

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO DE DESGASTE EM PASTILHAS DE METAL DURO EM
TORNEAMENTO DE UMA LIGA DE ALUMÍNIO

TARCIZIO YANKE OLIVEIRA NÓBREGA

MANAUS

2023

ESTUDO DE DESGASTE EM PASTILHAS DE METAL DURO EM TORNEAMENTO
DE UMA LIGA DE ALUMÍNIO

Trabalho de curso apresentado como requisito
parcial à obtenção do título de bacharel em
Engenharia Mecânica da Universidade do
Estado do Amazonas (UEA)

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Garcia Del Pino

MANAUS

2023

N754ee Nóbrega, Tarcízio Yanke Oliveira
Estudo de desgaste em pastilhas de metal duro em
torneamento de uma liga de alumínio / Tarcízio Yanke
Oliveira Nóbrega. Manaus : [s.n], 2023.
44 f.: il.; 30 cm.

TCC - Graduação em Engenharia Mecânica -
Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2023.
Inclui bibliografia
Orientador: Gilberto Garcia Del Pino

1. Alumínio. 2. Desgaste. 3. Torneamento. I.
Gilberto Garcia Del Pino (Orient.). II. Universidade do
Estado do Amazonas. III. Estudo de desgaste em pastilhas
de metal duro em torneamento de uma liga de alumínio

**ESTUDO DE DESGASTE EM PASTILHAS DE METAL DURO EM
TORNEAMENTO DE UMA LIGA DE ALUMÍNIO**

Este Trabalho de Curso foi considerado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e aprovado em sua forma final pela comissão examinadora.

Manaus, 31 de março de 2023.

Banca examinadora:



Orientador: Prof. Dr. Gilberto Garcia Del Pino



Prof. Dr. Antonio Claudio Kieling



Prof. Dr. Aristides Rivera Torres

*À meus pais, Tarcísio José e Maria Elizete Nóbrega, que
fizeram o possível para realizar meu sonho e dar a
oportunidade de estudar e desenvolver-me.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por permitir com todas as bênçãos a realização de tal trabalho.

Agradeço eternamente aos meus pais, pelos sacrifícios, dedicação, coragem e disposição para proporcionar, a minha pessoa, todas as condições para estudo, e formação acadêmica.

Agradeço ao meu orientador e grande professor, Dr. Gilberto Garcia del Pino, por transmitir muitos conhecimentos durante a realização deste trabalho e em sala de aula. E por toda a disposição de auxiliar os alunos.

Agradeço também ao professor Dr. Aristides Rivera Torres, por dar todo suporte, apoio, e acompanhar a realização do experimento nos laboratórios de manufatura mecânica da universidade.

Agradeço a equipe do laboratório de materiais, que ofereceu ajuda e deu todo suporte para avaliar os resultados em microscopio e equipamentos do laboratório.

Agradeço a toda a equipe de docentes, e da coordenação do curso de bacharelado de Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Amazonas, por transmitir todos estes anos conhecimento, sabedoria e auxiliar na formação acadêmica dos alunos.

Agradeço aos membros da Equipe Baja UEA, por me auxiliar na minha formação acadêmica, além de fornecer ferramentas para realizar o experimento.

E por fim, agradecer a todas as pessoas que me auxiliaram diretamente, ou indiretamente na minha formação.

RESUMO

Devido a uma ausência de estudos da influência de parâmetros de usinagem em ligas de alumínio, e visto que as ligas de alumínio atualmente são, de múltiplas formas, muito utilizadas e introduzidas nas novas tecnologias, tanto nos setores industriais, automotivos, navais e aeroespaciais, observou-se uma necessidade de estudar o desgaste sofrido pelas ferramentas de usinagem. Nota-se como resultado a influência de velocidades de corte, tempo de usinagem, e rotação do eixo árvore do equipamento, um aumento do desgaste da ferramenta.

Palavras-chave: Alumínio,usinagem,desgaste,velocidade,ferramenta.

ABSTRACT

Due to a lack of studies on the influence of machining parameters on aluminum alloys, and since aluminum alloys are currently, in multiple ways, widely used and introduced in new technologies, both in the industrial, automotive, naval and aerospace sectors, there was a need to study the wear suffered by machining tools. As a result, the influence of cutting speeds, machining time, and rotation of the spindle of the equipment can be observed, an increase in tool wear.

Key-words: Aluminum, machining, wear, cutting speeds, tool.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Torno universal ou horizontal.	18
Figura 2 – Torno vertical.	19
Figura 3 – Torno revólver.	19
Figura 4 – Torno copiador.	20
Figura 5 – Torno CNC	20
Figura 6 - Ilustração mostrando a profundidade de corte	22
Figura 7 - Ilustração mostrando a cunha de corte.	23
Figura 8 - Ilustração mostrando as arestas e superfícies de corte	23
Figura 9 - Ilustração mostrando o arredondamento ou chanframento da ponta	24
Figura 10 - Planos e sistema de referência	25
Figura 11- Ângulo de saída, de cunha, e de folga, no plano admitido de trabalho.	27
Figura 12 - Ângulos de uma ferramenta de torneamento.	27
Figura 13 - Desgaste de flanco	28
Figura 14 - Desgaste de craterização.	28
Figura 15 - Desgaste de deformação plástica	29
Figura 16 - Desgaste de lascamento.	29
Figura 17 - Desgaste por trincas.	30
Figura 18 - Desgaste por quebra.	30
Figura 19 - Aresta postiça	31
Figura 20 - Fluxograma de procedimento de experimento.	32
Figura 21 - Composição química da liga de alumínio 6351 T6	33
Figura 22 - Torno convencional WESS CS6250B	34
Figura 23 - Características pastilha CCGT 09T308	35
Figura 24 - Porta ferramenta com pastilha montada	35
Figura 25 - Tarugo com furo central.	37
Figura 26 - Tarugo montado entre pontas.	37
Figura 27 - Tarugo em torneamento.	38
Figura 28 - Equipamento para análise.	39
Figura 29 - Amostra montada no equipamento.	39
Figura 30 - Medição do desgaste da amostra.	40
Figura 31 - Desgaste na aresta de corte.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores usados no experimento.	38
Tabela 2 - Valores de desgaste observados.	39
Tabela 3 - Tipos de desgastes observados por amostra	40

LISTA DE ABREVIACÕES

CNC	Comandos Numéricos Computadorizados
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Vc	Velocidade de Corte
Va	Velocidade de Avanço
SAE	Society of Automative Engineers

