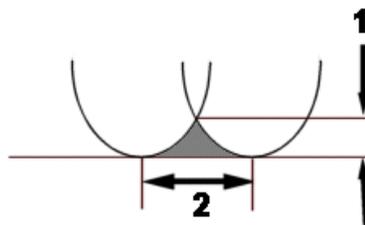
2.3 Acabamento

A operação de acabamento é utilizada para obter o contorno final da peça dentro de uma tolerância de precisão de forma e rugosidade. A estratégia de usinagem é dependente da topografia da superfície desejada. O acabamento das hemisferas foi realizado com fresa de aço rápido de topo esférico com 12mm de diâmetro e 2 facas.

Segundo GOMES, J.O.(2001), a inclinação da haste da ferramenta, em relação ao eixo perpendicular à superfície da peça, determina a efetividade do corte com ferramentas de topo esférico. Quando o centro da ferramenta de corte está em contato no corte, devido à alta força passiva e à pequena área de saída do cavaco na ponta da ferramenta, são máximas as cargas e a vibração sobre o gume.

Geralmente a velocidade de avanço (v_f) cresce proporcionalmente ao aumento da velocidade de corte (v_c). Desse modo, com a aplicação de altas velocidades de corte (HSC), são aplicadas pequenas profundidades de corte radiais (a_e) e axiais (a_p) (figura 4). Aumenta-se o número de linhas de corte, mas diminui-se a altura das cristas e, conseqüentemente, a parcela de trabalho manual (SCHULZ, H.,1997). No caso onde o material usinado é o acrílico, considerações devem ser tomadas, pois o acrílico é um material frágil e sensível a altas temperaturas, por isso deve-se tomar cuidado na escolha dos parâmetros de corte.

No fresamento com ferramentas de topo esférico, várias partes do gume estão em contato com a peça, dependendo da inclinação do contorno. No centro da ferramenta, a velocidade de corte é nula, resultando num péssimo acabamento da peça (GOMES, J.O.,2001).

Figura 4: Demonstração do a_p e a_e

2.4. Rugosidade

A importância da verificação do acabamento da rugosidade superficial aumenta a medida que cresce a precisão de ajuste entre as peças serem acopladas, onde somente a precisão dimensional e de posição não são suficientes para garantir a funcionalidade do conjunto acoplado que nesse caso em específico é uma hemisfera e um mancal aerostático. Para comprovar estas características, optou-se em medir as rugosidades R_a , R_z e R_y a fim de analisar os resultados do experimento. Nesse trabalho os valores de maior importância na comparação será o R_a . Entretanto, também forneceremos os valores R_z e R_y para mostrar que nestes não houve variação entre os valores obtidos nas estratégias isoladamente analisadas.

A rugosidade teórica (R_{th}) definida para essa aplicação foi feita conforme a classe de rugosidade N6 da norma NBR 8404/1984 julgado adequado para esse tipo de aplicação onde se exige uma superfície polida.

3. MATERIAIS E MÉTODO

3.1. Materiais

Neste trabalho utilizou-se o software NX4, da *Unigraphics*, utilizando os módulos de CAD e CAM na modelagem e programação de usinagem. Uma máquina-ferramenta modelo Hermle C600U, usando três eixos simultâneos nas operações de usinagem. Através de um Rugosímetro modelo SJ-201G do fabricante Mitutoyo, foram obtidos os valores das rugosidades superficiais de uma região específica das hemisferas usinadas.

O material para a fabricação das peças (cada hemisfera), por ter dimensões consideráveis, foi produzido colando-se com clorofórmio, oito placas acrílicas de espessura de 24 mm e diâmetro de 365 mm, isso devido à dificuldade de se encontrar disponível blocos maciços de acrílico no mercado.

A partir da necessidade de se obter uma rugosidade muito baixa na área externa da esfera, Decidiu se verificar a eficácia de diferentes tipos de operações de acabamento. Neste trabalho utilizou-se como estudo de caso 2 tipos de operações para serem testadas na usinagem externa do protótipo de satélite.

3.2. Método

Para o acrílico, são aplicadas baixas velocidades de corte (v_c) e baixos avanços por dente (f_z), pois pode se atingir o ponto de fusão do material e começar a encrustar na ferramenta de corte, ocasionando danos na superfície usinada. Este efeito, na maioria das vezes, é evitado com aplicação de fluido refrigerante em alta pressão com os bicos direcionados na região de corte.

