



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA



**TRABALHO DE LICENCIATURA**

**Preparação Construtiva e Tecnológica de Fabricação do Volante de Coroa Dentada da Limadora Mecânica do Modelo CIMAF das oficinas do DEMA.**

Autor:

Bié, Hermínio Gustavo

Supervisor:

Prof. Doutor. Eng. ° Tomás Salomão Massingue



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA



## TRABALHO DE LICENCIATURA

**Tema: Preparação Construtiva e Tecnológica de Fabricação do Volante de Coroa Dentada da Limadora Mecânica do Modelo CIMAF das oficinas do DEMA**

Eu, **Hermínio Gustavo Bié**, estudante do 5º nível do curso de engenharia mecânica da faculdade de engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, submeto este trabalho como requisito para a aquisição do grau de Licenciado em Engenharia Mecânica.

**Aprovado por:**

---

Prof. Doutor. Eng. ° Tomás Salomão Massingue, Supervisor

---

Membro de Júri 1

---

Membro de Júri 2

---

Membro de Júri 3

Maputo, Maio 2022

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a todos aqueles que sempre me apoiaram directa ou indirectamente e acreditaram no meu potencial durante toda carreira académica assim como na vida no geral.

# ÍNDICE

# PÁGINA

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS .....	VII
LISTA DE TABELAS.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	X
RESUMO.....	XI
CAPITULO I - INTRODUÇÃO .....	11
1.1. OBJECTIVOS .....	12
1.1.1. Objectivo geral .....	12
1.1.2. Objectivos Específicos .....	12
1.2. METODOLOGIA.....	12
CAPÍTULO II - ANÁLISE CONSTRUTIVA E TECNOLÓGICA DO PRODUTO.....	13
2.1. Descrição da peça, do seu destino e do destino das suas superfícies.....	13
2.1.1. Condições de funcionamento.....	14
2.1.2. Escolha do material.....	14
2.1.3. Escolha do tipo de produção e do método de trabalho .....	15
2.1.4. Análise das dimensões, escolha da precisão e da rugosidade das superfícies .....	16
2.2. Análise tecnológica do produto.....	22
2.3. Rigidez da peça .....	22
2.4. Complexidade do produto.....	23
2.4.1. Cálculo dos parâmetros da tecnologibilidade .....	23
2.5. Escolha do processo de obtenção da peça bruta .....	26
2.6. Escolha das bases tecnológicas .....	27
2.7. Elaboração da sequência de tratamento das superfícies.....	27
2.8. Elaboração da rota de tratamento.....	34
2.9. Cálculo de sobressessuras e cotas intermediárias.....	37
2.9.1. Sobressessuras para o tratamento das superfícies dos suportes .....	37
2.9.1.1. Sobressessuras de desbastamento.....	37
2.9.1.2. Sobressessuras de semiacabamento .....	37
2.10. Sobressessuras para o tratamento das superfícies do curso da corredeira.....	37
2.10.1. Sobressessuras de desbastamento.....	37
2.10.2. Sobressessuras de acabamento .....	38
2.10.3. Sobressessuras de acabamento fino.....	38

2.11.	Sobrespessuras para facejamento das faces laterais .....	39
2.11.1.	Sobrespessuras de desbastamento.....	39
2.11.2.	Sobrespessuras de semiacabamento .....	39
2.12.	Sobrespessuras para o tratamento do furo central .....	40
2.12.1.	Sobrespessuras de alargamento de desbaste .....	40
2.12.2.	Sobrespessuras de alargamento de acabamento .....	41
2.12.3.	Sobrespessuras de mandrilagem de acabamento .....	41
2.13.	Sobrespessuras para o tratamento do furo do mancal .....	42
2.13.1.	Sobrespessuras de alargamento de desbaste .....	42
2.13.2.	Sobrespessuras de alargamento de acabamento .....	43
2.13.3.	Sobrespessuras de mandrilagem de acabamento .....	43
2.14.	Sobrespessuras para facejamento do cilindro externo.....	44
2.14.1.	Sobrespessuras de semiacabamento .....	44
2.15.	Sobrespessuras para as superfícies dos furos dos roscados.....	45
2.15.1.	Sobrespessuras para brocagem de desbaste .....	45
2.16.	Sobrespessuras para o tratamento do escatel.....	45
2.16.1.	Sobrespessuras para desbaste .....	45
2.17.	Sobrespessuras para o tratamento dos dentes.....	45
2.17.1.	Sobrespessuras para desbastamento .....	45
2.17.2.	Sobrespessuras para semiacabamento .....	46
2.17.3.	Sobrespessuras para retificação de acabamento dos dentes .....	46
CAPÍTULO III - REGIMES DE CORTE .....		49
3.1.	Fresagem de desbastamento das superfícies dos suportes .....	49
3.2.	Fresagem de semiacabamento das superfícies dos suportes .....	54
3.3.	Fresagem de desbastamento das superfícies do curso da corredeira.....	59
3.4.	Fresagem de acabamento das superfícies do curso da corredeira .....	65
3.5.	Fresagem de acabamento fino das superfícies do curso da corredeira.....	69
3.6.	Torneamento de desbastamento das faces laterais .....	74
3.7.	Torneamento de semiacabamento das faces laterais.....	80
3.8.	Alargamento de desbastamento do furo central .....	83
3.9.	Alargamento de acabamento do furo central .....	87
3.10.	Mandrilagem de acabamento do furo central .....	91

3.11.	Alargamento de desbastamento do furo do mancal.....	95
3.12.	Alargamento de acabamento do furo do mancal .....	99
3.13.	Mandrilagem de acabamento do furo do mancal .....	102
3.14.	Torneamento de semiacabamento do cilindro externo.....	107
3.15.	Abertura dos furos roscados .....	112
3.16.	Abertura da Rosca .....	116
3.17.	Abertura da ranhura da chaveta.....	118
3.18.	Fresagem de desbastamento dos dentes .....	120
3.19.	Fresagem de semiacabamento .....	125
CAPÍTULO IV - AVALIAÇÃO ECONÓMICA DO PROJECTO .....		130
CAPÍTULO V - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....		134
5.1.	Conclusões .....	134
5.2.	Recomendações.....	135
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		136
ANEXOS .....		137
Anexo I - Especificações da fresadora vertical 6P12.....		A1.133
Anexo II - Especificações do Torno mecânico 1K62 .....		A2.133
Anexo III - Especificações do Torno mecânico 16K20.....		A3.134
Anexo IV - Especificações da furadora radial UCIMU.....		A4.135
Anexo V - Especificações da máquina de roscar 2E056 .....		A5.136
Anexo VI - Especificações da fresadora bimontante 6605 .....		A6.137
Anexo VII - Especificações da retificadora de engrenagens 5853 .....		A7.133
Anexo IIX – Desenho da peça acabada e desenho da peça bruta .....		A8.134

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Unidade</b>
$\sigma_r$	Limite Resistência a roptura	MPa
$\delta$	Alongamento relativo	%
$\rho_{i-1}$	Desvio espacial na disposição da superfície elaborada em relação as bases tecnológicas	-
$\rho$	Desvios espaciais para tratamentos diversos	$\mu m$
$\varepsilon$	Erros de aperto na direcção radial	$\mu m$
$\varepsilon_f ; \varepsilon_c$	Erro de colocação e de fixação	-
$T_{i-1}$	Camada defeituosa	$\mu m$
CIMAF	Modelo da limadora mecânica	-
DEMA	Departamento de Engenharia Mecânica	-
$R_z$	Rugosidade superficial	$\mu m$
$IT$	Classe de tolerância	-
$\emptyset; D$	Diâmetro	mm
/o/	Cilindricidade	mm
$K_n$	Coefficiente de normalização	-
$K_u$	Coefficiente de unificação	-
$K_{su}$	Coefficiente que toma em conta as superfícies que precisão de usinagem	-
$K_p$	Coefficiente de precisão das superfícies	-
$K_r$	Coefficiente de rugosidade das superfícies	-
$K_v$	Coefficiente de correcção da velocidade de corte	-
R	Raio	mm
B, L	Largura e comprimento do ferro cortante	mm
C	Comprimento da superfície trabalhada	mm
$l_e ; l_s$	Comprimento de entrada e saída da ferramenta	mm
$B_f$	Largura da fresa	mm
$B_s$	Largura da superfície trabalhada	mm
z	Número de dentes da fresa	-
$D_{inic}$	Diâmetro inicial	mm
$D_{fin}$	Diâmetro final	mm
$D_{bruta}$	Diâmetro da peça bruta	mm
$T_{i-1}$	Camada defeituosa	$\mu m$
$C_{um}$	Coefficiente de uso da máquina	-

$C_{uf}$	Coeficiente de uso da ferramenta	-
$t$	Profundidade de corte	<i>mm</i>
$Z_{i-1}$	Sobresspessura	<i>mm</i>
$Z_{min}$	Sobresspessura mínima	<i>mm</i>
$S_{vt}$	Avanço tabelado	<i>mm / vol</i>
$S_v$	Avanço	<i>mm / vol</i>
$S_{vm}$	Avanço pela máquina	<i>mm / vol</i>
$S_{mc}$	Avanço calculado	<i>mm / min</i>
$S_{mm}$	Avanço pela máquina (avanço catalogado)	<i>mm / vol</i>
$S_{zr}$	Avanço real por dente	<i>mm / dente</i>
$K_{ls}; K_{rss};$ $K_{mfs}; K_{mts}$	Coeficientes de correcção do avanço para brocagem	-
$K_{mv}; K_{esv};$ $K_{mfv}$	Coeficientes de correcção da velocidade de corte	-
$V_c$	Velocidade de corte	<i>m / min</i>
$V_r$	Velocidade de corte real	<i>m / min</i>
$n_c$	Frequência de rotações da árvore principal	<i>rpm</i>
$n_m$	Frequência de rotações da árvore principal da máquina	<i>rpm</i>
$C_m; q_m; x_m$	Coeficientes e expoentes para cálculo do momento torsor e força axial	-
$C_p; y_m; q_p$	Coeficientes e expoentes para cálculo do momento torsor e força axial	-
$K_{ap}; y_p$	Coeficientes e expoentes para cálculo do momento torsor e força axial	-
$M_t$	Momento torsor	<i>Nm</i>
$C_{pz}; x_p; y_p$	Coeficientes e expoentes para o cálculo da força de corte no torneamento	-
$K_p$	Coeficiente de correcção da força de corte	-
$K_{mp}$	Coeficiente de correcção da força de corte em função das propriedades do material a trabalhar	-
$K_{df}$	Coeficiente de correcção da força de corte em função do desgaste da ferramenta de corte	-
$P_z$	Força de corte	<i>N</i>
$P_a$	Força axial de corte	<i>N</i>
$N_c$	Potência de corte	<i>kW</i>
$N_m$	Potência da máquina	<i>kW</i>

$K_{Tf}$	Coeficiente de correcção em função das ferramentas que trabalham simultaneamente numa máquina	-
$K_{Tm}$	Coeficiente de correcção em função do número de máquinas que servem um operário	-
$T_e$	Período de resistência	min
$t_p$	Tempo de tratamento principal	seg
P6M5; P10	Designação do material da parte cortante da ferramenta de corte	-
$q_v; x_v; y_v;$ $u_v; p_v; m$	Expoente de fracções para o cálculo da velocidade de corte	-
$C_v$	Coeficiente para o cálculo da velocidade de corte	-

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.2 Composição química do material do volante de coroa dentada.....	15
Tabela 2.2 Propriedades mecânicas do material do volante de coroa dentada.....	15
Tabela 3.2 Escolha prévia do tipo de produção (Fonte: Referência bibliográfica [7]).....	16
Tabela 4.2 Parâmetros das superfícies do volante (Fonte: Autor).....	21
Tabela 5.3 Parâmetros parciais de tecnologibilidade do volante de coroa dentada (Fonte: Autor) .....	25
Tabela 6.3 Sequência de tratamento das superfícies dos suportes (Fonte: Autor) .....	28
Tabela 7.3 Sequência de tratamento do curso da corrediça (Fonte: Autor).....	29
Tabela 8.3 Sequência de tratamento das faces laterais (Fonte: Autor).....	29
Tabela 9.3 Sequência de tratamento do furo central (Fonte: Autor) .....	30
Tabela 10.3 Sequência de tratamento do cilindro externo (Fonte: Autor) .....	30
Tabela 11.3 Sequência de tratamento dos furos roscados (Fonte: Autor) .....	31
Tabela 12.3 Sequência de tratamento do escatel (Fonte: Autor) .....	31
Tabela 13.3 Sequência de tratamento dos dentes (Fonte: Autor) .....	31
Tabela 14.3 Sequência de tratamento das superfícies do volante de coroa dentada (Fonte: Autor) .....	33
Tabela 15.4 Rota de tratamento do volante de coroa dentada (Fonte: Autor).....	36
Tabela 16.7 Resultados obtidos do facejamento das superfícies dos suportes (Fonte: Autor).....	59
Tabela 17.7 Resultados obtidos do facejamento das superfícies do curso da corrediça (Fonte: Autor) .....	74
Tabela 18.7 Resultados obtidos do facejamento das faces laterais (Fonte: Autor) .....	83
Tabela 19.7 Resultados obtidos no alargamento do furo central (Fonte: Autor).....	95
Tabela 20.7 Resultados obtidos no alargamento do furo do mancal (Fonte: Autor).....	107
Tabela 21.7 Resultados obtidos no torneamento do cilindro externo (Fonte: Autor) .....	112
Tabela 22.7 Resultados obtidos na abertura dos furos roscados (Fonte: Autor) .....	116

Tabela 23.7 Resultados obtidos na fresagem dos dentes (Fonte: Autor).....	130
Tabela 24.7 Apresentação do tempo de tratamento principal e tempo auxiliar de uma unidade (Fonte: Autor).....	131
Tabela 25.7 Tempo de fabricação por lote para cada proposta de fabricação (Fonte: Autor).....	132
Tabela 26.7 Comparação entre os custos das duas propostas de fabricação (Fonte: Autor) .....	133
Tabela 27.10. Dados da fresadora vertical modelo 6P12 (Fonte: Referência bibliográfica [12]) .....	133
Tabela 28.10 Dados do torno mecânico 1K62 (Fonte: Referência bibliográfica [11]) .....	133
Tabela 29.10 Dados do torno mecânico 16K20 (Fonte: Referência bibliográfica [11]) .....	134
Tabela 30.10 Dados da furadora radial UCIMU (Fonte: Referência bibliográfica [4]) .....	135
Tabela 31.10 Dados da máquina de roscar 2E056 (Fonte: Referência bibliográfica [13]) .....	136
Tabela 32.10 Dados da fresadora bimontante 6605 (Fonte: Referência bibliográfica [12]) .....	137
Tabela 33.10 Dados da retificadora de engrenagens 5853 (Fonte: Referência bibliográfica [13]).....	133

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1.2 Indicação das superfícies do volante de coroa dentada a tratar (Fonte: Autor) .....	13
--	----

## **RESUMO**

O presente artigo profissional tem como objectivo apresentar a preparação construtiva e tecnológica de fabricação do volante de coroa dentada da limadora mecânica modelo CIMAF das oficinas do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Eduardo Mondlane, sendo composto por duas partes principais, uma textual e outra gráfica.

Na parte textual, faz-se a análise construtiva e tecnológica, a respectiva elaboração da sequência de tratamento e apresenta-se os regimes de corte de obtenção de cada superfície do volante de coroa dentada. Será também apresentado nesta parte o estudo económico das escolhas e decisões feitas durante a projecção. Na parte gráfica, são apresentados em anexos os desenhos da peça bruta e da peça acabada e esquemas de tratamento de cada superfície da peça.

Das duas partes resulta um conjunto de procedimentos tecnológicos para a fabricação do volante de coroa dentada, desde a obtenção da peça bruta até a obtenção da peça acabada, que servirão de guia técnico para obtenção deste elemento de máquina de extrema relevância no funcionamento de máquinas.

Palavras-chave: Fabricação, elemento, máquina.

## **CAPITULO I - INTRODUÇÃO**

O crescimento industrial de Moçambique é um dos principais factores para se atingir os níveis de desenvolvimento socioeconómico necessários para redução do desemprego e a erradicação da pobreza. Porém, verifica-se que uma das principais razões da inoperância de máquinas diversas instaladas nas unidades industriais é a danificação total ou parcial de artigos. Podendo a sua reposição durar longos períodos e conseqüentemente elevados custos, devido a forte dependência das importações destes artigos que poderiam ser fabricados localmente a custos razoáveis.

É no âmbito do acima exposto que surge o presente trabalho visando trazer uma proposta de fabricação de um Volante de Coroa Dentada da Limadora Mecânica modelo CIMAF das Oficinas do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Eduardo Mondlane.

Neste trabalho apresenta-se em forma sequencial as operações de usinagem a seguir de modo a obter cada superfície trabalhada da peça, a disposição da peça nas máquinas ferramentas, os regimes de corte respectivos ao tratamento de cada superfície bem como a viabilidade tecno económica do projecto.

## **1.1. OBJECTIVOS**

### **1.1.1. Objectivo geral**

- Realizar a preparação construtiva e tecnológica de fabricação do volante de coroa dentada da limadora mecânica do modelo CIMAF das oficinas do DEMA.

### **1.1.2. Objectivos Específicos**

- Fazer análise construtiva e tecnológica da peça (volante de coroa dentada);
- Elaborar a sequência tecnológica de tratamento das superfícies de modo a obter a peça (volante de coroa dentada);
- Determinar os regimes de corte para a usinagem das superfícies do volante de coroa dentada;
- Fazer avaliação económica do projecto.

## **1.2. METODOLOGIA**

Para a realização deste trabalho, recorreu-se a:

- Pesquisa bibliográfica em livros e sites de internet, obtendo assim informações básicas e científicas para a realização do trabalho;
- Consulta de catálogos e aos técnicos das oficinas do departamento de engenharia mecânica da UEM, que permitiram compreender o funcionamento da peça;

Esses dois recursos, associadas as escolhas e decisões feitas tornaram possível a elaboração por completo dos procedimentos construtivos e tecnológicos de fabricação da volante de coroa dentada da limadora mecânica modelo CIMAF.

## CAPÍTULO II - ANÁLISE CONSTRUTIVA E TECNOLÓGICA DO PRODUTO

### 2.1. Descrição da peça, do seu destino e do destino das suas superfícies

O produto é um volante de coroa dentada (com dentes helicoidais), de uma limadora mecânica modelo CIMAF. O volante serve para conservar a energia cinética durante os tempos activos (movimentos ascendentes) e libertar durante os tempos vazios (movimentos de recuo). O volante recebe o torque através dos dentes da coroa, conserva-o e transmite-o através de uma chaveta prismática ao travessão da máquina.

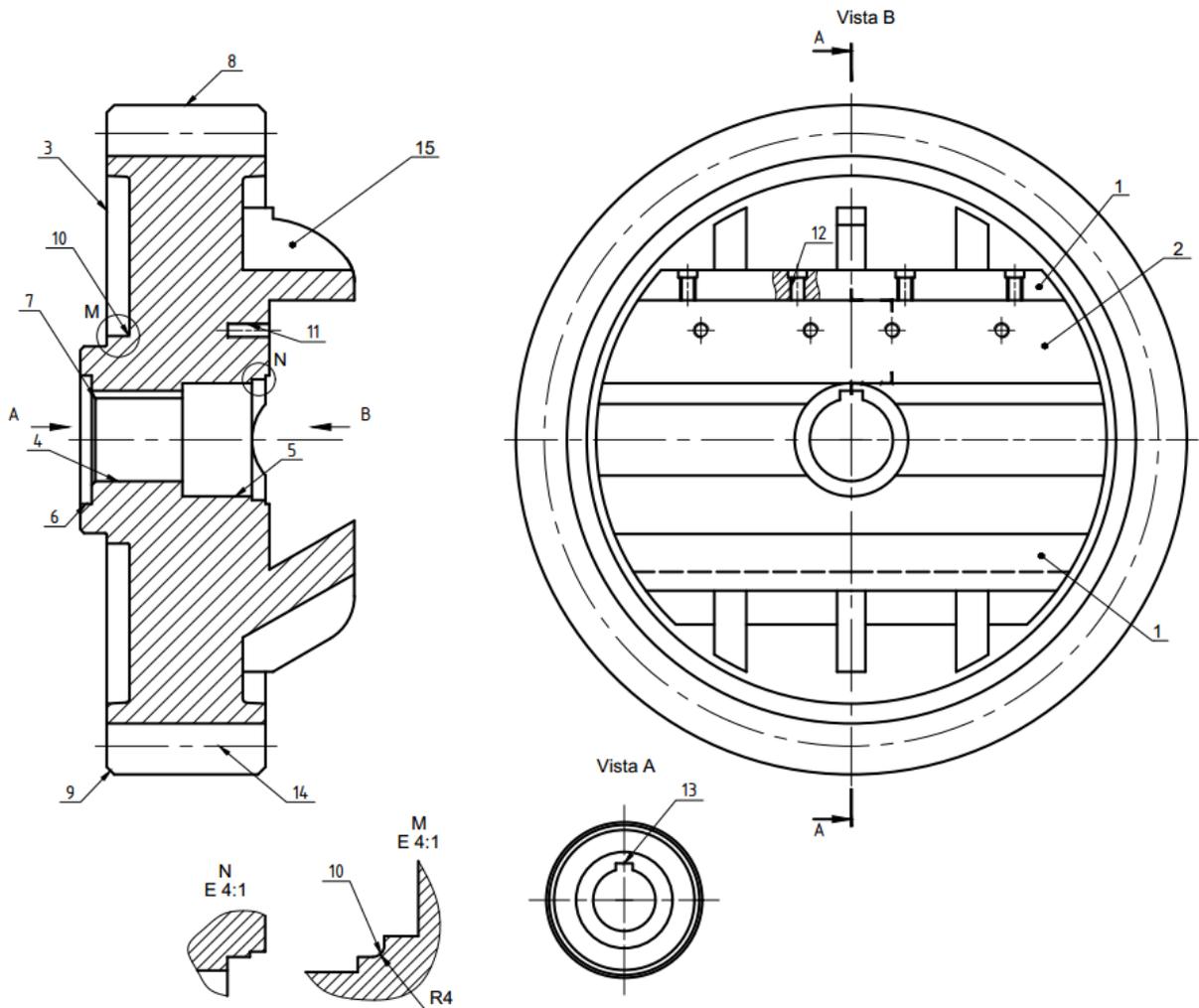


Figura 1.2 Indicação das superfícies do volante de coroa dentada a tratar (Fonte: Autor)

O volante de coroa dentada é um elemento de máquina em forma de disco com cilindro externo 1 com diâmetro 355 mm, faces laterais 8, furo central 2 de 45 mm de diâmetro e furo do mancal 3 de 56 mm de diâmetros e 26 mm de profundidade. O volante transmite o movimento por meio do furo central 2.

Para transmitir o torque ao veio, o furo 2 tem uma ranhura 7 para chaveta prismática com largura de 12,5 mm, altura 4 mm e 25 mm de comprimento. As superfícies de apoio ao movimento ao volante 10, curso da corredeira 11 do volante, onde encontram-se quatro furos roscados 13 de 10 mm de diâmetro cada, servirão para a passagem de parafuso e terão um ajustamento com aperto.

Os dentes 5 da coroa são superfícies principais do volante de coroa dentada, garantem uma transmissão de rotação e relação de transmissão pretendida. Os dentes têm módulo  $m = 3,5mm$ , número de dentes  $z = 88$ , ângulo de inclinação dos dentes  $\beta = 15^\circ$ . Para facilitar na montagem, diminuir a concentração de tensões, evitar fendas, estão previstos chanfros nas superfícies 1, 2, 5 e arredondamento dos bordos agudos nas extremidades dos dentes 5. A superfície 1 tem chanfros externos 5 com dimensões  $2 \times 45^\circ$  dos dois lados. O furo central 2 tem chanfro interno também com a dimensão  $2 \times 45^\circ$  apenas de um lado. Todos os bordos agudos dos dentes devem ser arredondados com raio  $R = 0,16mm$ . As ranhuras entre dentes e escatel devem ser feitas com raios transitórios  $R = 0,16mm$  no fundo.

### **2.1.1. Condições de funcionamento**

O volante de coroa dentada trabalha dentro do limador mecânico, em um ambiente totalmente lubrificado (através de massa lubrificante). O volante armazena energia cinética e transmite torque médio, trabalha com choques pequenos, seus dentes trabalham com grandes tensões de contacto, desgaste e flexão médios. A temperatura de funcionamento do volante oscila de 10 a  $80^\circ C$ . Dependendo do funcionamento da máquina poderão surgir pequenas vibrações que afectam negativamente a longevidade da peça.

### **2.1.2. Escolha do material**

Para suportar as condições de funcionamento acima indicadas o material da peça deve apresentar excelentes propriedades mecânicas, elevada dureza, boa resistência a fadiga, ao desgaste e a flexão.

Para este fim será usado um aço de construção com liga para fundição com médio teor de carbono que permite receber elevadas propriedades mecânicas através da têmpera e revenimento, sendo economicamente acessível. Tomando em consideração as propriedades necessárias, escolheu-se o aço 40X, designação da norma GOST 997-88.

Tabela 1.2 Composição química do material do volante de coroa dentada

Elemento químico	C	Cr	Ni	Mo	Impurezas	Fe
Quantidade %	0,40	~1	~2,5	0,20 - 0,60	≥ 0,035	Resto

- A presença de crómio permite aumentar a temperabilidade do aço. Além disso, o crómio em quantidade aproximadamente de 1% permite aumentar a ductilidade do material para melhor suportar choques e suas resistências a alta temperatura, fadiga e a corrosão.

Sendo as propriedades mecânicas do aço de construção com liga para fundição com médio teor de carbono 40XΠ, as seguintes:

Tabela 2.2 Propriedades mecânicas do material do volante de coroa dentada.

Dureza Brinell	Limite Resistência a roptura $\sigma_r$	Resiliência $KU$	Alongamento relativo $\delta$
248 HB	823 MPa	$0,19 \frac{N \times m}{mm^2}$	20,25 %

### 2.1.3. Escolha do tipo de produção e do método de trabalho

A produção de peças tomado em conta a data de entrega permite escolher de forma mais acertada a distribuição das quantidades a serem produzidas ao longo de um dado período de tempo. Esta escolha deve ser feita tendo em conta que stock produzido e não utilizado implica dinheiro parado, e assim corre-se risco de perdê-lo por várias razões.

Assumindo uma produção anual de 1200 peças e uma produção uniforme ao longo do ano, pode-se calcular o número de peças mensais pela seguinte fórmula:

$$Q_m = \frac{Q_a}{12} \quad (1)$$

Onde:

$Q_a$  — Programa anual de peças,  $Q_a = 1200$  peças

$$Q_m = \frac{1200}{12} = 100 \text{ peças/mês}$$

Tabela 3.2 Escolha prévia do tipo de produção (Fonte: Referência bibliográfica [7])

Tipo de produção	Programa mensal de fabricação dos produtos		
	Grandes, complexos	Médios	Pequenas
Em serie pequena	2 - 5	6 - 25	10 - 50
Em série media	6 - 25	26 - 150	51 - 300
Em serie grande	Mais de 25	Mais de 150	Mais de 300

- Para estas condições segundo a tabela 3.2 e o número de peças a serem produzidas mensalmente, escolhe-se a produção em série media.

#### 2.1.4. Análise das dimensões, escolha da precisão e da rugosidade das superfícies

De modo a ter possibilidade de usar ferramentas e instrumentos de medição normalizados as dimensões da peça foram padronizadas de acordo com a série de números preferidos. A seguir observam-se todas as superfícies da peça (volante de coroa dentada), apresenta-se seu destino, condições de trabalho, verifica-se sua normalização, faz-se a escolha e argumentação da precisão das suas dimensões, do seu desvio fundamental (ou desvios superior e inferior), da precisão da forma, disposição e da rugosidade das superfícies.

**Superfícies dos suportes 1**— dada a configuração do volante, essas superfícies servem para facilitarem o movimento do travessão da corrediça no caso de um eventual deslocamento axial do volante durante o funcionamento. Isto é, trata-se de uma superfície livre. Sendo assim o estado da superfície será de  $R_z = 40\mu m$ . Para a obtenção dessa superfície, será usado grau de tolerância 12 e desvio fundamental h.

**Curso da corrediça 2**— o curso da corrediça é uma superfície não livre, pós, a superfície aloja a corrediça de movimento que se liga ao travessão da máquina. A rugosidade superficial desta superfície é importante no normal funcionamento da máquina, pós, um péssimo estado de superfície implica um funcionamento defeituoso da máquina. Para a obtenção dessa superfície será usada grau de tolerância 7, rugosidade superficial  $R_z = 5\mu m$  e desvio fundamental H, por se tratar de uma dimensão interna, ajustamento com folga e o sistema de furo base. A corrediça, que corresponde ao veio será executada com a classe de tolerância f7.

**Faces laterais 3** — As faces 3 do volante serão usadas como bases construtivas. Será no tratamento das faces laterais 3 que vai se obter a largura dos dentes do volante. A largura dos dentes é de 42 mm que pertence a série R 40 dos valores normais. O grau de tolerância da dimensão de 42 mm será de 12. A dimensão 42 mm pode ser feita com desvio fundamental h, pós durante o tratamento tende a diminuir, sendo a rugosidade superficial  $R_z = 40 \mu\text{m}$ .

**O furo central 4** — é uma superfície através da qual será instalado o veio, que transmite o movimento ao órgão executivo (travessão da limadora mecânica). Dada a sua relevância, esta superfície será também usada como base construtiva da peça.

O furo central 4 será tratado até atingir o diâmetro final  $D_{\text{fin}} = 45 \text{ mm}$  que pertence a série R20 das dimensões normais. Da precisão deste diâmetro e do seu ajustamento com veio depende muito a precisão de funcionamento do volante no conjunto, por isso o diâmetro do furo deve ser feito com alta precisão e superfície deve ter baixa rugosidade. Para garantir facilidade de montagem do volante no veio, será usado o ajustamento com folga.

O diâmetro do furo devera ser feito com grau de tolerância 7, pois é uma superfície que entrará em contacto com as superfícies do veio e desvio fundamental H, pois é uma dimensão interna, será usado o sistema de ajustamento de furo base e ajustamento com folga. A rugosidade  $R_a$  da superfície do furo central 4, deverá ser  $R_z = 20 \mu\text{m}$ . Os desvios da circularidade e da cilindridade do furo central 4 não devem superar 0,01 mm. O veio será executado com a seguinte dimensão  $\phi 45h7$ .

**Furo do mancal 5** — no furo 5 será instalado um mancal de deslizamento, para que o conjunto possa se apoiar na extremidade do veio. Trata-se de um furo de diâmetro  $D = 56 \text{ mm}$ . O mancal será instalado com aperto, constituindo assim uma junção imóvel, onde será utilizado o sistema de ajustamento de furo base. O diâmetro do furo terá o desvio fundamental H.

O furo do mancal deverá ser executado com 7º grau de tolerância, pós trata-se de uma de uma superfície que entra em contacto com a superfície externa do mancal deslizante. A rugosidade superficial  $R_z$  será de 20  $\mu\text{m}$ . Os desvios da circularidade e da cilindridade do furo do mancal 5 não devem superar 0,01 mm.

O mancal, que corresponde ao veio a deverá apresentar uma dimensão nominal  $d = 56\text{mm}$ , desvio fundamental p e grau de tolerância 6.

**O cilindro externo 8** — é uma superfície que forma a cabeça dos dentes do volante, é relativamente livre e não tem contacto com outras superfícies. O tratamento será feito de modo a obter o diâmetro final  $D = 355\text{ mm}$ , que pertence a série R20 das dimensões normais.

Sendo o cilindro externo 8 uma superfície relativamente livre, o seu diâmetro será feito com grau de tolerância 12 e com desvio fundamental h, que é mais usado para dimensões externas e livres.

Tratando-se de uma superfície relativamente livre e secundária, o estado de superfície do cilindro externo 8 será dado pela rugosidade  $R_z = 40\mu\text{m}$ . O comprimento deste cilindro (42 mm) é uma dimensão que não se obtém durante o tratamento desta superfície, mas sim durante o tratamento das faces laterais 3.

**Todos os chanfros 9** — são superfícies livres, servindo apenas para facilitar a orientação mútua das peças conjugadas durante a montagem e evitar a concentração de tensões. Por isso o comprimento do cateto de 2 mm do chanfro pode ser feito com desvios  $\pm IT14/2$ , o ângulo de inclinação  $45^\circ$  com desvios  $\pm IT14/2$  ou seja  $\pm 1^\circ$ , com rugosidade  $R_z = 40\mu\text{m}$ . A dimensão de 1 mm pertence a série R 10 dos números preferidos e o ângulo  $45^\circ$  a série 1 das dimensões angulares.

**Superfície dos furos roscados 11 e 12** — trata-se de 8 furos roscados, divididos em dois grupos. O primeiro grupo é constituído por 4 furos localizados no corpo do volante e o segundo grupo, também constituído por 4 furos, localizam-se nos suportes do volante. Os furos roscados servirão para alojar os parafusos que vão fixar a placa postiça, trata-se de um elemento que vai formar a outra superfície do curso da corrediça.

No fim da usinagem os furos roscados deverão ter um diâmetro  $D = 10\text{mm}$  e uma rosca com passo  $P = 0,75\text{mm}$ , com uma profundidade de 15 mm equivalente a espessura do suporte do volante para o segundo grupo.

