

## **ESTUDO DO ACABAMENTO SUPERFICIAL OBTIDO NO PROCESSO DE USINAGEM DE ALUMÍNIO COM DIFERENTES INSERTOS E VELOCIDADES DE CORTE**

KOCH, Tamiris Mallmann<sup>1\*</sup>, SEIBOTH, Cristian<sup>2</sup>, BERGMANN, Jonas Maicon<sup>3</sup>,  
DALCIN, Rafael Luciano<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> FAHOR, Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Campus Arnaldo Schneider, Avenida dos Ipês, 565, Horizontina, RS, Brasil.

<sup>4</sup> Professor do Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Horizontina-RS, Brasil.

\*E-mail: tk002399@fahor.com.br

### **RESUMO**

O objetivo deste artigo é avaliar a rugosidade superficial, obtido após o processo de torneamento cilíndrico externo, em corpos da liga de alumínio ASTM 6351 T6, com diferentes insertos e velocidades de corte. Para isso, três corpos de prova foram usinados com os mesmos parâmetros de profundidade de corte, avanço e quantidade de passes, sem fluido de corte. Os insertos selecionados possuem o mesmo raio de canto, sendo um deles indicado pelo fabricante para utilização em alumínio. Após o processo de usinagem, foi utilizado um rugosímetro, para análise da rugosidade superficial e realizado um comparativo do acabamento obtido. Após a realização do estudo, foi possível perceber a influência da velocidade no acabamento superficial das peças usinadas.

**Palavras chave:** Usinagem, alumínio, rugosidade superficial, inserto, velocidade de corte.

### **ALUMINUM MACHINING SUPERFICIAL FINISH STUDY WITH DIFFERENT INSERTS AND CUTTING SPEEDS**

#### **ABSTRACT**

The purpose of this paper is to evaluate the superficial roughness obtained after a external cylindrical machining on aluminum alloy ASTM 6351 T6 samples with different inserts and cutting speeds. For this, three samples were machined with the same parameters of depth, feed and passes without fluid. The selected inserts have the same corner radius, and one of them is indicated by the manufacturer for use in aluminum. After the machining process, a roughness gauge was used to analyze the surfaces roughness and do a comparison of the finish obtained. After the study, it was possible to notice the influence of speed on the finish of the machined samples.

**Keywords:** Machining, aluminum, superficial roughness, inserts, velocities.

## INTRODUÇÃO

O alumínio e suas ligas são alguns dos metais mais versáteis disponíveis na indústria. Sua baixa massa específica, elevada resistência mecânica, resistência à corrosão e tração elevadas fazem com que esse material seja amplamente utilizado na indústria automobilística, aeronáutica, alimentícia, entre outras (CANTO, 1996). O alumínio, em geral, pode ser facilmente usinado. A energia consumida por unidade de volume de metal removido é muito baixa, e apenas o magnésio e suas ligas podem ser usinadas com a mesma taxa de energia consumida (DINIZ, 1999).

O progresso na indústria está associado aos seus avanços tecnológicos. Na indústria metal mecânica, a evolução das máquinas e ferramentas possibilita alto desempenho, atendendo às necessidades desse mercado altamente competitivo. A otimização dos parâmetros de usinagem, como por exemplo, a escolha do inserto adequado tem sido uma das principais alternativas empregadas atualmente.

O principal objetivo desse artigo é comparar a variação de rugosidade obtida, através do processo de torneamento cilíndrico externo, com três diferentes modelos de insertos e duas velocidades de corte, na liga de alumínio ASTM 6351 T6, sendo esse um dos principais parâmetros levados em conta, para melhor acabamento. Visto que, com a evolução das ferramentas de corte, seu desgaste raramente é um problema, principalmente para ligas de alumínio.