O material de ferramenta mais utilizado na usinagem de acrílicos são as mesmas utilizadas na usinagem de bronze e madeira.

Uma vez conhecidos os procedimentos e movimentos de uma ferramenta no plano de corte, pode-se planejar a fabricação de uma cavidade segundo parâmetros para cada operação que será apresentada logo abaixo.

Neste trabalho serão considerados para avaliação da qualidade superficial os parâmetros de rugosidade R_a , R_y e R_z . Foram executadas, três medidas da mesma região e tiradas médias aritméticas dos valores para a estratégia radial e espiral.

Os parâmetros de corte para usinagem de acrílico foram definidos conforme recomendações de fabricantes do material e principalmente através de testes realizados em laboratório (ITA/ CCM Centro de Competência e Manufatura).

3.2.1. Parâmetros de Corte

Tabela 1- Valores dos parâmetros de usinagem

Tabela Resumo de Parâmetros de Corte		
	Teste 01	Teste 02
Estratégia	Acabamento Radial	Acabamento Espiral
Ferramenta	Topo esférico 12mm com 2 facas	Topo esférico 12mm com 2 facas
Rampa	Espiral com ângulo de 10°	Espiral com ângulo de 10°
Direção de corte	Concordante	Concordante
ae/D	40%	40%
Rugosidade teórica	0,5µm	0,5µm
Sobremetal	0mm	0mm
Velocidade de corte	450m/min	450m/min
Avanço por dente	0,08mm	0,08mm
Velocidade angular	12000 rpm	12000 rpm

4. RESULTADOS

A análise dos valores de rugosidade obtidos com o uso das distintas estratégias de corte, foco deste trabalho permite observar que a estratégia radial possibilita uma redução na rugosidade superficial de aproximadamente 72% para R_a conforme visualizado abaixo (Figura 5).

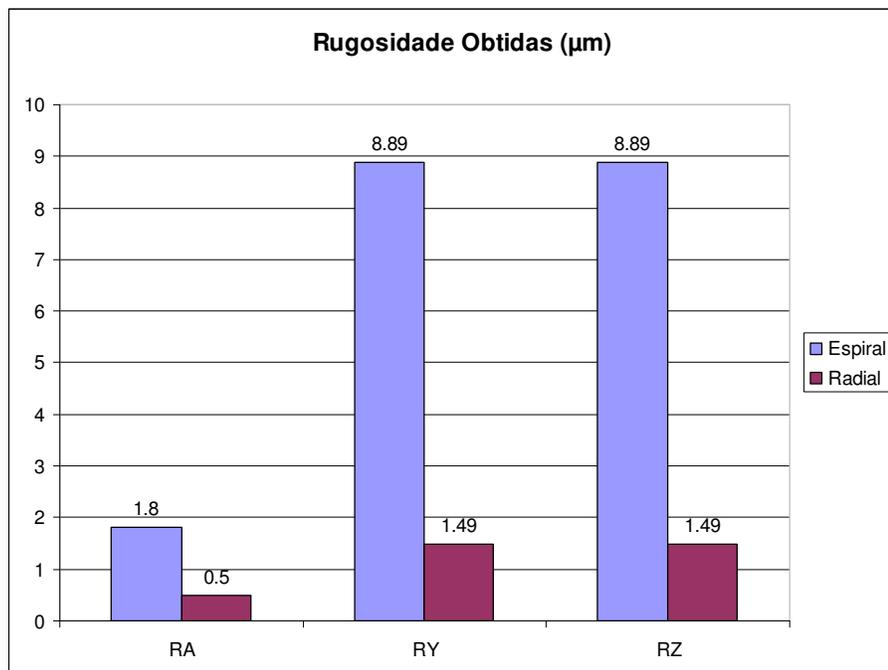


Figura 5: Gráfico das rugosidades obtidas

Para a estratégia Espiral, conforme mostrado abaixo (figura 6) é possível verificar que a velocidade de corte aumenta devido à inclinação β da ferramenta em relação ao plano de corte. Essa inclinação se dá a 90 graus do sentido de corte e conseqüentemente o a_e é maior, aumentando as cristas e por isso diminuindo a qualidade do acabamento superficial. Com isso, a medição do R_a obtida foi $1,8\mu\text{m}$.

