

## INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE ATAQUE NOS ESFORÇOS DE CORTE E ACABAMENTO SUPERFICIAL DE ROSCAS USINADAS EXTERNAS

Lincoln Maia Teixeira, [lincoln.teixeira@ifmg.edu.br](mailto:lincoln.teixeira@ifmg.edu.br)  
Lincoln Cardoso Brandão, [lincoln@ufsj.edu.br](mailto:lincoln@ufsj.edu.br)  
Carlos Henrique Lauro, [carlos.lauro@ua.pt](mailto:carlos.lauro@ua.pt)  
Rhelman Rossano Urzedo Queiroz, [rhelman.queiroz@ifmg.edu.br](mailto:rhelman.queiroz@ifmg.edu.br)  
Samuel Alves de Freitas, [samuelengmec@gmail.com](mailto:samuelengmec@gmail.com)  
Thiago Castro Freitas, [thiagocastrofreitas@hotmail.com](mailto:thiagocastrofreitas@hotmail.com)  
Waslley Amaral Coelho, [waslleyamaral@hotmail.com](mailto:waslleyamaral@hotmail.com)

<sup>1</sup> Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Avançado Conselheiro Lafaiete, Rua Padre Teófilo Reyn, 441, São Dimas, Conselheiro Lafaiete – MG, 36400-000

<sup>2,5,6,7</sup> Universidade Federal de São João del-Rei, Praça Frei Orlando, 170 - Centro, São João Del Rei - MG, 36307-334

<sup>3</sup> Universidade de Aveiro-Campus Santiago 3810-193 Aveiro, Portugal

<sup>4</sup> Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Ouro Preto, Rua Pandiá Calógeras, 898 - Bauxita, Ouro Preto - MG, 35400-000

**Resumo:** A operação de rosqueamento é um processo de fabricação que tem como objetivo a geração de sulcos helicoidais de passo constante denominados filetes. Devido à limitação de torque, cinemática da máquina e flexibilidade das peças, esses filetes não podem ser gerados pelo processo de usinagem em um único passe de corte. No caso de roscas externas, a ferramenta de corte necessita penetrar na peça de forma incremental iniciando no diâmetro maior da rosca até atingir a raiz no fundo do filete. Neste trabalho foram testadas três estratégias com diferentes ângulos de ataque na liga de Titânio Ti-6Al-4V, a saber; avanço radial, avanço pelo flanco modificado e avanço incremental. Com o objetivo de comparar os ângulos de ataque foram mantidas constantes a velocidade de corte e volume de cavaco removido por passada durante todo o experimento. Como respostas foram consideradas os esforços de usinagem, o acabamento dos perfis de rosca e a formação de rebarba na crista das roscas. Os resultados mostram que os tipos de ataque apresentam pequenas diferenças em relação aos esforços de usinagem, porém o tipo incremental registrou os menores valores. Por outro lado, o tipo de ataque de flanco modificado apresentou uma superfície melhor acabada com o mínimo de erros geométricos ou rebarbas. A velocidade de corte de 40 m/min gerou os melhores acabamentos superficiais em todos os tipos de ataques estudados e está relacionada com o menor valor obtido para os esforços de corte em todos os ataques estudados.

**Palavras-chave:** Rosqueamento. Esforços de corte. Titânio. Estratégias. Ângulo de ataque.

### 1. INTRODUÇÃO

Nos estudos científicos o processo de fabricação de peças por usinagem exerce uma grande relevância devido a sua grande complexidade. O rosqueamento é um dos processos mais utilizados na fabricação de componentes mecânicos e, dificilmente encontra-se um conjunto mecânico que não apresente partes roscadas.

A liga Ti-6Al-4V é muito utilizada em vários ramos industriais, como em setores petroquímicos, químicos, navais, ainda com destaque nas indústrias aeroespacial e biomedicina. Devido essa grande aplicação, peças roscadas fabricadas com essa liga estão cada vez sendo mais exigidas, mas esse material é caracterizado como sendo de difícil corte o que dificulta a obtenção de peças com qualidade.

Devido ao torque limitado das máquinas específicas para o torneamento de roscas, a resistência do material da ferramenta e ainda a flexibilidade das peças de trabalho, o volume de material a ser removido para a obtenção de roscas não pode ser retirado em uma única passada (KHOSH DARREGI, ALTINTAS, 2015). Essa limitação gera um tempo maior para a produção de roscas, mas evita a quebra das arestas de corte durante o processo de rosqueamento.

Na fabricação de peças por usinagem existem esforços de corte que precisam ser considerados e entendidos, pois estão diretamente relacionados com a obtenção de peças com melhor qualidade e processos mais eficazes. A busca pelo

aumento da produtividade associada à redução de custos se tornou um diferencial principalmente quando se trata de fabricação de roscas (AMARAL, 2013).

Diante dos fatos supracitados nessa pesquisa teve-se como objetivo desenvolver a análise dos esforços de corte durante o processo de rosqueamento, utilizando três tipos diferentes de ataque de ferramenta associado com a variação da velocidade de corte. A análise da superfície rosçada também foi feita, de modo a identificar qual parâmetro de entrada geraria uma superfície com melhor acabamento.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo, a máquina ferramenta utilizada foi o centro de torneamento ROMI, modelo GL 240M, apresentada na Figura 1. Esse equipamento possui potência máxima de 22,5 kW na árvore, rotação máxima de 6.000 RPM, velocidade de avanço rápido longitudinal e transversal de 30 m/mim e comando CNC Fanuc Oi TD.