Sumário

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Problematização e Hipótese	16
1.2. Delimitação do estudo	16
1.3. Objetivos	16
1.3.1. Objetivo Geral	16
1.3.2. Objetivos Específicos	16
1.4. Justificativa	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1. Tipos de tornos	18
2.1.1. Torno Universal ou Horizontal	18
2.1.2. Torno Vertical	18
2.1.3. Torno Revolver	19
2.1.4. Torno Copiador	20
2.1.5. Torno CNC	20
2.2. Alumínio	21
2.2.1. Ligas de Alumínio	21
2.3. Parâmetros de Usinagem	21
2.3.1. Velocidade de Corte	21
2.3.2. Velocidade de Avanço	22
2.3.3. Profundidade de corte	22
2.4. Geometria da Ferramenta	22
2.4.1. Superfície de Folga	22
2.4.2. Superfície de Saída	22
2.4.3. Aresta de Corte	23
2.4.4. Cunha de Corte	23
2.4.5. Ponta de Corte	24
2.5. Sistema de Referência	24
2.5.1. Plano de Referência da Ferramenta	24
2.5.2. Plano de Corte da Ferramenta	24
2.5.3. Plano Ortogonal da Ferramenta	25
2.5.4. Plano Admitido de Trabalho	25

2.5.5.	Plano Dorsal da Ferramenta	25
2.6.	Ângulos da Ferramenta	26
2.6.1.	Ângulo de Posição da Ferramenta	26
2.6.2.	Ângulo de Posição da Aresta Secundária da Ferramenta	26
2.6.3.	Ângulo da Ponta da Ferramenta	26
2.6.4.	Ângulo de Inclinação da Ferramenta	26
2.6.5.	Ângulo de Saída da Ferramenta	26
2.6.6.	Ângulo de Cunha da Ferramenta	26
2.6.7.	Ângulo de Folga da Ferramenta	27
2.7.	Desgaste	28
2.7.1.	Desgaste de Frontal ou Flanco	28
2.7.2.	Desgaste de Craterização	28
2.7.3.	Desgaste por Deformação Plástica	28
2.7.4.	Desgaste por Lascamento	29
2.7.5.	Desgaste por Trincas	30
2.7.6.	Desgaste por Quebra	30
2.7.7.	Aresta Postiça	30
3.	METODOLOGIA	32
3.1.	Metodologia	32
3.2.	Procedimentos	32
4.	ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS	32
4.1.	Definição de materiais	32
4.2.	Definição do equipamento	33
4.3.	Definição de ferramentas e pastilhas	34
4.4.	Definindo as Rotações por Minuto	35
4.5.	Definição dos avanços	36
4.6.	Definição da profundidade de corte	36
4.7.	Experimento	36
4.8.	Resultados Obtidos	38
5.	CONCLUSÃO	41

5.1. Sugestões para trabalhos futuros	41
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1. INTRODUÇÃO

O principal material utilizado para fabricação de peças até o século XVIII era a madeira, com o advento da revolução industrial, veio o surgimento e a necessidade do desenvolvimento de novos materiais, como ferro fundido, bronze e cobre. Esses materiais era facilmente usinados com ferramentas de aço carbono, tornando-se amplamente utilizados pela facilidade de fabricação. Com o desenvolvimento de máquinas a vapor, veio junto o desenvolvimento de máquinas ferramentas, que por sua vez impulsionaram a indústria metal-mecânica.

Em 1797 surge o primeiro torno com avanço automático, feito por Henry Maudslay, o que permitia a fabricação de roscas com passos definidos. Surgiria após outras máquinas ferramentas de usinagem que conhecemos, fresadoras, retificadoras, máquinas para fabricação de engrenagens e outras.

Até 1906 o alumínio por sua vez era usado quase que exclusivamente em sua forma pura, e após inventa-se as ligas de alumínio, sendo a liga 3003 a primeira.

As ligas de alumínio foram evoluindo ao longo dos anos, impulsionadas pelas necessidades da indústria e sociedade, atualmente amplamente utilizadas nas estruturas metálicas, indústria civil, e principalmente a indústria aeronáutica e aeroespacial.

Em todos os anos de desenvolvimento, os alumínio foram usinados, a princípio com ferramentas de aço rápido, e com o desenvolvimento de ferramentas de tungstênio, e metal duro, estas ferramentas eventualmente passaram a ser utilizadas na usinagem destas ligas.

Com o desenvolvimento de ferramentas melhores, foi-se capaz de atingir novos níveis de produtividade, o que auxiliou no aumento da utilização do alumínio na indústria.

Hoje, com o advento de novas tecnologias, da necessidade de maiores eficiências energéticas nas indústrias automotivas e aeronáuticas, vê-se a necessidade de redução de peso, o que leva os engenheiros e fabricantes a utilização de alumínio como matéria prima de peças.

Logo, necessita-se cada vez de ferramentas melhores, mais eficientes e mais resistentes para melhorar a produção de peças numa sociedade que passa a olhar tal material como uma das soluções das crises energéticas atual.

1. Problematização e Hipótese

Tendo em vista as dificuldades encontradas na indústria com relação a utilização de ferramentas de usinagem para o alumínio, qual o efeito dos parametros de usinagem na ferramenta e peça?

H0: Utilizando os parametros adequados devemos atingir melhor eficiência da ferramenta.

H1: Os parametros de usinagem adequados devem atingir menor desgaste da ferramenta, gerando aumento de produtividade.

2. Delimitação do estudo

Estudo para a determinação dos efeitos dos parametros de usinagem durante o processo de torneamento de uma liga de alumínio em uma ferramenta e na peça usinada.

3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

Analisar o impacto dos parametros de usinagem no desgaste de uma ferramenta no torneamento de uma peça de alumínio.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Definição de parâmetros de velocidades de corte mais adequados;
- Definição de parâmetros mais otimizados para o processo;
- Realizar uma avaliação dos desgastes mais ocorrentes no processo de usinagem de alumínio;
- Avaliar o desgaste da ferramenta quando colocada sobre diferentes parâmetros de usinagem.

4. Justificativa

A pesquisa terá como principal objetivo a análise de desgaste de uma pastilha de metal duro durante a usinagem de uma liga de alumínio através de torneamento, avaliando assim as condições de usinagem, os seus parâmetros e características.

Com o advento de novas tecnologias e a necessidade cada vez maior de redução de peso e melhorias estruturais e de resistência tanto na indústria automotiva quanto aeroespacial, o alumínio tem tornado-se um material muito utilizado nas últimas décadas, porém há dificuldades para o encontro de análises deste material durante usinagem, um dos métodos que ainda é muito relevante.

Com o grande número de uso do alumínio, vem-se a dificuldade encontrada em fábricas, ferramentarias, e oficinas na usinagem deste material, o estudo do mesmo em condições adversas pode ajudar assim a achar uma maneira eficiente ou melhorar o processo para a indústria.

Assim este estudo faz-se necessário e relevante para melhorar a eficiência e qualidade da produção de peças de alumínio na indústria.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1. Tipos de tornos

2.1.1. Torno Universal ou Horizontal

Este tipo de torno mais comum utilizado pela indústria, ferramentarias e oficinas em geral.

Consiste na peça rotacionando no eixo do equipamento de forma horizontal. Utilizado para fabricação de peças pequenas, médias, ou bem compridas, com tornos chegando a mais de 2 metros de barramento. Um equipamento simples, comum e muito versátil.