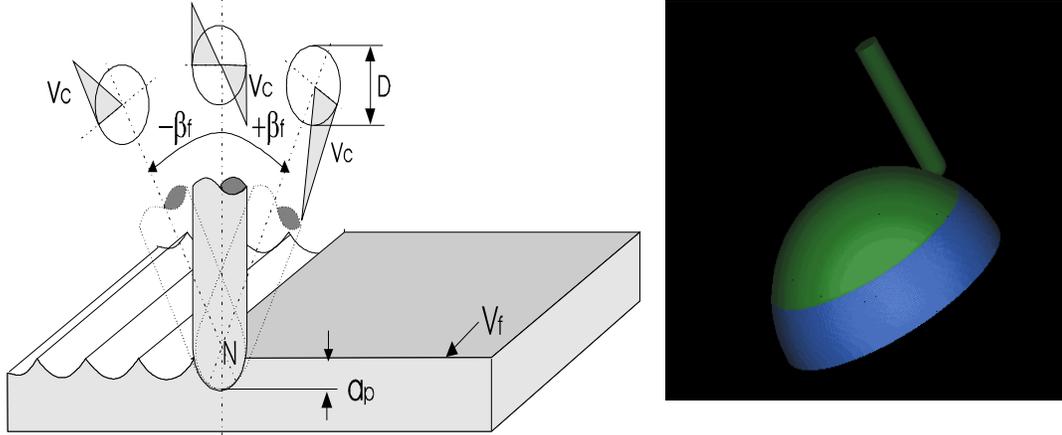


Figura 6: Ângulo de inclinação para fresas de topo esférico no corte Espiral.

Do mesmo modo, para a estratégia Radial é possível verificar que a velocidade de corte se comporta de maneira diferente (figura 7), devido inclinação β da ferramenta em relação ao plano de corte. Essa inclinação se dá no sentido de corte e conseqüentemente o a_e se mantêm igual nos dois lados em relação ao centro da ferramenta, fazendo com que as cristas se mantenham iguais e por isso aumentando a qualidade do acabamento superficial. Com isso, a medição do R_a obtida foi $0,5\mu\text{m}$.

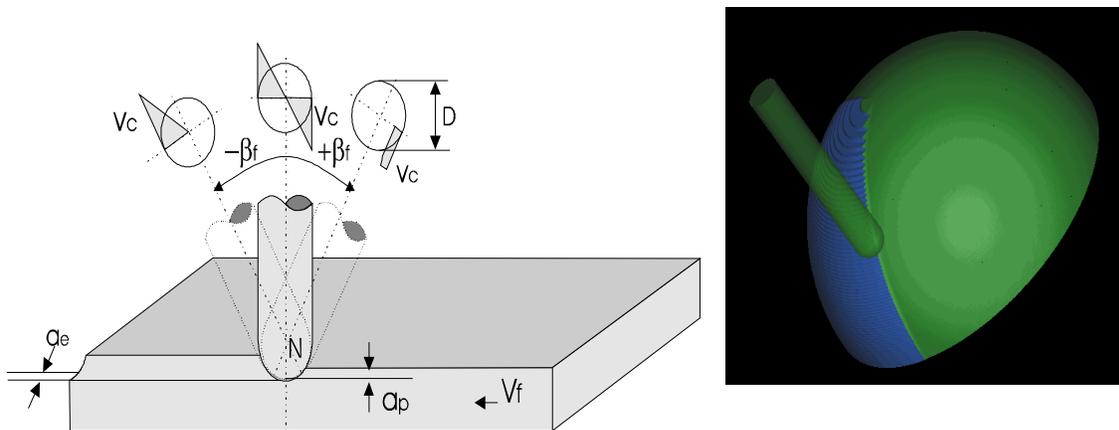


Figura 7: Ângulo de inclinação para fresas de topo esférico no corte Radial.

A obtenção de valores de rugosidade de processo, próximos dos valores teóricos de rugosidade (R_{th}), e erros de forma, dentro de valores de projeto, dependem diretamente de fatores dinâmicos inerentes ao processo, tais como vibrações do sistema ferramenta e desvio da haste da ferramenta de corte em relação à superfície usinada. Esses fatores estão diretamente relacionados à geometria de contato, aos parâmetros de corte, à resistência mecânica da ferramenta e ao projeto do sistema ferramenta de corte/dispositivo de fixação (GOMES, J.O.,2001).