## 2 DESENVOLVIMENTO E DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS

### 2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

O alumínio é considerado o metal mais abundante na crosta terrestre, correspondendo a aproximadamente 8% de sua massa. É obtido, naturalmente, a partir de alguns minérios, sendo o mais importante a bauxita (PEIXOTO, 2001). Sua leveza, condutividade elétrica, resistência à corrosão e baixo ponto de fusão o tornam ideal para uma série de aplicações, como por exemplo, na indústria alimentícia, automobilística e, principalmente, na aeronáutica (CANTO, 1996).

A produção de alumínio não é tão simples quanto a de outros metais, o processo de redução da alumina ( $Al_2O_3$  – óxido de alumínio), proveniente do minério bauxita, é difícil e

precisa ser realizado com o auxílio de corrente elétrica. Esse processo visa separar a alumina das outras substâncias presentes na bauxita, como o óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (CANTO, 1996).

As ligas de alumínio da série 6xxx, apresentam algumas características, que justificam seu uso mais frequente quando comparadas às demais ligas de alumínio, como por exemplo, a capacidade de endurecimento por precipitação (são termicamente tratáveis) e ductilidade elevada, permitindo seu uso em operações que acarretam elevados graus de deformação (GONÇALVES, 1999).

O torneamento é a operação, onde um sólido gira em torno do eixo de uma máquina operatriz, que executa o trabalho de usinagem ao mesmo tempo em que uma ferramenta de corte lhe retira material periféricamente, de modo a transformá-lo em uma peça bem definida (CHIAVERINI, 1977).

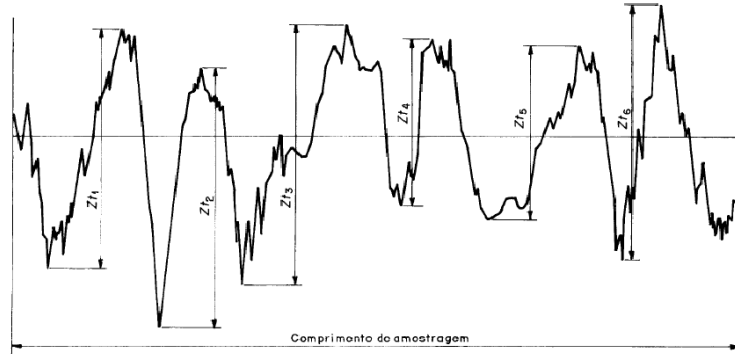
As ferramentas de corte evoluíram com o passar dos anos e as diversas geometrias de pastilhas estão sendo aperfeiçoadas, para um melhor desempenho no momento da usinagem. O formato do inserto deve ser selecionado para o ângulo de posição exigido e a acessibilidade, ou versatilidade necessária da ferramenta. O maior ângulo de ponta adequado ao inserto deve ser selecionado, levando em conta sua resistência e economia (SANDVIK, 2017).

Após o torneamento, as superfícies das peças apresentam irregularidades quando observadas em detalhes. Essas irregularidades são provocadas por sulcos ou marcas deixadas pela ferramenta que atuou sobre a superfície da peça, chamadas de rugosidade (NOVASKI, 1994). Os sulcos ou marcas deixadas pela ferramenta podem ser mensurados por diferentes parâmetros de rugosidade.

Para a ABNT, 2002, a rugosidade média “Ra” (equação 1) é definida como a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas  $Z(x)$  no comprimento de amostragem, como demonstrado na Figura 1.

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (\text{Equação 1})$$

Figura 1: Altura dos elementos do perfil (exemplo de um perfil de rugosidade).



Fonte: ABNT (2002).

## 2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do artigo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica, para coleta de informações e ensaios, com materiais para a coleta de resultados.

O material utilizado no desenvolvimento dos ensaios foi uma barra redonda de 38,10mm de diâmetro e com 600 mm de comprimento da liga de alumínio ASTM6351 T6, que tem sua composição química apresentada no quadro 1.