Muitos técnicos encontram facilidade no seu uso.

A Figura 1 mostra um torno universal ou horizontal com suas partes.

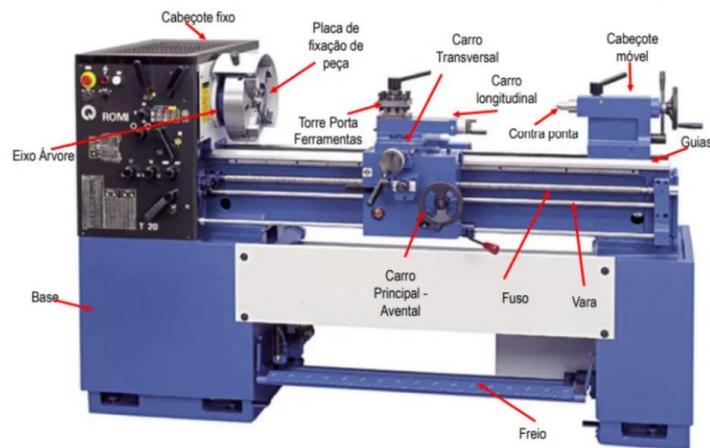


Figura 1 – Torno universal ou horizontal

Fonte: <https://www.rmlmaquinas.com.br/loja/noticia.php?loja=762235&id=85>

2.1.2. Torno Vertical

Este tipo de torno é muito utilizado para fabricação de peças pesadas, com comprimentos curtos e diâmetros grandes.

Comumente utilizado para fabricação de peças forjadas ou fundidas, com grandes durezas, ou em indústrias que necessitam alta resistência mecânica em suas peças, como ferroviária ou siderúrgicas.

A Figura 2 mostra um torno vertical.



Figura 2 – Torno Vertical

Fonte: <https://www.cimhsa.com.br/por/p/product/product/produtos/21/torno-vertical-c5116ex14-5.htm>

2.1.3. Torno Revólver

Este tipo de torno é muito versátil, muito utilizado em tempos antigos, porém caiu em desuso.

Capaz de conter múltiplas ferramentas, permitindo rápido setup e fabricação rápida de peças em produções de peças em série, pequenas e com múltiplas etapas e processos.

A Figura 3 mostra um torno revólver.



Figura 3 – Torno revólver.

Fonte: <https://mesindustrial.com.br/torno-revolver/>

2.1.4. Torno Copiador

Este tipo consiste em um torno que através de dispositivos especiais é capaz de obrigar a ferramenta a fazer um movimento que produz uma peça semelhante a peça matriz, por isso o nome copiador.

A Figura 4 mostra um torno copiador.



Figura 4 – Torno copiador.

Fonte:

<https://www.rmlmaquinas.com.br/loja/noticia.php?loja=762235&id=83#:~:text=Os%20tornos%20est%C3%A3o%20dispon%C3%ADveis%20em,no%20interior%20de%20um%20material.>

2.1.5. Torno CNC

Com o desenvolvimento de métodos computacionais e novas tecnologias, o Torno CNC é o mais moderno e versátil, porém com custo elevado. Cada vez mais utilizado, principalmente na indústria de produção em massa e em série. Consiste no uso de comandos numéricos e programação por computadores para gerar a peça

A Figura 5 mostra um torno CNC.



Figura 5 – Torno CNC.

Fonte: <https://www.romi.com/produtos/tornos-cnc-romi-centur/>

2. Alumínio

2.2.1. Ligas de alumínio

As ligas de alumínio são classificadas de acordo com os componentes químicos adicionados a mesma, e são definidas base norma ABNT BNR6834:2000 como:

1. 1XXX - Ligas com 99% de pureza;
2. 2XXX – Ligas com base de alumínio e cobre;
3. 3XXX – Ligas com base de alumínio e manganês;
4. 4XXX – Ligas com base de alumínio e sílcio;
5. 5XXX – Ligas com base de alumínio e magnésio;
6. 6XXX – Ligas com base de alumínio, magnésio e sílcio;
7. 7XXX – Ligas com base de alumínio e zinco.

3. Parâmetros de Usinagem

2.3.1. Velocidade de Corte

De acordo com MACHADO (2009)

A velocidade de corte (V_c) é a velocidade instatânea do ponto de referência da aresta cortante da ferramenta, segundo a direção e o sentido de corte.

A velocidade de corte (V_c) pode ser calculada através da equação [1]

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad [\text{m/min}]$$

Onde,

d = diâmetro da peça ou ferramenta [mm];

n = número de rotações por minuto [rpm].

2.3.2. Velocidade de avanço

De acordo com MACHADO (2009)

A velocidade de avanço (V_a) é a velocidade instantânea do ponto de referência da aresta cortante da ferramenta, segundo a direção e sentido do avanço.

A velocidade de avanço pode ser calculada através da equação [2]

$$V_a = f \cdot n \text{ [mm/min]}$$

Onde:

f = avanço da ferramenta (mm/rev);

n = número de rotações por minuto (rpm)

2.3.3. Profundidade de corte

É a profundidade ou penetração da aresta principal de corte. No torneamento é definido pela letra p .

A Figura 6 ilustra o que é a profundidade de corte, identificada pela letra p

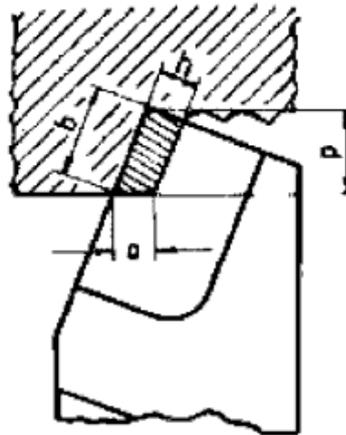


Figura 6 - Ilustração mostrando a profundidade de corte

Fonte: FERRARESI[1977]

4. Geometria da Ferramenta

2.4.1. Superfície de Folga

A superfície de folga é definida pela folga entre a ferramenta e a superfície em usinagem. É dividida entre superfície de folga principal (A_α) e superfície de folga secundária ($A'\alpha$).

2.4.2. Superfície de Saída

A superfície de saída (A_γ) é a superfície a qual o cavaco sai.

2.4.3. Aresta de Corte

A aresta de corte é a aresta cujo há o encontro em a superfície de saída e superfície de folga, sendo a aresta principal de corte (S) e aresta secundária (S').

2.4.4. Cunha de Corte

É a cunha da ferramenta, formada pela interseção das superfícies de saída e de folga.

A figura 7 e 8 mostram os componentes da geometria da ferramenta.