O primeiro grupo terá uma profundidade de 16 mm. Os furos roscados, irão alojar os parafusos de fixação, ou seja, é uma superfície não livre. As superfícies dos furos roscados deverão ser executadas com  $11^\circ$  grau de tolerância e desvio fundamental H, pois a dimensão é interna, forma um ajustamento com folga e o sistema de ajustamento é furo base. A rugosidade superficial será  $R_z = 20\mu\text{m}$ .

O desvio de perpendicularidade entre o eixo dos furos roscados 11 e 12 e o furo central não deve superar 0.3 mm e o desvio de posição não deve superar 0.1mm em relação aos dentes da roda. A haste do parafuso de fixação terá a seguinte dimensão  $\phi 10h10$ .

**Superfícies livres (6 e 15)** — A superfície 6, tem a função de facilitar a saída da ferramenta de corte, sendo assim a sua obtenção será da responsabilidade do operário desde que não afecte o normal funcionamento da peça. As superfícies das nervuras 15 não sofrerão nenhum tratamento de usinagem, devendo conservar o tolerânciamento e qualidade superficial do processo de obtenção da peça bruta (processo de fundição).

**A ranhura 13** (escatel)— é uma superfície de grande relevância, pós entra em contacto com a chaveta prismática de extremidades curvas, garantindo a transmissão do movimento e a fixação do volante no veio. Durante o tratamento do escatel 13 recebe-se a largura do escatel de 12,5 mm e o raio transitório 0,16 mm. A dimensão mais importante do escatel é a sua largura de 12,5mm que pertence a série normal R10.

Para facilitar a montagem da chaveta, a junção chaveta e as superfícies da ranhura deve ser feito com um ajustamento com folga. Escolhe-se o grau de tolerância 8 e desvio fundamental D. A ranhura e o escatel, formam uma junção do sistema do veio base. As superfícies da ranhura do escatel deveram ser tratados ate atingir uma qualidade superficial  $R_z = 20\mu m$ .

Alem disso, há-de prever a simetria de disposição da ranhura relativamente ao eixo do furo. O fundo da ranhura não entra em contacto com a chaveta, é uma superfície relativamente livre.

Entre o fundo e as faces laterais do escatel devem ser feitos raios transitórios para diminuir a concentração de tensões, os raios transitórios será de  $R = 0,16mm$ , que é uma dimensão livre por isso será feito com desvios  $\pm IT14/2$ .

**Dentes 14** — Os dentes 14 do volante são superfícies muito importantes, da precisão deles depende a precisão do funcionamento e rendimento da máquina. As saliências dos dentes da coroa do volante, se introduzem nas reentrâncias da roda dentada conjugada (pinhão) possibilitando a transmissão de movimento por empuxo directo. O parâmetro principal dos dentes é o seu módulo de  $3,5mm$ , que é um valor normalizado, da série dos módulos normalizados dos dentes das engrenagens. Sendo que o diâmetro primitivo

$D = 320$  mm e a altura dos dentes 8 mm são as dimensões normalizadas e pertencem a série Ra20 e R10 respectivamente.

Os ângulos de engrenamento  $\alpha = 20^\circ$  e de inclinação dos dentes  $\beta = 15^\circ$  pertencem respectivamente a 1ª e 2ª série dos ângulos normais. As dimensões principais dos dentes do volante de coroa dentada, de que depende muito o funcionamento do mecanismo na máquina, o diâmetro primitivo  $D = 320$  mm, o passo entre dentes 6,28, os ângulos  $\alpha = 20^\circ$  e  $\beta = 15^\circ$ , serão feitos com 7 grau de tolerância das dimensões lineares e angulares respectivamente.

O fundo dos dentes é uma superfície relativamente livre, não entra em contacto com os dentes da roda dentada conjugada. O diâmetro primitivo e altura dos dentes não podem variar muito, por isso o diâmetro do pé dos dentes  $D_f = 280$ mm e altura dos dentes  $h = 8$ mm serão feitos com 12 grau de tolerância, com desvios fundamentais  $h$ . Os dentes devem apresentar uma excelente disposição relativamente ao furo, não deve apresentar grande batimento radial, ou desvio de coaxialidade dos dentes 14 com o furo 4, porque disso depende a precisão da transmissão, a área de engrenamento dos dentes, constância da folga entre dentes, existência das vibrações, do barulho por causa de choques entre dentes durante funcionamento. O batimento radial dos dentes em relação ao furo 4, não deverá ser superior a 0,05 mm durante uma rotação completa do volante de coroa dentada. O desvio de coaxialidade dos dentes 14 com o furo 4 não deverá ser superior a 0,05 mm.

Devido ao deslizamento que caracteriza as transmissões por engrenagem, as superfícies dos dentes (superfícies de contacto) do volante de coroa dentada devem apresentar pequena rugosidade para evitar o deslizamento e conseqüentemente diminuir o coeficiente de atrito e o desgaste dos dentes, e aumentar o rendimento do engrenamento. Será tomada a rugosidade das superfícies de trabalho dos dentes igual a  $R_a = 1,25 \mu m$ . De notar que o comprimento final dos dentes 42 mm será alcançado durante o tratamento das faces 8 e não durante o tratamento dos dentes.

**Todas superfícies de boleamento (10 e 14)** — servem para eliminar os bordos agudos das arestas laterais dos dentes e outras superfícies. Estas superfícies são livres. Para os dentes, o tratamento será com raio de arredondamento de  $R = 1$ mm que pertence a série R 10 dos valores normais e para o cubo prevê-se um raio de arredondamento  $R = 3$ mm da serie Ra 10 dos valores normais. Estas dimensões, ambas serão feitas com

desvios  $\pm IT14/2$ , com uma rugosidade superficial  $R_z = 40\mu m$  para aumentar resistência a corrosão e ter bom aspecto.

Com base no que já foi argumentado até ao ponto corrente foi possível montar uma tabela em forma de resumo.

Tabela 4.2 Parâmetros das superfícies do volante (Fonte: Autor)

Nº ref	Nome da Superfícies	Destino da superfície	Quant.	Dimensões e Precisão	Rugosidade Rz/ Ra
1	Superfícies dos suportes	Auxiliar o movimento da corrediça	2	$L = 220h12$	$Rz = 40\mu m$
2	Curso da corrediça	Alojar a corrediça do travessão da máquina	2	$L = 120H7$	$Rz = 5\mu m$
3	Face laterais	Limite direito e esquerdo da corroa da peça	2	$L = 45h12$ Axial =0.05 A	$Rz = 40\mu m$
4	Furo central	Instalação do veio de transmissão	1	$\varnothing 45H7$ /o/ =0.01	$Rz = 20\mu m$
5	Furo do mancal	Montagem do mancal	1	$\varnothing 56H7$ /o/ =0,01	$Rz = 20\mu m$
6	Escalão livre	Facilitar a saída da ferramenta de corte	1	$\varnothing = 67mm$	$Rz$ 50 a 60 $\mu m$
7	Chanfros internos	Eliminar arresta agudas na cabeça dos dentes	3	$C = 2 \pm h14/2$ $\varphi = 45^\circ \pm IT14/2$	$Rz = 40\mu m$
8	Cilindro externo	Limite da peça, formação da cabeça dos dentes	1	$\varnothing 355h12$	$Rz = 40\mu m$
9	Chanfros externos	Eliminar arresta agudas na cabeça dos dentes	3	$C = 2 \pm h14/2$ $\varphi = 45^\circ \pm IT14/2$	$Rz = 40\mu m$
10	Superfícies de boleamento	Eliminar arestas agudas nas extremidades dos dentes e do cubo	176	$R_{dent} = 1 \pm IT14/2$ $R_{cubo} = 3 \pm IT14/2$	$Rz = 40\mu m$
11 e 12	Furos roscados	Fixação usando parafusos	8	$\varnothing 10H11$ Desvio de posição=0.1	$Rz = 20\mu m$
13	Escatel	Para a instalação da chaveta prismática	1	$B = 12,5D10$ $L = 24H11$ Simetria =0.05 A	$Rz = 20\mu m$

### Continuação tabela 4.2

14	Dentes do volante $Z = 88$ e $m = 3,5$	Transmissão do movimento, superfícies de trabalho	88	$D_f = 280h12$ $D_w = 326h6$ $H = 8mm$ $\beta = 15^\circ$ Coaxialidade = 0.05 A	$Ra$ $1,25\mu m$
15	Nervuras	Elementos de reforço	4	$L = 45mm$ $h = 20mm$ e $\delta = 16mm$	$Rz$ $40 a 80\mu m$

## 2.2. Análise tecnológica do produto

Esta fase do projecto dedica-se a avaliar a dificuldade ou facilidade apresentada pela peça no que concerne aos métodos de tratamento, ao processo de obtenção da peça bruta, a rugosidade superficial, tolerânciamiento da peça e outras exigências que possa ter sido imposta pelo desenho da peça acabada. Deve-se prestar atenção redobrada nesta fase pois decisões mal tomadas implicarão surgimento de custos desnecessários o que pode tornar o projecto inviável.

## 2.3. Rigidez da peça

A rigidez da peça será muito importante durante os tratamentos de usinagem, de modo a permitir a sua fixação nas máquinas ferramentas que serão usadas durante o tratamento das superficiais. Sendo assim assume-se que a peça tem resistência suficiente para que possa ser afixada sem deformações notórias, no entanto o cilindro externo 1 em que se encontram as superfícies dos dentes 5 e faces laterais 8 tem diâmetro relativamente alto ( $\phi 355$  mm), que poderia dificultar a sua fixação por meio de uma bucha de três grampos convencional, por isso será usada uma bucha de três grampos.

O volante de coroa dentada é uma peça bastante grossa, pesada e rígida, tem diâmetro externo  $\phi 355$  mm e comprimento (espessura) 42 mm. Isso permite trabalhar a peça com altos regimes, alta produtividade, usinagem, tratamento térmico, sem precisar de elementos, dispositivos adicionais para aumentar sua rigidez.

## 2.4. Complexidade do produto

### 2.4.1. Cálculo dos parâmetros da tecnologibilidade

A seguir determinam-se e apresenta-se alguns parâmetros quantitativos parciais de tecnologibilidade de fabricação da peça (volante de coroa dentada).

O cálculo dos parâmetros de tecnologibilidade será feito com base na referência bibliográfica [2].

**Coefficiente de normalização das superfícies**  $K_n$  — determina-se pela fórmula:

$$K_n = \frac{N_{sn}}{N_{ts}} \quad (2)$$

Onde:  $N_{sn} = 288$  — é o número das superfícies de forma e dimensões normalizadas;

$N_{ts} = 293$  — é o número total de superfícies da peça.

Deste modo o coeficiente de normalização  $K_n = 288/293 = 0,98$

- Sendo o coeficiente de normalização muito próximo a 1, significa que não será necessário projectar e fabricar ferramentas e medidores especiais e a tecnologibilidade pelo este parâmetro é alta.

**Coefficiente de unificação das superfícies**  $K_u$  — determina-se pela fórmula:

$$K_u = \frac{N_{su}}{N_{ts}} \quad (3)$$

Onde:

$N_{su}$  — é o número de superfícies unificadas, que têm forma parecida e podem ser trabalhadas com mesmas ferramentas de corte. O número de superfícies unificadas são determinados por:

$N_{su} = 88$  (dentes 5) + 2 (faces 8) + 2 (chanfro 6) + 176 (superfícies de boleamento) + 2 (superfícies dos suportes) = 270 superfícies.

Deste modo o coeficiente de unificação de superfícies  $K_u = 270/293 = 0,92$

- O coeficiente de unificação é muito próximo a 1, o que significa que maior parte das superfícies serão tratadas com as mesmas ferramentas de corte e mede-se com os mesmos instrumentos de medição,

reduzindo assim o custo de compra de ferramentas de corte. Pois  $K_u > 0,6$  a tecnologibilidade por este parâmetro é alta.

**Coefficiente que toma em conta as superfícies que precisão de usinagem  $K_{su}$**  — determina-se pela fórmula:

$$K_{su} = \frac{N_{spu}}{N_{ts}} \quad (4)$$

Onde:  $N_{spu} = 287$  — é o número de superfícies que precisam ser usinadas.

Deste modo o coeficiente de superfícies que precisam de usinagem  $K_{su} = 287/293 = 0,98$

- O coeficiente que toma em conta as superfícies que precisam de usinagem, ilustra que 98% das superfícies é que precisam de tratamento, sendo as restantes (2%) obtidas pela fundição, o que reduz consideravelmente o tempo de tratamento da peça.

**Coefficiente de precisão das superfícies  $K_p$**  — determina-se pela fórmula:

$$K_p = 1 - \frac{1}{G_m} \quad (5)$$

Onde:  $G_m$  — é o grau de tolerância médio. Recorrendo aos dados da tabela 4.2, parâmetros das superfícies do volante, tem-se:

- *Número de superfícies com 14 grau de tolerância:* 3 (chanfros 7 e 9) + 176 (superfícies de boleamento 10) = 179

- *Número de superfícies com 12 grau de tolerância:* 1 (cilindro externo 8) + 2 (faces laterais 3) = 3

- *Número de superfícies com 10 grau de tolerância:* 1 (escatel 13) = 1

- *Número de superfícies com 7 grau de tolerância:* 1 (furo central 4) + 1 (furo do mancal 4) + 2 (curso da corredeira) + 2 (superfícies dos suportes) = 6

$$\text{Dai: } G_m = \frac{14 \times 179 + 12 \times 3 + 10 \times 1 + 7 \times 6}{293} = 8,85$$

Deste modo o coeficiente de precisão de superfícies  $K_p = 1 - 1/8,52 = 0,89$

- Pelo valor do grau de tolerância média das superfícies  $G_m$  e pelo número de superfícies de alta precisão (dentes da coroa do volante, furo central e furo para o mancal) pode-se concluir que a precisão da engrenagem é elevada.

**Coefficiente de rugosidade das superfícies ou rugosidade  $R_z$  média  $K_r$**  — determina-se pela fórmula:

$$K_r = 1 - \frac{1}{R_{zm}} \quad (6)$$

Onde:  $R_{zm}$  — é altura de irregularidade de superfícies média. Recorrendo aos dados da tabela 4.2, parâmetros das superfícies do volante, tem-se:

- *Número de superfícies com rugosidade  $R_z 40\mu m$* : 1 (cilindro externo 8) + 3 (chanfros 9) + 176 (superfícies de boleoamento dos dentes) + 2 (superfícies de apoio ao movimento) = 184

- *Número de superfícies com rugosidade  $R_z 20$* : 1 (furo central) + 1 (furo do mancal) + 1 (faces do escatel) + 8 (superfícies dos furos dos parafusos de fixação) = 11

- *Número de superfícies com rugosidade  $R_z 5$* : 1 (superfícies do curso da corrediça) + 88 (superfícies dos dentes) = 89

$$\text{Dai: } R_{zm} = \frac{40 \times 184 + 20 \times 8 + 5 \times 89}{293} = 27,39 \mu m$$

Deste modo o coeficiente de rugosidades das superfícies  $K_r = 1 - 1/27,39 = 0,96$

- Pelo valor do coeficiente de rugosidade  $K_r$ , o volante de coroa dentada tem uma rugosidade reduzida, o que facilita a fabricação das superfícies por este parâmetro, pós quanto menor for a rugosidade, mais difícil se torna a fabricação das superfícies em causa.

*Tabela 5.3 Parâmetros parciais de tecnologibilidade do volante de coroa dentada (Fonte: Autor)*

Parâmetros de tecnologibilidade da peça				
$K_n$	$K_u$	$K_{su}$	$K_p$	$K_r$
0,98	0,92	0,98	0,89	0,96

## **Conclusão:**

A peça (Volante de coroa dentada) tem uma configuração média complexa, tem a forma dum disco, com um número de dentes  $Z = 88$  que têm superfícies laterais perfiladas de grau de precisão alta e baixa rugosidade. Apresenta módulo, ângulos de engrenamento e de inclinação normalizados, por forma a garantir acessibilidade dos instrumentos de medição das dimensões da peça. Todas as superfícies tem dimensões normalizadas assim podem ser usadas ferramentas e medidores normalizados.

De acordo com a tabela 4.3 dos parâmetros das superfícies do volante, ao todo a peça contem um total de 304 superfícies, dos quais 176 são superfícies de boleamento de precisão normal e 88 superfícies são ranhuras perfiladas dos dentes com alto grau de precisão. O furo central 4, furo do mancal 5 e o escatel 13, são também superfícies de elevada precisão. Conclui-se que a complexidade de produção da peça (volante de coroa dentada) é média ou elevada e a eficácia da sua produção depende principalmente da eficácia da fabricação dos dentes 14 e dos furos 4 e 5.

### **2.5. Escolha do processo de obtenção da peça bruta**

Segundo as recomendações da tecnologia dos processos de fabricação, o método de obtenção da peça bruta, deve garantir que, a peça (bruta) apresente a forma mais próxima possível da peça acabada, tenha a melhor qualidade superficial possível e menor custo. De acordo com as mesmas recomendações, as peças brutas volumétricas, mais ou menos complexas, de materiais fundíveis fabricam-se geralmente por meio de fundição. Sendo o volante de coroa dentada, uma peça de complexidade media, feito de um material fundível (Aço 40X), a peça bruta será obtida por processo de fundição.

A fundição é um processo de fabricação que consiste em preparar uma cavidade moldante (de configuração e dimensões semelhantes à peça bruta) em uma moldação de material refractário, aquecer o metal em fornos apropriados até acima da temperatura de fusão e vazar o líquido na cavidade em que arrefece e toma a forma da cavidade moldante.

A peça bruta deverá apresentar uma configuração mais simples do que a da peça acabada, sem os furos 12 e 13, sem os chanfros 6, ranhura 7 e dentes 5. As dimensões externas da peça bruta que precisam de usinagem têm os valores maiores do que as da peça acabada e as dimensões internas (furos 2 e 3), menores devido aos valores de sobressessuras.

## 2.6. Escolha das bases tecnológicas

Durante o processo de tratamento da peça (volante de coroa dentada), serão usadas como bases tecnológicas principais o furo central 4 e a uma das faces laterais 3. O uso destas superfícies permite o tratamento do cilindro externo 8, dos dentes 14, da outra face lateral 3 e dos chanfros 7 e 9.

O furo central e de uma das faces como base tecnológica, garante um bom posicionamento e boa orientação do eixo do furo através do uso de um mandril autocentrante. Desta forma o erro de colocação é nulo. O mandril autocentrante elimina todos os graus de liberdade excepto a rotação em torno do seu eixo.

Para o tratamento das bases tecnológicas, nomeadamente, o furo central, furo do mancal e uma das faces laterais serão usadas como bases primárias as superfícies de apoio ao movimento e curso da corredeira.

Para tratar as superfícies restantes será usada como base tecnológica a superfície já tratada, como base tecnológica. Para os tratamentos subsequentes a peça não deve ter nenhum grau de liberdade, e devido a sua colocação tanto o erro devido a colação como o erro devido ao aperto são considerados nulos.

## 2.7. Elaboração da sequência de tratamento das superfícies

A sequência de tratamento é de extrema importância para a execução da peça com o melhor aproveitamento possível, do tempo, do material entre outros recursos necessários. A peça a ser tratada provém da fundição com uma rugosidade  $Rz\ 120\mu\text{m}$  e um grau de tolerância IT16. Devendo a peça bruta apresentar a maior semelhança possível da peça acabada.

Antes da elaboração da sequência de tratamento das superfícies faz-se o agrupamento de todas as superfícies que podem ser trabalhadas duma mesma maneira. Um grupo inclui as superfícies que têm mesma forma, grau de precisão e rugosidade.

Para o caso das superfícies do volante de coroa dentada, tem-se os seguintes grupos:

1. Superfícies de apoio ao movimento 1 —  $L=220h7$ ,  $Rz =40\mu\text{m}$
2. Curso da corredeira 2 —  $L = 220\ \text{mm H7}$ ,  $Rz\ 5\mu\text{m}$ ;
3. Faces laterais 3 —  $L = 45h12$ , batimento axial 0.05,  $Rz =40\mu\text{m}$
4. Furo central 4 ( $D = 45\ \text{mm H7}$ ) e  $Rz =20\mu\text{m}$
5. Furo do mancal 5 ( $D =56\ \text{mm H7}$ ) — cilindricidade 0,01;  $Rz =20\mu\text{m}$
6. Escalão livre 6 e 15 —  $Rz =50\mu\text{m}$

7. Chanfros internos 7 (2 x 45°) — Rz =40µm
8. Cilindro externo 8 — D = 355 h12, Rz 40;
9. Chanfros retilíneos 9 (2 x 45°) e superfícies de boleamento 9 (R = 1) — ± IT14/2, Rz 40.
10. Furos roscados 11 e 12 — D = 10 mm H10; Rz =20µm
11. Escatel 13 — B = 12,5 mm D10, simetria 0,05, Rz =20µm
12. Dentes 14 —D =280 mm h12, coaxialidade 0,05 com o furo 2, Ra =1,25µm;

A seguir elaborase a sequencia de tratamento das superfícies de cada grupo quê permite garantir a forma, grau de precisão e rugosidade pretendidas.

### Superfícies dos suportes

As superfícies dos suportes, serão as primeiras a serem obtidas, através do processo de fresagem. Com vista a obter as dimensões desejadas, o tratamento das duas superfícies, será usado a fresagem de desbaste e de semiacabamento.

*Tabela 6.3 Sequência de tratamento das superfícies dos suportes (Fonte: Autor)*

Nº	Método de tratamento	Grau de tolerância IT	Rugosidade Rz [µm]
1	Fundição	16	120
2	Fresagem de desbastamento	14	60
3	Fresagem de semiacabamento	12	40

### Superfícies do curso da corredeia

As duas superfícies do curso da corredeia, serão tratados pelo processo de fresagem. Sendo, fresagem de desbaste, acabamento e acabamento fino.

Tabela 7.3 Sequência de tratamento do curso da correção (Fonte: Autor)

Nº	Método de tratamento	Grau de tolerância IT	Rugosidade Rz [ $\mu\text{m}$ ]
1	Fundição	16	120
2	Fresagem de desbastamento	14	60
3	Fresagem de acabamento	10	10
4	Fresagem de acabamento fino	7	5

### Faces laterais 3 — L = 45h12, batimento axial 0.05, Rz 20

As faces 3 são primeiramente formadas na peça bruta com grau de tolerância 16 das dimensões e rugosidade Rz 120 $\mu\text{m}$ . Contudo estes parâmetros não estão próximos aos pretendidos, escolhe-se o último método de obtenção dessa superfície, devendo, este garantir 12 grau de tolerância, batimento axial de 0.05 e rugosidade Rz 40 $\mu\text{m}$ . Neste caso o último método de tratamento será torneamento. Torneamento de desbastamento e de semiacabamento.

Tabela 8.3 Sequência de tratamento das faces laterais (Fonte: Autor)

Nº	Método de tratamento	Grau de tolerância IT	Rugosidade Rz [ $\mu\text{m}$ ]
1	Fundição	16	120
3	Torneamento de desbastamento	14	60
4	Torneamento de semiacabamento	12	40

### Furo central 4 — D = 45 mm H7, Rz 20 e furo do mancal

O furo central e furo do mancal, são primeiramente abertos no processo de obtenção da peça bruta, a fundição. A obtenção destes furos com as qualidades superficiais desejadas depende da sua passagem por três tratamentos, o alargamento de desbaste, de acabamento, com recurso a um alargador e por fim a mandrilagem de acabamento que garante a precisão de 7 grau de tolerância e um acabamento superficial Rz = 20 $\mu\text{m}$ .

Tabela 9.3 Sequência de tratamento do furo central (Fonte: Autor)

N°	Método de tratamento	Grau de tolerância IT	Rugosidade Rz [ $\mu\text{m}$ ]
1	Fundição	16	120
2	Alargamento de desbastamento	12	40
3	Alargamento de acabamento	10	30
4	Mandrilagem de acabamento	7	20

### Cilindro externo 8 — $d = 355$ h12, Rz 40

Primeiramente, o cilindro externo 8 é obtido por fundição em areia que garante 16 graus de tolerância e rugosidade Rz = 120  $\mu\text{m}$ . Para obter a qualidade desejada na superfície em causa recorre-se ao torneamento. A operação será executada em uma e única passagem, sendo torneamento de semiacabamento.

Tabela 10.3 Sequência de tratamento do cilindro externo (Fonte: Autor)

N°	Método de tratamento	Grau de tolerância IT	Rugosidade Rz [ $\mu\text{m}$ ]
1	Fundição	16	120
2	Torneamento de semiacabamento	12	40

### Furos roscados — $D = 10$ mm H11, desvio de posição 0.1, Rz=20 $\mu\text{m}$

Os 8 furos roscados 11 e 12, todos com diâmetro  $D = 10$  mm, 11 grau de tolerância e rugosidade Rz = 20 $\mu\text{m}$ , serão obtidos na mesma máquina ferramenta, furadora radial.

Após a obtenção das superfícies do curso da corrediça e da superfície dos suportes, segue-se a abertura dos furos roscados. Essas superfícies serão obtidas na brocagem de desbastamento, seguida das operações de abertura da rosca em ambos grupos de furos.

Com vista a garantir a precisão de posicionamento dos furos do volante, será usado um dispositivo simplificado, em forma de placa de centragem para a obtenção dos furos roscados através da brocagem.

*Tabela 11.3 Sequência de tratamento dos furos roscados (Fonte: Autor)*

Nº	Método de tratamento	Grau de tolerância IT	Rugosidade Rz [ $\mu\text{m}$ ]
1	Brocagem de desbastamento	14	40
2	Abertura da rosca, desbastamento	14	30
3	Abertura de rosca, acabamento	11	20

**Escatel 13 — B = 12,5 mm D10, Simetria 0,05 mm, Rz= 20 $\mu\text{m}$**

O escatel 13 não é primeiramente formado na peça bruta. Será totalmente formado durante os tratamentos de usinagem. Com vista a garantir as especificações desejadas (B = 12,5 mm D10, Simetria 0,05 mm, Rz = 20 $\mu\text{m}$ ), o escatel 13 será obtido por brocheamento.

Para a obtenção do escatel 13 será feito o brocheamento de desbastamento numa única passagem da ferramenta de corte, proporcionando assim uma maior economia de tempo.

*Tabela 12.3 Sequência de tratamento do escatel (Fonte: Autor)*

Nº	Método de tratamento	Grau de tolerância IT	Rugosidade Rz [ $\mu\text{m}$ ]
1	Brocheamento de desbastamento	10	20

**Dentes 14 — D = 280 mm h7, coaxialidade 0.05 mm, Ra 1,25**

Os dentes 14 não ficam formados na peça bruta, serão totalmente obtidos por usinagem. O primeiro método de tratamento será fresagem de desbastamento e semiacabamento numa fresadora para talhar dentes, usando fresa mãe, que é um método de tratamento de alta produtividade, pois permite a usinagem de um ou mais dentes numa única passagem da ferramenta de corte. Com a fresagem de desbastamento e semiacabamento será possível alcançar a classe de precisão IT11 e uma rugosidade Rz =20 $\mu\text{m}$ .

Para garantir os parâmetros necessária aos dentes, rugosidade Rz = 5 $\mu\text{m}$  e classe de precisão h7, irá se recorrer a retificação de acabamento numa retificadora para talhar dentes. A retificação de acabamento dos dentes será feita antes de têmpera e revenimento alto. Assim, a sequência de tratamento dos dentes será seguinte.

*Tabela 13.3 Sequência de tratamento dos dentes (Fonte: Autor)*

N°	Método de tratamento	Grau de tolerância IT	Rugosidade Rz [ $\mu\text{m}$ ]
1	Fresagem de desbastamento	12	60
2	Fresagem de semiacabamento	11	20
3	Têmpera e revenimento	-	-
3	Retificação de acabamento	7	5

**Chanfros 9 ( $2 \times 45^\circ$ ) e superfícies de boleamento 15 ( $R = 1\text{mm}$ ) —  $\pm IT14/2$**

Os chanfros 9 serão obtidos no momento da obtenção do cilindro externo 8. Já os raios de boleamento serão tomados os da peça bruta.

A seguir apresenta-se a tabela dos resultados da escolha da sequência de tratamento das superfícies do volante de coroa dentada:

Tabela 14.3 Sequência de tratamento das superfícies do volante de coroa dentada (Fonte: Autor)

Nº ref	Nome e parâmetros do grupo de superfícies	Quant	Método de tratamento	Grau de tolerância	Rugosidade Rz
1	Toda a peça	1	Fundição	16	120
2	Superfícies dos suportes	2	Fresagem de desbastamento	14	60
		3	Fresagem de semiacabamento	12	40
3	Superfícies do curso da corrediça	1	Fundição	16	120
		2	Fresagem de desbastamento	14	60
		3	Fresagem de acabamento	10	10
		4	Fresagem de acabamento fino	7	5
4	Fases laterais	1	Fundição	16	120
		2	Torneamento de desbastamento	14	60
		3	Torneamento de semiacabamento	12	40
5	Furo central e furo do mancal	1	Fundição	16	120
		2	Alargamento de desbastamento	12	40
		3	Alargamento de acabamento	10	30
		4	Mandrilagem de acabamento	7	20
6	Chanfros internos	1	Torneamento semiacabamento	14	40
7	Cilindro externo	1	Fundição	16	80
		2	Torneamento de semiacabamento	12	40
8	Chanfros externos	1	Torneamento de semiacabamento	14	40
9	Furos roscados	1	Brocagem de desbastamento	14	40
		2	Abertura da rosca, desbastamento	14	30
		3	Abertura da rosca, acabamento	11	20
10	Escatel	1	Brocheamento de desbastamento	10	20
11	Dentes	1	Fresagem de desbastamento	12	60
		2	Fresagem de semiacabamento	11	20
12	Dentes	1	Têmpera	-	-
		2	Revenimento alto	-	-
13	Dentes	1	Retificação de acabamento	7	5

## 2.8. Elaboração da rota de tratamento

A elaboração da rota de tratamento de uma peça começa do agrupamento dos métodos escolhidos para o tratamento das superfícies diferentes. Num grupo incluem-se todos os métodos de tratamento das superfícies diferentes que podem ser realizados numa mesma máquina sem necessidade do seu reajustamento e que necessitam a precisão e rugosidade parecida.

Segundo a semelhança dos métodos de tratamento, máquinas ferramentas, precisão e instalação os diferentes tratamentos podem ser agrupados da seguinte forma:

### 1º Grupo

- Fundição. Para o volante de coroa dentada o primeiro grupo é a fundição em área, cuja preparação do metal será realizado num forno eléctrico seguido do vazamento na cavidade moldante. Por isso o posto de fundição deve ser equiparado de forno eléctrico, que para além de preparar o metal poderá também ser usado para aquecer a peça até o estado da estrutura austenítica durante ao tratamento térmico da peça.

### 2º Grupo

- Fresagem de desbastamento e de acabamento. O segundo grupo, inclui as superfícies dos suportes e o curso da corrediça, que serão tratados numa fresadora mecânica em duas e três passagens respectivamente para cada superfície, de modo a atingir a tolerância e o estado superficial necessário;

### 3º Grupo

- Torneamento de semiacabamento e acabamento. As faces laterais, direita e esquerda, fazem parte do terceiro grupo das superfícies a serem usinadas. Essas superfícies serão obtidas no torno paralelo do modelo 1K62, com recurso a duas ferramentas de corte diferentes, uma para cada etapa. O ferro cortante a usar será de pastilha de liga dura (dos carbonetos de volfrâmio- WC, titânio- TiC, tantal- TaC e cobalto- Co);

### 4º Grupo

- Alargamento de desbastamento e de acabamento. Neste grupo, realizam-se as operações de alargamento de desbaste, alargamento de acabamento e por fim a mandrilagem de acabamento das superfícies furo central e do furo para o mancal. As operações nesse grupo serão realizadas com recurso a dois alargadores e um mandril afixadas na bucha porta ferramenta do torno paralelo 16K20.

#### 5º Grupo

- Torneamento de semiacabamento, o cilindro externo e o respectivo chanfro externo, fazem parte do quinto grupo das superfícies a serem usinadas. Essas superfícies serão obtidas no torno paralelo modelo 1K62, com recurso a uma única ferramenta de corte.

#### 6º Grupo

- Brocagem de desbastamento. As operações do sexto grupo serão realizadas na furadora radial UCIMU, com recurso a uma broca de desbastamento, seguidas das operações de abertura de rosca em cada um dos furos.

#### 8º Grupo

- Brocheamento de desbastamento. Essa operação é simples e será realizada em uma só passagem da ferramenta de corte. Para brocheamento é necessário garantir um único movimento de deslocamento rectilíneo da brocha em relação a peça, que será realizado pela broheadora mas também pode ser garantida por um torno, fresadora ou furadora.

#### 6º Grupo

- Fresagem de desbastamento. Neste grupo fazem parte somente os dentes de coroa dentada do volante, que serão tratados no posto de fresagem, numa fresadora para talhar dentes com recurso a fresa mãe de alta produtividade.

#### 7º Grupo

- Tempera. A operação de tratamento térmico da têmpera, seguida de revenimento será realizada nas superfícies dos dentes do volante.

#### 7º Grupo

- Retificação de acabamento. A operação de retificação de acabamento será realizada nas superfícies dos dentes da coroa dentada do volante. A operação de retificação será realizada numa retificadora para talhar dentes, usando como bases tecnológicas o furo central e uma das faces laterais.