Quadro 1: Composição química da liga de alumínio ASTM 6351 T6.

| Composição Química da Liga ASTM<br>6351 T6             | % Massa |
|--|---------|
| Alumínio   | 98,0%   |
| Silício  | 1,0%    |
| Manganês   | 0,5%    |
| Cobre  | 0,1%    |
| Outros   | 0,4%    |
| Tratamento: Solubilizado e envelhecido artificialmente |         |

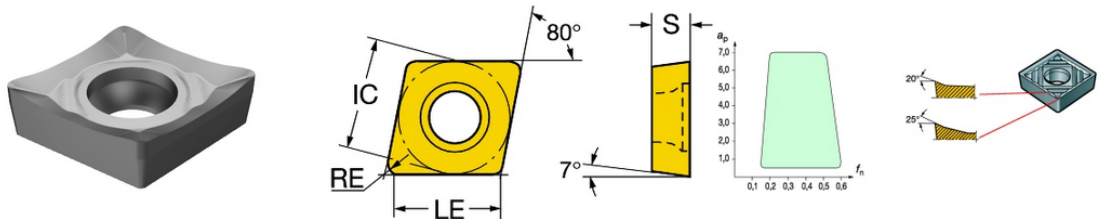
Fonte: ALUMICOOPER (2017).

A barra foi cortada em três peças de 200mm de comprimento cada. A máquina utilizada para os ensaios foi um torno convencional Romi modelo Tormax 20.

O porta-ferramentas utilizado foi o modelo SCLCR-2020-K09 com ângulo de 95°. Foram utilizadas os insertos intercambiáveis CCGX 09 T3 04-AL H10, CNMG 12 04 04-PM 4225 e TNMG 16 04 04-PM 4335, cujas propriedades estão descritas nas figuras 2, 3 e 4,

respectivamente, e sendo o modelo CCGX indicado especialmente para usinagem em alumínio. Todas as ferramentas possuem um raio de canto de aproximadamente 0,4mm.

Figura 2: Propriedades da pastilha CCGX 09 T3 04-AL H10.



Product data

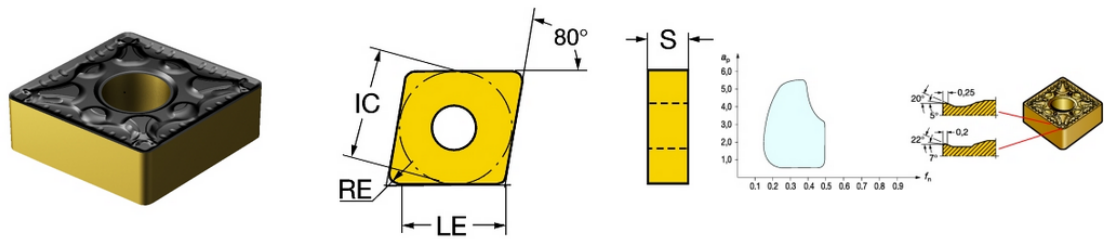
|                                    |                               |  |   |
|------------------------------------|-------------------------------|--|---|
| ISO<br><b>CCGX 09 T3 04-AL H10</b> | Material Id<br><b>5723239</b> | Inscribed circle diameter (IC)<br><b>9.525 mm</b>      | Insert size and shape (ICUTINTSIZESHAPE)<br><b>CC09T3</b> |
| ANSI<br><b>CCGX 3(2.5)1-AL H10</b> | EAN<br><b>10115291</b>        | Cutting edge effective length (ILE)<br><b>9.272 mm</b> | Corner radius (RB)<br><b>0.397 mm</b>                     |
|                                    |                               | Wiper edge property (WEP)<br><b>false</b>              | Insert thickness (S)<br><b>3.969 mm</b>                   |

Start values

|   |                                |
|---|--------------------------------|
| N | ap <b>1.5 mm(0.5-5)</b>        |
|   | fn <b>0.2 mm/r(0.1-0.3)</b>    |
|   | vc <b>2000 m/min(2500-250)</b> |

Fonte: Sanvik (2017).