**Figura 1: Centro de torneamento ROMI (Fonte: Autoria própria)**

O material utilizado foi a liga de titânio Ti-6Al-4V, selecionada devido a sua boa resistência mecânica, baixa densidade e alta resistência à temperatura. Essa liga possui grande aplicação nas indústrias aeronáutica e aeroespacial, ainda é amplamente empregada na indústria médica devido a sua resistência a corrosão e a biocompatibilidade. A composição química do material utilizado especificado de acordo com a norma ASTM F1108-88, 1988 é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1: Composição química do Ti-6Al-4V (ASTM F1108-88, 1988).**

| Fe  | N    | H     | O   | Al       | V       | Ti   |
|-----|------|-------|-----|----------|---------|------|
| 0,2 | 0,05 | 0,015 | 0,2 | 5,5-6,75 | 3,5-4,5 | Bal. |

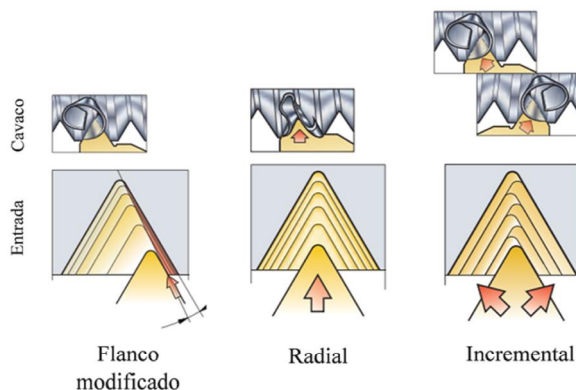
Para a fabricação das roscas foi utilizado haste de titânio previamente torneada com diâmetro externo de 10 milímetros. O comprimento de usinagem foi a 10 milímetros e passo de 1,5 onde caracterizou uma rosca no padrão métrico M10 x 1,5 mm. A ferramenta utilizada para a abertura dos sulcos helicoidais na peça foi a pastilha do tipo 266RG-16VM01A002M 1125, acoplada ao suporte 266RFA-2020-16. O corpo de prova e a ferramenta utilizada são mostrados na Figura 2.



**Figura 2: a) Ferramenta de corte e suporte, b) Haste de titânio (Fonte: Autoria própria).**

Na etapa de fabricação da rosca, foram utilizadas três estratégias diferentes de penetração em direção à raiz do filete em condição de corte a seco. Os tipos de entrada da ferramenta foram definidos de modo que o volume de material removido em cada passada de corte foi constante durante todo o processo, totalizando seis passes. Com essa constância no volume de cavaco, é possível avaliar a influência do tipo de entrada nos esforços de corte e ainda no

acabamento superficial das peças. A Figura 3 mostra os métodos de penetração avaliados e como são gerados os cavacos em cada processo.



**Figura 3: Diferentes tipos de entrada da ferramenta e cavacos gerados (Fonte: Adaptado de SANDVIK, 2016).**

Na primeira etapa deste experimento analisou como variáveis de resposta, Força de corte [N], Força de avanço [N] e Força passiva [N]. Para esta análise, durante todo o processo de rosqueamento foi utilizado um dinamômetro piezoelétrico do tipo estacionário da marca Kistler 9119A com 3 canais (X, Y e Z), acoplado a um amplificador de sinais Kistler 5070A e o software DynoWare fornecido pela Kistler®. Já, na segunda etapa desse experimento analisou o acabamento superficial da peça roscada da liga de titânio trabalhada. Para essa análise foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura da marca HITACHI® modelo TM3000 na faixa de ampliação entre 30X e 100X.

## 2.1. Planejamento dos experimentos.

Os mais diversificados tipos de experimentos são realizados por pesquisadores em praticamente todas as áreas de estudo e, tem como objetivo encontrar algum fator importante sobre um determinado sistema ou processo. Experimento pode ser definido como um teste ou uma série deles, onde os parâmetros de entrada são modificados de forma proposital a fim de que se possa observar e identificar as razões para as mudanças na resposta (MONTGOMERY, 2009).

Nos experimentos os testes realizados foram aleatorizados aplicando o método de planejamento de experimentos fatorial multi-níveis, onde foram utilizados como variáveis de entrada a velocidade de corte e tipo de entrada da ferramenta. Para cada condição estudada foram realizadas três réplicas a fim de garantir a consistência das respostas e deixar que o mínimo de fatores não controláveis influenciasse nos resultados, portanto foram realizados 18 experimentos. Foi utilizado o software estatístico Minitab™ 17 para o tratamento dos dados, sendo utilizado o planejamento de experimentos (DOE) e análise de variância (ANOVA). A Tabela 2 mostra as variáveis de entrada utilizadas durante o experimento.

**Tabela 2: Fatores e níveis do experimento de rosqueamento (Fonte: Autoria própria).**

| Parâmetros de entrada      | Níveis dos Parâmetros |             |                   |
|----------------------------|-----------------------|-------------|-------------------|
|                            | -1                    | 0           | +1                |
| Entrada da ferramenta      | Radial                | Incremental | Flanco modificado |
| Velocidade de corte [m/mm] | 40                    | -           | 60                |

## 3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para fabricar uma peça roscada são necessários vários passes de corte, na análise de variância foi feita no 5º passo, ao qual antecede o final da rosca. Essa escolha foi feita devido à ferramenta estar em contato maior com a peça de trabalho e ainda que a circularidade da haste não vá interferir nas respostas uma vez que já foram feitos passes anteriores. Os valores de força medidos em cada tipo de ângulo de ataque com as réplicas estão de acordo com a Tabela 3.