Tabela 15.4 Rota de tratamento do volante de coroa dentada (Fonte: Autor)

N <sub>fase</sub>	Nome do conteúdo	Equipamento	Base tecnológicas
000	Fundição em areia	Forno eléctrico	
005	Fresagem das superfícies dos suportes	Fresadora	Faces laterais
006	Verificação das dimensões	Medidores	—
010	Fresagem do curso da corrediça	Fresadora	Faces laterais
011	Verificação das dimensões	Medidores	—
015	Torneamento de facejamento das faces laterais	Torno	Cilindro externo
016	Verificação das dimensões	Medidores	—
020	Alargamento e mandrilagem do furo central e do furo do mancal	Torno	Cilindro externo
021	Verificação das dimensões	Medidores	—
030	Abertura dos chanfros internos	Torno	—
035	Torneamento do cilindro externo e abertura dos chanfros externo	Torno	Furo central
036	Verificação das dimensões	Medidores	—
040	Brocagem e abertura de rosca dos furos roscados	Furadora radial	
041	Verificação das dimensões	Medidores	
045	Abertura do escatel	Brocheadora	Furo central
046	Verificação das dimensões	Medidores	
050	Fresagem dos dentes	Fresadora para talhar dentes	Face lateral 8 e Furo central 2
055	Tempera dos dentes	Forno eléctrico	—
060	Revenimento alto	Forno eléctrico	—
065	Retificação dos dentes	Retificadora	—
070	Verificação final das dimensões da peça	Medidores	—
075	Controle final dos parâmetros da peça	Bancada de controlo	—

## 2.9. Cálculo de sobressessuras e cotas intermediárias

O cálculo das sobressessuras será feito com base na referência bibliográfica [2] e [3].

### 2.9.1. Sobressessuras para o tratamento das superfícies dos suportes

#### 2.9.1.1. Sobressessuras de desbastamento

1. Escolhe-se a fórmula de cálculo de sobressessuras de acordo com tipo de tratamento.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times R_{i-1} \quad (7)$$

2. Escolhe-se a rugosidade (Rz) e a camada defeituosa  $T_i$ , de acordo com o processo de obtenção da peça bruta.

Fundição em moldes de areia  $\rightarrow R_{i-1} = T_{i-1} = 600 \mu m$

Obtidos os valores necessários, calcula-se a sobressessura para o desbastamento das superfícies.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times 600 = 2 \cdot 1200 \mu m$$

#### 2.9.1.2. Sobressessuras de semiacabamento

1. Escolhe-se a fórmula de cálculo de sobressessuras de acordo com tipo de tratamento.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times R_{i-1}$$

2. Escolhem-se o valor da Rugosidade

(Korbatov; A.P., 2006, p.57, *Manual de Processos de Fabricação II – Tabela 7.1*)

$$R_{i-1} = 120 \mu m$$

Obtidos os valores necessários, calcula-se a sobressessura para o semiacabamento das superfícies.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times 60 = 2 \cdot 240 \mu m$$

## 2.10. Sobressessuras para o tratamento das superfícies do curso da corredeira

### 2.10.1. Sobressessuras de desbastamento

3. Escolhe-se a fórmula de cálculo de sobressessuras de acordo com tipo de tratamento.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times R_{i-1} \quad (7)$$

4. Escolhe-se a rugosidade (Rz) e a camada defeituosa  $T_i$ , de acordo com o processo de obtenção da peça bruta.

(Korbatov; A.P., 2006,p.57, *Manual de Processos de Fabricação II – Tabela 7.1*)

Fundição em moldes de areia  $\rightarrow R_{i-1} = 600 \mu m$  e  $T_{i-1} = 600 \mu m$

Obtidos os valores necessários, calcula-se a sobresspesura para o desbastamento das superfícies.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times 600 = 2 \cdot 1200 \mu m$$

### 2.10.2. Sobresspesuras de acabamento

1. Escolhe-se a fórmula de cálculo de sobresspesuras de acordo com tipo de tratamento.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times R_{i-1}$$

2. Escolhem-se o valor da Rugosidade

(Korbatov; A.P., 2006,p.57, *Manual de Processos de Fabricação II – Tabela 7.1*)

$$R_{i-1} = 120 \mu m$$

Obtidos os valores necessários, calcula-se a sobresspesura para o semiacabamento das superfícies.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times 60 = 2 \cdot 240 \mu m$$

### 2.10.3. Sobresspesuras de acabamento fino

1. Escolhe-se a fórmula de cálculo de sobresspesuras de acordo com tipo de tratamento.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times R_{i-1}$$

2. Escolhem-se o valor da Rugosidade

(Korbatov; A.P., 2006,p.57, *Manual de Processos de Fabricação II – Tabela 7.1*)

$$R_{i-1} = 60 \mu m$$

Obtidos os valores necessários, calcula-se a sobresspesura para o semiacabamento das superfícies.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times 60 = 2 \cdot 120 \mu m$$

## 2.11. Sobressessuras para facejamento das faces laterais

### 2.11.1. Sobressessuras de desbastamento

1. Escolhe-se a fórmula de cálculo de sobressessuras de acordo com tipo de tratamento.

$$Z_i = R_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i \quad (8)$$

2. Escolhe-se a rugosidade (Rz) e a camada defeituosa  $T_i$ , de acordo com o processo de obtenção da peça bruta.

$$\text{Fundição (m = 21kg)} \rightarrow R_{i-1} = 600 \mu\text{m} \text{ e } T_{i-1} = 600 \mu\text{m}$$

3. Escolhe-se a fórmula para o cálculo do desvio espacial na disposição da superfície elaborada em relação as bases tecnológicas  $\rho_{i-1}$  de acordo com o tipo de fixação da peça.

$$\rho = \sqrt{\rho_{emp}^2 + \rho_{exc}^2} \quad (9)$$

4. Escolhem-se os desvios espaciais de excentricidade ( $\rho_{exc}$ ) e de empenamento ( $\rho_{emp}$ ) para pecas fundidas.

Para largura = 42 mm; 3ª classe de precisão

$$\rho_{exc} = 1 \mu\text{m} \quad ; \quad \rho_{emp} = 0,5 \mu\text{m}$$

Tendo os dois valores, calcula-se o desvio espacial da peça para o tratamento em causa.

$$\rho = \sqrt{0,5^2 + 1^2} = 1,12 \mu\text{m}$$

Escolhe-se o valor de erro de aperto com base nas dimensões da peça.

$$\varepsilon = 140 \mu\text{m}$$

Obtidos os valores necessários, calcula-se a sobressessura para o semiacabamento.

$$Z_i = 600 + 600 + 1,12 + 140 = 1341,12 \mu\text{m}$$

### 2.11.2. Sobressessuras de semiacabamento

1. Escolhem-se os valores da camada defeituosa e da Rugosidade

(Korbatov; A.P., 2006,p.57, *Manual de Processos de Fabricação II – Tabela 7.1*)

$$R_{i-1} = 60 \mu\text{m} \text{ e } T_{i-1} = 240 \mu\text{m}$$

Para o cálculo do desvio espacial no processo subsequente usa-se a fórmula abaixo

$$\rho_{rem} = K_{rem} \times \rho_{bruta} \quad (10)$$

Onde:  $K_{rem}$  é coeficiente de correção.

Para peças que passaram pelo torneamento de semiacabamento escolhe-se  $K_{rem} = 0,002$

$$\rho_{rem} = 0,002 \times 1,12 = 0,0022 \mu m$$

2. O erro de fixação obtém-se através da fórmula:  $\varepsilon_f = \sqrt{\varepsilon_c^2 + \varepsilon_a^2}$  (11)

3. Escolhe-se o valor do erro de aperto com base nas dimensões da peça,  $\varepsilon_a = 70 \mu m$

O erro de colocação é:  $\varepsilon_c = 0 \mu m$

$$\varepsilon_f = \sqrt{0^2 + 110^2} = 110 \mu m$$

Obtidos os valores necessários, calcula-se a sobresspessura para o acabamento.

$$Z_i = 40 + 240 + 0,0022 + 70 = 350 \mu m$$

## 2.12. Sobresspessuras para o tratamento do furo central

### 2.12.1. Sobresspessuras de alargamento de desbaste

1. Escolhe-se a fórmula de cálculo de sobresspessuras de acordo com tipo de tratamento.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times \left( R_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{i-1}^2} \right) \quad (12)$$

2. Escolhe-se a rugosidade (Rz) e a camada defeituosa  $T_i$ , de acordo com o processo de obtenção da peça bruta.

$$\text{Fundição (m = 21kg)} \rightarrow R_{i-1} = 600 \mu m ; T_{i-1} = 600 \mu m$$

3. Escolhe-se a fórmula para o cálculo de  $\rho_{i-1}$  de acordo com o tipo de fixação da peça.

$$\rho = \sqrt{CO^2 + (\Delta_{emp} \times l)^2} \quad (13)$$

4. Escolhem-se o empenamento específico ( $\Delta_{esp}$ ) e o deslocamento do eixo do furo ( $CO$ ) para o comprimento do furo  $l = 20$  mm.

$$CO = 30 \mu m ; \Delta_{emp} = 0,7 \frac{\mu m}{mm}$$

$$\rho = \sqrt{30^2 + (0,7 \times 20)^2} = 33,11 \mu m$$

5. Escolhe-se o valor de erro de aperto com base nas dimensões da peça acabada

$$\varepsilon_i = 80 \mu m$$

Obtidos os valores necessários, calcula-se a sobresspessura para o semiacabamento.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times \left( 120 + 600 + \sqrt{33,11^2 + 90^2} \right) = 2 \cdot 2591,79 \mu m$$

### 2.12.2. Sobresspessuras de alargamento de acabamento

1. Escolhem-se os valores da camada defeituosa e da Rugosidade

(Korbatov; A.P., 2006,p.57, *Manual de Processos de Fabricação II – Tabela 7.1*)

$$R_{i-1} = 40 \mu m ; T_{i-1} = 50 \mu m$$

2. O desvio espacial determina-se pela expressão:  $\rho_{rem} = K_{rem} \times \rho_{bruta}$  (14)

Para peças que passaram pelo processo de alargamento escolhe-se  $K_{rem} = 0,005$

$$\rho_{rem} = 0,005 \times 0,03311 = 0,0002$$

3. Escolhe-se o valor de erro de aperto com base nas dimensões da peça,  $\varepsilon_i = 90 \mu m$

Obtidos os valores necessários, calcula-se a sobresspessura para o acabamento.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times \left( R_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{i-1}^2} \right) \quad (15)$$

$$2 \cdot Z_i = 2 \times \left( 40 + 50 + \sqrt{0,0002^2 + 90^2} \right) = 2 \cdot 360 \mu m$$

### 2.12.3. Sobresspessuras de mandrilagem de acabamento

1. Escolhe-se a fórmula de cálculo de sobresspessuras de acordo com tipo de tratamento.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times (R_{i-1} + T_{i-1}) \quad (16)$$

2. Escolhem-se os valores da camada defeituosa e da Rugosidade

(Korbatov; A.P., 2006,p.57, *Manual de Processos de Fabricação II – Tabela 7.1*)

$$R_{i-1} = 30 \mu m ; T_{i-1} = 40 \mu m$$

Obtidos os valores necessários, calcula-se a sobresspessura para a mandrilagem de acabamento.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times (30 + 40) = 2 \cdot 140 \mu m$$

## 2.13. Sobresspessuras para o tratamento do furo do mancal

### 2.13.1. Sobresspessuras de alargamento de desbaste

1. Escolhe-se a fórmula de cálculo de sobresspessuras de acordo com tipo de tratamento.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times \left( R_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{i-1}^2} \right)$$

2. Escolhe-se a rugosidade (Rz) e a camada defeituosa Ti, de acordo com o processo de obtenção da peça bruta.

$$\text{Fundição ( } m = 21kg \text{ )} \rightarrow R_{i-1} = 600 \mu m ; T_{i-1} = 600 \mu m$$

3. Escolhe-se a fórmula para o cálculo de  $\rho_{i-1}$  de acordo com o tipo de fixação da peça.

$$\rho = \sqrt{CO^2 + (\Delta_{emp} \times l)^2} \quad (17)$$

4. Escolhem-se o empenamento específico ( $\Delta_{esp}$ ) e o deslocamento do eixo do furo (CO) para o comprimento do furo  $l = 20$  mm.

$$CO = 30 \mu m ; \Delta_{emp} = 0,7 \frac{\mu m}{mm}$$

$$\rho = \sqrt{30^2 + (0,7 \times 20)^2} = 33,11 \mu m$$

5. Escolhe-se o valor de erro de aperto com base nas dimensões da peça acabada

$$\varepsilon_i = 90 \mu m$$

Obtidos os valores necessários, calcula-se a sobresspessura para o semiacabamento.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times \left( 600 + 600 + \sqrt{33,11^2 + 90^2} \right) = 2 \cdot 2573,16 \mu m$$

### 2.13.2. Sobrespessuras de alargamento de acabamento

1. Escolhem-se os valores da camada defeituosa e da Rugosidade

(Korbatov; A.P., 2006,p.57, *Manual de Processos de Fabricação II – Tabela 7.1*)

$$R_{i-1} = 40 \mu m ; T_{i-1} = 50 \mu m$$

2. O desvio espacial determina-se pela expressão

$$\rho_{rem} = K_{rem} \times \rho_{bruta}$$

Para peças que passaram pelo processo de alargamento escolhe-se  $K_{rem} = 0,005$

$$\rho_{rem} = 0,005 \times 0,03311 = 0,0002$$

3. Escolhe-se o valor de erro de aperto com base nas dimensões da peça  $\varepsilon_i = 70 \mu m$

Obtidos os valores necessários, calcula-se a sobrespessura para o desbaste.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times \left( R_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{i-1}^2} \right)$$

$$2 \cdot Z_i = 2 \times \left( 40 + 50 + \sqrt{0,0002^2 + 70^2} \right) = 2 \cdot 380 \mu m$$

### 2.13.3. Sobrespessuras de mandrilagem de acabamento

1. Escolhe-se a fórmula de cálculo de sobrespessuras de acordo com tipo de tratamento.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times (R_{i-1} + T_{i-1}) \tag{18}$$

2. Escolhem-se os valores da camada defeituosa e da Rugosidade

(Korbatov; A.P., 2006,p.57, *Manual de Processos de Fabricação II – Tabela 7.1*)

$$R_{i-1} = 30 \mu m ; T_{i-1} = 40 \mu m$$

Obtidos os valores necessários, calcula-se a sobresspessura para a mandrilagem de acabamento.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times (30 + 40) = 2 \cdot 140 \mu m$$

## 2.14. Sobresspessuras para facejamento do cilindro externo

### 2.14.1. Sobresspessuras de semiacabamento

1. Escolhe-se a fórmula de cálculo de sobresspessuras de acordo com tipo de tratamento.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times \left( R_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{i-1}^2} \right)$$

2. Escolhe-se a rugosidade (Rz) e a camada defeituosa  $T_i$ , de acordo com o processo de obtenção da peça bruta.

$$\text{Fundição (} m = 21kg \text{)} \rightarrow R_{i-1} = 600 \mu m \text{ e } T_{i-1} = 600 \mu m$$

3. Escolhe-se a fórmula para o cálculo do desvio espacial  $\rho_{i-1}$  de acordo com o tipo de fixação da peça.

$$\rho = \sqrt{\rho_{emp}^2 + \rho_{desl}^2} \quad (19)$$

4. Determina-se os desvios espaciais de empenamento ( $\rho_{emp}$ ) e de deslocamento ( $\rho_{desl}$ )

Escolhem-se o empenamento específico ( $\Delta_{esp}$ ) para o comprimento do furo  $l = 26 \text{ mm}$ .

$$\Delta_{emp} = 0,6 \frac{\mu m}{mm}$$

Tendo o diâmetro da peça bruta  $D = 355 \text{ mm}$ , determina-se os desvios espaciais de deslocamento ( $\rho_{desl}$ )

$$\rho_{desl} = \Delta_{emp} \times D = 0,6 \times 355 = 248,5 \mu m \quad (20)$$

Escolhe-se o valor do desvio espacial de empenamento  $\rho_{emp} = 3$

Calcula-se o desvio espacial:  $\rho = \sqrt{3^2 + 248,5^2} = 248,52 \mu m$

5. Escolhe-se o valor de erro de aperto com base nas dimensões da peça,  $\varepsilon_i = 90 \mu m$

Obtidos os valores necessários, calcula-se a sobresspessura para o semiacabamento.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times \left( 600 + 600 + \sqrt{248,5^2 + 90^2} \right) = 2 \cdot 1431,25 \mu m$$

## 2.15. Sobrespessuras para as superfícies dos furos dos roscados

### 2.15.1. Sobrespessuras para brocagem de desbaste

1. Escolhe-se a fórmula de cálculo de sobrespessuras de acordo com tipo de tratamento.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times (R_{i-1} + T_{i-1})$$

2. Escolhem-se os valores da camada defeituosa e da Rugosidade

(Korbatov; A.P., 2006,p.57, *Manual de Processos de Fabricação II – Tabela 7.1*)

$$R_{i-1} = 120 \mu m ; T_{i-1} = 600 \mu m$$

Obtidos os valores necessários, calcula-se a sobrespessura para o desbastamento.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times (600 + 600) = 2 \cdot 2400 \mu m$$

## 2.16. Sobrespessuras para o tratamento do escatel

### 2.16.1. Sobrespessuras para desbaste

A sobrespessura para o tratamento do escatel será de 5mm (0,005 μm), equivalente a profundidade da ranhura no volante de coroa dentada.

## 2.17. Sobrespessuras para o tratamento dos dentes

### 2.17.1. Sobrespessuras para desbastamento

1. Escolhe-se a fórmula de cálculo de sobrespessuras de acordo com tipo de tratamento.

$$Z_i = 2 \times (R_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i) \quad (21)$$

2. Escolhem-se os valores da camada defeituosa e da Rugosidade

(Korbatov; A.P., 2006,p.57, *Manual de Processos de Fabricação II – Tabela 7.1*)

$$R_{i-1} = 600 \mu m ; T_{i-1} = 600 \mu m$$

3. Escolhe-se a fórmula para o cálculo do desvio espacial na disposição da superfície elaborada em relação as bases tecnológicas  $\rho_{i-1}$  de acordo com o tipo de fixação da peça.

$$\rho = \sqrt{\rho_{emp}^2 + \rho_{exc}^2} \quad (22)$$

4. Escolhem-se os desvios espaciais de excentricidade ( $\rho_{exc}$ ) e de empenamento ( $\rho_{emp}$ ) para peças fundidas.

$$\rho_{exc} = 1\mu m \quad ; \quad \rho_{emp} = 0,5\mu m$$

Tendo os dois valores, calcula-se o desvio espacial da peça para o tratamento em causa.

$$\rho = \sqrt{1^2 + 0,5^2} = 1,03\mu m$$

Escolhe-se o valor de erro de aperto com base nas dimensões da peça,  $\varepsilon = 130\mu m$

$$Z_i = 2 \times (600 + 600 + 1,03 + 160) = 2722,06\mu m$$

### 2.17.2. Sobressessuras para semiacabamento

1. Escolhem-se os valores da camada defeituosa e da Rugosidade

(Korbatov; A.P., 2006,p.57, *Manual de Processos de Fabricação II – Tabela 7.1*)

$$R_{i-1} = 60\mu m \quad ; \quad T_{i-1} = 240\mu m$$

Tomando o valor do desvio espacial da peça anteriormente determinado, toma-se  $\rho = 1,03\mu m$

Escolhe-se o valor de erro de aperto com base nas dimensões da peça,  $\varepsilon = 140\mu m$

Obtidos os valores necessários, calcula-se a sobressessura para tratamento de acabamento dos dentes 14.

$$Z_i = 2 \times (60 + 240 + 1,03 + 140) = 882,06\mu m$$

### 2.17.3. Sobressessuras para retificação de acabamento dos dentes

1. Escolhe-se a fórmula de cálculo de sobressessuras de acordo com tipo de tratamento.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times (R_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i) \quad (23)$$

2. Escolhem-se os valores da camada defeituosa e da Rugosidade

(Korbatov; A.P., 2006,p.57, *Manual de Processos de Fabricação II – Tabela 7.1*)

$$R_{i-1} = 20\mu m \quad ; \quad T_{i-1} = 100\mu m$$

Toma-se os valores do erro e desvio espacial da peça anteriormente determinados:  $\varepsilon = 130\mu m$  e  $\rho = 1,03\mu m$

Obtidos os valores necessários, calcula-se a sobresspessura para a retificação acabamento dos dentes 14.

$$2 \cdot Z_i = 2 \times (20 + 1,03 + 120 + 130) = 322,06\mu m$$

Com base nos cálculos realizados, foi possível montar uma tabela em forma de resumo.

Tabela 15.5 Sobresspessuras para os tratamentos mecânicos (Fonte: Autor)

Passagem tecnológica para o tratamento da superfície elementar	Elementos da sobresspessuras, $\mu m$				Valor de $Z_{i-1}$ ( $\mu m$ )
	Rz ( $\mu m$ )	T ( $\mu m$ )	$\rho$ ( $\mu m$ )	$\varepsilon$ ( $\mu m$ )	
<b>1. Superfícies dos suportes</b>					
Peça bruta	600	600	—	—	—
Fresagem de desbastamento	120	80	—	—	1200
Fresagem de semiacabamento	—	—	—	—	240
<b>2. Curso da corredeira</b>					
Peça bruta					
Fresagem de desbastamento	600	600	—	—	1200
Fresagem de acabamento	120	80	—	—	240
Fresagem de acabamento fino	—	—	—	—	120
<b>3. Faces laterais</b>					
Peça bruta	120	600	—	—	—
Torneamento de desbastamento	60	240	1,12	400	1341,12
Torneamento de semiacabamento	—	—	—	—	190
<b>4. Furo central</b>					
Peça bruta	600	600	—	80	—
Alargamento de desbastamento	40	50	0,0002	110	2573,16
Alargamento de acabamento	30	40	—	—	360
Mandrilagem de acabamento	—	—	—	—	140
<b>5. Furo do mancal</b>					
Peça bruta	600	600	33,11		—
Alargamento de desbastamento	40	50	0,0002	70	2591,79

*Continuação da tabela 15.5*

Alargamento de acabamento	40	50	—	90	380
Mandrilagem de acabamento	—	—	—	—	140
<b>6. Cilindro externo</b>					
Peca bruta	600	600	248,52	90	—
Torneamento de semiacabamento	—	—	—	—	1431,25
<b>7. Furos roscados</b>					
Brocagem de desbastamento	600	600	—	—	—
Abertura da rosca, desbastamento	—	—	—	—	2400
Abertura da rosca, acabamento	—	—	—	—	—
<b>9. Escatel</b>					
Brocheamento de desbaste	—	—	—	—	0,005
<b>10. Dentes</b>					
Fresagem de desbaste	600	600	1,03	160	2722,1
Fresagem de acabamento	60	240	—	130	882,06
Retificação de acabamento	—	—	—	—	322,06

Tendo calculado as sobrespessuras foi possível fazer o desenho da peça bruta, que se encontra no anexo IIX.

## **CAPÍTULO III - REGIMES DE CORTE**

Para o cálculo dos regimes de corte seguem-se as instruções da referência bibliográfica [4]

### **3.1. Fresagem de desbastamento das superfícies dos suportes**

Para o cálculo dos regimes de corte de fresagem de desbaste tem-se como dados de partida:

Operação: Fresagem de desbastamento

Material a ser tratado: 40XJI, HB = 248, Rm = 823 MPa, A = 20%

Profundidade de corte:  $t = 1,2$  mm

Para o cálculo dos regimes de corte seguem-se as instruções na referência bibliográfica [4].

#### **1. Modelo da fresadora**

Da referência bibliográfica [6], escolheu-se a fresadora vertical do modelo 6P12.

#### **2. Tipo de ferro cortante**

Das opções disponíveis na página 21 [4] escolheu-se a fresa frontal (de cabo) para fresagem dum plano horizontal, que é adequado para o tratamento que se pretende realizar.

#### **3. Material da parte cortante da ferramenta**

Das recomendações da tabela da página 12 de [4] escolheu-se o aço rápido HS 6-5-2 (norma ISO), que corresponde a P6M5 (norma GOST).

#### **4. Dimensões principais do ferro cortante**

Das recomendações da página 22 de [4] escolheram-se as dimensões:

- Diâmetro da parte cortante,  $D = 300$  mm;
- Diâmetro do cabo,  $d = 45$  mm;
- Número de dentes,  $Z = 12$

#### **5. Parâmetros principais da ferramenta de corte**

Das recomendações da página 8 de [4], A largura da fresa  $B = 284$  mm que é igual ou maior em  $2 \div 5$  mm da largura da superfície trabalhada.

Tomando o diâmetro da superfície trabalhada  $B_s = 258$  mm, determina-se o diâmetro mínimo da fresa.

$$D_f = (1 \div 2) \times B_s = 1 \times 258 = 258 \text{ mm} \quad (24)$$

## 6. Parâmetros geométrico da parte cortante

Com base nas recomendações presentes nas páginas 27 e 28 escolhe-se os seguintes ângulos.

$$\alpha = 15^\circ \quad \alpha_1 = 8^\circ \quad \gamma_{ch} = -5^\circ \quad \gamma = 15^\circ \quad \lambda = 5^\circ \quad \varphi = 60^\circ \quad \varphi_0 = 30^\circ \quad \varphi_1 = 5^\circ$$

## 7. Sobresspessura

A Sobresspessura é já conhecida:  $z = 1,55 \text{ mm}$

## 8. Profundidade de corte

A profundidade de corte é já conhecida:  $t = 1,2 \text{ mm}$

## 9. Avanços máximos admissíveis

Da tabela 34 da página 43 tirou-se, em função da potência da máquina ferramenta, o valor:  $S_z = 0,2 \text{ mm/dente}$ .

Da tabela 36 da página 44, para o diâmetro da fresa e profundidade de corte  $t = 1,2 \text{ mm}$ , tirou-se:  $S_z = 0,25 \text{ mm/dente}$ .

Da tabela 37 da página 45, em função da rugosidade da superfície, tirou-se:  $S_z = 1,6 \text{ mm/volta}$

## 10. Avanço mínimo

Dos avanços máximos admissíveis escolhe-se o avanço mínimo, que corresponde a:  $S_v = 0,2 \text{ mm/dente}$

## 11. Avanço da máquina

Dos avanços disponíveis para máquina escolhida escolhe-se o menor e mais próximo do avanço mínimo:  $S_v = 0,15 \text{ mm/dente}$

## 12. Coeficientes e expoentes para cálculo da velocidade de corte

Da tabela 39 da página 45, em função do tipo da ferramenta de corte, do material da peça e da profundidade de corte escolhem-se os coeficientes:

$$C_v = 64,7 \quad q_v = 0,25 \quad x_v = 0,1 \quad y_v = 0,2 \quad u_v = 0,15 \quad p_y = 0 \quad m = 0,2$$

## 13. Duração da fresa

Da tabela 40, página 47 escolhe-se a duração da fresa  $T_e = 180$  min. Da tabela 7 da página 30 escolhe-se  $K_{Tf} = 1$  e da tabela 8 da página 30 escolhe-se  $K_{Tm} = 1$ . Assim a duração da fresa é:

$$T = T_e \times K_{Tf} \times K_{Tm} = 60 \times 1 \times 1 = 180 \text{ min} \quad (25)$$

#### 14. Coeficientes de correcção da velocidade

Da tabela 2 da página 29, em função do material da peça e do material da ferramenta extraem-se os coeficientes:  $C_m = 1,0$   $n_v = 1,0$ ;

Da tabela 3 da página 29, em função do material da peça tira-se o coeficiente:  $K_{mv} = 0,75$ ;

Da tabela 5 da página 30, em função do estado da superfície da peça tira-se o coeficiente:  $K_{esv} = 0,85$

Da tabela 6 da página 30, em função do material da peça tira-se o coeficiente:  $K_{mfv} = 1$ ;

#### 15. Velocidade de corte

A velocidade de corte obtém-se através da fórmula:

$$V_c = \frac{C_v \times D^{q_v}}{T^m \times t^{x_v} \times S_z^{y_v} \times B^{u_v} \times z^{p_v}} \times k_v \quad (26)$$

Onde  $k_v = K_{mv} \times K_{esv} \times K_{mfv} = 0,75 \times 0,85 \times 1 = 0,64$

$$V_c = \frac{64,7 \times 280^{0,25}}{180^{0,2} \times 1,2^{0,1} \times 0,15^{0,4} \times 258^{0,15} \times 12^0} \times 0,64 = 36,42 \text{ m/min}$$

#### 16. Frequência de rotações da árvore principal

A frequência de rotações obtém-se através da fórmula:

$$n_c = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D_{inic}} = \frac{1000 \times 36,42}{\pi \times 258} = 44,93 \text{ rpm} \quad (27)$$

#### 17. Frequência de rotações da árvore principal da máquina

Escolheu-se a frequência de rotação da árvore principal pela máquina  $n_m$ , da série das frequências disponíveis para a fresadora 6P12 que é maior mas menor 1.1 nc, que corresponde a:  $n_m = 45 \text{ rpm}$ .

#### 18. Velocidade real de corte

A velocidade de corte para superfícies externas determina-se através da fórmula:

$$V_r = \frac{\pi \times D_{inc} \times n_m}{1000} \quad (28)$$

Calculando obtém-se:  $V_r = \frac{\pi \times 258 \times 45}{1000} = 37,47 m / \min$

Pela fórmula  $S_{mc} = S_{zc} \times Z \times n_m$ , determina-se o avanço  $S_{mc}$ .

$$S_{mc} = 10 \times 45 \rightarrow S_{mc} = 450 mm / \min$$

### 19. Velocidade de avanço pela máquina

Escolheu-se o avanço pela máquina  $S_{mm}$ , pelo catalogo da fresadora 6P12, de modo que  $S_{mm}$  seja igual ou menor que  $S_{mc}$ , que corresponde a:  $S_{mm} = 240 mm / \min$ .

### 20. Avanço real da máquina

Recalcula-se o avanço real por dente pela fórmula:  $S_{zr} = \frac{S_{mm}}{z \times n_m} = \frac{240}{10 \times 45} = 0,5 mm / dente$  (29)

### 21. Coeficientes e expoentes para cálculo da força de corte

Da tabela 41 da página 47, em função do material da peça e da ferramenta e do tipo de tratamento, tira-se:

$$C_p = 8250 \quad X_p = 1 \quad Y_p = 0,75 \quad u_p = 1,1 \quad w_p = 0,2 \quad q_p = 1,3$$

### 22. Coeficientes de correcção da força de corte

Da Tabela 9 da Página 31, em função das propriedades do material da peça, tira-se:

$$K_{MP} = (\sigma_t / 750)^{0,75} = (823 / 750)^{0,75} = 1,07 \quad (30)$$

Da Página 31, em função do desgaste da ferramenta, tira-se:  $K_{df} = 1,6$

### 23. Força de corte

A força de corte obtém-se através da fórmula:

$$P_z = \frac{C_p \times t^{x_p} \times S_{zr}^{y_p} \times B^{u_p} \times z}{D^{q_p} \times n_m^{w_p}} \times K_{mp} \times K_{df} \quad (31)$$

$$P_z = \frac{825 \times 1,2^1 \times 0,63^{0,8} \times 258^{1,1} \times 10}{258^{1,1} \times 40^0} \times 1,07 \times 1,6 = 11183,33N$$

#### 24. Potência de corte

A potência de corte determina-se através da fórmula:

$$N_c = \frac{P_z \times V_r}{60000} = \frac{11183,33 \times 32,42}{60000} = 6,14kW \quad (32)$$

#### 25. Verificação da potência

A verificação é feita através da condição:

$$N_c < N_m \times \eta \quad (33)$$

Onde:  $\eta$  é o rendimento do acionamento, situado entre 0,65 e 0,85

Calculando obtém-se:  $6,18 < 7,5 \times 0,85 \Rightarrow 6,04 < 6,5$ . Então a condição verifica-se.

#### 26. Coeficiente de uso da máquina

O coeficiente de uso da máquina obtém-se através da fórmula:

$$C_{um} = \frac{N_c}{N_m \times \eta} = \frac{6,18}{7,5 \times 0,85} = 0,97 \quad (34)$$

#### 27. Coeficiente de uso da ferramenta

O coeficiente de uso da ferramenta obtém-se através da fórmula:

$$C_{uf} = \frac{V_r}{V_c} = \frac{37,47}{36,42} = 1,001 \quad (35)$$

#### 28. Comprimento de entrada da fresa

O comprimento de entrada da fresa obtém-se através da fórmula:

$$l_e = 0,5D_f - \sqrt{0,25(D_f^2 - B_s^2)} = 0,5 \times 258 - \sqrt{0,25 \times (258^2 - 258^2)} = 129mm \quad (36)$$

#### 29. Tempo de tratamento principal

O tempo de tratamento principal obtém-se através da fórmula:

$$t_p = \frac{(C_s + l_e + l_s)}{S_m} \quad (37)$$

Onde: L – é o comprimento percorrido pela ferramenta;

C – é o comprimento da superfície trabalhada, em mm, que é igual a 280 mm;

$l_s$  - é o comprimento da saída da ferramenta que é igual a 3 mm;

$l_e$  é o comprimento da entrada da ferramenta.

$$\text{Assim: } t_p = \frac{(258 + 129 + 3)}{240} = 1,72 \text{ min} = 103 \text{ segundos}$$

### 30. Resultados obtidos

- Tipo de ferro de corte: fresa frontal (de cabo);
- Material da parte cortante: GOST P6M5
- Geometria de afiação:  $\alpha = 15^\circ$     $\alpha_1 = 8^\circ$     $\gamma_{ch} = -5^\circ$     $\gamma = 15^\circ$     $\lambda = 5^\circ$     $\varphi = 60^\circ$   
 $\varphi_0 = 30^\circ$
- Modelo e Potência da fresadora: 6P12;  $N_m = 7,5 \text{ kW}$
- Coeficiente de uso da máquina:  $C_{um} = 0,95$
- Regime de corte:  $t = 1,2 \text{ mm}$     $S_{mv} = 0,2 \text{ mm/min}$     $V_r = 36,47 \text{ m/min}$     $n_m = 45 \text{ rpm}$   
 $N_c = 6,18 \text{ kW}$     $t_p = 1,72 \text{ min} = 103 \text{ segundos}$ .