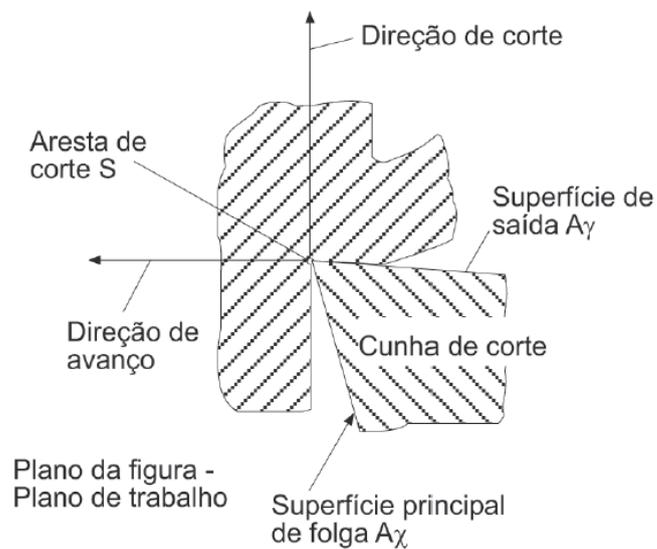


Figura 7 - Ilustração mostrando a cunha de corte.

Fonte: DINIZ [2014]

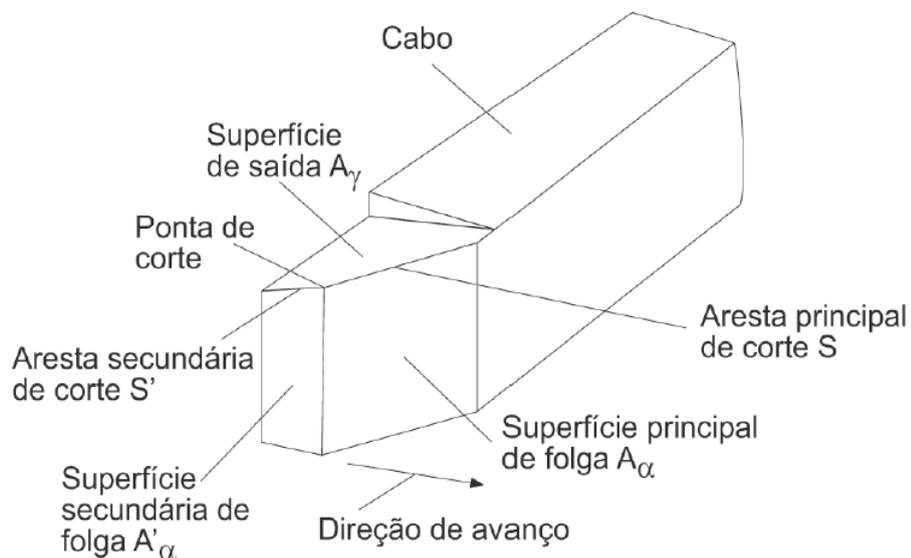


Figura 8 - Ilustração mostrando as arestas e superfícies de corte

Fonte: DINIZ [2014]

2.4.5. Ponta de corte

A ponta de corte é a parte onde encontram-se as duas arestas de corte (principal e secundária). Pode ser o encontro direto das arestas ou a concordância de duas arestas através de arredondamento ou chanfro.

A figura 9 mostra a ponta de corte através de arredondamento ou chanfro.

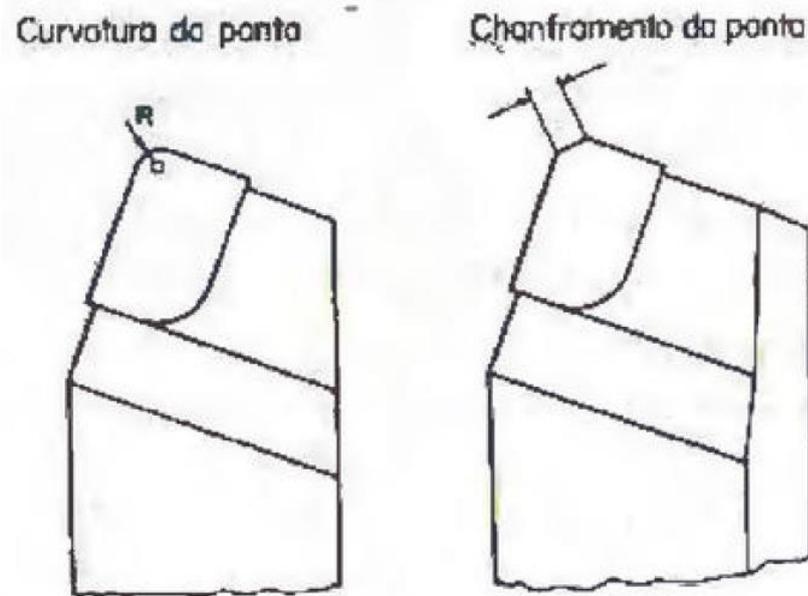


Figura 9 - Ilustração mostrando o arredondamento ou chanframento da ponta

Fonte: FERRARESI [1977]

5. Sistema de Referência

2.5.1. Plano de Referência da ferramenta

O plano de referência da ferramenta (Pr) é o plano perpendicular à direção de corte, passando pelo ponto de corte escolhido. Em torneamento o plano de referência é paralelo ao plano de apoio da ferramenta.

2.5.2. Plano de Corte da ferramenta

O plano de corte da ferramenta (Ps) é aquele perpendicular ao plano de referência da ferramenta, ou que contém a aresta de corte.

2.5.3. Plano Ortogonal da ferramenta

O plano ortogonal da ferramenta (P_o) é aquele perpendicular ao plano de referência da ferramenta e ao plano de corte da ferramenta.

2.5.4. Plano Admitido de trabalho

O plano admitido de trabalho (P_f) é aquele paralelo a direção de corte e perpendicular ao plano de referência da ferramenta.

2.5.5. Plano Dorsal da ferramenta

O plano dorsal da ferramenta (P_p) é o plano perpendicular aos planos de referência da ferramenta o plano admitido de trabalho.

A figura 10 mostra os planos e o sistema de referência da ferramenta.

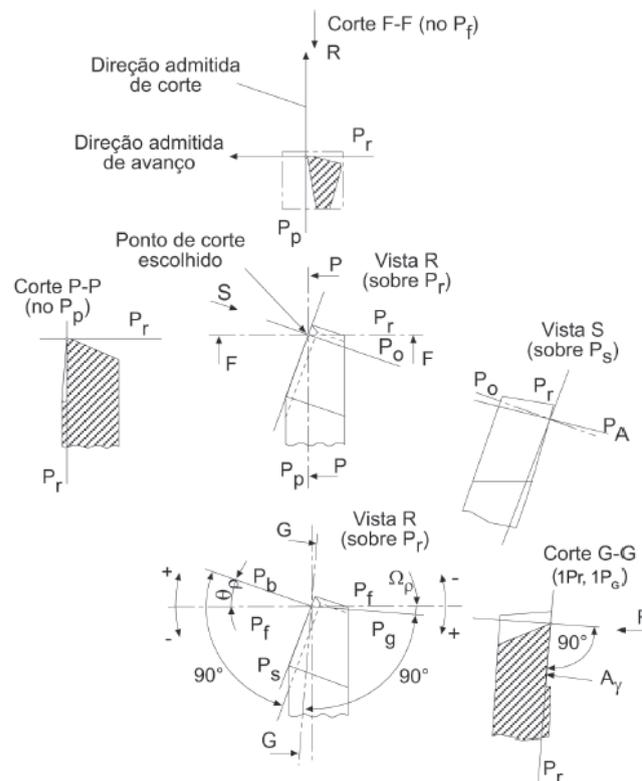


Figura 10 – Planos e sistema de referência

Fonte: DINIZ [2014]

6. Ângulos da parte de corte

2.6.1. Ângulo de posição da ferramenta

Ângulo de posição da ferramenta (χ_r) é o ângulo entre o plano de corte da ferramenta e o plano admitido de trabalho, em referência ao plano de corte da ferramenta.