Figura 3: Propriedades da pastilha CNMG 12 04 04-PM 4225.



Product data

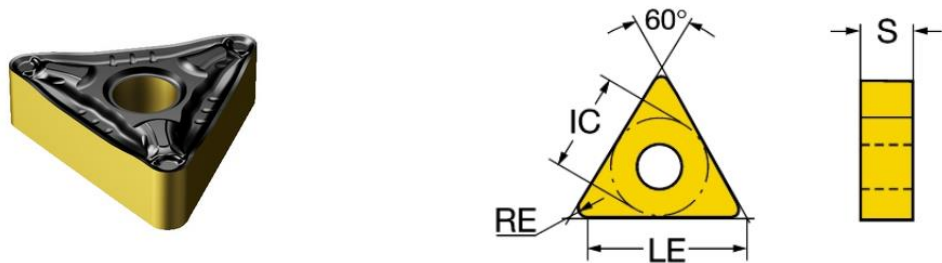
|                                     |                               |  |   |
|-------------------------------------|-------------------------------|--|---|
| ISO<br><b>CNMG 12 04 04-PM 4225</b> | Material Id<br><b>5724692</b> | Inscribed circle diameter (IC)<br><b>12.7 mm</b>       | Insert size and shape (IC T N S Z S H A P E)<br><b>CN1204</b> |
| ANSI<br><b>CNMG 431-PM 4225</b>     | EAN<br><b>12081683</b>        | Cutting edge effective length (LE)<br><b>12.496 mm</b> | Corner radius (RE)<br><b>0.397 mm</b>                         |
|                                     |                               | Wiper edge property (WE P )<br><b>false</b>            | Insert thickness (S)<br><b>4.763 mm</b>                       |

Start values

|          |   |          |   |
|----------|---|----------|---|
| <b>P</b> | ap 3 mm(0.4-5.5)<br>fn 0.2 mm/r(0.1-0.3)<br>vc 395 m/min(460-345) | <b>K</b> | ap 3 mm(0.4-5.5)<br>fn 0.2 mm/r(0.1-0.3)<br>vc 210 m/min(255-175) |
|----------|---|----------|---|

Fonte: Sanvik (2017).

Figura 4: Propriedades da pastilha TNMG 16 04 04-PM 4335.



Product data

|                                     |                               |  |   |
|-------------------------------------|-------------------------------|--|---|
| ISO<br><b>TNMG 16 04 04-PM 4335</b> | Material Id<br><b>7060645</b> | Inscribed circle diameter (IC)<br><b>9.525 mm</b>      | Insert size and shape (IC T N S Z S H A P E)<br><b>TN1604</b> |
| ANSI<br><b>TNMG 331-PM 4335</b>     | EAN<br><b>7323221186722</b>   | Cutting edge effective length (LE)<br><b>16.098 mm</b> | Corner radius (RE)<br><b>0.397 mm</b>                         |
|                                     |                               | Wiper edge property (WE P )<br><b>false</b>            | Insert thickness (S)<br><b>4.763 mm</b>                       |

Start values

|          |   |
|----------|---|
| <b>P</b> | ap 3 mm(0.4-5)<br>fn 0.2 mm/r(0.1-0.3)<br>vc 240 m/min(300-210) |
|----------|---|

Fonte: Sanvik (2017).

Cada corpo de prova foi dividido em duas partes de 100 mm cada para o desbaste, que foram usinadas com a mesma ferramenta de corte. Foram realizados dois passes de torneamento com avanço contínuo, profundidade de corte de 1 mm e avanço de corte de 0,4mm/rotação. No lado A foi utilizada a rotação de 1.000 rpm e no lado B a rotação de 1.600 rpm.