## 3.2. Fresagem de semiacabamento das superfícies dos suportes

### 1. Profundidade de corte

A profundidade de corte é já conhecida:  $t = 0,24 \text{ mm}$

### 2. Avanços máximos admissíveis

Da tabela 34 da página 43 de [4] tirou-se, em função da potência da máquina ferramenta, o valor:

$S_z = 0,15 \text{ mm/dente}$ .

Da tabela 36 da página 44 de [4], para o diâmetro da fresa e profundidade de corte  $t = 0,24$  mm, tirou-se:  $S_z = 0,16$  mm/dente

Da tabela 37 da página 45 de [4], em função da rugosidade da superfície, tirou-se:  $S_z = 1,6$  mm/volta

### 3. Avanço na fresadora

Determina-se o avanço na fresadora pela fórmula:  $S_{vc} = S_z \times Z = 1,6 \times 10 = 16 \text{ mm / volta}$  (38)

### 4. Avanço da máquina

Pela condição  $S_{vm} \leq S_{vc}$ , escolhe-se no catálogo da máquina o avanço da máquina:  $S_{vm} = 0,75 \text{ mm / volta}$ .

### 5. Coeficientes e expoentes para cálculo da velocidade de corte

Da tabela 39 da página 45, em função do tipo da ferramenta de corte, do material da peça e da profundidade de corte escolhem-se os coeficientes:

$$C_v = 64,7 \quad q_v = 0,25 \quad x_v = 0,1 \quad y_v = 0,2 \quad u_v = 0,15 \quad p_y = 0 \quad m = 0,2$$

### 6. Duração da fresa

Da tabela 40, página 47 escolhe-se a duração da fresa  $T_e = 240$  min. Da tabela 7 da página 30 escolhe-se  $K_{Tf} = 1$  e da tabela 8 da página 30 escolhe-se  $K_{Tm} = 1$ . Assim a duração da fresa é:

$$T = T_e \times K_{Tf} \times K_{Tm} = 240 \times 1 \times 1 = 240 \text{ min}$$

### 7. Coeficientes de correcção da velocidade

Da tabela 2 da Página 29, em função do material da peça e do material da ferramenta extraem-se os coeficientes:  $C_m = 1,0$   $n_v = 0,9$ ;

Da tabela 3 da página 29 de [4], em função do material da peça tira-se o coeficiente:  $K_{mv} = 0,75$  ;

Da tabela 5 da página 30 de [4], em função do estado da superfície da peça tira-se o coeficiente:  $K_{esv} = 0,85$

Da tabela 6 da página 30 de [4], em função do material da peça tira-se o coeficiente:  $K_{mfv} = 1$  ;

### 8. Velocidade de corte

A velocidade de corte obtém-se através da fórmula:

$$V_c = \frac{C_v \times D^{q_v}}{T^m \times t^{x_v} \times S_z^{y_v} \times B^{u_v} \times z^{p_v}} \times k_v$$

Onde  $k_v = K_{mv} \times K_{esv} \times K_{mfv} = 0,75 \times 0,85 \times 1 = 0,64$

$$V_c = \frac{64,7 \times 387^{0,25}}{240^{0,2} \times 0,22^{0,1} \times 0,75^{0,4} \times 258^{0,15} \times 10^0} \times 0,64 = 32,4 \text{ m / min}$$

### 9. Frequência de rotações da árvore principal

A frequência de rotações obtém-se através da fórmula:

$$n_c = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D_{mic}} = \frac{1000 \times 32,4}{\pi \times 387} = 26,66 \text{ rpm}$$

### 10. Frequência de rotações da árvore principal da máquina

Escolheu-se a frequência de rotação da árvore principal pela máquina  $n_m$ , da série das frequências disponíveis para a fresadora 6P12 que é maior mas menor 1.1  $n_c$ , que corresponde a:  $n_m = 38 \text{ rpm}$ .

### 11. Velocidade real de corte

A velocidade de corte para superfícies externas determina-se através da fórmula:

$$V_r = \frac{\pi \times D_{inc} \times n_m}{1000}$$

Calculando obtém-se:  $V_r = \frac{\pi \times 258 \times 38}{1000} = 46,2 \text{ m / min}$

Pela fórmula  $S_{mc} = S_z \times Z \times n_m$ , determina-se o avanço  $S_{mc}$ .

$$S_{mc} = 10 \times 38 \rightarrow S_{mc} = 380 \text{ mm / min}$$

### 12. Velocidade de avanço pela máquina

Escolheu-se o avanço pela máquina  $S_{mm}$ , pelo catalogo da fresadora 6P12, de modo que  $S_{mm}$  seja igual ou menor que  $S_{mc}$ , que corresponde a:  $S_{mm} = 360 \text{ mm / min}$ .

### 13. Avanço real da máquina

Recalcula-se o avanço real por dente pela fórmula:  $S_{zr} = \frac{S_{mm}}{z \times n_m} = \frac{360}{4 \times 38} = 0,95 \text{ mm / dente}$

### **Coefficientes e expoentes para cálculo da força de corte**

Da tabela 41 da página 47, em função do material da peça e da ferramenta e do tipo de tratamento, tira-se:

$$C_p = 825 \quad X_p = 0,95 \quad Y_p = 0,8 \quad u_p = 1,1 \quad w_p = 0 \quad q_p = 1,1$$

### **14. Coeficientes de correção da força de corte**

Da Tabela 9 da Página 31, em função das propriedades do material da peça, tira-se:

$$K_{MP} = (\sigma_t / 750)^{0,75} = (823/750)^{0,75} = 1,07$$

Da Página 31, em função do desgaste da ferramenta, tira-se:  $K_{df} = 1,6$

### **15. Força de corte**

A força de corte obtém-se através da fórmula:

$$P_z = \frac{C_p \times t^{x_p} \times S_{zr}^{y_p} \times B^{u_p} \times z}{D^{q_p} \times n_m^{w_p}} \times K_{mp} \times K_{df}$$

$$P_z = \frac{825 \times 0,22^{0,95} \times 0,92^{0,8} \times 258^{1,1} \times 4}{258^{1,1} \times 30^0} \times 1,07 \times 1,6 = 3216,21N$$

### **16. Potência de corte**

A potência de corte determina-se através da fórmula:

$$N_c = \frac{P_z \times V_r}{60000} = \frac{3216,21 \times 30,8}{60000} = 1,65kW$$

### **17. Verificação da potência**

A verificação é feita através da condição:

$$N_c < N_m \times \eta$$

Onde:  $\eta$  é o rendimento do acionamento, situado entre 0,65 e 0,85

Calculando obtém-se:  $1,65 < 7,5 \times 0,75 \Rightarrow 1,65 < 5,6$ . Então a condição verifica-se.

### 18. Coeficiente de uso da máquina

O coeficiente de uso da máquina obtém-se através da fórmula:

$$C_{um} = \frac{N_c}{N_m \times \eta} = \frac{1,55}{7,5 \times 0,75} = 0,29$$

### 19. Coeficiente de uso da ferramenta

O coeficiente de uso da ferramenta obtém-se através da fórmula:

$$C_{uf} = \frac{V_r}{V_c} = \frac{30,8}{29,53} = 1,04$$

### 20. Comprimento de entrada da fresa

O comprimento de entrada da fresa obtém-se através da fórmula:

$$l_e = 0,5D_f - \sqrt{0,25(D_f^2 - B_s^2)} = 0,5 \times 258 - \sqrt{0,25 \times (258^2 - 258^2)} = 129mm$$

### 21. Tempo de tratamento principal

O tempo de tratamento principal obtém-se através da fórmula:

$$t_p = \frac{(C_s + l_e + l_s)}{S_m}$$

Onde: L – é o comprimento percorrido pela ferramenta;

C – é o comprimento da superfície trabalhada, em mm, que é igual a 258 mm;

$l_s$  - é o comprimento da saída da ferramenta que é igual a 3 mm;

$l_e$  é o comprimento da entrada da ferramenta.

$$\text{Assim: } t_p = \frac{(258 + 129 + 3)}{360} = 1,08 \text{ min} = 65 \text{ segundos}$$

### 22. Resultados obtidos

- Tipo de ferro de corte: fresa frontal (de cabo);

- Material da parte cortante: GOST P6M5
- Geometria de afiação:  $\alpha = 15^\circ$     $\alpha_1 = 8^\circ$     $\gamma_{ch} = -5^\circ$     $\gamma = 15^\circ$     $\lambda = 5^\circ$     $\varphi = 60^\circ$   
 $\varphi_0 = 30^\circ$
- Modelo e Potência da fresadora: 6P12;  $N_m = 7,5kW$
- Coeficiente de uso da máquina:  $C_{um} = 0,29$
- Regime de corte:  $t = 0,24mm$     $S_{mv} = 0,75mm/min$     $V_r = 30,8m/min$     $n_m = 38rpm$   
 $N_c = 1,65kW$     $t_p = 1,08min = 65segundos$ .

Tabela 16.7 Resultados obtidos do facejamento das superfícies dos suportes (Fonte: Autor)

Detalhes da ferramenta de corte								
Material da ferramenta	$\alpha$	$\alpha_1$	$\gamma_{ch}$	$\gamma_{ch}$	$\gamma$	$\lambda$	$\varphi$	$B \times H \times L$
P6M5	$15^\circ$	$8^\circ$	$-15^\circ$	$-5^\circ$	$15^\circ$	$5^\circ$	$60^\circ$	$16 \times 25 \times 140$
Regimes de corte								
Operação	t (mm)	Sv (mm/vol)	Vr (m/min)	$n_m$	$N_c$ (kW)	tp(seg)	—	—
Desbastamento	1,2	0,2	36,47	45	6,18	103	—	—
Semiacabamento	0,24	0,75	30,8	38	1,65	65	—	—

### 3.3. Fresagem de desbastamento das superfícies do curso da corredeira

Para o cálculo dos regimes de corte de fresagem de desbaste tem-se como dados de partida:

Operação: Fresagem de desbastamento

Material a ser tratado: 40XJI, HB = 248, Rm = 823 MPa, A = 20%

Profundidade de corte:  $t = 1,2$  mm

Para o cálculo dos regimes de corte seguem-se as instruções na referência bibliográfica [4].

#### 1. Modelo da fresadora

Da referência bibliográfica [6], escolheu-se a fresadora vertical do modelo 6P12.

#### 2. Tipo de ferro cortante

Das opções disponíveis na página 21 de [4] escolheu-se a fresa frontal (de cabo) para fresagem dum plano horizontal, que é adequado para o tratamento que se pretende realizar.

### 3. Material da parte cortante da ferramenta

Das recomendações da tabela da página 12 de [4] escolheu-se o aço rápido HS 6-5-2 (norma ISO), que corresponde a P6M5 (norma GOST).

### 4. Dimensões principais do ferro cortante

Das recomendações da página 22 de [4] escolheram-se as dimensões:

- Diâmetro da parte cortante,  $D = 60 \text{ mm}$ ;
- Diâmetro do cabo,  $d = 30 \text{ mm}$ ;
- Número de dentes,  $Z = 12$

### 5. Parâmetros principais da ferramenta de corte

Das recomendações da página 8 de [4], A largura da fresa  $B = 60 \text{ mm}$  que é igual ou maior em  $2 \div 5 \text{ mm}$  da largura da superfície trabalhada.

Tomando o diâmetro da superfície trabalhada  $B_s = 60 \text{ mm}$ , determina-se o diâmetro mínimo da fresa.

$$D_f = (1 \div 2) \times B_s = 1,2 \times 60 = 72 \text{ mm} \quad (24)$$

### 6. Parâmetros geométrico da parte cortante

Com base nas recomendações presentes nas páginas 27 e 28 escolhe-se os seguintes ângulos.

$$\alpha = 15^\circ \quad \alpha_1 = 8^\circ \quad \gamma_{ch} = -5^\circ \quad \gamma = 15^\circ \quad \lambda = 5^\circ \quad \varphi = 60^\circ \quad \varphi_0 = 30^\circ \quad \varphi_1 = 5^\circ$$

### 7. Sobresspessura

A Sobresspessura é já conhecida:  $z = 1,2 \text{ mm}$

### 8. Profundidade de corte

A profundidade de corte é já conhecida:  $t = 1,2 \text{ mm}$

### 9. Avanços máximos admissíveis

Da tabela 34 da página 43 de [4] tirou-se, em função da potência da máquina ferramenta, o valor:  $S_z = 0,2 \text{ mm/dente}$ .

Da tabela 36 da página 44 de [4, para o diâmetro da fresa e profundidade de corte  $t = 1,2$  mm, tirou-se:  $S_z = 0,25$  mm/dente.

Da tabela 37 da página 45 de [4, em função da rugosidade da superfície, tirou-se:  $S_z = 1,6$  mm/volta

### **10. Avanço mínimo**

Dos avanços máximos admissíveis escolhe-se o avanço mínimo, que corresponde a:  $S_v = 0,2$  mm/dente

### **11. Avanço da máquina**

Dos avanços disponíveis para máquina escolhida escolhe-se o menor e mais próximo do avanço mínimo:  $S_v = 0,15$  mm/dente

### **12. Coeficientes e expoentes para cálculo da velocidade de corte**

Da tabela 39 da página 45, em função do tipo da ferramenta de corte, do material da peça e da profundidade de corte escolhem-se os coeficientes:

$$C_v = 64,7 \quad q_v = 0,25 \quad x_v = 0,1 \quad y_v = 0,2 \quad u_v = 0,15 \quad p_y = 0 \quad m = 0,2$$

### **13. Duração da fresa**

Da tabela 40, página 47 escolhe-se a duração da fresa  $T_e = 180$  min. Da tabela 7 da página 30 escolhe-se  $K_{Tf} = 1$  e da tabela 8 da página 30 escolhe-se  $K_{Tm} = 1$ . Assim a duração da fresa é:

$$T = T_e \times K_{Tf} \times K_{Tm} = 60 \times 1 \times 1 = 180 \text{ min} \quad (25)$$

### **14. Coeficientes de correcção da velocidade**

Da tabela 2 da página 29, em função do material da peça e do material da ferramenta extraem-se os coeficientes:  $C_m = 1,0$   $n_v = 1,0$ ;

Da tabela 3 da página 29, em função do material da peça tira-se o coeficiente:  $K_{mv} = 0,75$ ;

Da tabela 5 da página 30, em função do estado da superfície da peça tira-se o coeficiente:  $K_{esv} = 0,85$

Da tabela 6 da página 30, em função do material da peça tira-se o coeficiente:  $K_{mfv} = 1$ ;

### **15. Velocidade de corte**

A velocidade de corte obtém-se através da fórmula:

$$V_c = \frac{C_v \times D^{q_v}}{T^m \times t^{x_v} \times S_z^{y_v} \times B^{u_v} \times z^{p_v}} \times k_v \quad (26)$$

Onde  $k_v = K_{mv} \times K_{esv} \times K_{mfv} = 0,75 \times 0,85 \times 1 = 0,64$

$$V_c = \frac{64,7 \times 72^{0,25}}{180^{0,2} \times 1,2^{0,1} \times 0,15^{0,4} \times 72^{0,15} \times 12^0} \times 0,64 = 32,72 \text{ m / min}$$

### 16. Frequência de rotações da árvore principal

A frequência de rotações obtém-se através da fórmula:

$$n_c = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D_{inc}} = \frac{1000 \times 32,72}{\pi \times 32,72} = 144,58 \text{ rpm} \quad (27)$$

### 17. Frequência de rotações da árvore principal da máquina

Escolheu-se a frequência de rotação da árvore principal pela máquina  $n_m$ , da série das frequências disponíveis para a fresadora 6P12 que é maior mas menor 1.1  $n_c$ , que corresponde a:  $n_m = 150 \text{ rpm}$ .

### 18. Velocidade real de corte

A velocidade de corte para superfícies externas determina-se através da fórmula:

$$V_r = \frac{\pi \times D_{inc} \times n_m}{1000} \quad (28)$$

Calculando obtém-se:  $V_r = \frac{\pi \times 72 \times 150}{1000} = 46,2 \text{ m / min}$

Pela fórmula  $S_{mc} = S_{zc} \times Z \times n_m$ , determina-se o avanço  $S_{mc}$ .

$$S_{mc} = 10 \times 150 \rightarrow S_{mc} = 1500 \text{ mm / min}$$

### 19. Velocidade de avanço pela máquina

Escolheu-se o avanço pela máquina  $S_{mm}$ , pelo catalogo da fresadora 6P12, de modo que  $S_{mm}$  seja igual ou menor que  $S_{mc}$ , que corresponde a:  $S_{mm} = 260 \text{ mm / min}$ .

### 20. Avanço real da máquina

Recalcula-se o avanço real por dente pela fórmula:  $S_{zr} = \frac{S_{mm}}{z \times n_m} = \frac{260}{10 \times 150} = 0,17 \text{ mm / dente}$  (29)

## 21. Coeficientes e expoentes para cálculo da força de corte

Da tabela 41 da página 47, em função do material da peça e da ferramenta e do tipo de tratamento, tira-se:

$$C_p = 8250 \quad X_p = 1 \quad Y_p = 0,75 \quad u_p = 1,1 \quad w_p = 0,2 \quad q_p = 1,3$$

## 22. Coeficientes de correção da força de corte

Da Tabela 9 da Página 31, em função das propriedades do material da peça, tira-se:

$$K_{MP} = (\sigma_t / 750)^{0,75} = (823 / 750)^{0,75} = 1,07 \quad (30)$$

Da Página 31, em função do desgaste da ferramenta, tira-se:  $K_{df} = 1,6$

## 23. Força de corte

A força de corte obtém-se através da fórmula:

$$P_z = \frac{C_p \times t^{x_p} \times S_{zr}^{y_p} \times B^{u_p} \times z}{D^{q_p} \times n_m^{w_p}} \times K_{mp} \times K_{df} \quad (31)$$

$$P_z = \frac{825 \times 1,2^1 \times 0,63^{0,8} \times 72^{1,1} \times 10}{72^{1,1} \times 150^0} \times 1,07 \times 1,6 = 3388,88N$$

## 24. Potência de corte

A potência de corte determina-se através da fórmula:

$$N_c = \frac{P_z \times V_r}{60000} = \frac{3388,88 \times 33,92}{60000} = 1,19kW \quad (32)$$

## 25. Verificação da potência

A verificação é feita através da condição:

$$N_c < N_m \times \eta \quad (33)$$

Onde:  $\eta$  é o rendimento do acionamento, situado entre 0,65 e 0,85

Calculando obtém-se:  $1,19 < 7,5 \times 0,85 \Rightarrow 6,04 < 6,5$ . Então a condição verifica-se.

## 26. Coeficiente de uso da máquina

O coeficiente de uso da máquina obtém-se através da fórmula:

$$C_{um} = \frac{N_c}{N_m \times \eta} = \frac{1,19}{7,5 \times 0,85} = 0,30 \quad (34)$$

### 27. Coeficiente de uso da ferramenta

O coeficiente de uso da ferramenta obtém-se através da fórmula:

$$C_{uf} = \frac{V_r}{V_c} = \frac{32,92}{32,70} = 1,09 \quad (35)$$

### 28. Comprimento de entrada da fresa

O comprimento de entrada da fresa obtém-se através da fórmula:

$$l_e = 0,5D_f - \sqrt{0,25(D_f^2 - B_s^2)} = 0,5 \times 72 - \sqrt{0,25 \times (72^2 - 60^2)} = 16,1mm \quad (36)$$

### 29. Tempo de tratamento principal

O tempo de tratamento principal obtém-se através da fórmula:

$$t_p = \frac{(C_s + l_e + l_s)}{S_m} \quad (37)$$

Onde: L – é o comprimento percorrido pela ferramenta;

C – é o comprimento da superfície trabalhada, em mm, que é igual a 260 mm;

$l_s$  - é o comprimento da saída da ferramenta que é igual a 3 mm;

$l_e$  é o comprimento da entrada da ferramenta.

$$\text{Assim: } t_p = \frac{(260 + 16 + 3)}{260} = 1,07 \text{ min} = 64 \text{ segundos}$$

### 30. Resultados obtidos

- Tipo de ferramenta de corte: fresa frontal (de cabo);
- Material da parte cortante: GOST P6M5
- Geometria de afiação:  $\alpha = 15^\circ$     $\alpha_1 = 8^\circ$     $\gamma_{ch} = -5^\circ$     $\gamma = 15^\circ$     $\lambda = 5^\circ$     $\varphi = 60^\circ$   
 $\varphi_0 = 30^\circ$

- Modelo e Potência da fresadora: 6P12;  $N_m = 7,5kW$
- Coeficiente de uso da máquina:  $C_{um} = 0,30$
- Regime de corte:  $t = 1,2mm$      $S_{mv} = 0,2mm/min$      $V_r = 33,93m/min$      $n_m = 150rpm$   
 $N_c = 6,04kW$      $t_p = 1,07 min = 64segundos$ .

### 3.4. Fresagem de acabamento das superfícies do curso da corredeira

#### 1. Profundidade de corte

A profundidade de corte é já conhecida:  $t = 0,24 mm$

#### 2. Avanços máximos admissíveis

Da Tabela 34 da página 43 tirou-se, em função da potência da máquina ferramenta, o valor:

$S_z = 0,15 mm/dente$ .

Da Tabela 36 da página 44, para o diâmetro da fresa e profundidade de corte  $t = 0,22 mm$ , tirou-se:  $S_z = 0,16 mm/dente$

Da tabela 37 da página 45, em função da rugosidade da superfície, tirou-se:  $S_z = 1,6 mm/volta$

#### 3. Avanço na fresadora

Determina-se o avanço na fresadora pela fórmula:  $S_{vc} = S_z \times Z = 1,4 \times 12 = 19,2mm/volta$  (38)

#### 4. Avanço da máquina

Pela condição  $S_{vm} \leq S_{vc}$ , escolhe-se no catálogo da máquina o avanço da máquina:  $S_{vm} = 1,8mm/volta$ .

#### 5. Coeficientes e expoentes para cálculo da velocidade de corte

Da tabela 39 da página 45, em função do tipo da ferramenta de corte, do material da peça e da profundidade de corte escolhem-se os coeficientes:

$$C_v = 64,7 \quad q_v = 0,25 \quad x_v = 0,1 \quad y_v = 0,2 \quad u_v = 0,15 \quad p_y = 0 \quad m = 0,2$$

#### 6. Duração da fresa

Da tabela 40, página 47 escolhe-se a duração da fresa  $T_e = 240$  min. Da tabela 7 da página 30 escolhe-se  $K_{Tf} = 1$  e da tabela 8 da página 30 escolhe-se  $K_{Tm} = 1$ . Assim a duração da fresa é:

$$T = T_e \times K_{Tf} \times K_{Tm} = 240 \times 1 \times 1 = 240 \text{ min}$$

### 7. Coeficientes de correcção da velocidade

Da tabela 2 da Página 29, em função do material da peça e do material da ferramenta extraem-se os coeficientes:  $C_m = 1,0$   $n_v = 0,9$ ;

Da tabela 3 da página 29, em função do material da peça tira-se o coeficiente:  $K_{mv} = 0,75$  ;

Da tabela 5 da página 30, em função do estado da superfície da peça tira-se o coeficiente:  $K_{esv} = 0,85$

Da tabela 6 da página 30, em função do material da peça tira-se o coeficiente:  $K_{mfv} = 1$ ;

### 8. Velocidade de corte

A velocidade de corte obtém-se através da fórmula:

$$V_c = \frac{C_v \times D^{q_v}}{T^m \times t^{x_v} \times S_z^{y_v} \times B^{u_v} \times z^{p_v}} \times k_v$$

Onde  $k_v = K_{mv} \times K_{esv} \times K_{mfv} = 0,75 \times 0,85 \times 1 = 0,64$

$$V_c = \frac{64,7 \times 72^{0,25}}{240^{0,2} \times 0,24^{0,1} \times 1,8^{0,4} \times 64^{0,15} \times 12^0} \times 0,64 = 22,063 \text{ m/min}$$

### 9. Frequência de rotações da árvore principal

A frequência de rotações obtém-se através da fórmula:

$$n_c = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D_{mic}} = \frac{1000 \times 22,06}{\pi \times 72} = 97,54 \text{ rpm}$$

### 10. Frequência de rotações da árvore principal da máquina

Escolheu-se a frequência de rotação da árvore principal pela máquina  $n_m$ , da série das frequências disponíveis para a fresadora 6P12 que é maior mas menor 1.1 nc, que corresponde a:  $n_m = 105 \text{ rpm}$ .

### 11. Velocidade real de corte

A velocidade de corte para superfícies externas determina-se através da fórmula:

$$V_r = \frac{\pi \times D_{inc} \times n_m}{1000}$$

Calculando obtém-se:  $V_r = \frac{\pi \times 72 \times 105}{1000} = 23,75m / \text{min}$

Pela fórmula  $S_{mc} = S_{zc} \times Z \times n_m$ , determina-se o avanço  $S_{mc}$ .

$$S_{mc} = 12 \times 105 \rightarrow S_{mc} = 1260 \text{ mm} / \text{min}$$

### 12. Velocidade de avanço pela máquina

Escolheu-se o avanço pela máquina  $S_{mm}$ , pelo catalogo da fresadora 6P12, de modo que  $S_{mm}$  seja igual ou menor que  $S_{mc}$ , que corresponde a:  $S_{mm} = 1250 \text{ mm} / \text{min}$ .

### 13. Avanço real da máquina

Recalcula-se o avanço real por dente pela fórmula:  $S_{zr} = \frac{S_{mm}}{z \times n_m} = \frac{1250}{12 \times 105} = 0,99 \text{ mm} / \text{dente}$

### 14. Coeficientes e expoentes para cálculo da força de corte

Da tabela 41 da página 47, em função do material da peça e da ferramenta e do tipo de tratamento, tira-se:

$$C_p = 825 \quad X_p = 0,95 \quad Y_p = 0,8 \quad u_p = 1,1 \quad w_p = 0 \quad q_p = 1,1$$

### 15. Coeficientes de correcção da força de corte

Da Tabela 9 da Página 31, em função das propriedades do material da peça, tira-se:

$$K_{MP} = (\sigma_t / 750)^{0,75} = (823 / 750)^{0,75} = 1,07$$

Da Página 31, em função do desgaste da ferramenta, tira-se:  $K_{df} = 1,6$

### 16. Força de corte

A força de corte obtém-se através da fórmula:

$$P_z = \frac{C_p \times t^{x_p} \times S_{zr}^{y_p} \times B^{u_p} \times z}{D^{q_p} \times n_m^{w_p}} \times K_{mp} \times K_{df}$$

$$P_z = \frac{825 \times 0,24^{0,95} \times 0,99^{0,8} \times 72^{1,1} \times 12}{72^{1,1} \times 105^0} \times 1,07 \times 1,6 = 3559,11N$$

### 17. Potência de corte

A potência de corte determina-se através da fórmula:

$$N_c = \frac{P_z \times V_r}{60000} = \frac{3559,11 \times 23,75}{60000} = 1,4kW$$

### 18. Verificação da potência

A verificação é feita através da condição:

$$N_c < N_m \times \eta$$

Onde:  $\eta$  é o rendimento do acionamento, situado entre 0,65 e 0,85

Calculando obtém-se:  $1,4 < 7,5 \times 0,75 \Rightarrow 1,4 < 5,62$ . Então a condição verifica-se.

### 19. Coeficiente de uso da máquina

O coeficiente de uso da máquina obtém-se através da fórmula:

$$C_{um} = \frac{N_c}{N_m \times \eta} = \frac{1,4}{7,5 \times 0,75} = 0,25$$

### 20. Coeficiente de uso da ferramenta

O coeficiente de uso da ferramenta obtém-se através da fórmula:

$$C_{uf} = \frac{V_r}{V_c} = \frac{23,75}{22,06} = 1,08$$

### 21. Comprimento de entrada da fresa

O comprimento de entrada da fresa obtém-se através da fórmula:

$$l_e = 0,5D_f - \sqrt{0,25(D_f^2 - B_s^2)} = 0,5 \times 72 - \sqrt{0,25 \times (72^2 - 60^2)} = 16mm$$

### 22. Tempo de tratamento principal

O tempo de tratamento principal obtém-se através da fórmula:

$$t_p = \frac{(C_s + l_e + l_s)}{S_m}$$

Onde: L – é o comprimento percorrido pela ferramenta;

C – é o comprimento da superfície trabalhada, em mm, que é igual a 258 mm;

$l_s$  - é o comprimento da saída da ferramenta que é igual a 3 mm;

$l_e$  é o comprimento da entrada da ferramenta.

$$\text{Assim: } t_p = \frac{(258 + 129 + 3)}{1250} = 0,22 \text{ min} = 14 \text{ segundos}$$

### 23. Resultados obtidos

- Tipo de ferro de corte: fresa frontal (de cabo);
- Material da parte cortante: GOST P6M5
- Geometria de afiação:  $\alpha = 15^\circ$     $\alpha_1 = 8^\circ$     $\gamma_{ch} = -5^\circ$     $\gamma = 15^\circ$     $\lambda = 5^\circ$     $\varphi = 60^\circ$   
 $\varphi_0 = 30^\circ$
- Modelo e Potência da fresadora: 6P12;  $N_m = 7,5 \text{ kW}$
- Coeficiente de uso da máquina:  $C_{um} = 0,25$
- Regime de corte:  $t = 0,24 \text{ mm}$     $S_{mv} = 0,99 \text{ mm/min}$     $V_r = 23,75 \text{ m/min}$     $n_m = 105 \text{ rpm}$   
 $N_c = 1,65 \text{ kW}$     $t_p = 0,22 \text{ min} = 14 \text{ segundos}$ .

### 3.5. Fresagem de acabamento fino das superfícies do curso da corredeira

#### 1. Profundidade de corte

A profundidade de corte é já conhecida:  $t = 0,13 \text{ mm}$

#### 2. Avanços máximos admissíveis

Da tabela 34 da página 43 tirou-se, em função da potência da máquina ferramenta, o valor:

$S_z = 0,1 \text{ mm/dente}$ .

Da tabela 36 da página 44, para o diâmetro da fresa e profundidade de corte  $t = 0,01$  mm, tirou-se:  $S_z = 0,16$  mm/dente

Da tabela 37 da página 45, em função da rugosidade da superfície, tirou-se:  $S_v = 1,6$  mm/volta

### 3. Avanço na fresadora

Determina-se o avanço na fresadora pela fórmula:  $S_{vc} = S_v \times Z = 1,6 \times 14 = 22,4$  mm / volta

### 4. Avanço da máquina

Pela condição  $S_{vm} \leq S_{vc}$ , escolhe-se no catálogo da máquina o avanço da máquina:  $S_{vm} = 1,7$  mm / volta .

### 5. Coeficientes e expoentes para cálculo da velocidade de corte

Da tabela 39 da página 45, em função do tipo da ferramenta de corte, do material da peça e da profundidade de corte escolhem-se os coeficientes:

$$C_v = 64,7 \quad q_v = 0,25 \quad x_v = 0,1 \quad y_v = 0,2 \quad u_v = 0,15 \quad p_y = 0 \quad m = 0,2$$

### 6. Duração da fresa

Da tabela 40, página 47 escolhe-se a duração da fresa  $T_e = 180$  min. Da tabela 7 da página 30 escolhe-se  $K_{Tf} = 1$  e da tabela 8 da página 30 escolhe-se  $K_{Tm} = 1$ . Assim a duração da fresa é:

$$T = T_e \times K_{Tf} \times K_{Tm} = 180 \times 1 \times 1 = 180 \text{ min}$$

### 7. Coeficientes de correcção da velocidade

Da tabela 2 da Página 29, em função do material da peça e do material da ferramenta extraem-se os coeficientes:  $C_m = 1,0$   $n_v = 0,9$ ;

Da tabela 3 da página 29, em função do material da peça tira-se o coeficiente:  $K_{mv} = 0,75$  ;

Da tabela 5 da página 30, em função do estado da superfície da peça tira-se o coeficiente:  $K_{esv} = 0,85$

Da tabela 6 da página 30, em função do material da peça tira-se o coeficiente:  $K_{mfv} = 1$ ;

### 8. Velocidade de corte

A velocidade de corte obtém-se através da fórmula:

$$V_c = \frac{C_v \times D^{q_v}}{T^m \times t^{x_v} \times S_z^{y_v} \times B^{u_v} \times Z^{p_v}} \times k_v$$

Onde  $k_v = K_{mv} \times K_{esv} \times K_{mfv} = 0,75 \times 0,85 \times 1 = 0,64$

$$V_c = \frac{64,7 \times 72^{0,25}}{180^{0,2} \times 0,13^{0,1} \times 1,7^{0,4} \times 60^{0,15} \times 14^0} \times 0,64 = 25,13 \text{ m/min}$$

### 9. Frequência de rotações da árvore principal

A frequência de rotações obtém-se através da fórmula:

$$n_c = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D_{inc}} = \frac{1000 \times 25,13}{\pi \times 72} = 111,1 \text{ rpm}$$

### 10. Frequência de rotações da árvore principal da máquina

Escolheu-se a frequência de rotação da árvore principal pela máquina  $n_m$ , da série das frequências disponíveis para a fresadora 6P12 que é maior mas menor 1.1  $n_c$ , que corresponde a:  $n_m = 105 \text{ rpm}$ .