2.6.2. Ângulo de posição da aresta secundária da ferramenta

Ângulo de posição da aresta secundária da ferramenta (χ'_r) é o ângulo entre o plano de corte secundário da ferramenta e o plano admitido de trabalho, em referência ao plano de corte da ferramenta.

2.6.3. Ângulo de ponta da ferramenta

Ângulo da ponta da ferramenta (ϵ_r) é o ângulo entre os planos principal de corte e secundário de corte da ferramenta.

2.6.4. Ângulo de inclinação da ferramenta

Ângulo de inclinação da ferramenta (λ_s) é o ângulo entre a aresta de corte e o plano de referência da ferramenta, como referência o plano de corte da ferramenta.

2.6.5. Ângulo de saída da ferramenta

Ângulo de saída da ferramenta é o ângulo entre a superfície de saída e o plano de referência da ferramenta. Pode ser definido, quando sobre o plano ortogonal da ferramenta, como ângulo de saída ortogonal da ferramenta (γ_o), e, quando sobre o plano dorsal da ferramenta, será o ângulo de saída dorsal da ferramenta (γ_p).

2.6.6. Ângulo de cunha da ferramenta

Ângulo de cunha é o ângulo entre as superfícies de saída e de folga. Quando sobre o plano ortogonal da ferramenta, é o ângulo de cunha ortogonal da ferramenta (β_o), quando sobre o plano admitido de trabalho, é o ângulo de cunha lateral da ferramenta (β_f), e quando sobre o plano dorsal da ferramenta, é o ângulo de cunha dorsal da ferramenta (β_p).

2.6.7. Ângulo de folga da ferramenta

Ângulo de folga da ferramenta é o ângulo entre a superfície de folga da ferramenta e o plano de corte da ferramenta. Quando sobre o plano ortogonal da ferramenta, é o ângulo de folga ortogonal da ferramenta (α_o), quando sobre o plano admitido de trabalho, é o ângulo de folga lateral da ferramenta (α_f), e quando sobre o plano dorsal da ferramenta, é o ângulo de folga dosal da ferramenta (α_p)

As figuras 11 e 12 mostram os ângulos em relação aos seus planos de referências.

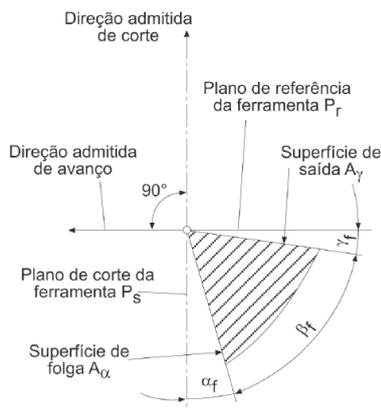


Figura 11 – Ângulo de saída, de cunha, e de folga, no plano admitido de trabalho.

Fonte: DINIZ [2014]

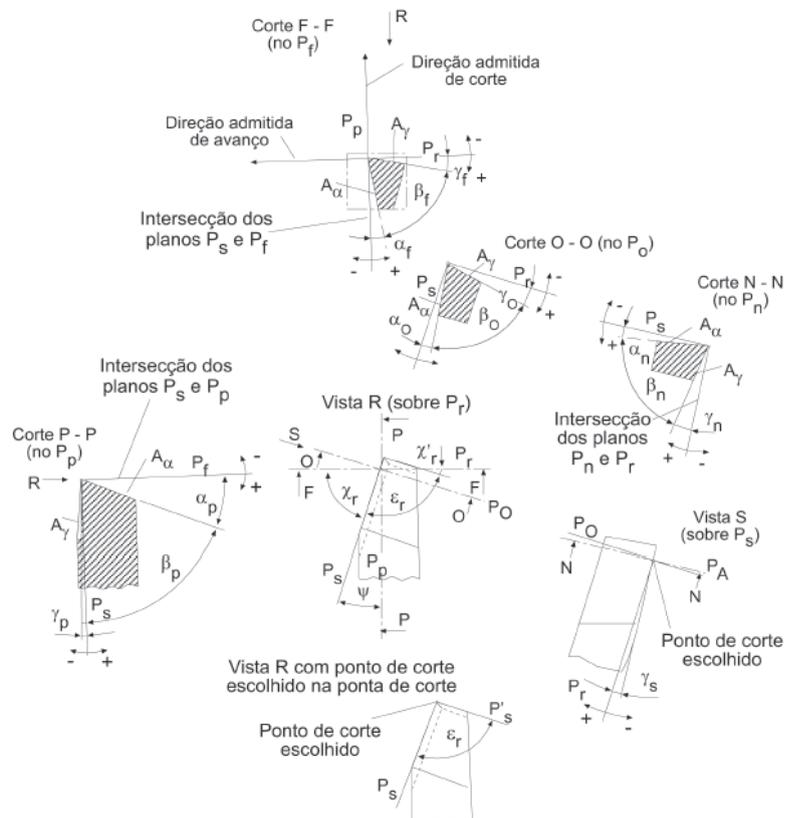


Figura 12 – Ângulos de uma ferramenta de torneamento.

Fonte: DINIZ [2014]

7. Desgaste da ferramenta

2.7.1. Desgaste Frontal ou flanco

Segundo DINIZ, é o desgaste que ocorre na superfície de folga da ferramenta, origina-se pelo próprio contato da ferramenta com a peça, é o mais comum, toda usinagem gera desgaste de flanco. Este tipo de desgaste gera deterioração do acabamento superficial da peça, podendo levar a perda de dimensional.

A figura 13 mostra um exemplo de desgaste de flanco.



Figura 13 – Desgaste de flanco.

Fonte: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/general-turning/troubleshooting-turning>

2.7.2. Desgaste de Craterização

Segundo DINIZ, é o desgaste que ocorre na superfície de saída da ferramenta, originada pelo o atrito do cavaco na ferramenta. É um desgaste que pode não ocorrer quando a ferramenta for resistente, de metal duro e com cobertura, ou quando o material for frágil, quebrando o cavaco. Este desgaste pode levar a quebra prematura da ferramenta.