**Tabela 3: Forças medidas durante o 5º passo de rosqueamento (Fonte: Autoria própria)**

| Vel. de corte<br>40m/min     | Força<br>passiva[N] | Força de<br>corte[N] | Força de<br>avanço[N] | Vel. de corte<br>60m/min     | Força<br>passiva[N] | Força de<br>corte[N] | Força de<br>avanço[N] |
|------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| <b>Flanco<br/>modificado</b> | 290,98              | 373,06               | 8,42                  | <b>Flanco<br/>modificado</b> | 236,16              | 318,6                | 19,69                 |
|                              | 290,12              | 371,44               | 8,19                  |                              | 235,33              | 328,98               | 19,6                  |
|                              | 291,51              | 353,85               | 8,3                   |                              | 239,22              | 333,12               | 20,29                 |
| <b>Radial</b>                | 244,64              | 329,73               | 23,86                 | <b>Radial</b>                | 243,56              | 369,05               | 40,6                  |
|                              | 251,31              | 339,64               | 24,42                 |                              | 241,21              | 364,69               | 39,85                 |
|                              | 256,5               | 348,8                | 24,63                 |                              | 244,68              | 370,71               | 40,8                  |
| <b>Incremental</b>           | 219,82              | 283,79               | 23,14                 | <b>Incremental</b>           | 241,97              | 325,82               | 24,83                 |
|                              | 226,31              | 289,02               | 23,24                 |                              | 240,55              | 320,62               | 22,53                 |
|                              | 234,67              | 284,42               | 22,92                 |                              | 240,68              | 323,84               | 24,04                 |

De posse dos resultados da força passiva ( $F_p$ ), força de corte ( $F_c$ ) e força de avanço ( $F_f$ ) nos três níveis de passe de rosca, apresentadas na Tabela 3 foi possível fazer a análise de variância (ANOVA), mostrada na Tabela 4. Esse método foi utilizado para verificar se as variáveis respostas sofreram influência de um ou mais fatores, bem como a interação entre eles. O intervalo de confiança utilizado foi de 95%, ou seja, se o P-valor calculado for menor ou igual a 0,05 o fator é considerado significativo. De acordo com Wu e Hamada (2000), o valor  $R^2$  (ajustado) com valores superiores a 70% de  $R^2$  indicam que o sistema possui maior capacidade preditiva, ou seja, um coeficiente próximo de 100% sugere um modelo com ótima predição.

**Tabela 4: Análise de variância (Fonte: autoria própria)**

| ANOVA                  | Fatores experimentais        | F-Valor        | P-Valor      |
|------------------------|------------------------------|----------------|--------------|
| <b>Força passiva</b>   | Velocidade de corte          | <b>77,07</b>   | <b>0,000</b> |
|                        | Tipo de ataque               | 68,23          | <b>0,000</b> |
|                        | Vel. de corte*Tipo de ataque | 109,71         | <b>0,000</b> |
|                        | $R^2$ (ajustado)             | 96,33%         |              |
| <b>Força de corte</b>  | Velocidade de corte          | 7,8            | <b>0,016</b> |
|                        | Tipo de ataque               | <b>89</b>      | <b>0,000</b> |
|                        | Vel. de corte*Tipo de ataque | 55,84          | <b>0,000</b> |
|                        | $R^2$ (ajustado)             | 94,51%         |              |
| <b>Força de avanço</b> | Velocidade de corte          | 1234,63        | <b>0,000</b> |
|                        | Tipo de ataque               | <b>1537,82</b> | <b>0,000</b> |
|                        | Vel. de corte*Tipo de ataque | 288,54         | <b>0,000</b> |
|                        | $R^2$ (ajustado)             | 99,65%         |              |

Os valores destacados na coluna do P-valor na Tabela 4 representam os fatores e interações significativas sobre as respostas. De acordo com a tabela é possível verificar que a velocidade de corte e tipo de ataque quando analisados individualmente apresentam efeitos significativos em todas as forças medidas durante o experimento. Para a força passiva o fator mais significativo é a velocidade de corte, já para a força passiva e de avanço o tipo de ataque que mais tem influência. Isso é possível verificar de acordo com o F-valor, pois quanto maior o valor dele maior a influência sobre a variável resposta. Em relação às interações, é possível verificar que elas existem para todas as variáveis respostas (forças) estudadas.