### 11. Velocidade real de corte

A velocidade de corte para superfícies externas determina-se através da fórmula:

$$V_r = \frac{\pi \times D_{inc} \times n_m}{1000}$$

Calculando obtém-se:  $V_r = \frac{\pi \times 72 \times 105}{1000} = 23,75 \text{ m/min}$

Pela fórmula  $S_{mc} = S_{zc} \times Z \times n_m$ , determina-se o avanço  $S_{mc}$ .

$$S_{mc} = 14 \times 105 \rightarrow S_{mc} = 1470 \text{ mm/min}$$

### 12. Velocidade de avanço pela máquina

Escolheu-se o avanço pela máquina  $S_{mm}$ , pelo catalogo da fresadora 6P12, de modo que  $S_{mm}$  seja igual ou menor que  $S_{mc}$ , que corresponde a:  $S_{mm} = 1250 \text{ mm/min}$ .

### 13. Avanço real da máquina

Recalcula-se o avanço real por dente pela fórmula:  $S_{zr} = \frac{S_{mm}}{z \times n_m} = \frac{1250}{14 \times 105} = 0,85mm / dente$

#### 14. Coeficientes e expoentes para cálculo da força de corte

Da tabela 41 da página 47, em função do material da peça e da ferramenta e do tipo de tratamento, tira-se:

$$C_p = 825 \quad X_p = 0,95 \quad Y_p = 0,8 \quad u_p = 1,1 \quad w_p = 0 \quad q_p = 1,1$$

#### 15. Coeficientes de correcção da força de corte

Da tabela 9 da Página 31, em função das propriedades do material da peça, tira-se:

$$K_{MP} = (\sigma_t / 750)^{0,75} = (823 / 750)^{0,75} = 1,07$$

Da página 31, em função do desgaste da ferramenta, tira-se:  $K_{df} = 1,6$

#### 16. Força de corte

A força de corte obtém-se através da fórmula:

$$P_z = \frac{C_p \times t^{x_p} \times S_{zr}^{y_p} \times B^{u_p} \times z}{D^{q_p} \times n_m^{w_p}} \times K_{mp} \times K_{df}$$

$$P_z = \frac{825 \times 0,13^{0,95} \times 0,85^{0,8} \times 60^{1,1} \times 12}{72^{1,1} \times 105^0} \times 1,07 \times 1,6 = 2050,11N$$

#### 17. Potência de corte

A potência de corte determina-se através da fórmula:

$$N_c = \frac{P_z \times V_r}{60000} = \frac{2050,11 \times 23,8}{60000} = 0,81kW$$

#### 18. Verificação da potência

A verificação é feita através da condição:

$$N_c < N_m \times \eta$$

Onde:  $\eta$  é o rendimento do acionamento, situado entre 0,65 e 0,85

Calculando obtém-se:  $0,81 < 7,5 \times 0,75 \Rightarrow 0,81 < 5,63$ . Então a condição verifica-se.

### 19. Coeficiente de uso da máquina

O coeficiente de uso da máquina obtém-se através da fórmula:

$$C_{um} = \frac{N_c}{N_m \times \eta} = \frac{0,81}{7,5 \times 0,75} = 0,144$$

### 20. Coeficiente de uso da ferramenta

O coeficiente de uso da ferramenta obtém-se através da fórmula:

$$C_{uf} = \frac{V_r}{V_c} = \frac{23,8}{25,13} = 0,94$$

### 21. Comprimento de entrada da fresa

O comprimento de entrada da fresa obtém-se através da fórmula:

$$l_e = 0,5D_f - \sqrt{0,25(D_f^2 - B_s^2)} = 0,5 \times 72 - \sqrt{0,25 \times (72^2 - 60^2)} = 16mm$$

### 22. Tempo de tratamento principal

O tempo de tratamento principal obtém-se através da fórmula:

$$t_p = \frac{(C_s + l_e + l_s)}{S_m}$$

Onde: L – é o comprimento percorrido pela ferramenta;

C – é o comprimento da superfície trabalhada, em mm, que é igual a 260 mm;

$l_s$  - é o comprimento da saída da ferramenta que é igual a 3 mm;

$l_e$  é o comprimento da entrada da ferramenta.

$$\text{Assim: } t_p = \frac{(260 + 16 + 3)}{1250} = 0,22 \text{ min} = 13 \text{ segundos}$$

### 23. Resultados obtidos

- Tipo de ferro de corte: fresa frontal (de cabo);

- Material da parte cortante: GOST P6M5
- Geometria de afiação:  $\alpha = 15^\circ$     $\alpha_1 = 8^\circ$     $\gamma_{ch} = -5^\circ$     $\gamma = 15^\circ$     $\lambda = 5^\circ$     $\varphi = 60^\circ$   
 $\varphi_0 = 30^\circ$
- Modelo e Potência da fresadora: 6P12;  $N_m = 7,5kW$
- Coeficiente de uso da máquina:  $C_{um} = 0,14$
- Regime de corte:  $t = 0,13mm$     $S_{mv} = 1,7mm/min$     $V_r = 23,8m/min$     $n_m = 105rpm$   
 $N_c = 0,81kW$     $t_p = 0,22min = 13segundos$ .

Tabela 17.7 Resultados obtidos do facejamento das superfícies do curso da corredeira (Fonte: Autor)

Detalhes da ferramenta de corte								
Material da ferramenta	$\alpha$	$\alpha_1$	$\gamma_{ch}$	$\gamma_{ch}$	$\gamma$	$\lambda$	$\varphi$	$B \times H \times L$
P6M5	$15^\circ$	$8^\circ$	$-15^\circ$	$-5^\circ$	$15^\circ$	$5^\circ$	$60^\circ$	$16 \times 25 \times 140$
Regimes de corte								
Operação	t (mm)	Sv (mm/vol)	Vr (m/min)	$n_m$	$N_c$ (kW)	tp(seg)	—	—
Desbastamento	1,2	0,2	33,93	150	6,04	64	—	—
Acabamento	0,24	0,99	23,75	105	1,65	14	—	—
Acabamento fino	0,13	1,7	23,8	105	0,8	13	—	—

### 3.6. Torneamento de desbastamento das faces laterais

Para o cálculo dos regimes de corte do facejamento das faces laterais tem-se como dados de partida:

Operação: Facejamento de semiacabamento

Material a ser tratado: 40XJI, HB = 248, Rm = 823 MPa, A = 20%

Profundidade de corte: t = 1,97 mm

Para o cálculo dos regimes de corte seguem-se as instruções na referência bibliográfica [4].

## 1. Modelo do torno

Da referência bibliográfica [7], escolheu-se o torno mecânico modelo 1K62.

## 2. Tipo de ferramenta de corte

Das opções disponíveis na página 13 escolheu-se o ferro cortante direito acotovelado para facejar externo, que é adequado para o tratamento que se pretende realizar.

## 3. Material da parte cortante da ferramenta

Das recomendações da tabela da página 12 escolheu-se o material P10 (norma ISO), que serve para desbastamento, semiacabamento e para tratamento com choques de aços.

## 4. Dimensões principais do ferro cortante

Das recomendações da página 14 escolheram-se as dimensões:  $B \times H \times L = 16 \times 25 \times 140$

## 5. Parâmetros geométrico da parte cortante

Com base nas recomendações presentes nas páginas 23, e 24 escolhe-se os seguintes ângulos.

$$\alpha = 12 \quad \gamma = 30 \quad \gamma_{ch} = 0 \quad \varphi = 50 \quad \varphi_1 = 45 \quad Rb = 2mm \quad \lambda = 0$$

## 6. Sobresspessura

A Sobresspessura é já conhecida:  $z = 1,9 \text{ mm}$

## 7. Profundidade de corte

A profundidade de corte é já conhecida:  $t = 1,9 \text{ mm}$

## 8. Avanços máximos admissíveis

Da tabela 11 da página 32 tirou-se, em função das dimensões e material da peça, o valor:  $S_v = 1,3 \text{ mm/vol}$

Da tabela 12 da página 32, para espessura da pastilha de 4 mm, tirou-se:  $S_v = 1,6 \text{ mm/vol}$

Da tabela 13 da página 33, em função das dimensões da ferramenta e da profundidade de corte, tirou-se:  $S_v = 0,08 \text{ mm/vol}$

Da tabela 14 da página 34, para a rugosidade pretendida na peça e raio do bico da ferramenta de corte, tirou-se:  $S_v = 0,55 \text{ mm/vol}$

## 9. Avanço mínimo

Dos avanços máximos admissíveis escolhe-se o avanço mínimo, que corresponde a:  $S_v = 0,08$  mm/vol

### 10. Avanço da máquina

Dos avanços disponíveis para máquina escolhida escolhe-se o menor e mais próximo do avanço mínimo:  $S_v = 0,076$  mm/vol

### 11. Coeficientes e expoentes para cálculo da velocidade de corte

Da tabela 17 da página 35, em função do tipo de tratamento, do material da peça e da profundidade de corte escolhem-se os coeficientes:

$$C_v = 420 \quad x_v = 0,15 \quad y_v = 0,2 \quad m = 0,2$$

### 12. Período de resistência

Das recomendações da página 4 escolhe-se  $T_e = 60$  min, e da tabela 7 da página 30 escolhe-se  $K_{Tf} = 1$  e da Tabela 8 da Página 30 escolhe-se  $K_{Tm} = 1$ . Assim o período de resistência é:

$$T = T_e \times K_{Tf} \times K_{Tm} = 60 \times 1 \times 1 = 60 \text{ min}$$

### 13. Coeficientes de correcção da velocidade

Da Tabela 2 da Página 29, em função do material da peça e do material da ferramenta extraem-se os coeficientes:  $C_m = 1,0$   $n_v = 1,0$ ;

Da Tabela 3 da Página 29, em função do material da peça tira-se o coeficiente:  $K_{mv} = 0,75$ ;

Da Tabela 5 da Página 30, em função do estado da superfície da peça tira-se o coeficiente:  $K_{esv} = 0,85$

Da Tabela 6 da Página 30, em função do material da peça tira-se o coeficiente:  $K_{mfv} = 1$ ;

Da Tabela 18a da Página 36, em função de parâmetros do ferro cortante tiram-se os coeficientes:

$$K_{\phi v} = 1 \quad K_{\phi 1v} = 0,94 \quad K_{r_v} = 1;$$

Da tabela 18b da página 36, em função das dimensões do cabo da ferramenta tira-se o coeficiente:  $K_{qv} = 0,97$

;

Da Tabela 18c da Página 36, em função do método de tratamento, tira-se o coeficiente:  $K_{mv} = 1,24$

#### 14. Velocidade de corte

A velocidade de corte obtém-se através da fórmula:

$$V_c = \frac{C_v \times C_{cv}}{T^m \times t^{x_v} \times S_{vm}^{y_v}} \times k_v$$

Onde  $k_v = K_{mv} \times K_{esv} \times K_{mfv} \times K_{\phi v} \times K_{\phi 1v} \times K_{rv} \times K_{qv} \times K_{mtv}$

$$k_v = 0,75 \times 0,85 \times 1 \times 1 \times 0,94 \times 1 \times 0,97 \times 1,24 = 0,72$$

$$V_c = \frac{420 \times 1}{60^{0,2} \times 1,34^{0,15} \times 0,075^{0,2}} \times 0,72 = 213,9 \text{ m/min}$$

#### 15. Frequência de rotações da árvore principal

A frequência de rotações obtém-se através da fórmula:

$$n_c = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D_{inc}} = \frac{1000 \times 213,9}{\pi \times 42} = 1620,86 \text{ rpm}$$

#### 16. Frequência de rotações da árvore principal da máquina

Escolheu-se a frequência de rotação da árvore principal pela máquina  $n_m$ , da série das frequências disponíveis para o torno paralelo 1K62 que é maior mas menor 1.1  $n_c$ , que corresponde a:  $n_m = 1500 \text{ rpm}$ .

#### 17. Velocidade real de corte

Determina-se a velocidade de corte para superfícies externas:

$$V_r = \frac{\pi \times D_{inc} \times n_m}{1000} = \frac{\pi \times 45 \times 1500}{1000} = 197,92 \text{ m/min}$$

#### 18. Coeficientes e expoentes para cálculo da força de corte

Da Tabela 22 da Página 37, em função do material da peça e da ferramenta e do tipo de tratamento, tira-se:

$$C_{pz} = 3000 \quad X_{pz} = 1 \quad Y_{pz} = 0,75 \quad n_{pz} = -0,15.$$

#### 19. Coeficientes de correcção da força de corte

Da Tabela 9 da Página 31, em função das propriedades do material da peça, tira-se:

$$K_{MP} = \left( \sigma_t / 750 \right)^{0,75} = \left( 823 / 750 \right)^{0,75} = 1,07$$

Da Página 31, em função do desgaste da ferramenta, tira-se:  $K_{df} = 1,6$

Da Tabela 23 da Página 39, em função de parâmetros geométricos da parte cortante da ferramenta, tira-se:

$$K_{\varphi p} = 0,94 \quad K_{\eta p} = 1 \quad K_{\lambda p} = 1 \quad K_{\tau p} = 1$$

## 20. Força de corte

A força de corte obtém-se através da fórmula:

$$P_z = C_{px} \times t^{x_{pz}} \times S_{vm}^{y_p} \times V_r^{n_{pz}} \times K_p \quad (39)$$

Onde:  $k_p = K_{mp} \times K_{df} \times K_{\varphi p} \times K_{\eta p} \times K_{\tau p} \times K_{\lambda p}$

$$k_p = 1,07 \times 1,6 \times 0,94 \times 1 \times 1 \times 1 = 1,61$$

$$P_z = 3000 \times 1,34^1 \times 0,075^{0,75} \times 197,92^{-0,15} \times 1,61 = 1742,22 N$$

## 21. Potência de corte

A potência de corte determina-se através da fórmula:

$$N_c = \frac{P_z \times V_r}{60000} = \frac{1742,22 \times 197,92}{60000} = 5,75 kW$$

## 22. Verificação da potência

A verificação é feita através da condição:

$$N_c < N_m \times \eta$$

Onde:  $\eta$  é o rendimento do acionamento, situado entre 0,65 e 0,85

Calculando obtém-se:  $5,75 < 10 \times 0,75 \Rightarrow 5,75 < 7,5$ . Então a condição verifica-se.

## 23. Coeficiente de uso da máquina

O coeficiente de uso da máquina obtém-se através da fórmula:

$$C_{um} = \frac{N_c}{N_m \times \eta} = \frac{5,75}{10 \times 0,75} = 1,18$$

## 24. Coeficiente de uso da ferramenta

O coeficiente de uso da ferramenta obtém-se através da fórmula:

$$C_{uf} = \frac{V_r}{V_c} = \frac{197,92}{213,87} = 0,98$$

## 25. Tempo de tratamento principal

O tempo de tratamento principal obtém-se através da fórmula:

$$t_p = \frac{L}{n_m \times S_m} \quad \text{com } L = C + l_e + l_s \quad (40)$$

Onde: L – é o comprimento percorrido pela ferramenta;

C – é o comprimento da superfície trabalhada, em mm;

$l_s$  - é o comprimento da saída da ferramenta;

$l_e$  é o comprimento da entrada da ferramenta.

$$l_e = 2 + t \times \cot g(\varphi) = 2 + 1,34 \times \cot g(50) = 3,13mm \quad l_s = 3mm \quad (41)$$

$$C = \frac{C_{inc} - C_{fm}}{2} = \frac{45 - 42}{2} = 1,5$$

$$L = 1,5 + 3,63 + 3 = 7,63m$$

$$\text{Assim: } t_p = \frac{7,63}{1000 \times 0,076} = 0,087 \text{ min} = 6 \text{ segundos}$$

## 26. Resultados obtidos

- Tipo de ferro de corte: ferro cortante direito acotovelado para facejar externo;
- Material da parte cortante: ISO P10
- Dimensões:  $B \times H \times L = 16 \times 25 \times 140$
- Geometria de afiação:  $\alpha = 12 \quad \gamma = 30 \quad \gamma_{ch} = 0 \quad \varphi = 50 \quad \varphi_1 = 45 \quad Rb = 2mm \quad \lambda = 0$
- Modelo e Potência do torno: 1K62;  $N_m = 10kW$
- Coeficiente de uso da máquina:  $C_{um} = 1,18$

- Regime de corte:  $t = 1,97\text{mm}$     $S_{mv} = 0,076 \text{ min/ vol}$     $V_r = 197,92\text{m/ min}$     $n_m = 1500 \text{ rpm}$   
 $N_c = 3,95\text{kW}$     $t_p = 0,087 \text{ min} = 6\text{segundos}$ .

### 3.7. Torneamento de semiacabamento das faces laterais

#### 1. Profundidade de corte

A profundidade de corte é já conhecida:  $t = 1,68 \text{ mm}$

#### 2. Avanços máximos admissíveis

Da tabela 11 da página 32 tirou-se, em função das dimensões e material da peça, o valor:  $S_v = 1,3 \text{ mm/vol}$

Da tabela 12 da página 32, para espessura da pastilha de 4 mm, tirou-se:  $S_v = 1,6 \text{ mm/vol}$

Da tabela 13 da página 33, em função das dimensões da ferramenta e da profundidade de corte, tirou-se:  $S_v = 0,08 \text{ mm/vol}$

Da tabela 14 da página 34, para a rugosidade pretendida na peça e raio do bico da ferramenta de corte, tirou-se:  $S_v = 0,55 \text{ mm/vol}$

#### 3. Avanço mínimo

Dos avanços máximos admissíveis escolhe-se o avanço mínimo, que corresponde a:  $S_v = 0,08 \text{ mm/vol}$

#### 4. Avanço da máquina

Dos avanços disponíveis para máquina escolhida escolhe-se o menor e mais próximo do avanço mínimo:  $S_v = 0,076 \text{ mm/vol}$

#### 5. Coeficientes e expoentes para cálculo da velocidade de corte

Da Tabela 17 da Página 35, em função do tipo de tratamento, do material da peça e da profundidade de corte escolhem-se os coeficientes:  $C_v = 420$     $x_v = 0,15$     $y_v = 0,2$     $m = 0,2$

#### 6. Período de resistência

Das recomendações da página 4 escolhe-se  $T_e = 100 \text{ min}$ . Da tabela 7 da Página 30 escolhe-se  $K_{Tf} = 1$  e da Tabela 8 da Página 30 escolhe-se  $K_{Tm} = 1$ . Assim o período de resistência é:

$$T = T_e \times K_{Tf} \times K_{Tm} = 100 \times 1 \times 1 = 100 \text{ min}$$

### 7. Coeficientes de correção da velocidade

Da tabela 2 da página 29, em função do material da peça e do material da ferramenta extraem-se os coeficientes:  $C_m = 1,0$   $n_v = 1,0$ ;

Da tabela 3 da página 29, em função do material da peça tira-se o coeficiente:  $K_{mv} = 0,75$ ;

Da tabela 5 da página 30, em função do estado da superfície da peça tira-se o coeficiente:  $K_{esv} = 0,85$

Da tabela 6 da página 30, em função do material da peça tira-se o coeficiente:  $K_{mfv} = 1$ ;

Da tabela 18a da página 36, em função de parâmetros do ferro cortante tiram-se os coeficientes:

$$K_{\phi v} = 1 \quad K_{\phi 1v} = 0,94 \quad K_{rv} = 1;$$

Da tabela 18b da página 36, em função das dimensões do cabo da ferramenta tira-se o coeficiente:  $K_{qv} = 0,97$

Da tabela 18c da página 36, em função do método de tratamento, tira-se o coeficiente:  $K_{mtv} = 1,24$

### 8. Velocidade de corte

A velocidade de corte obtém-se através da fórmula:

$$V_c = \frac{C_v \times C_{cv}}{T^m \times t^{x_v} \times S_{vm}^{y_v}} \times k_v$$

Onde  $k_v = K_{mv} \times K_{esv} \times K_{mfv} \times K_{\phi v} \times K_{\phi 1v} \times K_{rv} \times K_{qv} \times K_{mtv}$

$$k_v = 0,75 \times 0,85 \times 1 \times 1 \times 0,94 \times 1 \times 0,97 \times 1,24 = 0,72$$

$$V_c = \frac{420 \times 1}{100^{0,2} \times 0,19^{0,15} \times 0,076^{0,2}} \times 0,72 = 258,87 \text{ m/min}$$

### 9. Frequência de rotações da árvore principal

A frequência de rotações obtém-se através da fórmula:

$$n_c = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D_{inic}} = \frac{1000 \times 258,87}{\pi \times 42} = 1961,9 \text{ rpm}$$

## 10. Frequência de rotações da árvore principal da máquina

Escolheu-se a frequência de rotação da árvore principal pela máquina  $n_m$ , da série das frequências disponíveis para o torno 1K62 que é maior mas menor 1.1 nc, que corresponde a:  $n_m = 1500 \text{ rpm}$ , que é a rotação máxima do torno 1K62.

## 11. Velocidade real de corte

A velocidade de corte para superfícies externas determina-se através da fórmula:

$$V_r = \frac{\pi \times D_{inc} \times n_m}{1000} = \frac{\pi \times 42 \times 1500}{1000} = 197,92 \text{ m / min}$$

## 12. Tempo de tratamento principal

O tempo de tratamento principal obtém-se através da fórmula:

$$t_p = \frac{L}{n_m \times S_m} \quad \text{com } L = C + l_e + l_s$$

Onde: L – é o comprimento percorrido pela ferramenta;

C – é o comprimento da superfície trabalhada, em mm;

$l_s$  - é o comprimento da saída da ferramenta;

$l_e$  é o comprimento da entrada da ferramenta.

$$l_e = 2 + t \times \cot g(\varphi) = 2 + 0,19 \times \cot g(50) = 3,65 \text{ mm} \quad l_s = 3 \text{ mm}$$

$$C = \frac{C_{inc} - C_{fin}}{2} = \frac{45 - 42}{2} = 1,5 \tag{42}$$

$$L = 1,5 + 3,65 + 3 = 7,63 \text{ m}$$

$$\text{Assim: } t_p = \frac{7,63}{1500 \times 0,075} = 0,067 \text{ min} = 4 \text{ segundos}$$

## 13. Resultados obtidos

- Tipo de ferro de corte: ferro cortante direito acotovelado para facejar externo;
- Material da parte cortante: ISO P10

- Dimensões:  $B \times H \times L = 16 \times 25 \times 140$
- Geometria de afiação:  $\alpha = 12 \quad \gamma = 30 \quad \gamma_{ch} = 0 \quad \varphi = 50 \quad \varphi_1 = 45 \quad Rb = 2mm \quad \lambda = 0$
- Modelo e Potência do torno: 1K62;  $N_m = 10kW$
- Coeficiente de uso da máquina:  $C_{um} = 0,53$
- Regime de corte:  $t = 1,68mm \quad S_{mv} = 0,076 \text{ min/vol} \quad V_r = 197,92m/\text{min} \quad n_m = 1500 \text{ rpm}$   
 $N_c = 5,75kW \quad t_p = 0,087 \text{ min} = 6\text{segundos}.$

Tabela 18.7 Resultados obtidos do facejamento das faces laterais (Fonte: Autor)

Detalhes da ferramenta de corte								
Material da ferramenta	$\alpha$	$\gamma$	$\gamma_{ch}$	$\varphi$	$\varphi_1$	$R_b$	$\lambda$	$B \times H \times L$
P10	12°	30°	0°	50°	45°	2mm	0°	16 × 25 × 140
Regimes de corte								
Operação	Dim. Inicial (mm)	Dim. Final (mm)	t (mm)	Sv (mm/vol)	Vr (m/min)	$n_m$	$N_c$ (kW)	tp(seg)
Desbastamento	45,7	43,7	1,97	1,6	197,92	1500	5,74	7
Semiacabamento	43,7	42	1,68	0,08	197,9	1500	5,74	6

### 3.8. Alargamento de desbastamento do furo central

#### Dimensões da peça bruta

O diâmetro da peça bruta é dado pela subtração do diâmetro final da peça pela soma das sobressessuras no alargamento de desbaste, acabamento e mandrilagem de acabamento do furo.

$$D_{bruta} = D_{final} - \sum \text{sobressessuras} \quad (43)$$

$$D_{bruta} = 45 - (2 \times 2,57 + 2 \times 0,36 + 2 \times 0,03) = 39,1mm$$

#### 1. Modelo do torno

Dadas as características tecnológicas das superfícies geradas pelo torneamento, o alargamento do furo central será feito no torno mecânico.

Assim sendo, escolheu-se o torno mecânico 16K20.

## 2. Tipo de ferro cortante

Das opções disponíveis na página 15 opta-se por um alargador.

## 3. Material da parte cortante da ferramenta

Como o material a ser trabalhado não tem alta dureza, escolhe-se aço rápido P6M5, norma GOST.

## 4. Parâmetros geométrico da parte cortante

Com base nas recomendações presentes nas páginas 23, e 24 escolhe-se os seguintes ângulos.

$$\alpha = 8^\circ \quad \varphi = 60^\circ \quad \omega = 20^\circ \quad \varphi_0 = 30^\circ$$

## 5. Profundidade de corte

$$t = \frac{D_f - D_{inicial}}{2} = \frac{45 - 39,1}{2} = 2,57mm \quad (44)$$

## 6. Avanços máximos admissíveis e coeficientes de correcção de avanço

Da tabela 26 da página 40 escolhe-se o avanço tabelado ( $S_{vt}$ ) de acordo com o material a trabalhar e o diâmetro da ferramenta (Df):  $S_{vt} = 1,3mm / v$ .

Tomando as recomendações da tabela 26 da página 40 de [4], toma-se o coeficiente  $K_{mts} = 0,7$ .

Determina-se o avanço calculado por:  $S_{vm} = S_{vt} \times K_{mts} = 1,3 \times 0,7 = 0,91mm / v$

## 7. Avanço da máquina

Dos avanços disponíveis para máquina escolhida escolhe-se o avanço mais próximo e menor ao calculado e teve-se o seguinte valor:  $S_{vm} = 0,8mm / v$

## 8. Coeficientes e expoentes para cálculo da velocidade de corte

Da tabela 29 da página 41 são obtidos os seguintes coeficientes:

$$C_v = 16,3 \quad q_v = 0,3 \quad x_v = 0,2 \quad y_v = 0,5 \quad m = 0,3$$

## 9. Período de resistência

Da tabela 30 página 42 escolhe-se  $T_e = 60$  min

Coefficientes de correcção da duração da ferramenta de corte:

Da tabela 7 da página 30 escolhe-se  $K_{Tf} = 1$  e da tabela 8 da Página 30 escolhe-se  $K_{Tm} = 1$ .

Duração da ferramenta de corte:  $T = T_e \times K_{Tf} \times K_{Tm} = 60 \times 1 \times 1 = 60$  min

### 10. Coeficientes de correcção da velocidade

Da tabela 5 e 6 da página 30 tem-se os seguintes coeficientes:  $K_{esv} = 0,85$   $K_{mfv} = 1$   $C_m = 1$   $n_v = 0,9$

Determina-se o coeficiente  $K_{mv}$ :  $K_{mv} = C_m \times (750 / \sigma_r)^{n_v} = 1 \times (750 / 823)^{0,9} = 0,92$

Da tabela 31, página 42, tem-se o coeficiente  $K_{lv} = 1$  e da tabela 6, nota 13 da página 6, tem-se:  $K_{av} = 1$

$$K_v = K_{mv} \times K_{esv} \times K_{mfv} \times K_{lv} \times K_{av} = 0,92 \times 0,85 \times 1 \times 1 \times 1 = 0,78$$

### 11. Velocidade de corte

A velocidade de corte obtém-se através da fórmula:

$$V_c = \frac{C_v \times D_f^{q_v}}{T^m \times t^{x_v} \times S_m^{y_v}} \times K_v = \frac{16,3 \times 44,22^{0,3}}{60^{0,3} \times 2,57^{0,2} \times 0,8^{0,5}} \times 0,78 = 10,76 \text{ m/min}$$

### 12. Frequência de rotações da árvore principal

$$n_c = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D_f} = \frac{1000 \times 10,76}{44,22} = 77,47 \text{ rpm}$$

### 13. Frequência de rotações da árvore principal da máquina

Escolheu-se a frequência de rotação da árvore principal pela máquina  $n_m$ , da série das frequências disponíveis para o torno 16K20 que é maior mas menor do valor calculado, que corresponde a:  $n_m = 63 \text{ rpm}$ .

### 14. Velocidade real de corte

$$V_r = \frac{\pi \times D_f \times n_m}{1000} = \frac{\pi \times 45 \times 63}{1000} = 8,91 \text{ m/min}$$

### 15. Coeficientes e expoentes para cálculo do momento torsor e força axial

Da tabela 32 da página 42 obtêm-se:

$$C_m = 0,9 \quad q_m = 1 \quad x_m = 0,9 \quad y_m = 0,8 \quad C_p = 670 \quad q_p = 0 \quad x_p = 1,2 \quad y_p = 0,65 \quad K_{ap} = 1$$

### 16. Coeficientes de correcção da força de corte

Da tabela 9 da página 31, em função das propriedades do material da peça, tira-se:

$$K_{mp} = (\sigma_t / 750)^{0,75} = (823 / 750)^{0,75} = 1,07$$

Da página 31, em função do desgaste da ferramenta, tira-se:  $K_{df} = 1,8$

### 17. Momento torsor

$$M_t = C_m \times D_f^{q_m} \times t^{x_m} \times S_{vm}^{y_m} \times K_{mp} \times K_{ap} \times K_{df} \quad (45)$$

$$M_t = 0,9 \times 44,22^1 \times 2,57^{0,9} \times 1,12^{0,8} \times 1,07 \times 1 \times 1,8 = 150,4 Nm$$

### 18. Força axial de corte

$$K_p = K_{mp} \times K_{df} = 1,07 \times 1,8 = 1,93$$

$$P_a = C_p \times D_f^{q_p} \times t^{x_p} \times S_{vm}^{y_p} \times K_p = 670 \times 44,22^0 \times 2,57^{1,2} \times 0,8^{0,65} \times 1 = 3476,35 N \quad (46)$$

### 19. Potência de corte

$$N_c = \frac{M_t \times n_m}{9550} = \frac{150,4 \times 63}{9550} = 0,99 kW$$

### 20. Verificação da potência

A verificação é feita através da condição:

$$N_c < N_m \times \eta \quad \text{Onde: } \eta \text{ é o rendimento do acionamento, situado entre 0,65 e 0,85}$$

Calculando obtêm-se:  $0,99 < 10 \times 0,75 \Rightarrow 0,99 < 7,5$ . Então a condição verifica-se.

### 21. Coeficiente de uso da máquina

$$C_{um} = \frac{N_c}{N_m \times \eta} = \frac{0,99}{10 \times 0,75} = 0,13$$

## 22. Coeficiente de uso da ferramenta

$$C_{uf} = \frac{V_r}{V_c} = \frac{8,75}{10,76} = 0,83$$

## 23. Tempo de tratamento principal

O tempo de tratamento principal obtém-se através da fórmula:

$$t_p = \frac{C_f \times t \times \text{ctg}\varphi + l_s}{S_{vm} \times n_m}$$

Onde:  $C_f$  – é o comprimento do furo, em mm, correspondente a  $C_f = 20\text{mm}$  ;

$l_s$  - é o comprimento da saída da ferramenta,  $l_s = 3\text{mm}$  .

$$\text{Assim: } t_p = \frac{C_f \times t \times \text{ctg}\varphi + l_s}{S_{vm} \times n_m} = \frac{20 \times 2,57 \times \text{ctg}60^\circ + 3}{0,8 \times 63} = 0,65 \text{ min} = 39 \text{ segundos}$$

## 24. Resultados obtidos

- Tipo de ferro de corte: Alargador;
- Material da parte cortante: P6M5
- Geometria de afiação:  $\alpha = 8^\circ$       $\varphi = 60^\circ$       $\omega = 20^\circ$       $\varphi_0 = 30^\circ$
- Modelo e Potência da furadora: Torno modelo 1K62,  $N_m = 10\text{kW}$
- Coeficiente de uso da máquina:  $C_{um} = 0,13$
- Regime de corte:  $t = 2,57\text{mm}$       $S_{mv} = 0,8 \text{ min/ vol}$       $V_r = 8,91\text{m/min}$       $n_m = 63\text{rpm}$       $N_c = 0,99\text{kW}$   
 $t_p = 0,65 \text{ min} = 39 \text{ segundos}$  .