A figura 14 mostra um exemplo de desgaste de craterização.



Figura 14 – Desgaste de craterização.

Fonte: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/general-turning/troubleshooting-turning>

2.7.3. Desgaste por Deformação Plástica

Segundo DINIZ, é uma avaria da ferramenta, este tipo de avaria ocorre quando a combinação de pressão sobre a ferramenta e temperaturas elevadas durante a usinagem, geram a deformação plástica da aresta de corte, de forma bem típica. Gera-se perda de controle do processo de usinagem, e perda de acabamento superficial, levando a possível quebra da aresta de corte.

A figura 15 mostra um exemplo de deformação plástica.



Figura 15 – Desgaste de deformação plástica.

Fonte: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/general-turning/troubleshooting-turning>

2.7.4. Desgaste por lascamento

Segundo DINIZ, é um tipo de avaria da ferramenta, que ocorre ao ocorrer do desgaste constante, começa-se a remover pequenas pedações da ferramenta, criando pequenas quebras, ocorre em ferramentas muito frágeis.

A figura 16 mostra o desgaste por lascamento.



Figura 16 – Desgaste de lascamento.

Fonte: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/general-turning/troubleshooting-turning>

2.7.5. Desgaste por trincas

Segundo DINIZ, as trincas são causadas pela variação de temperatura e esforços mecânicos, isso ocorre quando há cortes interrompidos, ou variações nas profundidades de corte, ou variação no acesso a fluido de corte.

A figura 17 mostra um exemplo de desgaste por trinca.



Figura 17 – Desgaste por trincas.

Fonte: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/general-turning/troubleshooting-turning>

2.7.6. Desgaste por quebra

Segundo DINIZ, a quebra da ferramenta se dá devido aos outros tipos de desgaste, ou de forma inesperada, sendo alguns fatores que levam a quebra prematura, sendo a ferramenta muito dura, ou cargas de corte muito excessiva, ou o raio da ponta da ferramenta, ângulos de corte, etc.

A figura 18 mostra um exemplo de quebra.



Figura 18 – Desgaste por quebra.

Fonte: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/general-turning/troubleshooting-turning>

2.7.7. Aresta postiça

Segundo DINIZ, a aresta postiça surge durante a usinagem do material e quando em velocidades de cortes baixa, parte do cavaco, em contato com a aresta de corte, e sob pressão e forças de corte, tende a grudar na aresta, e com a pressão, solda sobre a ferramenta, alterando assim as características de corte, desgaste e acabamento da peça, com o tempo ela tende a piorar, chegando a ruptura e deixando danos na ferramenta.

A figura 19 mostra um exemplo de aresta postiça.



Figura 19 – Aresta postiça.

Fonte: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/general-turning/troubleshooting-turning>

3. METODOLOGIA

1. Metodologia

Para esta análise, será feito um experimento, utilizando um tarugo e realizando múltiplas passadas, alterando os parâmetros de corte.

Para isto, serão calculados os parâmetros de forma matemática e utilizando as fórmulas e teoremas já conhecidos pela literatura.

Após o experimento, será feita análise em laboratório do desgaste da ferramenta.

2. Procedimentos

Esta análise será executada conforme o procedimento visto no fluxograma visto na figura 20.

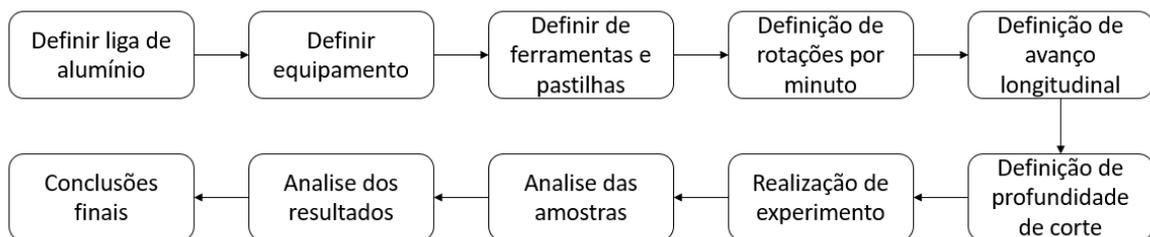


Figura 20 - Fluxograma de procedimento de experimento.

Fonte: Autoria própria

4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS

1. Definição de materiais

Para a definição do material a ser utilizado, a liga escolhida de alumínio foi a SAE 6351 T6, por ser uma liga comercializada na região de forma comum, em formato de tarugo redondo.

A liga possui a composição química conforme a figura 21.

Elementos	%
Alumínio	97,8
Silício	1,0
Manganês	0,6
Magnésio	0,6

Figura 21 – Composição química da liga de alumínio 6351 T6

Fonte: <https://acosnobre.com.br/blog/ligas-de-aluminio-6351t6-propriedades/>

As propriedades mecânicas da liga são:

- Limite de Escoamento: 260 MPa
- Limite de Resistência a Tração: 320 MPa
- Módulo de Elasticidade: 72 GPa
- Dureza: 95 HB

O tarugo utilizado foi de 3” ou 76,2 mm, com 500mm de comprimento, pois oferecia uma boa quantidade de material para remoção, e nem dimensões grandes demais para comprometer segurança.

2. Definição do equipamento

O equipamento definido foi um torno convencional universal, modelo CS 6250B -1500 da marca WESS.

As características do torno utilizado são:

- Motor principal: 7,5 kW;
- Dimensões principais (CxLxA): 2950x1280x1690mm;
- Voltagem: 220V;
- Velocidades: 36-1600 rpm;
- Avanço longitudinal: 0,063 – 2,52 mm/rev;
- Avanço transversal: 0,027 – 1,07 mm/rev.

A figura 22 mostra o torno utilizado.



Figura 22 – Torno convencional WESS CS6250B

Fonte: Autoria própria

Este equipamento é o encontrado no laboratório de manufatura mecânica da Universidade do Estado do Amazonas, e fornece uma boa robustez e potência para remoção de materiais, trazendo segurança para a realização do experimento. Além de simular perfeitamente os equipamentos comumente encontrados em oficinas e ferramentarias mecânicas.

3. Definição de ferramenta e pastilhas

Para o porta ferramenta, foi utilizado a ferramenta de usinagem tipo SCLCR 2020 K09, que possui as seguintes características:

- Altura e largura quadrada: 20x20mm;
- Aceita pastilhas com diâmetro interno tamanho 09;
- Corte sentido direito (se aproxima das castanhas);
- Ângulo de folga ortogonal da ferramenta (α_o): 5°

Para as pastilhas, foi selecionado pastilhas que se encaixassem no porta ferramentas utilizado, e com características de ângulos positivos, e sem principalmente sem cobertura química, pois cobertura químicas principalmente por conter partículas de alumínio na sua composição, geraria desgaste maior e possíveis formações de arestas portiças.