5. CONCLUSÃO

Com base nos valores das rugosidades superficiais medidas, conclui-se que a hemisfera usinada com a estratégia em espiral que atingiu o R_a de $1,8 \mu\text{m}$ que fica acima do especificado. Já na hemisfera onde a estratégia utilizada foi a “Radial” a superfície apresentou rugosidade de $0,5 \mu\text{m}$, conseqüentemente qualidade superficial bem superior comparada a hemisfera usinada pela trajetória em espiral.

Os valores das rugosidades encontrados na estratégia de corte radial (figura 8) mostraram que os parâmetros de usinagem adotados para esta programação CAM foram os mais adequados para obter um bom acabamento superficial para a peça real e para outras peças semelhantes a serem fabricadas.

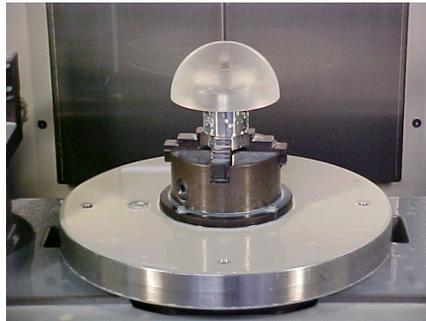


Figura 8: Usinagem da hemisfera que utilizou corte radial.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a AIM – Associação de Inteligência em Manufatura e ao CCM – Centro de Competência em Manufatura pelo auxílio Laboratorial e financeiro para a conclusão desse trabalho.

7. REFERENCIAS

AHRENS, C. H. “Características Desejáveis Para a Implantação e o Emprego de sistema CAE/CAD/CAM no Setor de Moldes de Injeção de Plásticos”. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, Área de Fabricação, UFSC, Florianópolis, 1994.

GOMES, J.O. “Fabricação de superfícies de forma livre por fresamento no aço temperado ABNT 420, na liga de Alumínio AMP8000 e na liga de cobre Cu-Be”. Florianópolis, 2001. 151f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

KIRSCHNIK, M. G. “Comando Numérico para Aplicação CNC”. Seminário de Usinagem com Altíssima Velocidade de Corte e Alta Precisão. Universidade Metodista de Piracicaba, julho de 1997.

SCHULZ, H. “State of the Art and Trends of High Speed Machining”. Seminário de Usinagem com Altíssima Velocidade de Corte e Alta Precisão. Universidade Metodista de Piracicaba, julho de 1997.

UGS Corporation,” Tutorial”.6125 Phyllis Dr, Cypress, California 9630 US, 2004 CD-ROM NX4

DEFINITION OF CUT STRATEGIES FOR MANUFACTURING OF PROTOTYPE SATELLITE IN ACRYLIC

Willian Tavares de Carvalho

Instituto Tecnológico de Aeronáutica / Divisão de Engenharia Mecânica - Aeronáutica Praça
Marechal Eduardo Gomes 50, Vila das Acácias - CEP 12228-900
São José dos Campos – SP
wtavares@ita.br

Janaina Fracaro de Souza

Instituto Tecnológico de Aeronáutica / Divisão de Engenharia Mecânica - Aeronáutica Praça
Marechal Eduardo Gomes 50, Vila das Acácias - CEP 12228-900
São José dos Campos – SP
janainaf@ita.br

Jacson Machado Nunes

Instituto Tecnológico de Aeronáutica / Divisão de Engenharia Mecânica - Aeronáutica Praça
Marechal Eduardo Gomes 50, Vila das Acácias - CEP 12228-900
São José dos Campos - SP
jacson@ita.br

Abstract: *This work presents part of the machining of a simulator control of attitude with three degrees of freedom using an aerostatic air bearing. The purpose of the simulator is to serve of platform to evaluate the performance of system's control of attitude for applications in a satellite (ITASAT). To satisfy the necessities of the system, precision machining of the surfaces, is necessary to minimize frictional torques in the aerostatic air bearing. For this, the manufacture of 2 pilot parts of acrylic archetype was made. The objective of this work was to compare 2 (two) finishing cut strategies types of machining for the external area of the satellite, being aimed to reach the values specified in the project, optimization of the manufacture process, attainment of low roughness and reduction of operations for reduction of costs.*

The found values of roughness in the radial cut strategy had shown that the established parameters of machining in the final programming for the manufacture were acceptable.

Keywords: *machining, acrylic, machining strategy, CAM programming.*