Quadro 2: Parâmetros utilizados nos testes.

| Parâmetro                           | Ferramenta 1 |     | Ferramenta 2 |     | Ferramenta 3 |     |
|-------------------------------------|--------------|-----|--------------|-----|--------------|-----|
|                                     | CCGX         |     | CNMG         |     | TNMG         |     |
| Velocidade de corte ( $v_c$ ) m/min | 120          | 191 | 120          | 191 | 120          | 191 |
| Avanço ( $f$ ) mm/rot               | 0,4          |     | 0,4          |     | 0,4          |     |
| Profundidade de corte ( $a_p$ ) mm  | 1,0          |     | 1,0          |     | 1,0          |     |

O objetivo do ensaio não era apresentar um acabamento perfeito nas peças após o torneamento, mas sim, comparar o acabamento superficial obtido ao executar a mesma operação com insertos e velocidades diferentes. Portanto, após a conclusão dos ensaios, foi utilizado um rugosímetro, modelo TR210, da marca TIME, para análise da rugosidade obtida em cada um dos testes, com o parâmetro de rugosidade Ra.

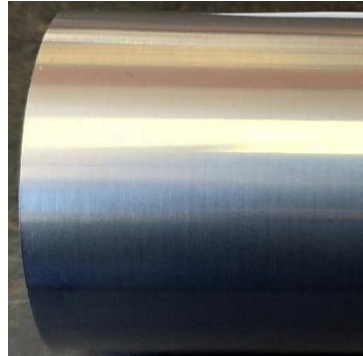
### 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios foram realizados sem fluído de corte, pois seu uso vem sendo reduzido na indústria, devido aos problemas ambientais causados por seu descarte no meio ambiente.

As velocidades de corte foram variadas de um corpo para o outro, e todas as outras condições foram mantidas constantes.

Foram realizados dois passes em cada corpo de prova, depois feita uma análise visual das superfícies usinadas, onde foi possível observar deformações no acabamento, como por exemplo, marcas de avanço, como mostrado na figura 5.

Figura 5: Demonstração do acabamento superficial obtido na superfície usinada.



Através dos valores de rugosidade apresentados no quadro 3, verifica-se que com o aumento da velocidade de corte, ocorre uma melhora no acabamento superficial da peça. Em baixas velocidades, o corpo de prova tende a esquentar e o alumínio acaba fundindo com a aresta da ferramenta, causando um aumento da rugosidade.

Quadro 3: Resultados de rugosidade obtidos.

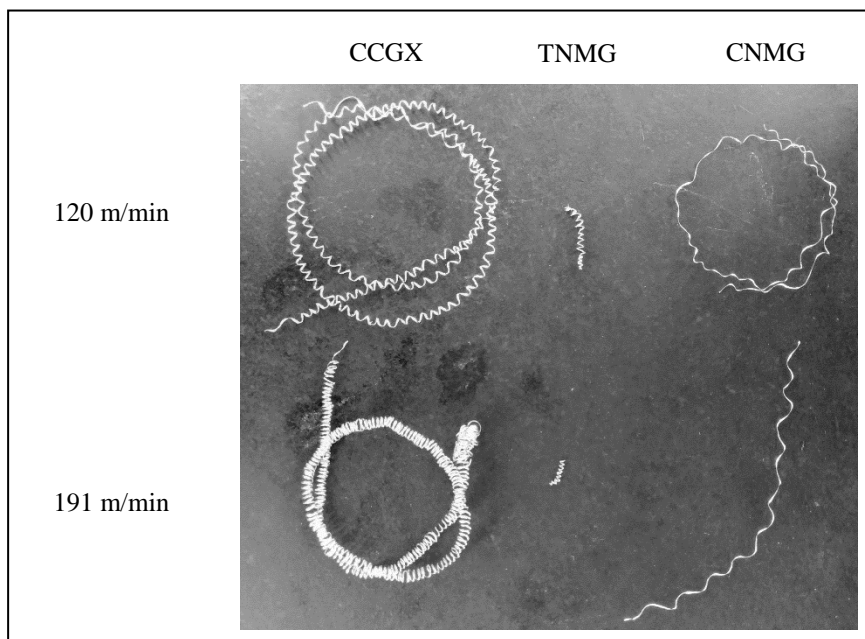
| <b>Velocidade de corte<br/>(<math>v_c</math>)</b> | <b>Ferramenta 1<br/>CCGX</b> | <b>Ferramenta 2<br/>CNMG</b> | <b>Ferramenta 3<br/>TNMG</b> |
|---|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 120 m/min   | 0,969 $\mu m$                | 0,684 $\mu m$                | 0,770 $\mu m$                |
| 191 m/min   | 0,860 $\mu m$                | 0,530 $\mu m$                | 0,658 $\mu m$                |