A pastilha selecionado foi a CCGT 09T308 com as características:

- Diâmetro inscrito (IC): 9,525mm;
- Raio de canto (RE): 0,794mm;
- Comprimento de aresta de corte (LE): 8,872mm;
- Espessura: 3,969mm;
- Ângulo de folga lateral da ferramenta (α_f): 7°

A figura 23 mostra as características da pastilha

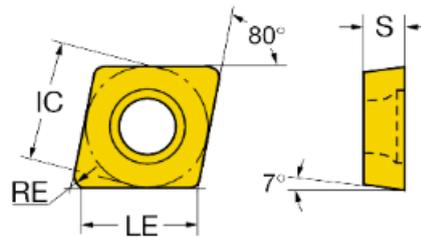


Figura 23 – Características pastilha CCGT 09T308

Fonte: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/product-details?c=CCGT%2009%20T3%2008-UM%20%20%20%20H13A>

A figura 24 mostra o porta ferramenta e a pastilha montada.



Figura 24 – Porta ferramenta com pastilha montada

Fonte: Autoria própria

4. Definindo as Rotações por Minuto

Para a definição das rotações por minuto, avaliou-se as características do equipamento, que tem como rotações indo de 36 a 1600 rpm. Assim, observando que havia as 3 velocidades mais altas seriam 1000, 1250 e 1600 rpm. Sabendo que a velocidade de corte para usinagem de alumínio, segundo vários fabricantes varia de 300 a 700 m/min, as velocidades 1000 e 1250 rpm foram escolhidas, em diferentes amostras. Não utilizou-se a velocidade 1600 rpm para não comprometer o funcionamento do equipamento.

A velocidade de corte conforme a equação 1, seria:

$$V_c = \frac{\pi \cdot 76,2 \cdot 1250}{1000} \cong 299,08 \text{ m/min}$$

Assim a velocidade seria o mais próximo possível da recomendada por fabricantes.

5. Definição dos avanços

Para os avanços, segundo os fabricantes de pastilhas, do mesmo tipo, para usinagem de alumínio, o avanço longitudinal deve variar de 0,1 a 0,4 mm/rev.

Considerando as características do equipamento, foi utilizado os avanços de 0,3 mm/rev e 0,25 mm/rev.

6. Definição da profundidade de corte

A profundidade de corte recomendada por fabricantes de pastilha, varia de 0,2 a 3,0 mm, sendo esta profundidade metade do que é removido do diâmetro.

A profundidade escolhida foi de 0,5 e 1,0 mm, assim removendo 1mm e 2mm do diâmetro, simulando um corte de desbaste e um corte de acabamento.

7. Experimento

O experimento foi realizado no laboratório de manufatura mecânica da Universidade do Estado do Amazonas.

Foi montado o tarugo no torno e feito um furo de centro para posicionar o tarugo com contraponta, devido o alto comprimento, de forma a evitar vibrações.

A figura 25 mostra o tarugo montado no equipamento após furação. E a figura 26 mostra o tarugo montado no equipamento na contra ponta.



Figura 25 – Tarugo com furo central.

Fonte: Autoria própria



Figura 26 – Tarugo montado entre pontas.

Fonte: Autoria própria

Após montado, foi feito o torneamento da peça, colocando as rotações por minuto definidas, avanços e profundidade de corte.

A figura 27 mostra o torneamento da peça



Figura 27 – Tarugo em torneamento.

Fonte: Autorial própria

O processo foi repetido com 6 arestas de corte, gerando as seguintes configurações exibidas na tabela 1.

Tabela 1 - Valores usados no experimento.

Item	Rotações por minuto	Avanço	Profundidade de corte
Amostra 1	1000 rpm	0,3 mm/rev	0,5mm
Amostra 2	1000 rpm	0,25 mm/rev	0,5mm
Amostra 3	1000 rpm	0,3 mm/rev	1 mm
Amostra 4	1000 rpm	0,25 mm/rev	1 mm
Amostra 5	1250 rpm	0,3 mm/rev	1 mm
Amostra 6	1250 rpm	0,25 mm/rev	1 mm

Fonte: Autorial própria

8. Resultados obtidos

As amostras foram analisadas utilizando o equipamento do laboratório de materiais.

Feita avaliação do desgaste medindo na ponta de corte a região desgastada, e comparando-a com uma pastilha sem usinagem, avaliando as arestas de corte e observando o desgaste mais comum.

Através da diferença entre as medidas, foi possível realizar uma avaliação conforme a tabela 2.

Tabela 2 - Valores de desgaste observados.

Item	Desgaste
Amostra 1	0,006 mm
Amostra 2	0,069 mm
Amostra 3	0,071 mm
Amostra 4	0,198 mm
Amostra 5	0,061 mm
Amostra 6	0,166 mm

Fonte: Autoria própria

A figura 28 mostra o equipamento que foi utilizado, a figura 29 mostra amostra montada no equipamento e figura 30 mostra a medição do desgaste



Figura 28 – Equipamento para análise.

Fonte: Autoria Própria



Figura 29 – Amostra montada no equipamento.

Fonte: Autoria própria

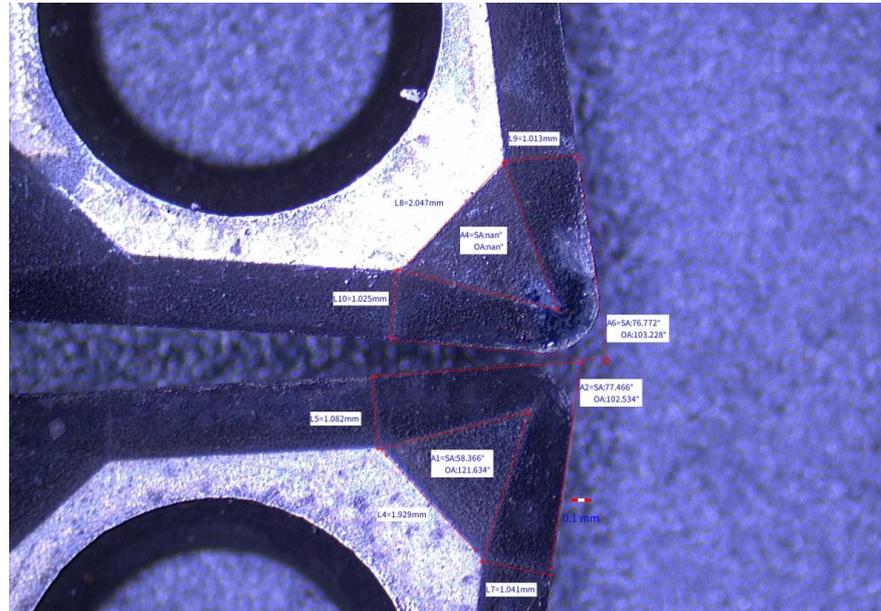


Figura 30 – Medição do desgaste da amostra.