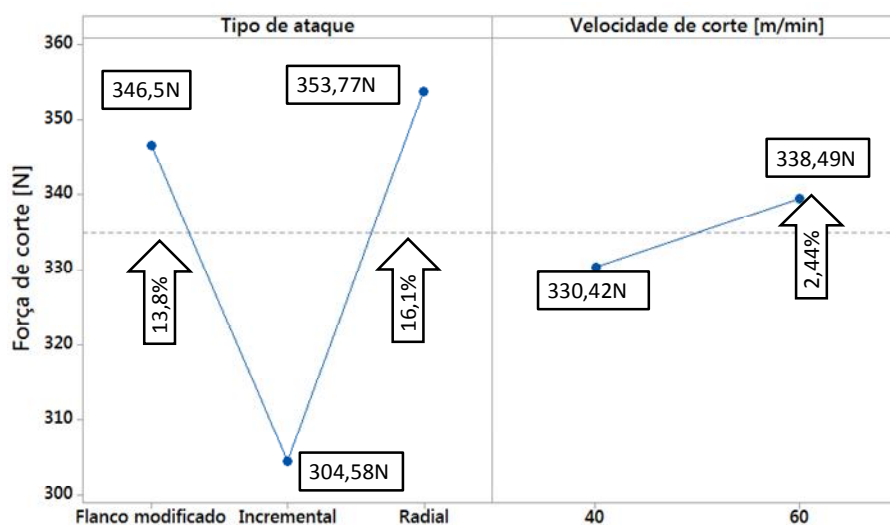
### 3.1. Análises dos esforços de corte

A Figura 4 apresenta os principais efeitos dos parâmetros estudados na variável resposta força de corte. No gráfico é possível observar que onde atingiu os menores valores médios de força de corte é no tipo de ataque incremental 304,58 N. A utilização do tipo de ataque flanco modificado produz uma força média de 346,5 N com um aumento de 13,8 % e o ataque radial gera uma força média de 353,77 N com um aumento de 16,1% na força de corte, se comparado ao valor encontrado no tipo de ataque incremental. O que possivelmente pode justificar essa variação é que

a ferramenta de corte no caso incremental tem um menor contato com a superfície já usinada o que gera um menor atrito, consequentemente esforços menores na força de corte.

Analisando a influência da velocidade em relação à força de corte, é possível observar que onde se atingiu os menores valores para força utilizou-se a velocidade de 40 m/min. Na rosca usinada com a velocidade de corte de 60 m/min identificou-se um aumento de 2,44% em relação à de 40 m/min. Embora os estudos falem que a força de corte diminui com o aumento da velocidade de corte, esse trabalho mostrou um pequeno aumento nesse valor. Essa variação pode estar associada à especificidade do material trabalhado que pode apresentar arestas postiça de corte em determinadas velocidades de corte, pois apresenta 6% de alumínio em sua composição. Além disso, pode existir um aumento na taxa de deformação, que gera um aumento da resistência ao cisalhamento e consequentemente acréscimo na força de corte devido ao restante da liga ser a composição do Titânio em balanço.

Também Trent (2000) e Sreejith (2008), constataram um aumento da força de corte durante o torneamento quando se aumentou a velocidade de corte. Segundo eles, o aumento excessivo da taxa de deformação que provoca esse aumento e também maior volume de material aderido na ponta da ferramenta.



**Figura 4: Gráfico dos efeitos principais para a força de corte (Fonte: Autoria própria).**

A força passiva não contribui de forma significativa com a potência de usinagem, pelo fato dela ser formada de forma perpendicular aos movimentos. É importante estudá-la, pois exerce significativa influência nas tolerâncias de forma e dimensões da peça, tendo como fator principal a deflexão elástica na peça de corte (STEMMER, 2007).

A Figura 5 representa os principais efeitos dos parâmetros estudados na variável resposta força passiva. Observou-se que o menor valor encontrado para a força passiva é com a utilização do tipo de entrada incremental 234 N. Com o emprego do tipo de ataque flanco modificado encontrou-se um valor médio de 263,89 N o que representa um aumento de 12,7% em relação ao ataque incremental. Com o emprego do tipo de ataque radial, mediu-se uma força média de 246,98 N associada a um aumento de 5,5% na força passiva se comparado ao mesmo tipo de ataque. Esse menor valor de força passiva encontrado com a utilização do método incremental também pode ser explicado pelo fato que a ferramenta nessas condições de corte está submetida a apenas uma aresta de corte em contato com o material, consequentemente gera-se um menor atrito.

Avaliando a relação da velocidade de corte com a força passiva, observa-se que com a condição de 60m/min atinge-se os menores valores de força passiva 240,37 N se comparado à condição de 40m/min que gerou uma força de 256,2 N. A redução percentual da força de corte é de 6,1% quando aplica a velocidade de corte de 60m/min. Segundo Rao e Shim (2001) o aumento da velocidade de corte pode alterar a ductilidade do material na zona de corte, pois existe um aumento de temperatura na região, com isso uma diminuição da força passiva. Além disso, com o aumento da velocidade de corte pode-se dizer que o cisalhamento do material é mais suave o que gera menor força que empurra a ferramenta para fora da zona de corte.

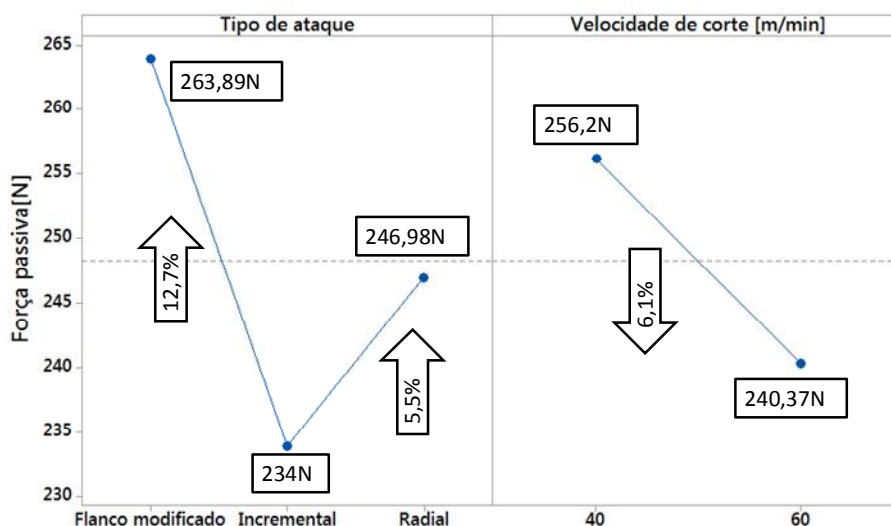


Figura 5: Gráfico dos efeitos principais para a força passiva (Fonte: autoria própria).