A diferença percentual de rugosidade obtida na usinagem entre as duas velocidades ficou em média 16%. A ferramenta indicada pelo fabricante para utilização em alumínio e suas ligas (CCGX) foi a que apresentou maior rugosidade, mas também a que apresentou menor variação entre uma velocidade e outra (aproximadamente 11%). Em comparação, a ferramenta que apresentou melhor acabamento superficial (CNMG), também apresentou maior variação entre uma velocidade e outra (aproximadamente 23%).

Foi feita uma análise visual dos cavacos obtidos comparando com o acabamento superficial da peça, onde foi possível perceber que a ferramenta que obteve melhor acabamento (CNMG), também foi a que apresentou o cavaco com maiores irregularidades, sendo mais longo e disforme que os obtidos peças outras ferramentas. Essa comparação visual pode ser observada na Figura 6.



Figura 6: Cavacos obtidos.



## CONCLUSÃO

[1] Nos testes realizados foi possível verificar a influência da velocidade de corte no acabamento superficial (rugosidade) das peças que foram usinadas.

[2] Foi constatada, também a significativa diferença de rugosidade entre as peças, pelo fato de terem sido usinadas por ferramentas diferentes.

[3] Concluímos que neste caso, a rugosidade obtida pela usinagem da ferramenta especial para alumínio, foi a mais alta dos testes, isto é, menos acabamento, do que a demais ferramentas que são específicas para a usinagem de aços- ligas, as quais possuem camadas superficiais muito duras e não são recomendadas para usinar alumínio.

## REFERÊNCIAS

ALUMICOOPER. **Alumínio 6351**. Disponível em < [http://www.alumicopper.com.br/produtos\\_aluminio\\_6351.html](http://www.alumicopper.com.br/produtos_aluminio_6351.html)>. Acesso em Maio de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 4287: **Especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: método do perfil – Termos, definições e parâmetros de rugosidade**. ABNT, 2002. Disponível em < <http://docslide.com.br/documents/nbr-iso-4287-2002-especificacoes-geometricas-do-produto-gps-rugosidade.html>>. Acesso em Maio de 2017.



De 07/06/2017 a 09/06/2017

CANTO, Eduardo Leite do. **Minerais, Minérios e Metais: De onde vêm? Para onde vão?.** São Paulo: Editora Moderna, 1996.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica Volume I: Estrutura e Propriedades Processos de Fabricação.** São Paulo, 1977.

DINIZ, A. E. MARCONDES, F. C. COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais.** São Paulo, 1999.

GONÇALVES, M., **Tratamento térmico de ligas de alumínio: Conceitos Fundamentais,** 1999.

NOVASKI, Olívio. **Introdução à Engenharia de Fabricação Mecânica.** São Paulo, 1994.

PEIXOTO, E.M.A. **Elemento: Alumínio.** Revista Química Nova na Escola, n. 13,p. 51, 2001. Disponível em <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc23/a09.pdf>>. Acesso em Maio de 2017.

SANDVIK do Brasil. **Torneamento Geral.** São Paulo. Disponível em <[http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/POR/TUR\\_A.pdf](http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/POR/TUR_A.pdf)>. Acesso em Maio de 2017.