Fonte: Autoria própria

Além disso, foi possível notar os tipos de desgastes ocorridos durante a usinagem e feito um levantamento dos principais desgastes, como mostra a tabela 3.

Tabela 3 – Tipos de desgastes observados por amostra

Item	Desgaste
Amostra 1	Flanco
Amostra 2	Flanco
Amostra 3	Flanco
Amostra 4	Flanco
Amostra 5	Flanco
Amostra 6	Flanco

Fonte: Autoria própria

A figura 31 mostra um exemplo de desgaste da aresta de corte observado.

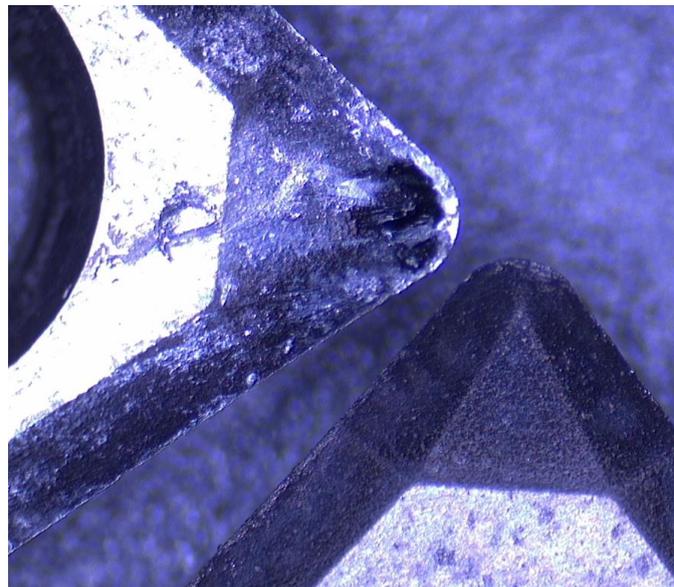


Figura 31 – Desgaste na aresta de corte.

Fonte: Autoria própria

5. CONCLUSÃO

Dentre os objetivos desta monografia, estavam a avaliação dos parâmetros de usinagem na usinagem de uma liga de alumínio. Foi possível observar que apesar do aumento do desgaste e o aumento dos parâmetros, o desgaste continuou relativamente pequeno, nem alterou sua característica principal, um desgaste de flanco, o que é um desgaste normal para o processo.

Estes objetivos foram alcançados e confirmam a primeira hipótese apresentada para o referido problema, onde os parâmetros adequados nos levam a melhor eficiência no processo de usinagem, aumentando consideravelmente a velocidade de remoção de material.

De tal forma, a análise realizada nesta monografia auxilia a entender a importância da utilização dos parâmetros adequados e conforme as recomendações de fabricantes.

Embora ainda tenha muitos pontos a serem estudados, e variáveis que não foram levadas em consideração, os objetivos foram atingidos e trouxeram uma boa visão quanto a usinagem de alumínio, algo pouco avaliado na engenharia.

O comportamento da ferramenta de usinagem foi satisfatório, e a mesma se demonstrou resistente e capaz de ser levada a velocidades ainda maiores do que as adotadas neste trabalho.

Portanto, conclui-se que o desgaste observado, apesar de crescente, foi atingido em pequenos valores substanciais para as velocidades mais altas e profundidades de corte maiores, o que nos leva a entender que, num sistema, e equipamento mais adequado, poderia-se levar a ferramenta ao seu extremo.

1. Sugestões para trabalhos futuros

A usinagem ainda é um método de manufatura muito relevante na indústria atual, e continuará sendo por muitos anos.

O estudo deste trabalho foi feito com algumas limitações de equipamento, verba para compra de múltiplos materiais para criar várias amostras.

Além disso, ainda há várias situações que poderiam mudar as condições de usinagem.

Portanto, ainda há muito a ser estudado e descoberto em termos de usinagem, bem como o comportamento do desgaste durante os processos. Como por exemplo:

- Estudo sobre a influência de fluido de corte sobre a usinagem;
- Otimização de parâmetros visando eficiência;
- Análise do desgaste em usinagem interrompida;
- Estudo de desgaste em processo de furação.
- Estudo da vida útil da ferramenta de usinagem de alumínio.

Entre outros vários temas, que fomentaram o desenvolvimento da indústria de manufatura em geral.

Desta forma, espera-se incentivar pesquisas e projetos no ramo de manufatura mecânica no estado do Amazonas e nos outros estados da região.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EDUARDO DINIZ, ANSELMO. Tecnologia da Usinagem dos Materiais. 9º ed. . São Paulo, 2014. 272 p.

FERRARESI, DINO. Fundamentos da Usinagem dos Metais. 1º ed. São Paulo, 1970. 800 p.

MACHADO, ÁLLISON ROCH. Teoria da Usinagem dos Materiais. 3ª ed . São Paulo. 2015. 408 p.

MALAKIZADI, AMIR. Wear Mechanism of CBN Inserts during Machining of Bimetal Aluminum-Grey Cast Iron Engine Block. Sweden. 2013.

Curiosidades da área de Mecânica | SEINFRA - Diretoria de Manutenção de Equipamentos (ufg.br). Disponível em

<<https://cemeq.ufg.br/n/97461-curiosidades-da-area-de-mecanica>>.

MOSSI, CHARLEN. Melhoria no Processo de Fabricação de Peça de Emprego Militar Fundida sob Baixa Pressão em Liga Al-Si. Porto Alegre, 2018.

VERGINELLI, RODRIGO MARIANI. Otimização de Processo de Desbaste em Usinagem de Cilindros de Trabalho para Laminação de Tiras a Frio. São Paulo. 2015

CANDIDO, LUIS OTAVIO. Análise do Desgaste da Pastilha de Metal Duro WNMG 080408-UG na Usinagem do Aço 1045. Paraná. 2020.

BRAGA, MARCELA DALPRAT ALEGRA. Avaliação do Tipo de Desgaste de Ferramenta de um compósito cerâmico de Alumina-Zircônia para Usinagem de Ligas Metálicas de Uso Aeroespacial. São Paulo. 2017.

Problemas e Soluções (coromant.com). Disponível em:

<<https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/general-turning/troubleshooting-turning>>.

Nomes das partes do torno mecânico e suas funcionalidades | RML Máquinas e Equipamentos (rmlmaquinas.com.br). Disponível em:

<<https://www.rmlmaquinas.com.br/loja/noticia.php?loja=762235&id=85>>.

Torno mecânico – Wikipédia, a enciclopédia livre (wikipedia.org).
Disponível em

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Torno_mec%C3%A2nico>.

Máquinas Convencionais - CIMHSA: Travis / Clever. Disponível em

< <https://www.cimhsa.com.br/por/c/product/product/6/>> .

Linha Centur | Tornos CNC (romi.com). Disponível em <
<https://www.romi.com/produtos/tornos-cnc-romi-centur/>>.