A Figura 6 apresenta os efeitos principais na variável resposta força de avanço. O menor valor encontrado para a força de avanço foi o tipo de ataque flanco modificado, 14,1 N. Isso pode ser dado devido ao fato de que nesse tipo de corte a ferramenta desloca durante toda a usinagem a favor do movimento de avanço e basicamente somente um dos lados da ferramenta está em contato com o material que está sendo removido. Com a utilização do tipo de ataque incremental observou-se uma força média de 23,45 N o que representa um aumento de 39,9 % se comparado ao método anterior. Esse aumento pode estar relacionado com a alternância dos lados de corte da ferramenta que hora a ferramenta está deslocando para a esquerda, porém o corte está sendo feito no lado direito da ferramenta e depois isso inverte. Para o tipo de ataque radial foi encontrado o maior valor de força de avanço 32,36 N, com um aumento de 27,5 % se comparado ao tipo de ataque incremental. Esse aumento pode estar relacionado com o fato da ferramenta de corte estar em contato de ambos os lados do material.

Com a utilização da velocidade de corte de 40 m/min obteve-se o menor valor para a força de avanço, 18,57 N. Já com a velocidade de 60 m/min mediu-se uma força de avanço de 28,03 N o que representa um aumento de 33,7% se comparado à velocidade anterior. Embora a teoria descreva que a força de avanço tende a diminuir com aumento da velocidade de corte os resultados mostraram que ocorreu um aumento dessa variável. Souza e Schroeter (2007) também observaram um aumento na força de avanço com o aumento da velocidade de corte. Esse aumento pode estar atrelado ao fato de que como a rosca foi fabricada em apenas 5s, não houve tempo suficiente para aquecer o material e assim diminuir o Ks do material o que ocasiona a diminuição da força de avanço. Outro fator que deve ser levado em consideração é o tipo de material que foi trabalhado que pode sofrer alguma influência desse parâmetro.

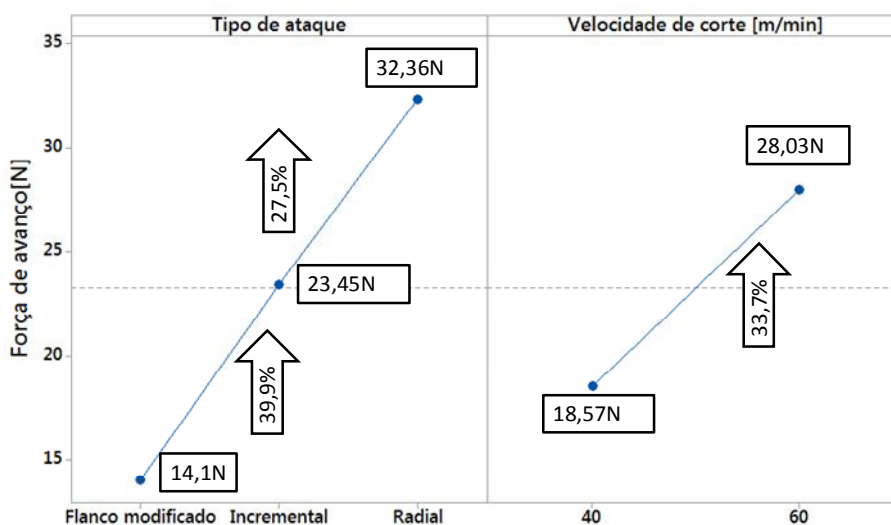
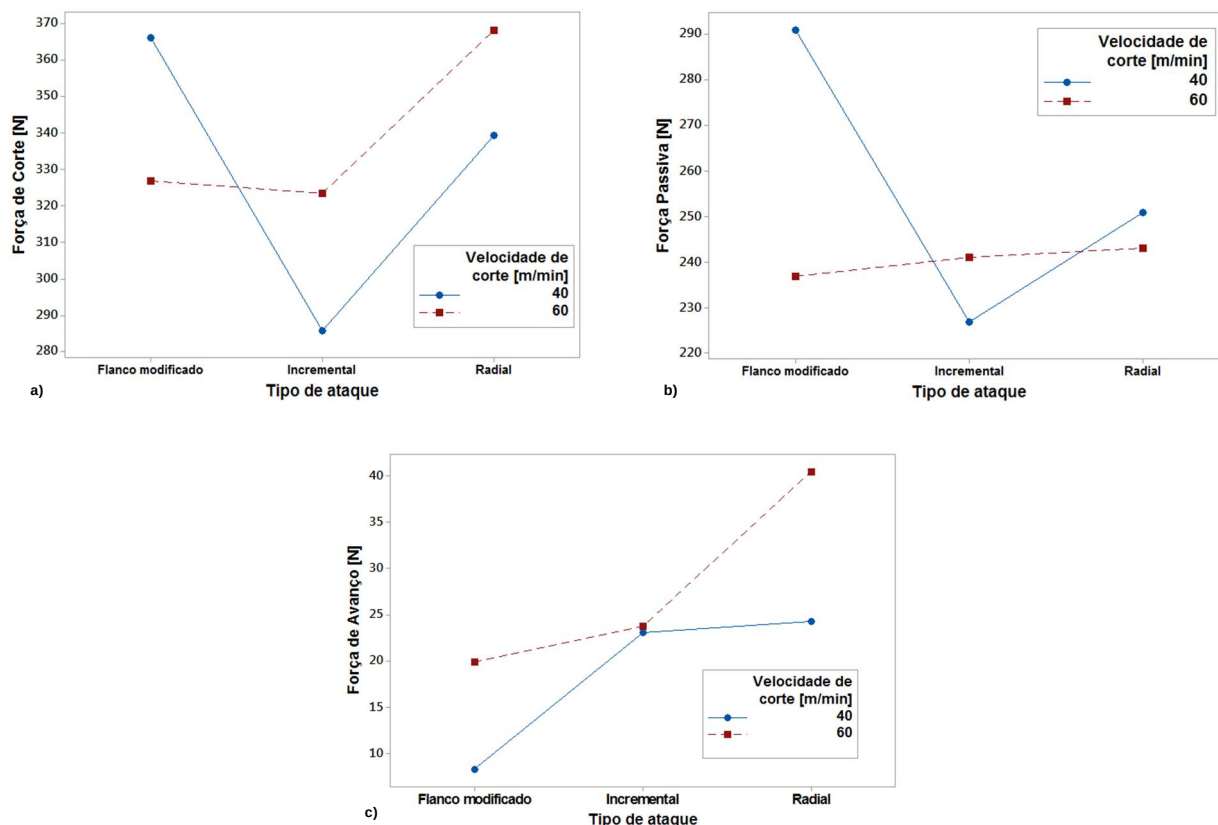