## 3.9. Alargamento de acabamento do furo central

### 1. Profundidade de corte

$$t = \frac{D_{\text{aposAcabamento}} - D_{\text{aposDesbaste}}}{2} = \frac{44,94 - 44,22}{2} = 0,36\text{mm}$$

### 2. Avanços máximos admissíveis e coeficientes de correcção de avanço

Da tabela 26 da página 40 escolhe-se o avanço tabelado ( $S_{vt}$ ) de acordo com o material a trabalhar e o diâmetro da ferramenta (Df):  $S_{vt} = 1,2mm/v$ .

Tomando as recomendações da tabela 26 da página 40 de [4], toma-se o coeficiente  $K_{mts} = 0,7$ .

Determina-se o avanço calculado por:  $S_{vm} = S_{vt} \times K_{mts} = 1,2 \times 0,7 = 0,84mm/v$

### 3. Avanço da máquina

Dos avanços disponíveis para máquina escolhida escolhe-se o avanço mais próximo e menor o calculado e teve-se o seguinte valor:  $S_{vm} = 0,8mm/v$

### 4. Coeficientes e expoentes para cálculo da velocidade de corte

Da Tabela 29 da página 41 são obtidos os seguintes coeficientes:

$$C_v = 16,3 \quad q_v = 0,3 \quad x_v = 0,2 \quad y_v = 0,5 \quad m_v = 0,3$$

### 5. Período de resistência

Da tabela 30 página 42 escolhe-se  $T_e = 60$  min

Coeficientes de correção da duração da ferramenta de corte:

Da tabela 7 da página 30 escolhe-se  $K_{Tf} = 1$  e da tabela 8 da página 30 escolhe-se  $K_{Tm} = 1$ .

Duração da ferramenta de corte:  $T = T_e \times K_{Tf} \times K_{Tm} = 60 \times 1 \times 1 = 60$  min

### 6. Coeficientes de correção da velocidade

Da tabela 5 e 6 da página 30 tem-se os seguintes coeficientes:  $K_{esv} = 0,85$   $K_{mfv} = 1$   $C_m = 1$   $n_v = 0,9$

Determina-se o coeficiente  $K_{mv}$ :  $K_{mv} = C_m \times (750/\sigma_r)^{n_v} = 1 \times (750/823)^{0,9} = 0,92$

Da tabela 31, página 42, tem-se o coeficiente  $K_{lv} = 1$  e da tabela 6, nota 13 da página 6, tem-se:  $K_{av} = 1$

$$K_v = K_{mv} \times K_{esv} \times K_{mfv} \times K_{lv} \times K_{av} = 0,92 \times 0,85 \times 1 \times 1 \times 1 = 0,78$$

### 7. Velocidade de corte

A velocidade de corte obtém-se através da fórmula:

$$V_c = \frac{C_v \times D_f^{q_v}}{T^m \times t^{x_v} \times S_m^{y_v}} \times K_v = \frac{16,3 \times 44,94^{0,3}}{60^{0,3} \times 0,36^{0,2} \times 0,8^{0,5}} \times 0,78 = 16,03 \text{ m/min}$$

### 8. Frequência de rotações da árvore principal

$$n_c = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D_f} = \frac{1000 \times 16,03}{\pi \times 44,94} = 115,36 \text{ rpm}$$

### 9. Frequência de rotações da árvore principal da máquina

Escolheu-se a frequência de rotação da árvore principal pela máquina  $n_m$ , da série das frequências disponíveis para o torno 16K20 que é maior mas menor do valor calculado, que corresponde a:  $n_m = 100 \text{ rpm}$ .

### 10. Velocidade real de corte

$$V_r = \frac{\pi \times D_f \times n_m}{1000} = \frac{\pi \times 44,94 \times 100}{1000} = 13,9 \text{ m/min}$$

### 11. Coeficientes e expoentes para cálculo do momento torsor e força axial

Da tabela 32 da página 42 obtêm-se:

$$C_m = 0,9 \quad q_m = 1 \quad x_m = 0,9 \quad y_m = 0,8 \quad C_p = 670 \quad q_p = 0 \quad x_p = 1,2 \quad y_p = 0,65 \quad K_{ap} = 1$$

### 12. Coeficientes de correcção da força de corte

Da tabela 9 da página 31, em função das propriedades do material da peça, tira-se:

$$K_{mp} = (\sigma_t / 750)^{0,75} = (823 / 750)^{0,75} = 1,07$$

Da página 31, em função do desgaste da ferramenta, tira-se:  $K_{df} = 1,8$

### 13. Momento torsor

$$M_t = C_m \times D_f^{q_m} \times t^{x_m} \times S_{vm}^{y_m} \times K_{mp} \times K_{ap} \times K_{df}$$

$$M_t = 0,9 \times 44,94^1 \times 0,36^{0,9} \times 0,8^{0,8} \times 1,07 \times 1 \times 1,8 = 25,62 \text{ Nm}$$

### 14. Força axial de corte

$$K_p = K_{mp} \times K_{df} = 1,07 \times 1,8 = 1,93$$

$$P_a = C_p \times D_f^{q_p} \times t^{x_p} \times S_{vm}^{y_p} \times K_p = 670 \times 44,94^0 \times 0,36^{1,2} \times 0,8^{0,65} \times 1 = 328,22 N$$

### 15. Potência de corte

$$N_c = \frac{M_t \times n_m}{9550} = \frac{25,62 \times 100}{9550} = 0,27 kW$$

### 16. Verificação da potência

A verificação é feita através da condição:

$$N_c < N_m \times \eta \quad \text{Onde: } \eta \text{ é o rendimento do acionamento, situado entre 0,65 e 0,85}$$

Calculando obtém-se:  $0,27 < 10 \times 0,75 \Rightarrow 0,27 < 7,5$ . Então a condição verifica-se.

### 17. Coeficiente de uso da máquina

$$C_{um} = \frac{N_c}{N_m \times \eta} = \frac{0,27}{10 \times 0,75} = 0,036$$

### 18. Coeficiente de uso da ferramenta

$$C_{uf} = \frac{V_r}{V_c} = \frac{13,9}{16,03} = 0,87$$

### 19. Tempo de tratamento principal

$$t_p = \frac{C_f \times t \times \text{ctg} \varphi + l_s}{S_{vm} \times n_m} = \frac{20 \times 0,36 \times \text{ctg} 60^\circ + 3}{0,8 \times 100} = 0,09 \text{ min} = 6 \text{ segundos}$$

### 20. Resultados obtidos

- Tipo de ferro de corte: Alargador;
- Material da parte cortante: P6M5
- Geometria de afiação:  $\alpha = 8^\circ$      $\varphi = 60^\circ$      $\omega = 20^\circ$      $\varphi_0 = 30^\circ$
- Modelo e Potência da furadora: Torno modelo 1K62,  $N_m = 10 kW$
- Coeficiente de uso da máquina:  $C_{um} = 0,036$
- Regime de corte:  $t = 0,36 mm$      $S_{mv} = 0,8 \text{ min/vol}$      $V_r = 13,9 m/\text{min}$      $n_m = 100 \text{ rpm}$      $N_c = 0,27 kW$   
 $t_p = 0,09 \text{ min} = 6 \text{ segundos}$ .

### 3.10. Mandrilagem de acabamento do furo central

#### 1. Modelo do torno

Dadas as características tecnológicas das superfícies geradas pelo torneamento, o alargamento do furo central será feito no torno mecânico.

Assim sendo, escolheu-se o torno mecânico 16K20.

#### 2. Tipo de ferro cortante

Das opções disponíveis na página 15 opta-se por um mandril, para mandrilagem de acabamento.

#### 3. Material da parte cortante da ferramenta

Como o material a ser trabalhado não tem alta dureza, escolhe-se aço rápido P6M5, norma GOST.

#### 4. Parâmetros geométrico da parte cortante

Com base nas recomendações presentes nas páginas 23, e 24 escolhe-se os seguintes ângulos.

$$\gamma = 0^\circ \quad \alpha = 12^\circ \quad \alpha_1 = 15^\circ \quad \varphi = 60^\circ \quad \omega = 20^\circ$$

#### 5. Profundidade de corte

$$t = \frac{D_f - D_{inicial}}{2} = \frac{45 - 44,94}{2} = 0,03mm \quad (47)$$

#### 6. Avanços máximos admissíveis e coeficientes de correção de avanço

Da tabela 26 da página 40 escolhe-se o avanço tabelado ( $S_{vt}$ ) de acordo com o material a trabalhar e o diâmetro da ferramenta (Df):  $S_{vt} = 1,1mm/v$ .

Tomando as recomendações da tabela 26 da página 40 de [4], toma-se o coeficiente  $K_{mts} = 0,7$ .

Determina-se o avanço calculado por:  $S_{vm} = S_{vt} \times K_{mts} = 1,1 \times 0,7 = 0,77mm/v$

#### 7. Avanço da máquina

Dos avanços disponíveis para máquina escolhida escolhe-se o avanço mais próximo e menor ao calculado e teve-se o seguinte valor:  $S_{vm} = 0,7mm/v$

## 8. Coeficientes e expoentes para cálculo da velocidade de corte

Da tabela 29 da página 41 são obtidos os seguintes coeficientes:

$$C_v = 10,5 \quad q_v = 0,3 \quad x_v = 0,2 \quad y_v = 0,65 \quad m = 0,4$$

## 9. Período de resistência

Da tabela 30 página 42 escolhe-se  $T_e = 120$  min

Coeficientes de correcção da duração da ferramenta de corte:

Da tabela 7 da página 30 escolhe-se  $K_{Tf} = 1$  e da tabela 8 da Página 30 escolhe-se  $K_{Tm} = 1$ .

Duração da ferramenta de corte:  $T = T_e \times K_{Tf} \times K_{Tm} = 120 \times 1 \times 1 = 120$  min

## 10. Coeficientes de correcção da velocidade

Da tabela 5 e 6 da página 30 tem-se os seguintes coeficientes:  $K_{esv} = 0,85$   $K_{mfv} = 1$   $C_m = 1$   $n_v = 0,9$

Determina-se o coeficiente  $K_{mv}$ :  $K_{mv} = C_m \times (750 / \sigma_r)^{n_v} = 1 \times (750 / 823)^{0,9} = 0,92$

Da tabela 31, página 42, tem-se o coeficiente  $K_{lv} = 1$  e da tabela 6, nota 13 da página 6, tem-se:  $K_{av} = 1$

$$K_v = K_{mv} \times K_{esv} \times K_{mfv} \times K_{lv} \times K_{av} = 0,92 \times 0,85 \times 1 \times 1 \times 1 = 0,78$$

## 11. Velocidade de corte

A velocidade de corte obtém-se através da fórmula:

$$V_c = \frac{C_v \times D_f^{q_v}}{T^m \times t^{x_v} \times S_m^{y_v}} \times K_v = \frac{10,5 \times 45^{0,3}}{120^{0,3} \times 0,03^{0,2} \times 0,7^{0,65}} \times 0,78 = 10 \text{ m/min}$$

## 12. Frequência de rotações da árvore principal

$$n_c = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D_f} = \frac{1000 \times 10}{\pi \times 45} = 68,15 \text{ rpm}$$

## 13. Frequência de rotações da árvore principal da máquina

Escolheu-se a frequência de rotação da árvore principal pela máquina  $n_m$ , da série das frequências disponíveis para o torno 16K20 que é maior mas menor do valor calculado, que corresponde a:  $n_m = 63 \text{ rpm}$ .

#### 14. Velocidade real de corte

$$V_r = \frac{\pi \times D_f \times n_m}{1000} = \frac{\pi \times 45 \times 63}{1000} = 8,91 \text{ m/min}$$

#### 15. Coeficientes e expoentes para cálculo do momento tursor e força axial

Da tabela 32 da página 42 obtêm-se:

$$C_m = 0,9 \quad q_m = 1 \quad x_m = 0,9 \quad y_m = 0,8 \quad C_p = 670 \quad q_p = 0 \quad x_p = 1,2 \quad y_p = 0,65 \quad K_{ap} = 1$$

#### 16. Coeficientes de correcção da força de corte

Da tabela 9 da página 31, em função das propriedades do material da peça, tira-se:

$$K_{mp} = (\sigma_t / 750)^{0,75} = (823 / 750)^{0,75} = 1,07$$

Da página 31, em função do desgaste da ferramenta, tira-se:  $K_{df} = 1,8$

#### 17. Momento tursor

$$M_t = C_m \times D_f^{q_m} \times t^{x_m} \times S_{vm}^{y_m} \times K_{mp} \times K_{ap} \times K_{df}$$

$$M_t = 0,9 \times 45^1 \times 0,03^{0,9} \times 0,7^{0,8} \times 1,07 \times 1 \times 1,8 = 2,5 \text{ Nm}$$

#### 18. Força axial de corte

$$K_p = K_{mp} \times K_{df} = 1,07 \times 1,8 = 1,93$$

$$P_a = C_p \times D_f^{q_p} \times t^{x_p} \times S_{vm}^{y_p} \times K_p = 670 \times 45^0 \times 0,03^{1,2} \times 0,7^{0,65} \times 1,93 = 15,27 \text{ N}$$

#### 19. Potência de corte

$$N_c = \frac{M_t \times n_m}{9550} = \frac{15,27 \times 63}{9550} = 0,017 \text{ kW}$$

#### 20. Verificação da potência

A verificação é feita através da condição:

$$N_c < N_m \times \eta \quad \text{Onde: } \eta \text{ é o rendimento do acionamento, situado entre 0,65 e 0,85}$$

Calculando obtém-se:  $0,017 < 10 \times 0,75 \Rightarrow 0,017 < 7,5$ . Então a condição verifica-se.

### 21. Coeficiente de uso da máquina

$$C_{um} = \frac{N_c}{N_m \times \eta} = \frac{0,017}{10 \times 0,75} = 0,0022$$

### 22. Coeficiente de uso da ferramenta

$$C_{uf} = \frac{V_r}{V_c} = \frac{8,91}{10} = 0,9$$

### 23. Tempo de tratamento principal

O tempo de tratamento principal obtém-se através da fórmula:

$$t_p = \frac{C_f \times t \times \text{ctg}\varphi + l_s}{S_{vm} \times n_m}$$

Onde:  $C_f$  – é o comprimento do furo, em mm, correspondente a  $C_f = 20\text{mm}$ ;

$l_s$  - é o comprimento da saída da ferramenta,  $l_s = 3\text{mm}$ .

$$\text{Assim: } t_p = \frac{C_f \times t \times \text{ctg}\varphi + l_s}{S_{vm} \times n_m} = \frac{20 \times 0,03 \times \text{ctg}60^\circ + 3}{0,7 \times 63} = 0,076 \text{ min} = 4,6 \text{ segundos}$$

### 24. Resultados obtidos

- Tipo de ferro de corte: Mandril;
- Material da parte cortante: P6M5
- Geometria de afiação:  $\gamma = 0^\circ$      $\alpha = 12^\circ$      $\alpha_1 = 15^\circ$      $\varphi = 60^\circ$      $\omega = 20^\circ$
- Modelo e Potência da furadora: Torno modelo 16K20,  $N_m = 10\text{kW}$
- Coeficiente de uso da máquina:  $C_{um} = 0,0022$
- Regime de corte:  $t = 0,03\text{mm}$      $S_{mv} = 0,7 \text{ min/vol}$      $V_r = 8,91\text{m/min}$      $n_m = 63\text{rpm}$   
 $N_c = 0,017\text{kW}$      $t_p = 0,076 \text{ min} = 4,6 \text{ segundos}$ .

Tabela 19.7 Resultados obtidos no alargamento do furo central (Fonte: Autor)

Detalhes da ferramenta de corte								
Material da ferramenta	$\alpha$	$\varphi$	$\varphi_0$	$\omega$	—	—	—	—
P6M5	8°	60°	30°	20°	—	—	—	—
Regimes de corte								
Operação	Dim. Inicial (mm)	Dim. Final (mm)	t (mm)	Sv (mm/vol)	Vr (m/min)	$n_m$ (rpm)	$N_c$ (kW)	tp (seg)
Alargamento de desbaste	39,1	44,22	2,57	0,8	8,91	63	0,99	39
Alargamento de acabamento	44,22	44,94	0,8	0,8	13,9	100	0,27	6
Mandrilagem de acabamento	44,94	45	0,03	0,7	8,91	63	0,017	4,6

### 3.11. Alargamento de desbastamento do furo do mancal

#### Dimensões da peça bruta

O diâmetro da peça bruta é dado pela subtração do diâmetro final da peça pela soma das sobrespessuras no alargamento de desbaste, acabamento e mandrilagem de acabamento do furo.

$$D_{bruta} = D_{final} - \sum \text{sobrespessuras}$$

$$D_{bruta} = 45 - (2 \times 2,59 + 2 \times 0,28 + 2 \times 0,03) = 50,2mm$$

#### 1. Modelo do torno

Dadas as características tecnológicas das superfícies geradas pelo torneamento, o alargamento do furo central será feito no torno mecânico.

Assim sendo, escolheu-se o torno mecânico 16K20.

#### 2. Tipo de ferro cortante

Das opções disponíveis na página 15 opta-se por um alargador.

#### 3. Material da parte cortante da ferramenta

Como o material a ser trabalhado não tem alta dureza, escolhe-se aço rápido P6M5, norma GOST.

#### 4. Parâmetros geométrico da parte cortante

Com base nas recomendações presentes nas páginas 23, e 24 escolhe-se os seguintes ângulos.

$$\alpha = 8^\circ \quad \varphi = 60^\circ \quad \omega = 20^\circ \quad \varphi_0 = 30^\circ$$

#### 5. Profundidade de corte

$$t = \frac{D_f - D_{inicial}}{2} = \frac{55,38 - 50,2}{2} = 2,59mm$$

#### 6. Avanços máximos admissíveis e coeficientes de correcção de avanço

Da tabela 26 da página 40 escolhe-se o avanço tabelado ( $S_{vt}$ ) de acordo com o material a trabalhar e o diâmetro da ferramenta (Df):  $S_{vt} = 1,3mm / v$ .

Tomando as recomendações da tabela 26 da página 40 de [4], toma-se o coeficiente  $K_{mts} = 0,7$ .

Determina-se o avanço calculado por:  $S_{vm} = S_{vt} \times K_{mts} = 1,3 \times 0,7 = 0,91mm / v$

#### 7. Avanço da máquina

Dos avanços disponíveis para máquina escolhida escolhe-se o avanço mais próximo e menor ao calculado e teve-se o seguinte valor:  $S_{vm} = 0,8mm / v$

#### 8. Coeficientes e expoentes para cálculo da velocidade de corte

Da tabela 29 da página 41 são obtidos os seguintes coeficientes:

$$C_v = 16,3 \quad q_v = 0,3 \quad x_v = 0,2 \quad y_v = 0,5 \quad m = 0,3$$

#### 9. Período de resistência

Da tabela 30 página 42 escolhe-se  $T_e = 120$  min

Coeficientes de correcção da duração da ferramenta de corte:

Da tabela 7 da página 30 escolhe-se  $K_{Tf} = 1$  e da tabela 8 da Página 30 escolhe-se  $K_{Tm} = 1$ .

Duração da ferramenta de corte:  $T = T_e \times K_{Tf} \times K_{Tm} = 120 \times 1 \times 1 = 120$  min

#### 10. Coeficientes de correcção da velocidade

Da tabela 5 e 6 da página 30 tem-se os seguintes coeficientes:  $K_{esv} = 0,85$     $K_{mfv} = 1$     $C_m = 1$     $n_v = 0,9$

Determina-se o coeficiente  $K_{mv}$ :  $K_{mv} = C_m \times (750 / \sigma_r)^{n_v} = 1 \times (750 / 823)^{0,9} = 0,92$

Da tabela 31, página 42, tem-se o coeficiente  $K_{lv} = 1$  e da tabela 6, nota 13 da página 6, tem-se:  $K_{av} = 1$

$$K_v = K_{mv} \times K_{esv} \times K_{mfv} \times K_{lv} \times K_{av} = 0,92 \times 0,85 \times 1 \times 1 \times 1 = 0,78$$

### 11. Velocidade de corte

A velocidade de corte obtém-se através da fórmula:

$$V_c = \frac{C_v \times D_f^{q_v}}{T^m \times t^{x_v} \times S_m^{y_v}} \times K_v = \frac{16,3 \times 55,38^{0,3}}{120^{0,3} \times 2,59^{0,2} \times 0,8^{0,5}} \times 0,78 = 9,34 \text{ m/min}$$

### 12. Frequência de rotações da árvore principal

$$n_c = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D_f} = \frac{1000 \times 9,34}{55,38} = 53,67 \text{ rpm}$$

### 13. Frequência de rotações da árvore principal da máquina

Escolheu-se a frequência de rotação da árvore principal pela máquina  $n_m$ , da série das frequências disponíveis para o torno 16K20 que é maior mas menor do valor calculado, que corresponde a:  $n_m = 50 \text{ rpm}$ .

### 14. Velocidade real de corte

$$V_r = \frac{\pi \times D_f \times n_m}{1000} = \frac{\pi \times 55,38 \times 50}{1000} = 8,7 \text{ m/min}$$

### 15. Coeficientes e expoentes para cálculo do momento torsor e força axial

Da tabela 32 da página 42 obtêm-se:

$$C_m = 0,9 \quad q_m = 1 \quad x_m = 0,9 \quad y_m = 0,8 \quad C_p = 670 \quad q_p = 0 \quad x_p = 1,2 \quad y_p = 0,65 \quad K_{ap} = 1$$

### 16. Coeficientes de correcção da força de corte

Da tabela 9 da página 31, em função das propriedades do material da peça, tira-se:

$$K_{mp} = (\sigma_t / 750)^{0,75} = (823 / 750)^{0,75} = 1,07$$

Da página 31, em função do desgaste da ferramenta, tira-se:  $K_{df} = 1,8$

### 17. Momento torsor

$$M_t = C_m \times D_f^{q_m} \times t^{x_m} \times S_{vm}^{y_m} \times K_{mp} \times K_{ap} \times K_{df}$$

$$M_t = 0,9 \times 55,38^1 \times 2,59^{0,9} \times 0,8^{0,8} \times 1,07 \times 1 \times 1,8 = 189,6 Nm$$

### 18. Força axial de corte

$$K_p = K_{mp} \times K_{df} = 1,07 \times 1,8 = 1,93$$

$$P_a = C_p \times D_f^{q_p} \times t^{x_p} \times S_{vm}^{y_p} \times K_p = 670 \times 55,38^0 \times 2,59^{1,2} \times 0,8^{0,65} \times 1 = 3507,18 N$$

### 19. Potência de corte

$$N_c = \frac{M_t \times n_m}{9550} = \frac{189,6 \times 50}{9550} = 0,99 kW$$

### 20. Verificação da potência

A verificação é feita através da condição:

$$N_c < N_m \times \eta \quad \text{Onde: } \eta \text{ é o rendimento do acionamento, situado entre 0,65 e 0,85}$$

Calculando obtém-se:  $0,99 < 11 \times 0,75 \Rightarrow 0,99 < 8,25$ . Então a condição verifica-se.

### 21. Coeficiente de uso da máquina

$$C_{um} = \frac{N_c}{N_m \times \eta} = \frac{0,99}{11 \times 0,75} = 0,12$$

### 22. Coeficiente de uso da ferramenta

$$C_{uf} = \frac{V_r}{V_c} = \frac{8,67}{9,34} = 0,93$$

### 23. Tempo de tratamento principal

O tempo de tratamento principal obtém-se através da fórmula:

$$t_p = \frac{C_f \times t \times \text{ctg}\varphi + l_s}{S_{vm} \times n_m}$$

Onde:  $C_f$  - é o comprimento do furo, em mm, correspondente a  $C_f = 20\text{mm}$  ;

$l_s$  - é o comprimento da saída da ferramenta,  $l_s = 3\text{mm}$  .

$$\text{Assim: } t_p = \frac{C_f \times t \times \text{ctg}\varphi + l_s}{S_{vm} \times n_m} = \frac{20 \times 2,59 \times \text{ctg}60^\circ + 3}{0,8 \times 50} = 1,01 \text{ min} = 60,6 \text{ segundos}$$

## 24. Resultados obtidos

- Tipo de ferro de corte: Mandril;
- Material da parte cortante: P6M5
- Geometria de afiação:  $\alpha = 8^\circ$        $\varphi = 60^\circ$        $\omega = 20^\circ$        $\varphi_0 = 30^\circ$
- Modelo e Potência da furadora: Torno modelo 16K20,  $N_m = 11\text{kW}$
- Coeficiente de uso da máquina:  $C_{um} = 0,12$
- Regime de corte:  $t = 2,59\text{mm}$      $S_{mv} = 0,8 \text{ min/vol}$      $V_r = 8,7\text{m/min}$      $n_m = 50\text{rpm}$      $N_c = 0,99\text{kW}$   
 $t_p = 1,01 \text{ min} = 60,6 \text{ segundos}$ .

## 3.12. Alargamento de acabamento do furo do mancal

### 1. Profundidade de corte

$$t = \frac{D_{\text{aposAcabamento}} - D_{\text{aposDesbaste}}}{2} = \frac{55,94 - 55,38}{2} = 0,28\text{mm}$$

### 2. Avanços máximos admissíveis e coeficientes de correcção de avanço

Da tabela 26 da página 40 escolhe-se o avanço tabelado ( $S_{vt}$ ) de acordo com o material a trabalhar e o diâmetro da ferramenta (Df):  $S_{vt} = 1,2\text{mm/v}$ .

Tomando as recomendações da tabela 26 da página 40 de [4], toma-se o coeficiente  $K_{mts} = 0,7$  .

Determina-se o avanço calculado por:  $S_{vm} = S_{vt} \times K_{mts} = 1,2 \times 0,7 = 0,84\text{mm/v}$

### 3. Avanço da máquina

Dos avanços disponíveis para máquina escolhida escolhe-se o avanço mais próximo e menor o calculado e teve-se o seguinte valor:  $S_{vm} = 0,8mm/v$

#### 4. Coeficientes e expoentes para cálculo da velocidade de corte

Da Tabela 29 da página 41 são obtidos os seguintes coeficientes:

$$C_v = 16,3 \quad q_v = 0,3 \quad x_v = 0,2 \quad y_v = 0,5 \quad m_v = 0,3$$

#### 5. Período de resistência

Da tabela 30 página 42 escolhe-se  $T_e = 120 \text{ min}$

Coeficientes de correção da duração da ferramenta de corte:

Da tabela 7 da página 30 escolhe-se  $K_{Tf} = 1$  e da tabela 8 da página 30 escolhe-se  $K_{Tm} = 1$ .

Duração da ferramenta de corte:  $T = T_e \times K_{Tf} \times K_{Tm} = 120 \times 1 \times 1 = 120 \text{ min}$

#### 6. Coeficientes de correção da velocidade

Da tabela 5 e 6 da página 30 tem-se os seguintes coeficientes:  $K_{esv} = 0,85$   $K_{mfv} = 1$   $C_m = 1$   $n_v = 0,9$

Determina-se o coeficiente  $K_{mv}$ :  $K_{mv} = C_m \times (750/\sigma_r)^{n_v} = 1 \times (750/823)^{0,9} = 0,92$

Da tabela 31, página 42, tem-se o coeficiente  $K_{lv} = 1$  e da tabela 6, nota 13 da página 6, tem-se:  $K_{av} = 1$

$$K_v = K_{mv} \times K_{esv} \times K_{mfv} \times K_{lv} \times K_{av} = 0,92 \times 0,85 \times 1 \times 1 \times 1 = 0,78$$

#### 7. Velocidade de corte

A velocidade de corte obtém-se através da fórmula:

$$V_c = \frac{C_v \times D_f^{q_v}}{T^m \times t^{x_v} \times S_m^{y_v}} \times K_v = \frac{16,3 \times 55,94^{0,3}}{60^{0,3} \times 0,28^{0,2} \times 0,8^{0,5}} \times 0,78 = 14,62 \text{ m/min}$$

#### 8. Frequência de rotações da árvore principal

$$n_c = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D_f} = \frac{1000 \times 14,62}{\pi \times 55,94} = 84,02 \text{ rpm}$$

#### 9. Frequência de rotações da árvore principal da máquina

Escolheu-se a frequência de rotação da árvore principal pela máquina  $n_m$ , da série das frequências disponíveis para o torno 16K20 que é maior mas menor do valor calculado, que corresponde a:  $n_m = 80rpm$ .

#### 10. Velocidade real de corte

$$V_r = \frac{\pi \times D_f \times n_m}{1000} = \frac{\pi \times 55,94 \times 80}{1000} = 13,92m / \text{min}$$

#### 11. Coeficientes e expoentes para cálculo do momento torsor e força axial

Da tabela 32 da página 42 obtêm-se:

$$C_m = 0,9 \quad q_m = 1 \quad x_m = 0,9 \quad y_m = 0,8 \quad C_p = 670 \quad q_p = 0 \quad x_p = 1,2 \quad y_p = 0,65 \quad K_{ap} = 1$$

#### 12. Coeficientes de correcção da força de corte

Da tabela 9 da página 31, em função das propriedades do material da peça, tira-se:

$$K_{mp} = (\sigma_t / 750)^{0,75} = (823 / 750)^{0,75} = 1,07$$

Da página 31, em função do desgaste da ferramenta, tira-se:  $K_{df} = 1,8$

#### 13. Momento torsor

$$M_t = C_m \times D_f^{q_m} \times t^{x_m} \times S_{vm}^{y_m} \times K_{mp} \times K_{ap} \times K_{df}$$

$$M_t = 0,9 \times 55,94^1 \times 0,28^{0,9} \times 0,8^{0,8} \times 1,07 \times 1 \times 1,8 = 25,59Nm$$

#### 14. Força axial de corte

$$K_p = K_{mp} \times K_{df} = 1,07 \times 1,8 = 1,93$$

$$P_a = C_p \times D_f^{q_p} \times t^{x_p} \times S_{vm}^{y_p} \times K_p = 670 \times 55,94^0 \times 0,28^{1,2} \times 0,8^{0,65} \times 1 = 242,76N$$

#### 15. Potência de corte

$$N_c = \frac{M_t \times n_m}{9550} = \frac{25,59 \times 80}{9550} = 0,21kW$$

#### 16. Verificação da potência

A verificação é feita através da condição:

$N_c < N_m \times \eta$  Onde:  $\eta$  é o rendimento do acionamento, situado entre 0,65 e 0,85

Calculando obtém-se:  $0,21 < 11 \times 0,75 \Rightarrow 0,21 < 8,25$ . Então a condição verifica-se.

### 17. Coeficiente de uso da máquina

$$C_{um} = \frac{N_c}{N_m \times \eta} = \frac{0,21}{11 \times 0,75} = 0,026$$

### 18. Coeficiente de uso da ferramenta

$$C_{uf} = \frac{V_r}{V_c} = \frac{13,92}{14,62} = 0,96$$

### 19. Tempo de tratamento principal

$$t_p = \frac{C_f \times t \times \text{ctg} \varphi + l_s}{S_{vm} \times n_m} = \frac{25 \times 0,28 \times \text{ctg} 60^\circ + 3}{0,8 \times 80} = 0,11 \text{ min} = 6,6 \text{ segundos}$$

### 20. Resultados obtidos

- Tipo de ferro de corte: Mandril;
- Material da parte cortante: P6M5
- Geometria de afiação:  $\alpha = 8^\circ$        $\varphi = 60^\circ$        $\omega = 20^\circ$        $\varphi_0 = 30^\circ$
- Modelo e Potência da furadora: Torno modelo 16K20,  $N_m = 11 \text{ kW}$
- Coeficiente de uso da máquina:  $C_{um} = 0,026$
- Regime de corte:  $t = 0,28 \text{ mm}$      $S_{mv} = 0,8 \text{ min/vol}$      $V_r = 13,92 \text{ m/min}$      $n_m = 80 \text{ rpm}$      $N_c = 0,21 \text{ kW}$   
 $t_p = 0,11 \text{ min} = 6,6 \text{ segundos}$ .

## 3.13. Mandrilagem de acabamento do furo do mancal

### 1. Modelo do torno

Dadas as características tecnológicas das superfícies geradas pelo torneamento, o alargamento do furo central será feito no torno mecânico.

Assim sendo, escolheu-se o torno mecânico 16K20.

## 2. Tipo de ferro cortante

Das opções disponíveis na página 15 opta-se por um mandril, para mandrilagem de acabamento.

## 3. Material da parte cortante da ferramenta

Como o material a ser trabalhado não tem alta dureza, escolhe-se aço rápido.

## 4. Parâmetros geométrico da parte cortante

Com base nas recomendações presentes nas páginas 25, e 26 escolhe-se os seguintes ângulos.

$$\gamma = 0^\circ \quad \alpha = 12^\circ \quad \alpha_1 = 15^\circ \quad \varphi = 60^\circ \quad \omega = 20^\circ$$

## 5. Profundidade de corte

$$t = \frac{D_f - D_{inicial}}{2} = \frac{56 - 55,94}{2} = 0,03mm$$

## 6. Avanços máximos admissíveis e coeficientes de correção de avanço

Da tabela 26 da página 40 escolhe-se o avanço tabelado ( $S_{vt}$ ) de acordo com o material a trabalhar e o diâmetro da ferramenta (Df):  $S_{vt} = 1,1mm/v$ .

Tomando as recomendações da tabela 26 da página 40 de [4], toma-se o coeficiente  $K_{mts} = 0,7$ .