Figura 6: Gráfico dos efeitos principais para a força passiva (Fonte: autoria própria).

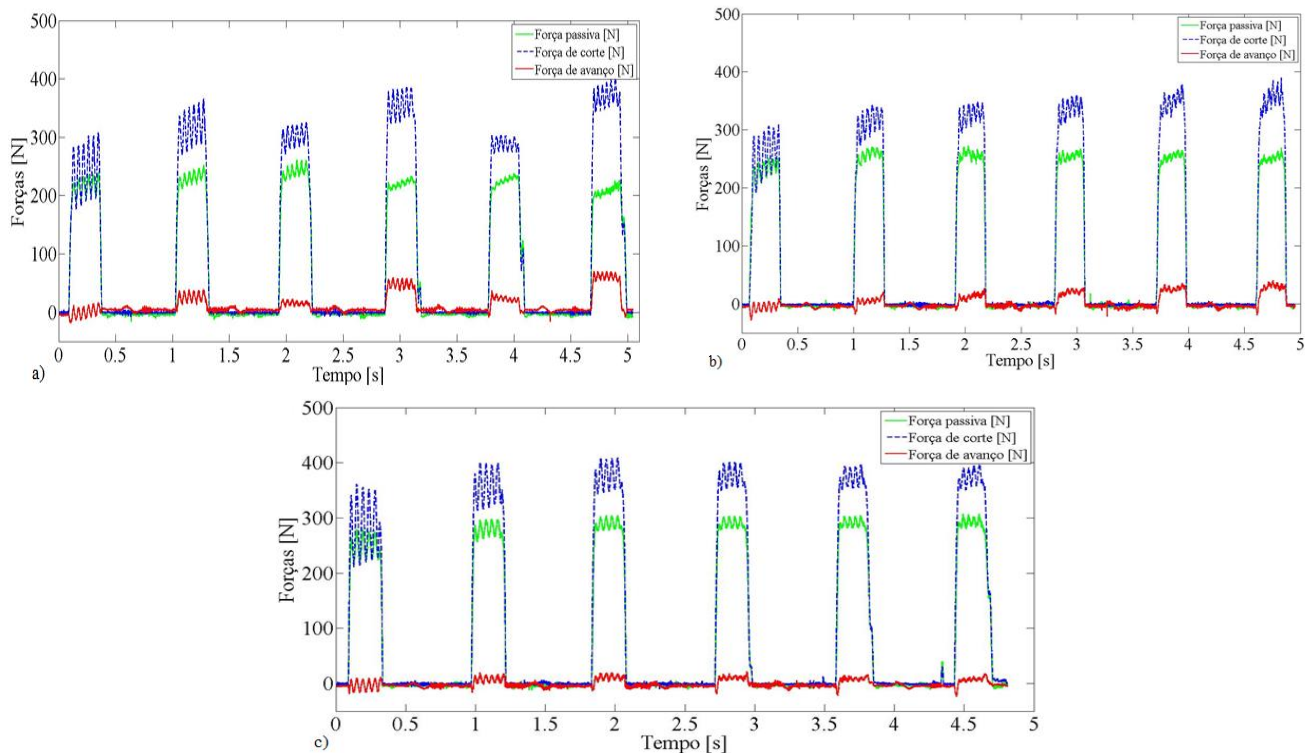


Na Figura 7 são apresentados os efeitos das interações dos parâmetros velocidade de corte com as variáveis respostas de força. Em relação a força de corte (a) e força passiva (b) observou-se que onde se tem o menor valor para elas é quando se utiliza o tipo de ataque incremental associado a velocidade de corte de 40 m/min. De acordo com Trent e Wright, (2000), a análise da força de corte gerada durante o processo de usinagem é de grande importância, pois é através dela que é feito o dimensionamento do motor da máquina, portanto, a condição que requer uma menor potência de corte é ideal para economia no processo. Para a força passiva é necessário a escolha da menor, que de acordo com Stemmer (2007) consegue-se peças com tolerâncias geométricas e dimensões mais precisas. Para a força de avanço (c) obteve-se um menor valor quando se associou a velocidade de corte de 40m/min ao tipo de ataque flanco modificado. Segundo Ferraresi (1969), embora essa variável exista, ela praticamente não influi sobre o valor da potência de usinagem, mas exerce grande importância na estabilidade dinâmica da máquina e ferramenta e consequentemente no projeto da máquina.



**Figura 7: Interações entre a variável velocidade de corte e as variáveis respostas: a) Força de corte b) Força passiva c) Força de avanço (Fonte: Autoria própria)**

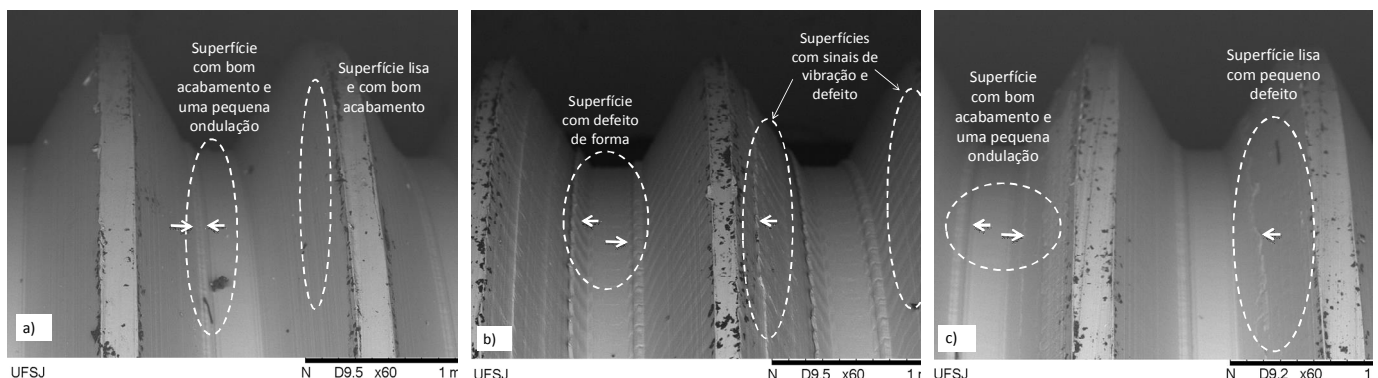
Na Figura 8 é apresentado o comportamento das forças de corte durante todo o processo de rosqueamento para os tipos de ataques: incremental (a), radial (b) e flanco modificado (c) todos com a condição de velocidade de corte de 40m/min uma vez que se obteve um melhor resultado nessas condições. Através dos gráficos é possível observar que as forças no tipo de ataque incremental tendem a alternar entre um ponto máximo e mínimo devido hora a ferramenta estar cortando na parte esquerda e outra na parte direita. Para o tipo de ataque radial é possível observar que as forças têm certa tendência a serem maiores quando se aproxima do passe final da rosca, já para o tipo de ataque flanco modificado as forças tendem a se manter constantes durante os seis passes de rosqueamento. Outro fator que observou-se é que independente do tipo de ataque, a força de corte foi predominante em todos os três tipos, seguida pela força passiva e força de avanço.



**Figura 8: Forças de corte para velocidade de 40m/min com os tipos de ataque: a) Incremental b) Radial c) Flanco modificado (Fonte: Autoria própria)**

### 3.2. Análise do acabamento superficial da rosca.

A Figura 9 mostra o resultado da análise superficial dos filetes da rosca através do microscópio eletrônico de varredura (MEV) com um zoom de 60x para as três condições de tipo de ataque e para a velocidade de corte de 40 m/min, uma vez que nas interações essa velocidade se mostrou satisfatória em relação aos esforços de corte. É possível observar que onde se adquiriu um melhor acabamento superficial foi no tipo de ataque flanco modificado (a), isso pode estar relacionado com o fato da ferramenta ir avançando de forma que somente um lado da ferramenta está em corte mais significativo enquanto o outro fica raspando a outra superfície. Obteve-se o pior acabamento quando utilizou o tipo de ataque incremental (b), é observado no flanco da rosca marcas de vibração associado com defeitos de forma. Essa vibração e defeito podem estar relacionados com o fato de nas ultimas duas passadas de corte a aresta lateral da ferramenta está totalmente em contato de corte enquanto o outro lado está isento de qualquer material, primeiramente de um lado e depois do outro, o que gera gradiente de forças em somente uma das laterais. O tipo de ataque radial (c) ficou com um acabamento superficial intermediário entre os dois métodos mencionados como melhor e pior. Os pontinhos pretos que podem ser observados no topo dos filetes é algum tipo de contaminação que o material sofreu durante o processo de usinagem.



**Figura 9: Microscopia eletrônica de varredura da superfície das peças com Vc de 40 m/min e seguintes tipos de ataque: a) Flanco modificado; b) Incremental; c) Radial (Fonte: autoria própria).**



#### 4. CONCLUSÃO

As seguintes conclusões podem ser obtidas após a análise dos resultados desse presente trabalho:

- ✓ Os fatores estudados, velocidade de corte e tipo de ataque, juntamente com a interação entre eles influenciam nas variáveis respostas, força de corte, força passiva e força de avanço.
- ✓ Os menores valores para a força de corte foram alcançados de forma individual com a utilização do tipo de ataque incremental e para velocidade de corte de 40 m/min.
- ✓ Os menores valores para a força passiva foram obtidos de forma individual com o uso do tipo de ataque incremental e para a velocidade de corte de 60 m/min.
- ✓ Os menores valores para a força de avanço foram atingidos de forma individual com o emprego do tipo de ataque flanco modificado e velocidade de corte 40 m/min.
- ✓ Na interação entre velocidade de corte e tipo de avanço para as variáveis respostas força de corte e força passiva, onde se obteve o menor valor de força foi com a associação da velocidade de corte de 40m/min e tipo de ataque incremental.
- ✓ Na interação entre velocidade de corte e tipo de avanço para a variável resposta força de avanço, onde gerou-se o menor valor de força foi com a associação da velocidade de corte de 40m/min e tipo de ataque flanco modificado.
- ✓ A superfície com o melhor acabamento é atingida quando se utiliza o tipo de ataque flanco modificado, o pior foi com o tipo ataque incremental, isso para as velocidades de corte de 40 m/min. A superfície das peças usinadas com velocidade de corte de 60 m/min ficou com acabamento muito ruim e com grande vibração.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG pelo financiamento do Projeto APQ-01987-14 e pelo apoio financeiro para a participação no COBEF 2017.

#### 6. REFERÊNCIAS

- AMARAL, H. B. **Análise de diferentes estratégias no processo de rosqueamento do aço inoxidável duplex**. 2013. 94f. Trabalho de Conclusão de Curso i Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica. Faculdade de Tecnologia do SENAI, Joinville, 2013.
- ASTM. Standard specification for Ti6Al4V alloy casting for surgical implants. F1108-88, 1998.
- CATALOG SANDVIK. Disponível em: < [http://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/threading/thread\\_milling](http://www.sandvik.coromant.com/en-us/knowledge/threading/thread_milling) > . Acesso em: 20 de janeiro, 2017.
- FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais: usinagem dos metais**. São Paulo (SP): Edgard Blucher, 1970. 751 p.
- KHOSH DARREGI, M. R.; ALTINTAS, Y. Generalized modeling of chip geometry and cutting forces in multi-point thread turning , **International Journal of Machine Tools and Manufacture** v. 98, p. 21-32, 2015.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. G. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- SREEJITH, P. S Machining of 6061 aluminium alloy with MQL, dry and flooded lubricant conditions. **Materials Letters**. v.62, n.2, p276-278, Jan. 2008
- STEMMER, C. E. **Ferramentas de corte I**. 7ª Ed. 249 p., Ed. Da UFSC, Florianópolis, Brasil, 2007
- SOUZA, A. J de; SCHROETER, R. B. Análise da influência dos parâmetros de corte nos sinais monitorados de força e vibração, e na variação da rugosidade da superfície torneada. **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**, 4º, 2007, Águas de São Pedro – São Paulo.
- TRENT, E; WRIGHT, P. **Metal Cutting**. 4th ed. Boston, USA: Butterworth Heinemann, 2000.
- WANG, Q.; LIU, Z.; YANG, D. ; MOHSAN, A. U. H. Metallurgical-based prediction of stress-temperature induced rapid heating and cooling phase transformations for high speed machining Ti-6Al-4V alloy, **Materials and Design**, v.119, p 208-218, 2017
- WU, C., F., Jeff, HAMADA, Michael. **Experiments: planning, analysis, and parameter design optimization**. New York: John Wiley & Sons, 2000

## 7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.

### INFLUENCE OF THE ATTACK ANGLE ON THE CUTTING EFFORTS AND SURFACE FINISH OF EXTERNAL THREADS

Lincoln Maia Teixeira, lincoln.teixeira@ifmg.edu.br

Lincoln Cardoso Brandão, lincoln@ufsj.edu.br

Carlos Henrique Lauro, carlos.lauro@ua.pt

Rhelman Rossano Urzedo Queiroz, rhelman.queiroz@ifmg.edu.br

Samuel Alves de Freitas, samuelengmec@gmail.com

Thiago Castro Freitas, thiagocastrofreitas@hotmail.com

Waslley Amaral Coelho, waslleyamaral@hotmail.com

<sup>1</sup> Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Avançado Conselheiro Lafaiete, Rua Padre Teófilo Reyn, 441, São Dimas, Conselheiro Lafaiete – MG, 36400-000

<sup>2,5,6,7</sup> Universidade Federal de São João del-Rei, Praça Frei Orlando, 170 - Centro, São João Del Rei - MG, 36307-334

<sup>3</sup> Universidade de Aveiro-Campus Santiago 3810-193 Aveiro, Portugal

<sup>4</sup> Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Ouro Preto, Rua Pandiá Calógeras, 898 - Bauxita, Ouro Preto - MG, 35400-000

**Abstract:** Threading is a process which aims to generate helical grooves with a continuous pitch called threads. In this process may occur limitation on the torque and the machine kinetics, because this thread profiles cannot be generated in a single cutting pass in the machining process. In the external threading, the cutting tool needs to penetrate incrementally from outer diameter until reach the root of the thread. In this paper the tests were carried out in three different strategies using different angles of attack, namely; radial feed, feed to the flank, and Incremental feed on the flank in the titanium alloy Ti-6Al-4V. The cutting speeds were maintained constants aiming the comparison of attack angles and the chip removal rate during the experiments. The responses were the cutting efforts, the finishing of the threads and the burr formation at the top of the thread. The results exhibited that the types of attack angles showed small differences in relation to cutting efforts. However, the incremental type recorded the smallest values. In the other hand, the modified flank attack presented the better surface with minimum form errors and burrs. The cutting speed of 40 m/min provided the best superficial finish surface and the lowest cutting efforts in all experiments.

**Keywords:** Threading, cutting efforts, titanium, strategies, attack angles.