Determina-se o avanço calculado por:  $S_{vm} = S_{vt} \times K_{mts} = 1,1 \times 0,7 = 0,77mm/v$

## 7. Avanço da máquina

Dos avanços disponíveis para máquina escolhida escolhe-se o avanço mais próximo e menor ao calculado e teve-se o seguinte valor:  $S_{vm} = 0,7mm/v$

## 8. Coeficientes e expoentes para cálculo da velocidade de corte

Da tabela 29 da página 41 são obtidos os seguintes coeficientes:

$$C_v = 10,5 \quad q_v = 0,3 \quad x_v = 0,2 \quad y_v = 0,65 \quad m = 0,4$$

## 9. Período de resistência

Da tabela 30 página 42 escolhe-se  $T_e = 120$  min

Coefficientes de correção da duração da ferramenta de corte:

Da tabela 7 da página 30 escolhe-se  $K_{Tf} = 1$  e da tabela 8 da Página 30 escolhe-se  $K_{Tm} = 1$ .

Duração da ferramenta de corte:  $T = T_e \times K_{Tf} \times K_{Tm} = 120 \times 1 \times 1 = 120 \text{ min}$

### 10. Coeficientes de correção da velocidade

Da tabela 5 e 6 da página 30 tem-se os seguintes coeficientes:  $K_{esv} = 0,85$      $K_{mfv} = 1$      $C_m = 1$      $n_v = 0,9$

Determina-se o coeficiente  $K_{mv}$ :  $K_{mv} = C_m \times (750 / \sigma_r)^{n_v} = 1 \times (750 / 823)^{0,9} = 0,92$

Da tabela 31, página 42, tem-se o coeficiente  $K_{lv} = 1$  e da tabela 6, nota 13 da página 6, tem-se:  $K_{av} = 1$

$$K_v = K_{mv} \times K_{esv} \times K_{mfv} \times K_{lv} \times K_{av} = 0,92 \times 0,85 \times 1 \times 1 \times 1 = 0,78$$

### 11. Velocidade de corte

A velocidade de corte obtém-se através da fórmula:

$$V_c = \frac{C_v \times D_f^{q_v}}{T^m \times t^{x_v} \times S_m^{y_v}} \times K_v = \frac{10,5 \times 56^{0,3}}{120^{0,3} \times 0,03^{0,2} \times 0,7^{0,65}} \times 0,78 = 10,29 \text{ m/min}$$

### 12. Frequência de rotações da árvore principal

$$n_c = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D_f} = \frac{1000 \times 10,29}{\pi \times 56} = 58,48 \text{ rpm}$$

### 13. Frequência de rotações da árvore principal da máquina

Escolheu-se a frequência de rotação da árvore principal pela máquina  $n_m$ , da série das frequências disponíveis para o torno 16K20 que é maior mas menor do valor calculado, que corresponde a:  $n_m = 50 \text{ rpm}$ .

### 14. Velocidade real de corte

$$V_r = \frac{\pi \times D_f \times n_m}{1000} = \frac{\pi \times 56 \times 50}{1000} = 8,8 \text{ m/min}$$

### 15. Coeficientes e expoentes para cálculo do momento torsor e força axial

Da tabela 32 da página 42 obtêm-se:

$$C_m = 0,9 \quad q_m = 1 \quad x_m = 0,9 \quad y_m = 0,8 \quad C_p = 670 \quad q_p = 0 \quad x_p = 1,2 \quad y_p = 0,65 \quad K_{ap} = 1$$

### 16. Coeficientes de correção da força de corte

Da tabela 9 da página 31, em função das propriedades do material da peça, tira-se:

$$K_{mp} = (\sigma_t / 750)^{0,75} = (823 / 750)^{0,75} = 1,07$$

Da página 31, em função do desgaste da ferramenta, tira-se:  $K_{df} = 1,8$

### 17. Momento torsor

$$M_t = C_m \times D_f^{q_m} \times t^{x_m} \times S_{vm}^{y_m} \times K_{mp} \times K_{ap} \times K_{df}$$

$$M_t = 0,9 \times 56^1 \times 0,03^{0,9} \times 0,7^{0,8} \times 1,07 \times 1 \times 1,8 = 3,11 Nm$$

### 18. Força axial de corte

$$K_p = K_{mp} \times K_{df} = 1,07 \times 1,8 = 1,93$$

$$P_a = C_p \times D_f^{q_p} \times t^{x_p} \times S_{vm}^{y_p} \times K_p = 670 \times 56^0 \times 0,03^{1,2} \times 0,7^{0,65} \times 1,93 = 15,26 N$$

### 19. Potência de corte

$$N_c = \frac{M_t \times n_m}{9550} = \frac{3,11 \times 50}{9550} = 0,016 kW$$

### 20. Verificação da potência

A verificação é feita através da condição:

$$N_c < N_m \times \eta \quad \text{Onde: } \eta \text{ é o rendimento do acionamento, situado entre 0,65 e 0,85}$$

Calculando obtém-se:  $0,016 < 11 \times 0,75 \Rightarrow 0,016 < 8,25$ . Então a condição verifica-se.

### 21. Coeficiente de uso da máquina

$$C_{um} = \frac{N_c}{N_m \times \eta} = \frac{0,016}{11 \times 0,75} = 0,002$$

### 22. Coeficiente de uso da ferramenta

$$C_{uf} = \frac{V_r}{V_c} = \frac{10,29}{8,8} = 0,86$$

### 23. Tempo de tratamento principal

O tempo de tratamento principal obtém-se através da fórmula:

$$t_p = \frac{C_f \times t \times ctg\varphi + l_s}{S_{vm} \times n_m}$$

Onde:  $C_f$  – é o comprimento do furo, em mm, correspondente a  $C_f = 25mm$  ;

$l_s$  - é o comprimento da saída da ferramenta,  $l_s = 3mm$  .

$$\text{Assim: } t_p = \frac{C_f \times t \times ctg\varphi + l_s}{S_{vm} \times n_m} = \frac{25 \times 0,03 \times ctg60^\circ + 3}{0,7 \times 50} = 0,098 \text{ min} = 5,9 \text{ segundos}$$

### 24. Resultados obtidos

- Tipo de ferro de corte: Mandril;
- Material da parte cortante: P6M5
- Geometria de afiação:  $\alpha = 8^\circ$        $\varphi = 60^\circ$        $\omega = 20^\circ$        $\varphi_0 = 30^\circ$
- Modelo e Potência da furadora: Torno modelo 16K20,  $N_m = 11kW$
- Coeficiente de uso da máquina:  $C_{um} = 0,002$
- Regime de corte:  $t = 0,03mm$      $S_{mv} = 0,7 \text{ min/ vol}$      $V_r = 13,92m/ \text{min}$      $n_m = 50rpm$   
 $N_c = 0,016kW$      $t_p = 0,098 \text{ min} = 5,9 \text{ segundos}$ .

Tabela 20.7 Resultados obtidos no alargamento do furo do mancal (Fonte: Autor)

Detalhes da ferramenta de corte								
Material da ferramenta	$\alpha$	$\varphi$	$\varphi_0$	$\omega$	—	—	—	—
P6M5	8°	60°	30°	20°	—	—	—	—
Regimes de corte								
Operação	Dim. Inicial (mm)	Dim. Final (mm)	t (mm)	Sv (mm/vol)	Vr (m/min)	$n_m$ (rpm)	$N_c$ (kW)	tp (seg)
Alargamento de Desbaste	50,2	55,38	2,59	0,8	8,7	50	0,99	61
Alargamento Acabamento	55,38	55,94	0,28	0,8	13,92	80	0,21	6,6
Mandrilagem de Acabamento	55,94	56	0,03	0,7	13,92	50	0,016	5,9

### 3.14. Torneamento de semiacabamento do cilindro externo

#### 1. Modelo do torno

Escolheu-se o torno mecânico paralelo modelo 1K62.

#### 2. Tipo de ferro cortante

Das opções disponíveis na página 13 escolheu-se o ferro cortante direito acotovelado para facejar externo, que é adequado para o tratamento que se pretende realizar.

#### 3. Material da parte cortante da ferramenta

Das recomendações da tabela da página 12 escolheu-se o material aço rápido P6M5 (norma GOST), que corresponde a HS 6-5-2, norma ISO.

#### 4. Dimensões principais do ferro cortante

Das recomendações da página 14 escolheram-se as dimensões: BxHxL = 16x20x120

#### 5. Parâmetros geométrico da parte cortante

Com base nas recomendações presentes nas páginas 23, e 24 escolhe-se os seguintes ângulos.

$$\alpha = 12^\circ \quad \gamma = 15^\circ \quad \gamma_{ch} = -5^\circ \quad \varphi = 60^\circ \quad \varphi_1 = 45^\circ \quad Rb = 1mm \quad \lambda = 0^\circ$$

## 6. Sobresspessura

A Sobresspessura é já conhecida:  $z = 1,46 \text{ mm}$

## 7. Profundidade de corte

A profundidade de corte é já conhecida:  $t = 1,46 \text{ mm}$

## 8. Avanços máximos admissíveis

Da tabela 11 da página 32 tirou-se, em função das dimensões e material da peça, o valor:  $S_v = 1,3 \text{ mm/volta}$ .

Da tabela 12 da página 32, para espessura da pastilha de 4 mm, tirou-se:  $S_v = 1,3 \text{ mm/volta}$

Da tabela 13 da página 33, em função das dimensões da ferramenta e da profundidade de corte, tirou-se:  $S_z = 0,08 \text{ mm/volta}$ .

## 9. Avanço mínimo

Dos avanços máximos admissíveis escolhe-se o avanço mínimo, que corresponde a:  $S_v = 0,08 \text{ mm/vol}$

## 10. Avanço da máquina

Dos avanços disponíveis para máquina escolhida escolhe-se o menor e mais próximo do avanço mínimo:  $S_v = 0,075 \text{ mm/vol}$

## 11. Coeficientes e expoentes para cálculo da velocidade de corte

Da tabela 17 da página 35, em função do tipo de tratamento, do material da peça e da profundidade de corte escolhem-se os coeficientes:

$$C_v = 340 \quad x_v = 0,15 \quad y_v = 0,45 \quad m = 0,2$$

## 12. Período de resistência

Das recomendações da página 4 escolhe-se  $T_e = 70 \text{ min}$

Da tabela 7 da página 30 escolhe-se  $K_{Tf} = 1$  e da tabela 8 da página 30 escolhe-se  $K_{Tm} = 1$ . Assim o período de resistência é:  $T = T_e \times K_{Tf} \times K_{Tm} = 70 \times 1 \times 1 = 70 \text{ min}$

## 13. Coeficientes de correcção da velocidade

Da tabela 2 da página 29, em função do material da peça e do material da ferramenta extraem-se os coeficientes:  $C_m = 1,0$   $n_v = 1,0$ ;

Da tabela 3 da página 29, em função do material da peça tira-se o coeficiente:  $K_{mv} = 0,75$ ;

Da tabela 5 da página 30, em função do estado da superfície da peça tira-se o coeficiente:  $K_{esv} = 0,85$

Da tabela 6 da página 30, em função do material da peça tira-se o coeficiente:  $K_{mfv} = 1$ ;

Da tabela 18a da página 36, em função de parâmetros do ferro cortante tiram-se os coeficientes:

$$K_{\phi v} = 0,9 \quad K_{\phi 1v} = 0,91 \quad K_{rv} = 1;$$

Da tabela 18b da página 36, em função das dimensões do cabo da ferramenta tira-se o coeficiente:  $K_{qv} = 0,97$ ;

Da tabela 18c da página 36, em função do método de tratamento, tira-se o coeficiente:  $K_{mtv} = 1,24$

#### 14. Velocidade de corte

A velocidade de corte obtém-se através da fórmula:

$$V_c = \frac{C_v \times C_{cv}}{T^m \times t^{x_v} \times S_{vm}^{y_v}} \times k_v; \text{ Onde } k_v = K_{mv} \times K_{esv} \times K_{mfv} \times K_{\phi v} \times K_{\phi 1v} \times K_{rv} \times K_{qv} \times K_{mtv}$$

$$k_v = 0,75 \times 0,85 \times 1 \times 0,9 \times 0,91 \times 1 \times 0,97 \times 1,24 = 0,63$$

$$V_c = \frac{340 \times 1}{70^{0,2} \times 2,7^{0,15} \times 0,075^{0,45}} \times 0,63 = 252,3 \text{ m / min}$$

#### 15. Frequência de rotações da árvore principal

$$n_c = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D_{mic}} = \frac{1000 \times 252,3}{\pi \times 355} = 226,23 \approx 226 \text{ rpm}$$

#### 16. Frequência de rotações da árvore principal da máquina

Escolheu-se a frequência de rotação da árvore principal pela máquina  $n_m$ , da série das frequências disponíveis para o torno mecânico 1K62 que é maior mas menor 1.1  $n_c$ , que corresponde a:  $n_m = 200 \text{ rpm}$ .

#### 17. Velocidade real de corte

A velocidade de corte para superfícies externas determina-se através da fórmula:

$$V_r = \frac{\pi \times D_{inc} \times n_m}{1000} = \frac{\pi \times 357 \times 200}{1000} = 224,97 \text{ m/min}$$

### 18. Coeficientes e expoentes para cálculo da força de corte

Da Tabela 22 da Página 37, em função do material da peça e da ferramenta e do tipo de tratamento, tira-se:

$$C_{pz} = 3000 \quad X_{pz} = 1 \quad Y_{pz} = 0,75 \quad n_{pz} = -0,15.$$

### 19. Coeficientes de correcção da força de corte

Da Tabela 9 da Página 31, em função das propriedades do material da peça, tira-se:

$$K_{MP} = (\sigma_t / 750)^{0,75} = (823 / 750)^{0,75} = 1,07$$

Da Página 31, em função do desgaste da ferramenta, tira-se:  $K_{df} = 1,6$

Da Tabela 23 da Página 39, em função de parâmetros geométricos da parte cortante da ferramenta, tira-se:

$$K_{\phi p} = 0,94 \quad K_{\eta p} = 1 \quad K_{\lambda p} = 1 \quad K_{\rho p} = 1$$

### 20. Força de corte

A força de corte obtém-se através da fórmula:

$$P_z = C_{px} \times t^{x_{pz}} \times S_{vm}^{y_p} \times V_r^{n_{pz}} \times K_p$$

Onde:  $k_p = K_{mp} \times K_{df} \times K_{\phi p} \times K_{\eta p} \times K_{\lambda p} \times K_{\rho p}$

$$k_p = 1,07 \times 1,6 \times 0,94 \times 1 \times 1 \times 1 = 1,61$$

$$P_z = 3000 \times 1,5^1 \times 0,075^{0,75} \times 223,05^{-0,15} \times 1,61 = 2342,3 \text{ N}$$

### 21. Potência de corte

$$N_c = \frac{P_z \times V_r}{60000} = \frac{2342,3 \times 223,05}{60000} = 8,76 \text{ kW}$$

### 22. Verificação da potência

A verificação é feita através da condição:

$N_c < N_m \times \eta$  ; Onde:  $\eta$  é o rendimento do acionamento, situado entre 0,65 e 0,85

Calculando obtém-se:  $8,76 < 10 \times 0,75 \Rightarrow 8,76 < 7,5$ . Então a condição verifica-se.

### 23. Coeficiente de uso da máquina

$$C_{um} = \frac{N_c}{N_m \times \eta} = \frac{8,76}{10 \times 0,75} = 1,17$$

### 24. Coeficiente de uso da ferramenta

$$C_{uf} = \frac{V_r}{V_c} = \frac{224,3}{252,3} = 0,89$$

### 25. Tempo de tratamento principal

O tempo de tratamento principal obtém-se através da fórmula:

$$t_p = \frac{L}{n_m \times S_m} \quad L = C + l_e + l_s$$

Onde: L – é o comprimento percorrido pela ferramenta em mm;

C – é o comprimento da superfície trabalhada, em mm;

$l_s$  - é o comprimento da saída da ferramenta,  $l_s = 3mm$  ;

$l_e$  é o comprimento da entrada da ferramenta.

$$l_e = 2 + t \times \cot g(\varphi) = 2 + 1,46 \times \cot g(50) = 3,56mm$$

$$C = \frac{D_{inc} - D_{fn}}{2} = \frac{357 - 355}{2} = 1$$

$$L = C + l_e + l_s = 1 + 3,56 + 3 = 7,56m$$

$$\text{Assim: } t_p = \frac{7,56}{200 \times 0,075} = 0,50 \text{ min} = 30 \text{ segundos}$$

### 26. Resultados obtidos

- Tipo de ferro de corte: ferro cortante direito acotovelado para facejar externo;

- Material da parte cortante: GOST P6M5
- Dimensões:  $B \times H \times L = 16 \times 20 \times 120$
- Geometria de afiação:  $\alpha = 12^\circ$   $\gamma = 15^\circ$   $\gamma_{ch} = -5^\circ$   $\varphi = 60^\circ$   $\varphi_1 = 45^\circ$   $Rb = 1mm$   $\lambda = 0$
- Modelo e Potência do torno: Cadete;  $N_m = 15kW$
- Coeficiente de uso da máquina:  $C_{uf} = 1,17$
- Regime de corte:  $t = 1,46mm$   $S_{mv} = 0,075 \text{ min/vol}$   $V_r = 224,97m/\text{min}$   $n_m = 200rpm$   
 $N_c = 8,76kW$   $t_p = 30\text{segundos}$ .

Tabela 21.7 Resultados obtidos no torneamento do cilindro externo (Fonte: Autor)

Detalhes da ferramenta de corte								
Material da ferramenta	$\alpha$	$\gamma$	$\varphi$	$\varphi_1$	$\gamma_{ch}$	$\lambda$	—	—
P6M5	$12^\circ$	$15^\circ$	$60^\circ$	$45^\circ$	$-5^\circ$	$0^\circ$	—	—
Regimes de corte								
Operação	Dim. Inicial (mm)	Dim. Final (mm)	t (mm)	Sv (mm/vol)	Vr (m/min)	$n_m$ (rpm)	$N_c$ (kW)	tp (seg)
Torneamento de Semiacabamento	356,5	355	1,46	0,075	224,97	200	8,76	30

### 3.15. Abertura dos furos roscados

Das especificações dos furos roscados e dos furos dos pinos roscados, será apresentado apenas os regimes de corte para aberturas dos furos roscados que correspondem também aos furos dos pinos roscados.

#### 1. Modelo da furadora

Escolheu-se a furadora radial modelo UCIMU.

#### 2. Tipo de ferro cortante

Das opções disponíveis na página 15 de [4] opta-se por brocagem com broca helicoidal.

#### 3. Material da parte cortante da ferramenta

Como o material a ser trabalhado não tem alta dureza, é macio e o trabalho será com ligeiros choques, escolhe-se aço rápido P6M5.

#### 4. Parâmetros geométrico da parte cortante da ferramenta de corte

$$\alpha = 15^\circ \quad 2\varphi = 118^\circ \quad \psi = 45^\circ \quad \omega = 20^\circ$$

### 5. Profundidade de corte

$$t = \frac{D_f - D_{inicial}}{2} = \frac{0 - 5,2}{2} = 2,4mm$$

### 6. Avanços máximos admissíveis e coeficientes de correção de avanço

Da tabela 25 da página 40 escolhe-se o avanço tabelado:  $S_{vt} = 0,38mm/v$ .

Da tabela 25, toma-se os seguintes coeficientes de modo a obter o avanço calculado:

$$K_{rss} = 0,75 \quad K_{mfs} = 1 \quad K_{ls} = 0,9 \quad K_{ips} = 0,5$$

O avanço calculado é dado por:

$$S_{vc} = S_{vt} \times K_{ls} \times K_{ips} \times K_{rss} \times K_{mfs} = 0,38 \times 0,9 \times 0,5 \times 0,75 \times 1 = 0,128mm/v$$

### 7. Avanço da máquina

Da máquina, furadora do modelo UCIMU escolhe-se o avanço mais próximo e menor o calculado e teve-se o seguinte valor:  $S_{vm} = 0,1mm/v$

### 8. Coeficientes e expoentes para cálculo da velocidade de corte

Da Tabela 29 da página 41 de [4] são obtidos os seguintes coeficientes:

$$C_v = 16,3 \quad q_v = 0,4 \quad x_v = 0,2 \quad y_v = 0,5 \quad m_v = 0,2$$

### 9. Período de resistência

Da tabela 30 página 42 de [4] escolhe-se  $T_e = 15 \text{ min}$

Da tabela 7 da página 30 escolhe-se  $K_{Tf} = 1$  e da tabela 8 da página 30 escolhe-se  $K_{Tm} = 1$ .

Duração da ferramenta de corte:  $T = T_e \times K_{Tf} \times K_{Tm} = 15 \times 1 \times 1 = 15 \text{ min}$

### 10. Coeficientes de correção da velocidade

Da tabela 5 e 6 da página 30 tem-se os seguintes coeficientes:

$$K_{esv} = 0,85 \quad K_{mfv} = 1 \quad C_m = 1 \quad n_v = 0,9 \quad \sigma_r = 823MPa$$

$$K_{mv} = C_m \times (750 / \sigma_r)^{n_v} = 1 \times (750 / 823)^{0,9} = 0,92$$

Da tabela 31, página 42, tem-se:  $K_{lv} = 1$ , e da nota 13 da página 6, tem-se:  $K_{av} = 1$

$$K_v = K_{mv} \times K_{esv} \times K_{mfv} \times K_{lv} \times K_{av} = 0,92 \times 0,85 \times 1 \times 1 \times 1 = 0,78$$

### 11. Velocidade de corte

A velocidade de corte obtém-se através da fórmula:

$$V_c = \frac{C_v \times D_f^{q_v}}{T^m \times t^{x_v} \times S_m^{y_v}} \times K_v = \frac{16,3 \times 5,2^{0,4}}{25^{0,2} \times 2,4^{0,2} \times 0,1^{0,5}} \times 0,78 = 39,04 \text{ m/min}$$

### 12. Frequência de rotações da árvore principal

$$n_c = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D_f} = \frac{1000 \times 73,37}{\pi \times 10} = 2329,55 \text{ rpm}$$

### 13. Frequência de rotações da árvore principal da máquina

Escolheu-se o número de rotações de entre os números disponíveis para a furadora UCIMU  $n_m = 1350 \text{ rpm}$  que é o menor número de rotações da máquina mais próximo do valor calculado.

### 14. Velocidade real de corte

$$V_r = \frac{\pi \times D_f \times n_m}{1000} = \frac{\pi \times 5,2 \times 1350}{1000} = 22,05 \text{ m/min}$$

### 15. Coeficientes e expoentes para cálculo do momento torsor e força axial

Da Tabela 32 da Página 42 obtém-se:

$$C_m = 0,345 \quad q_m = 2 \quad x_m = 0 \quad y_m = 0,8 \quad C_p = 680 \quad q_p = 1 \quad x_p = 0 \quad y_p = 0,7 \quad K_{ap} = 1$$

### 16. Coeficientes de correcção da força de corte

Da tabela 9 da página 31, em função das propriedades do material da peça, tira-se:

$$K_{mp} = (\sigma_t / 750)^{0,75} = (823 / 750)^{0,75} = 1,07$$

Da página 31, em função do desgaste da ferramenta, tira-se:  $K_{df} = 1,8$

### 17. Momento torsor

$$M_t = C_m \times D_f^{q_m} \times t^{x_m} \times S_{vm}^{y_m} \times K_{mp} \times K_{ap} \times K_{df}$$

$$M_t = 0,345 \times 5,2^2 \times 2,4^0 \times 0,1^{0,8} \times 1,07 \times 1 \times 1,8 = 2,85 Nm$$

### 18. Força axial de corte

$$P_a = C_p \times D_f^{q_p} \times t^{x_p} \times S_{vm}^{y_p} \times K_p$$

$$K_p = K_{mp} \times K_{df} = 1,07 \times 1,8 = 1,93$$

$$P_a = 680 \times 5,2^0 \times 2,4^0 \times 0,1^{0,7} \times 1,93 = 1361,52 N$$

### 19. Potência de corte

$$N_c = \frac{M_t \times n_m}{9550} = \frac{2,85 \times 1350}{9550} \approx 0,40 kW$$

### 20. Verificação da potência

A verificação é feita através da condição:

$$N_c < N_m \times \eta ; \text{Onde: } \eta \text{ é o rendimento do acionamento, situado entre } 0,65 \text{ e } 0,85$$

Calculando obtém-se:  $0,4 < 1,8 \times 0,75 \Rightarrow 0,4 < 1,5$ . Então a condição verifica-se.

### 21. Coeficiente de uso da máquina

$$C_{um} = \frac{N_c}{N_m \times \eta} = \frac{0,4}{1,8 \times 0,75} = 0,26$$

### 22. Coeficiente de uso da ferramenta

$$C_{uf} = \frac{V_r}{V_c} = \frac{22,05}{34,36} = 0,64$$

### 23. Tempo de tratamento principal

$$t_p = \frac{C_f \times t \times \text{ctg} \varphi + l_s}{S_{vm} \times n_m} = \frac{15 \times 2,4 \times \text{ctg} 59^\circ + 3}{0,1 \times 1350} = 0,18 \text{ min} = 11 \text{ segundos}$$

Tratando-se de quatro furos, o tempo de tratamento principal será multiplicado por quatro referentes ao número de furos:  $t_p = 0,18 \text{ min} \times 4 = 0,72 = 44 \text{ segundos}$

#### 24. Resultados obtidos

- Tipo de ferro de corte: Broca helicoidal;
- Material da parte cortante: P6M5
- Dimensões:  $D \times l \times L = 45 \times 210 \times 397$
- Geometria de afiação:  $\alpha = 15^\circ$     $2\varphi = 118^\circ$     $\psi = 45^\circ$     $\omega = 20^\circ$
- Modelo e Potência da furadora: Furadora modelo UCIMU,  $N_m = 3 \text{ kW}$
- Coeficiente de uso da máquina:  $C_{uf} = 0,26$
- Regime de corte:  $t = 2,4 \text{ mm}$     $S_{mv} = 0,1 \text{ min/vol}$     $V_r = 22,05 \text{ m/min}$     $n_m = 1350 \text{ rpm}$   
 $N_c = 0,40 \text{ kW}$     $t_p = 44 \text{ segundos}$ .

Tabela 22.7 Resultados obtidos na abertura dos furos roscados (Fonte: Autor)

Detalhes da ferramenta de corte								
Material da ferramenta	$\alpha$	$2\varphi$	$\psi$	$\omega$	—	—	—	—
P6M5	$15^\circ$	$118^\circ$	$45^\circ$	$20^\circ$	—	—	—	—
Regimes de corte								
Operação	Dim. Inicial (mm)	Dim. Final (mm)	t (mm)	Sv (mm/vol)	Vr (m/min)	$n_m$ (rpm)	$N_c$ (kW)	tp (seg)
Brocagem de desbastamento	0	5,2	2,4	0,1	22,05	1350	0,40	11

### 3.16. Abertura da Rosca

Para abertura da rosca será usado um macho. Quando se abre rosca com machos, o processo deve se dar em uma ou três passagens, o desbaste onde se retira 60% da camada total, o semiacabamento onde se retira 30% da camada total e o acabamento, onde se retira 10% da camada total.

#### 1. Modelo da furadora

Escolheu-se a máquina de roscar 2E056 da referência bibliográfica [7].

#### 2. Tipo de ferramenta

Das opções disponíveis opta-se pelo uso de macho de diâmetro 10 mm.

### 3. Material da parte cortante

Como o material a ser trabalhado não tem alta dureza, escolhe-se aço rápido P6M5, norma GOST.

### 4. Parâmetros geométricos da parte cortante da ferramenta

$$\gamma = 15^\circ \quad \varphi = 20^\circ \quad \alpha = 8^\circ \quad \lambda = 0^\circ$$

### 5. Frequência de rotações da árvore principal

Escolhe-se uma velocidade de corte em Hasluck, Paul N., 1883, *Lathe-Work A practical Treatise*.

$$V_c = 6,5m / \text{min}$$

$$n_c = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D_f} = \frac{1000 \times 6,5}{\pi \times 10} = 206,9rpm$$

### 6. Frequência de rotações da árvore principal da Máquina

Após calculada a frequência de rotações no passo anterior, escolhe-se a menor e mais próxima da tabela da Máquina,  $n_m = 210rpm$ .

Potência da máquina:  $N_m = 1,1kW$

### 7. Velocidade real de corte

Com a nova frequência de rotações calcula-se a velocidade real de corte.

$$V_r = \frac{\pi \times D_f \times n_m}{1000} = \frac{\pi \times 10 \times 210}{1000} = 6,59 \approx 6,6m / \text{min}$$

A seguir faz se a verificação da potência da máquina.

### 8. Momento Torsor

Para roscas o momento torsor calcula-se por:

$$M_t = C_m \times D_f^{q_m} \times p^y \times K_p \tag{47}$$

Onde:

$D_f$  —É o diâmetro final em mm, 10 mm;

$p$  —É o passo da rosca em mm, 0,75 mm;

Da tabela 51 da página 52 são retirados os coeficientes:

$$C_m = 0,27 \quad y = 1,5 \quad q = 1,4 \quad u = 0$$

$K_p$  é tomado de tratamentos anteriores visto que depende apenas do material:  $K_p = 1,332$ .

$$M_t = C_m \times D_f^{q_m} \times p^y \times K_p = 0,27 \times 10^{1,4} \times 0,75 \times 1,332 = 5,87 Nm$$

### 9. Potência de corte

Tendo calculado o momento tursor, e escolhido a frequência de rotações adequada, calcula-se a potência de corte.

$$N_c = \frac{M_t \times n_m}{9550} = \frac{5,87 \times 210}{9550} = 0,13 kW$$

### 10. Verificação da potência

A verificação é feita através da condição:

$$N_c < N_m \times \eta ; \text{ Onde: } \eta \text{ é o rendimento do acionamento, situado entre } 0,65 \text{ e } 0,85$$

Calculando obtém-se:  $0,13 < 1,1 \times 0,75 \Rightarrow 0,13 < 0,83$ . Então a condição verifica-se.

## 3.17. Abertura da ranhura da chave

### 1. Modelo da brochadora

Escolheu-se a brochadora horizontal 5702B da referência bibliográfica [7].

### 2. Tipo de ferramenta

Das opções disponíveis opta-se brocha de chave padrão.

### 3. Material da parte cortante

Como o material a ser trabalhado não tem alta dureza, escolhe-se aço rápido P6M5, norma GOST.

#### 4. Parâmetros geométricos da parte cortante da ferramenta

- Largura da brocha:  $B = 12,5 \text{ mm}$ ;
- Diâmetro mínimo do furo da peça a ser usinada:  $D = 12 \text{ mm}$ ;
- Profundidade dos dentes da brocha:  $h = 4,5 \text{ mm}$ ;
- Passo dos dentes:  $p = 8,6 \text{ mm}$ .
- Ângulo de pressão:  $\alpha = 15^\circ$

#### 5. Velocidade de corte

Da referência bibliográfica [1] escolhe-se a velocidade de corte:  $V_c = 3,5 \text{ m/min}$

#### 6. Força total de corte

A força de corte para o brocheamento será determinado por:

$$P_c = P_r \times \frac{\Delta}{2} \times k_{sl} \times n \quad (48)$$

Onde:

$P_r$  — Perímetro em contacto,  $P_r = 24 \text{ mm}$ ;

$\Delta$  — Incremento dos dentes,  $\Delta = 0,09 \text{ mm}$ ;

$k_{sl}$  — Pressão específica de corte,  $k_{sl} = 315 \text{ kgf/mm}^2$ ;

$n$  — Número de dentes em trabalho,  $n = \frac{B}{p} = \frac{24}{8,6} = 2 \approx 3 \text{ dentes}$ ; (49)

$$P_c = P_r \times \frac{\Delta}{2} \times k_{sl} \times n = 24 \times \frac{0,09}{2} \times 315 \times 3 = 1020,6 \text{ kgf} = 10001,88 \text{ N}$$

#### 7. Potência de corte

Tendo calculado a força total de corte, e tendo a velocidade de corte, calcula-se a potência de corte.

$$N_c = \frac{P_c \times V_c}{60 \times 75} = \frac{1020,6 \times 3,5}{60 \times 75} = 0,79 \text{ kW}$$

#### 8. Potência da máquina

Do catálogo toma-se a potência da brochadora  $N_m = 2,5 \text{ kW}$

## 9. Verificação da potência

A verificação é feita através da condição:

$N_c < N_m \times \eta$ ; Onde:  $\eta$  é o rendimento do acionamento, situado entre 0,65 e 0,85

Calculando obtém-se:  $0,79 < 2,5 \times 0,75 \Rightarrow 0,79 < 1,88$ . Então a condição verifica-se

## 10. Tempo de tratamento principal

O tempo de tratamento principal determina-se pela expressão:

$$t_p = \frac{l + l_2}{V \times 1000} \quad (50)$$

Onde:

$l$  — Comprimento da brocha,  $l = 182mm$ ;

$l_2 = 5...10mm$ , Toma-se,  $l_2 = 10mm$ ;

$$t_p = \frac{l + l_2}{V \times 1000} = \frac{182 + 70}{3,5 \times 1000} = 0,094 \text{ min} \approx 6 \text{ segundos}$$

## 3.18. Fresagem de desbastamento dos dentes

### 1. Modelo da fresadora

Da referência bibliográfica [6], escolheu-se a fresadora plana bimotoante do modelo 6605.

### 11. Tipo de ferro cortante

Das opções disponíveis escolheu-se a fresa mãe para fresagem das superfícies dos dentes do volante de coroa dentada, que é adequado para o tratamento que se pretende realizar.

### 12. Material da parte cortante da ferramenta

Das recomendações da tabela da página 12 escolheu-se o aço rápido HS 6-5-2 (norma ISO), que corresponde a P6M5 (norma GOST).

### 13. Dimensões principais do ferro cortante

Das recomendações da página 22 escolheram-se as dimensões:

- Diâmetro da parte cortante,  $D = 90$  mm;
- Diâmetro do cabo,  $d = 30$  mm;
- Número de dentes,  $Z = 6$

#### 14. Parâmetros principais do ferro cortante

Das recomendações da página 8 de [4], A largura da fresa  $B_f = 46$  mm que é igual ou maior em  $2 \div 5$  mm da largura da superfície trabalhada.

Tomando o diâmetro da superfície trabalhada  $B_s = 42$  mm, determina-se o diâmetro mínimo da fresa.

Toma-se como diâmetro da fresa  $D = 90$  mm.

#### 15. Sobresspessura

A Sobresspessura é já conhecida:  $z = 2,72$  mm

#### 16. Profundidade de corte

A profundidade de corte é já conhecida:  $t = 4,72$  mm

#### 17. Avanços máximos admissíveis

Da tabela 34 da página 43 tirou-se, em função da potência da máquina ferramenta, o valor:  $S_z = 0,15$  mm/dente.

Da tabela 36 da página 44, para o diâmetro da fresa e profundidade de corte  $t = 2,72$  mm, tirou-se:  $S_z = 0,8$  mm/dente.

Da tabela 37 da página 45, em função da rugosidade da superfície, tirou-se:  $S_z = 2,7$  mm/volta

#### 18. Avanço mínimo

Dos avanços máximos admissíveis escolhe-se o avanço mínimo, que corresponde a:  $S_v = 0,15$  mm/dente

#### 19. Avanço da máquina

Dos avanços disponíveis para máquina escolhida escolhe-se o menor e mais próximo do avanço mínimo:  $S_v = 1,25$  mm/dente

#### 20. Coeficientes e expoentes para cálculo da velocidade de corte

Da tabela 39 da página 45, em função do tipo da ferramenta de corte, do material da peça e da profundidade de corte escolhem-se os coeficientes:

$$C_v = 75,5 \quad q_v = 0,25 \quad x_v = 0,3 \quad y_v = 0,2 \quad u_v = 0,1 \quad p_v = 0,1 \quad m = 0,2$$

### 21. Duração da fresa

Da tabela 40, página 47 escolhe-se a duração da fresa  $T_e = 120$  min. Da tabela 7 da página 30 escolhe-se  $K_{Tf} = 1$  e da tabela 8 da página 30 escolhe-se  $K_{Tm} = 1$ . Assim a duração da fresa é:

$$T = T_e \times K_{Tf} \times K_{Tm} = 120 \times 1 \times 1 = 120 \text{ min}$$

### 22. Coeficientes de correcção da velocidade

Da tabela 2 da página 29, em função do material da peça e do material da ferramenta extraem-se os coeficientes:  $C_m = 1,0$   $n_v = 1,0$ ;

Da tabela 3 da página 29, em função do material da peça tira-se o coeficiente:  $K_{mv} = 0,75$ ;

Da tabela 5 da página 30, em função do estado da superfície da peça tira-se o coeficiente:  $K_{esv} = 0,85$

Da tabela 6 da página 30, em função do material da peça tira-se o coeficiente:  $K_{mfv} = 1$ ;

### 23. Velocidade de corte

A velocidade de corte obtém-se através da fórmula:

$$V_c = \frac{C_v \times D^{q_v}}{T^m \times t^{x_v} \times S_z^{y_v} \times B^{u_v} \times z^{p_v}} \times k_v$$

$$\text{Onde } k_v = K_{mv} \times K_{esv} \times K_{mfv} = 0,75 \times 0,85 \times 1 = 0,64$$

$$V_c = \frac{75,5 \times 90^{0,25}}{120^{0,2} \times 3,72^{0,3} \times 0,15^{0,4} \times 46^{0,1} \times 5^{0,1}} \times 0,64 = 35,75 \text{ m/min}$$

### 24. Frequência de rotações da árvore principal

A frequência de rotações obtém-se através da fórmula:

$$n_c = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 35,75}{\pi \times 90} = 126,45 \text{ rpm}$$

## 25. Frequência de rotações da árvore principal da máquina

Escolheu-se a frequência de rotação da árvore principal pela máquina  $n_m$ , da série das frequências disponíveis para a fresadora 6605 que é maior mas menor 1.1 nc, que corresponde a:  $n_m = 135 \text{ rpm}$ .

## 26. Velocidade real de corte

A velocidade de corte para superfícies externas determina-se através da fórmula:

$$V_r = \frac{\pi \times D \times n_m}{1000}$$

$$\text{Calculando obtém-se: } V_r = \frac{\pi \times 90 \times 135}{1000} = 38,17 \text{ m/min}$$

Pela fórmula  $S_{mc} = S_{zc} \times Z \times n_m$ , determina-se o avanço  $S_{mc}$ .

$$S_{mc} = 5 \times 135 \rightarrow S_{mc} = 675 \text{ mm/min}$$

## 27. Velocidade de avanço pela máquina

Escolheu-se o avanço pela máquina  $S_{mm}$ , pelo catalogo da fresadora 6605, de modo que  $S_{mm}$  seja igual ou menor que  $S_{mc}$ , que corresponde a:  $S_{mm} = 340 \text{ mm/min}$ .

## 28. Avanço real da máquina

$$\text{Recalcula-se o avanço real por dente pela fórmula: } S_{zr} = \frac{S_{mm}}{z \times n_m} = \frac{340}{5 \times 135} = 0,50 \text{ mm/dente}$$

## 29. Coeficientes e expoentes para cálculo da força de corte

Da tabela 41 da página 47, em função do material da peça e da ferramenta e do tipo de tratamento, tira-se:

$$C_p = 682 \quad X_p = 0,86 \quad Y_p = 0,72 \quad u_p = 1,0 \quad w_p = 0 \quad q_p = 0,86$$

## 30. Coeficientes de correcção da força de corte

Da Tabela 9 da Página 31, em função das propriedades do material da peça, tira-se:

$$K_{MP} = (\sigma_t / 750)^{0,75} = (823 / 750)^{0,75} = 1,07$$

Da Página 31, em função do desgaste da ferramenta, tira-se:  $K_{df} = 1,6$

### 31. Força de corte

A força de corte obtém-se através da fórmula:

$$P_z = \frac{C_p \times t^{x_p} \times S_{zr}^{y_p} \times B^{u_p} \times z}{D^{q_p} \times n_m^{w_p}} \times K_{mp} \times K_{df}$$

$$P_z = \frac{682 \times 3,72^{0,86} \times 0,50^{0,72} \times 46^1 \times 5}{90^{0,86} \times 135^0} \times 1,07 \times 1,6 = 7401,14N$$

### 32. Potência de corte

A potência de corte determina-se através da fórmula:

$$N_c = \frac{P_z \times V_r}{60000} = \frac{7401,1 \times 38,17}{60000} = 4,7kW$$

### 33. Verificação da potência

A verificação é feita através da condição:

$$N_c < N_m \times \eta$$

Onde:  $\eta$  é o rendimento do acionamento, situado entre 0,65 e 0,85

Calculando obtém-se:  $4,7 < 7,5 \times 0,85 \Rightarrow 4,7 < 6,4$ . Então a condição verifica-se.

### 34. Coeficiente de uso da máquina

O coeficiente de uso da máquina obtém-se através da fórmula:

$$C_{um} = \frac{N_c}{N_m \times \eta} = \frac{4,71}{7,5 \times 0,85} = 0,74$$

### 35. Coeficiente de uso da ferramenta

O coeficiente de uso da ferramenta obtém-se através da fórmula:

$$C_{uf} = \frac{V_r}{V_c} = \frac{38,17}{35,75} = 1,068$$

### 36. Tempo de tratamento principal

O tempo de tratamento principal determina-se pela expressão:

$$t_p = \frac{l + l_1 + l_2}{S_v \times n_m - q} \quad (51)$$

Onde:

$$l_1 = 1,1 \dots 1,2 \times \sqrt{h \times (D - h)}, \text{ Sendo:} \quad (52)$$

$h$  — Altura dos dentes da engrenagem,  $h = 8mm$  ;

$D$  — Diâmetro da peça a tratar,  $D = 355mm$  ;

$$l_1 = 1,1 \dots 1,2 \times \sqrt{h \times (D - h)} = 1,2 \times \sqrt{8 \times (355 - 8)} = 65,12mm$$

$l$  — Largura da dos dentes da peça,  $l = 42mm$  ;

$l_2 = 2 \dots 3mm$ , Toma-se,  $l_2 = 3mm$  ;

$q$  — Número de entrada da fresa,  $q = 5$  ;

$$t_p = \frac{l + l_1 + l_2}{S_v \times n_m - q} = \frac{42 + 65,12 + 3}{0,15 \times 135 - 5} = 11,22 \text{ min}$$

### 37. Resultados obtidos

- Tipo de ferro de corte: fresa mãe;
- Material da parte cortante: GOST P6M5
- Dimensões:  $D \times d \times Z = 90 \times 30 \times 5$
- Geometria de afiação:  $\alpha = 16^\circ$   $\gamma_{ch} = -5^\circ$   $\gamma = 15^\circ$   $\lambda = 5^\circ$   $\varphi = 60^\circ$   $\varphi_0 = 30^\circ$
- Modelo e Potência da fresadora: 6P12;  $N_m = 7,5kW$
- Coeficiente de uso da máquina:  $C_{um} = 0,95$

Regime de corte:  $t = 2,72mm$   $S_{mv} = 1,25mm/min$   $V_r = 38,17m/min$   $n_m = 135rpm$   $N_c = 4,7kW$

$t_p = 9,86n = 0,9segundos$ .

## 3.19. Fresagem de semiacabamento

### 1. Profundidade de corte

A profundidade de corte é já conhecida:  $t = 3,26 \text{ mm}$

## 2. Avanços máximos admissíveis

Da tabela 34 da página 43 tirou-se, em função da potência da máquina ferramenta, o valor:

$S_z = 0,1 \text{ mm/dente}$ .

Da tabela 36 da página 44, para o diâmetro da fresa e profundidade de corte  $t = 0,56 \text{ mm}$ , tirou-se:  $S_z = 0,008 \text{ mm/dente}$

Da tabela 37 da página 45, em função da rugosidade da superfície, tirou-se:  $S_z = 1,2 \text{ mm/volta}$

## 3. Avanço na fresadora

Determina-se o avanço na fresadora pela fórmula:  $S_{vc} = S_z \times Z = 1,2 \times 5 = 6 \text{ mm/volta}$

## 4. Avanço da máquina

Pela condição  $S_{vm} \leq S_{vc}$ , escolhe-se no catálogo da máquina o avanço da máquina:  $S_{vm} = 3,8 \text{ mm/volta}$ .

## 5. Coeficientes e expoentes para cálculo da velocidade de corte

Da tabela 39 da página 45, em função do tipo da ferramenta de corte, do material da peça e da profundidade de corte escolhem-se os coeficientes:

$$C_v = 75,5 \quad q_v = 0,25 \quad x_v = 0,3 \quad y_v = 0,2 \quad u_v = 0,1 \quad p_y = 0,1 \quad m = 0,2$$

## 6. Duração da fresa

Da tabela 40, página 47 escolhe-se a duração da fresa  $T_e = 240 \text{ min}$ . Da tabela 7 da página 30 escolhe-se  $K_{Tf} = 1$  e da tabela 8 da página 30 escolhe-se  $K_{Tm} = 1$ . Assim a duração da fresa é:

$$T = T_e \times K_{Tf} \times K_{Tm} = 240 \times 1 \times 1 = 240 \text{ min}$$

## 7. Coeficientes de correcção da velocidade

Da tabela 2 da Página 29, em função do material da peça e do material da ferramenta extraem-se os coeficientes:  $C_m = 1,0 \quad n_v = 0,9$ ;

Da tabela 3 da página 29, em função do material da peça tira-se o coeficiente:  $K_{mv} = 0,75$ ;

Da tabela 5 da página 30, em função do estado da superfície da peça tira-se o coeficiente:  $K_{esv} = 0,85$

Da tabela 6 da página 30, em função do material da peça tira-se o coeficiente:  $K_{mfv} = 1$ ;

### 8. Velocidade de corte

A velocidade de corte obtém-se através da fórmula:

$$V_c = \frac{C_v \times D^{q_v}}{T^m \times t^{x_v} \times S_z^{y_v} \times B^{u_v} \times Z^{p_v}} \times k_v$$

Onde  $k_v = K_{mv} \times K_{esv} \times K_{mfv} = 0,75 \times 0,85 \times 1 = 0,64$

$$V_c = \frac{75,5 \times 90^{0,25}}{120^{0,2} \times 0,46^{0,3} \times 6^{0,2} \times 46^{0,15} \times 5^{0,1}} \times 0,64 = 34,87 \text{ m/min}$$

### 9. Frequência de rotações da árvore principal

A frequência de rotações obtém-se através da fórmula:

$$n_c = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D_{inc}} = \frac{1000 \times 34,87}{\pi \times 90} = 112,78 \text{ rpm}$$

### 10. Frequência de rotações da árvore principal da máquina

Escolheu-se a frequência de rotação da árvore principal pela máquina  $n_m$ , da série das frequências disponíveis para a fresadora 6605 que é maior mas menor 1.1  $n_c$ , que corresponde a:  $n_m = 100 \text{ rpm}$ .

### 11. Velocidade real de corte

A velocidade de corte para superfícies externas determina-se através da fórmula:

$$V_r = \frac{\pi \times D_{inc} \times n_m}{1000}$$

$$\text{Calculando obtém-se: } V_r = \frac{\pi \times 90 \times 100}{1000} = 28,27 \text{ m/min}$$

Pela fórmula  $S_{mc} = S_{zc} \times Z \times n_m$ , determina-se o avanço  $S_{mc}$ .

$$S_{mc} = 5 \times 100 \rightarrow S_{mc} = 500 \text{ mm/min}$$

### 12. Velocidade de avanço pela máquina

Escolheu-se o avanço pela máquina  $S_{mm}$ , pelo catalogo da fresadora 6605, de modo que  $S_{mm}$  seja igual ou menor que  $S_{mc}$ , que corresponde a:  $S_{mm} = 420\text{mm}/\text{min}$ .

### 13. Avanço real da máquina

Recalcula-se o avanço real por dente pela fórmula:  $S_{zr} = \frac{S_{mm}}{z \times n_m} = \frac{420}{5 \times 100} = 0,84\text{mm}/\text{dente}$

### 14. Coeficientes e expoentes para cálculo da força de corte

Da tabela 41 da página 47, em função do material da peça e da ferramenta e do tipo de tratamento, tira-se:

$$C_p = 682 \quad X_p = 0,86 \quad Y_p = 0,72 \quad u_p = 1 \quad w_p = 0 \quad q_p = 0,86$$

### 15. Coeficientes de correcção da força de corte

Da Tabela 9 da Página 31, em função das propriedades do material da peça, tira-se:

$$K_{MP} = (\sigma_t / 750)^{0,75} = (823 / 750)^{0,75} = 1,07$$

Da Página 31, em função do desgaste da ferramenta, tira-se:  $K_{df} = 1,6$

### 16. Força de corte

A força de corte obtém-se através da fórmula:

$$P_z = \frac{C_p \times t^{x_p} \times S_{zr}^{y_p} \times B^{u_p} \times z}{D^{q_p} \times n_m^{w_p}} \times K_{mp} \times K_{df}$$

$$P_z = \frac{682 \times 0,46^{0,86} \times 0,84^{0,72} \times 42^1 \times 5}{90^{1,1} \times 100^0} \times 1,07 \times 1,6 = 2327,03\text{N}$$

### 17. Potência de corte

A potência de corte determina-se através da fórmula:

$$N_c = \frac{P_z \times V_r}{60000} = \frac{2327,03 \times 28,27}{60000} = 1,09\text{kW}$$

### 18. Verificação da potência

A verificação é feita através da condição:

$$N_c < N_m \times \eta$$

Onde:  $\eta$  é o rendimento do acionamento, situado entre 0,65 e 0,85

Calculando obtém-se:  $1,09 < 7,5 \times 0,75 \Rightarrow 1,09 < 5,6$ . Então a condição verifica-se.

### 19. Coeficiente de uso da máquina

O coeficiente de uso da máquina obtém-se através da fórmula:

$$C_{um} = \frac{N_c}{N_m \times \eta} = \frac{1,09}{7,5 \times 0,75} = 0,19$$

### 20. Coeficiente de uso da ferramenta

O coeficiente de uso da ferramenta obtém-se através da fórmula:

$$C_{uf} = \frac{V_r}{V_c} = \frac{28,27}{31,89} = 0,89$$

### 21. Tempo de tratamento principal

O tempo de tratamento principal obtém-se através da fórmula:

O tempo de tratamento principal determina-se pela expressão:

$$t_p = \frac{l + l_1 + l_2}{S_v \times n_m - q}$$

Onde:

$$l_1 = 1,1 \dots 1,2 \times \sqrt{h \times (D - h)}, \text{ Sendo:}$$

$h$  — Altura dos dentes da engrenagem,  $h = 8mm$  ;

$D$  — Diâmetro da peça a tratar,  $D = 355mm$  ;

$$l_1 = 1,1 \dots 1,2 \times \sqrt{h \times (D - h)} = 1,2 \times \sqrt{8 \times (355 - 8)} = 65,12mm$$

$l$  — Largura da dos dentes da peça,  $l = 42mm$  ;

$$l_2 = 2 \dots 3mm, \text{ Toma-se, } l_2 = 3mm ;$$

$q$  — Número de entrada da fresa,  $q = 5$ ;

$$t_p = \frac{l + l_1 + l_2}{S_v \times n_m - q} = \frac{42 + 65,12 + 3}{3,8 \times 135 - 5} = 8,72 \text{ min}$$

## 22. Resultados obtidos

- Tipo de ferro de corte: fresa mãe;
- Material da parte cortante: GOST P6M5
- Dimensões:  $D \times d \times Z = 90 \times 30 \times 5$
- Geometria de afiação:  $\alpha = 16^\circ$   $\gamma_{ch} = -5^\circ$   $\gamma = 15^\circ$   $\lambda = 5^\circ$   $\varphi = 60^\circ$   $\varphi_0 = 30^\circ$
- Modelo e Potência da fresadora: 6P12;  $N_m = 7,5kW$
- Coeficiente de uso da máquina:  $C_{um} = 0,19$

Regime de corte:  $t = 0,46mm$   $S_{mv} = 3,8mm/min$   $V_r = 28,27m/min$   $n_m = 100rpm$   $N_c = 1,09kW$   
 $t_p = 8,72 \text{ min}$ .

Tabela 23.7 Resultados obtidos na fresagem dos dentes (Fonte: Autor)

Detalhes da ferramenta de corte								
Material da ferramenta	$\alpha$	$\alpha_1$	$\gamma_{ch}$	$\gamma$	$\lambda$	$\varphi$	$\varphi_0$	—
P6M5	$16^\circ$	$8^\circ$	$-5^\circ$	$15^\circ$	$5^\circ$	$60^\circ$	$30^\circ$	—
Regimes de corte								
Operação	t (mm)	Sv (mm/min)	Vr (m/min)	$n_m$ (rpm)	$N_c$ (kW)	tp (seg)	—	—
Fresagem de desbastamento	2,72	1,25	28,27	135	1,47	11,32	—	—
Fresagem de semiacabamento	0,56	3,8	38,17	100	1,09	8,72	—	—

## CAPÍTULO IV - AVALIAÇÃO ECONÓMICA DO PROJECTO

Da análise construtiva da peça (volante de coroa dentada) feita no Capítulo I, pode se constatar que existem diferentes formas de usinagem de cada uma das superfícies da peça, podendo obter-se diferentes versões da rota de tratamento.

## Apresentação de propostas

A primeira proposta para a usinagem de cada uma das superfícies da peça esta apresentada no anexo IV. A segunda proposta, passa por recorrer a fresagem para a obtenção das superfícies das faces laterais da peça e por fim o uso do método de cópia com recurso a uma fresa de disco para a fabricação dos flancos dos dentes volante de coroa dentada.

Tabela 24.7 Apresentação do tempo de tratamento principal e tempo auxiliar de uma unidade (Fonte: Autor)

Operação	Proposta I		Operação	Proposta II	
	Tempo tratamento principal (min)	Tempo auxiliar (min)		Tempo tratamento principal (min)	Tempo auxiliar (min)
Fresagem das superfícies	4,5	0,65	Fresagem das superfícies	2,45	0,65
Fresagem das superfícies	4,5	0,65	Fresagem das superfícies	2,45	0,65
Torneamento faces laterais	0,13	0,74	Fresagem de faces laterais	0,95	0,74
Alargamento do furo central	0,81	4	Alargamento do furo central	0,85	4
Alargamento do furo mancal	1,22	4	Alargamento do furo mancal	1,28	4
Abertura dos escalões livre e chanfro interno	0,35	0,54	Abertura do escalão livre e chanfros internos	0,35	0,54
Cilindro externo no e chanfro interno	0,5	0,74	Cilindro externo e chanfro externo	0,5	0,74
Furos dos pinos roscados	1,03	1	Furos dos pinos roscados	1,03	1
Furos dos parafusos de fixação	1,03	1	Furos dos parafusos de fixação	1,03	1
Brocheamento	0,094	0,95	Brocheamento	0,094	0,95
Fresagem de dentes	20,04	3,1	Fresagem de dentes	42,079	5
<i>Tempo de operação total</i>	30,2	10,65	<i>Tempo de operação total</i>	53,06	19,17

Com base na tabela dos tempos de tratamento principal e tempo auxiliar para cada operação, determina-se, com recurso a fórmula abaixo, o tempo necessário para a fabricação de um lote de peças para cada proposta de rota de tratamento.

$$T_{lp} = n \times (T_a + t_p) \quad (53)$$

Onde:  $T_{lp}$  → é o tempo necessário para a fabricação de um lote de peças;

$T_a$  → é o tempo auxiliar;

$n$  → é a quantidade de peças em um lote,  $n = 5$ ;

$t_p$  → é o tempo de tratamento principal.

*Tabela 25.7 Tempo de fabricação por lote para cada proposta de fabricação (Fonte: Autor)*

<b>Tempo de fabricação de um lote</b>	
Proposta I	237,36 min
Proposta II	361,17 min

A seguir são apresentados, para cada proposta de rota de tratamento, os custos operacionais e de pessoal e também são apresentados os ganhos das decisões tomadas ao longo desse projecto, num período de um ano.

Portanto, para o cálculo dos custos operacionais e de pessoal, considera-se os seguintes dados:

- Tempo de operação: 8 horas/dia
- Taxa de inflação: 12%
- Produtos defeituosos: 5% da produção anual
- Salário mínimo para a indústria transformadora: 7 450,00 MZN
- Tempo de trabalho: Um minuto de trabalho é equivalente a 1,32 Mzn

Na tabela as seguir, pode-se perceber qual o ganho efetivo com a implementação da proposta I em relação a proposta II.

*Tabela 26.7 Comparação entre os custos das duas propostas de fabricação (Fonte: Autor)*

<b>Proposta</b>	<b>Custos de cada</b>	<b>Ganho (h)</b>	<b>Ganho</b>
Proposta I	MZN 7.495,89	2,45	MZN 2.165,47
Proposta II	MZN 9.659,36		

Da tabela 26.7 verifica-se que:

Das duas propostas apresentadas para as operações de obtenção do volante de coroa dentada, a proposta I em relação a proposta II apresenta uma considerável redução de tempo de operação de 2,06 h que corresponde a um ganho de 2.165,47 MZN por lote.

## **CAPÍTULO V - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **5.1. Conclusões**

Terminado o trabalho, destacam-se as seguintes constatações:

- A peça dada (volante de coroa dentada) tem a forma de um disco, apresenta baixa rugosidade, sendo de configuração média complexa. Todas as superfícies, dimensões lineares e angulares da peça, ângulos de engrenamento e de inclinação são normalizados por forma a garantir o uso de ferramentas e instrumentos de medição normalizados;
- A sequência tecnológica de tratamento de cada superfície da peça permite o cumprimento dos requisitos tecnológicos necessários ao volante de coroa dentada, bem como a optimização do tempo de obtenção de cada superfície;

Com este trabalho espera-se:

- Incentivar a indústria moçambicana, na projecção e fabricação interna de artigos de máquinas diversos, reduzindo não só as importações, assim como o tempo de indisponibilidade das máquinas e dos respectivos custos de manutenção.

## 5.2. Recomendações

Após a elaboração da presente proposta de fabricação do volante de coroa dentada, recomenda-se:

- Para o tratamento dos dentes do volante de coroa dentada recomenda-se sejam executados por um operário experiente, devido a relevância dessas superfícies;
- Observação do tempo de tratamento principal de cada superfície do volante de coroa dentada por forma a se evitar perda de tempo;
- No caso de o volante de coroa dentada funcionar em um ambiente altamente corrosivo, recomenda-se que o processo de usinagem passe por uma operação de pintura do seu corpo. No geral, no caso de o volante funcionar em um ambiente totalmente diferente do exposto neste trabalho, recomenda-se a adoção de medidas corretivas para evitar os efeitos negativos na longevidade e funcionamento do volante;

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Estrada, Ana Maria Quesada; Hernandez, Jorge Gutierrez; Ivatsevich, Yuri “Métodos de Calculo das normas dos tempos dos Processos Tecnológicos” Instituto Superior de Holguin. Holguin, 1988;
- [2] Korbatov; Alexandre. P “Preparação Construtiva e Tecnológica de Fabricação dum Engrenagem dum Moinho” Universidade Eduardo Mondlane. Maputo, 2006;
- [3] Korbatov; A.P “Materiais didáticos da disciplina de Materiais II” Universidade Eduardo Mondlane. Maputo, 2006
- [4] Korbatov; A.P “Escolha da Máquina, Ferramenta e do Regime de Corte” Universidade Eduardo Mondlane. Maputo, 2005
- [5] Miceline, Maria Teresa e Ferreira, Patrícia “*Desenho Técnico Básico*” Editora Ao Livro Técnico. Rio de Janeiro, 2006;
- [6] Przybylski Josef “*Dispositivo Especiales para el Maquinado*” Habana, 1985;
- [7] Resende, Marino de Oliveira “*Princípios de processos de produção*” São Paulo, 1988;
- [8] Soares, Gloria de Almeida “*Fundição: Mercado, Processo e Metalurgia*” Editora Ao Livro Técnico. São Paulo, 2000;
- [9] Silva, Arlindo; Ribeiro, Carlos Tavares; Dias, João e Sousa Luís “*Desenho Técnico*” LTC. Lisboa, 2001;
- [10] AMF “*Catalogo Técnico de elementos de fixação mecânicos*” São Paulo, 2019-[www.amf.de](http://www.amf.de);
- [11] Stankoimport “*Tornos*” Moskva – SSSR;
- [12] Stankoimport “*Fresadoras*” Moskva – SSSR;
- [13] Stankoimport “*Maquinas para Tallar Engranajes y roscar*” Moskva – SSSR;

## **ANEXOS**

## Anexo I - Especificações da fresadora vertical 6P12

Tabela 27.10. Dados da fresadora vertical modelo 6P12 (Fonte: Referência bibliográfica [12])

<b>Parâmetros principais da fresadora vertical 6P12</b>		
Dimensões da superfície de trabalho da mesa em mm	380×1250	
Diâmetro máximo do varão a trabalhar [mm]	450	
Comprimento máximo da peça a trabalhar [mm]	-	
Potência do motor eléctrico em kW	7,5	
Rendimento do accionamento principal	0,7	
Gabaritos da máquina	Comprimento [mm]	2305
	Largura [mm]	1950
	Altura [mm]	2020
Massa da máquina em kg	3120	
Séries das frequências da árvore principal em r.p.m	25—1600	
Série dos avanços da mesa em mm/dente	Longitudinais: 15 —1250	
	Transversais: 0,12 —1250	
	Verticais: 8,3 —416,6	

## Anexo II - Especificações do Torno mecânico 1K62

Tabela 28.10 Dados do torno mecânico 1K62 (Fonte: Referência bibliográfica [11])

<b>Parâmetros principais do Torno mecânico 1K62</b>		
Comprimento máximo da peça a trabalhar [mm]	930	
Passo da rosca a trabalhar em polegadas	3/8 e 7/16	
Potência do motor eléctrico em kW	10	
Rendimento do accionamento principal	0,75	
Gabaritos da máquina	Comprimento [mm]	2812
	Largura [mm]	1166
	Altura [mm]	1324
Massa da máquina em kg	2140	
Séries das frequências da árvore principal em r.p.m	12,5—2000	
Série dos avanços da mesa em mm/volta	Longitudinais: 0,07 —4,16	
	Transversais: 0,035 —2,08	

### Anexo III - Especificações do Torno mecânico 16K20

Tabela 29.10 Dados do torno mecânico 16K20 (Fonte: Referência bibliográfica [11])

Parâmetros principais do Torno mecânico 16K20		
Diâmetro máximo da peça bruta a trabalhar [mm]	220	
Diâmetro máximo do varão a trabalhar [mm]	53	
Comprimento máximo da peça a trabalhar [mm]	1000	
Passo da rosca a trabalhar [mm]	0,5 a 112	
Potência do motor eléctrico em kW	11	
Rendimento do accionamento principal	0,75	
Gabaritos da máquina	Comprimento [mm]	3100
	Largura [mm]	1190
	Altura [mm]	1500
Massa da máquina em kg	3000	
Séries das frequências da árvore principal em r.p.m	12,6; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600	
Série dos avanços em mm/volta	0,05; 0,06; 0,075; 0,09; 0,1; 0,125; 0,15; 0,175; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,6; 2; 2,4; 2,8	
Altura da ranhura de instalação da ferramenta na porta ferramenta em mm	42	

## Anexo IV - Especificações da furadora radial UCIMU

Tabela 30.10 Dados da furadora radial UCIMU (Fonte: Referência bibliográfica [4])

Parâmetros principais da Furadora radial UCIMU		
Diâmetro máximo do furo a abrir [mm]	30	
Dimensões da mesa (Largura x Comprimento) em mm	450 x 450	
Distância máxima do topo da árvore principal até a mesa [mm]	720	
Deslocamento máximo do cabeçote da árvore principal [mm]	720	
Cone Morse do furo da árvore principal	4	
Potência do motor eléctrico em kW	1,8	
Rendimento do accionamento principal	0,75	
Gabaritos da máquina	Comprimento [mm]	2000
	Largura [mm]	630
	Altura [mm]	2200
Massa da máquina em k	-	
Serie das frequências da árvore principal em rpm	40; 60; 80; 110; 145; 200; 270; 370; 515; 720; 980; 1350	
Serie dos avanços em mm/volta	0,1; 0,2; 0,3	

## Anexo V - Especificações da máquina de roscar 2E056

Tabela 31.10 Dados da máquina de roscar 2E056 (Fonte: Referência bibliográfica [13])

<b>Parâmetros principais da máquina de roscar 2E056</b>		
Diâmetro máximo da rosca a trabalhar	Para aços: 18 mm	
	Para metais não ferrosos e plásticos: 24 mm	
Dimensões da mesa (Largura x Comprimento) em mm	360 x 320	
Limite do passo da rosca a talhar [mm]	0,5—3	
Potência do motor eléctrico em kW	1,1	
Rendimento do accionamento principal	0,75	
Gabaritos da máquina	Comprimento [mm]	1000
	Largura [mm]	500
	Altura [mm]	1780
Massa da máquina em kg	795	
Serie das frequências da árvore principal em rpm	35—1400	

## Anexo VI - Especificações da fresadora bimontante 6605

Tabela 32.10 Dados da fresadora bimontante 6605 (Fonte: Referência bibliográfica [12])

<b>Parâmetros principais da fresadora bimontante 6605</b>		
Dimensões da superfície de trabalho da mesa [mm]	500×1600	
Diâmetro máximo do varão a trabalhar [mm]	450	
Comprimento máximo da peça a trabalhar [mm]	-	
Potência do motor eléctrico em kW	7,5	
Rendimento do accionamento principal	0,7	
Gabaritos da máquina	Comprimento [mm]	5100
	Largura [mm]	3550
	Altura [mm]	2300
Massa da máquina [kg]	13600	
Séries das frequências da árvore principal em r.p.m	16—1600	
Série dos avanços da mesa em mm/dente	Primeira gama: 10 —1500	
	Segunda gama: 20 —3000	

## Anexo VII - Especificações da retificadora de engrenagens 5853

Tabela 33.10 Dados da retificadora de engrenagens 5853 (Fonte: Referência bibliográfica [13])

<b>Parâmetros principais da retificadora de engrenagens 5853</b>		
Diâmetro máximo da peça a trabalhar em mm	800	
Frequência de rotação do reboło em r.p.m	1900, 2660	
Potência do motor eléctrico em kW	7,27	
Rendimento do accionamento principal	0,7	
Gabaritos da máquina	Comprimento em mm	3340
	Largura em mm	2165
	Altura em mm	2340
Massa da máquina em kg	7500	
Séries das frequências da árvore principal em r.p.m	25—2850	
Série dos avanços da mesa em mm/dente	Longitudinais: 15 —1250	
	Transversais: 0,12 —1250	
	Verticais: 8,3 —416,6	

## **Anexo IIX – Desenho da peça acabada e desenho da peça bruta**