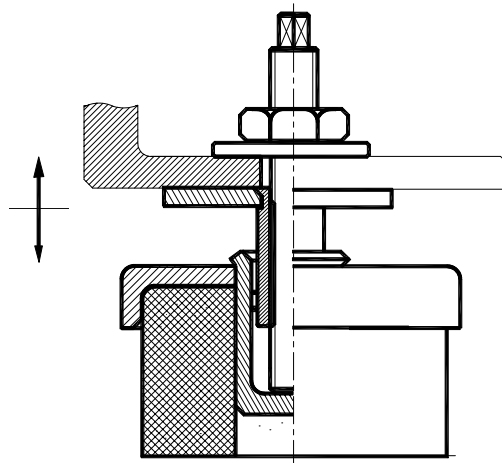




UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

TRABALHO DE LICENCIATURA

Preparação construtiva e tecnológica de fabricação de apoios



DISCENTE: Macuacua, Jorge Mário
SUPERVISOR: Dr. Eng^o Alexandre Kourbatov

Maputo - 2006

DECLARAÇÃO SOB PALAVRA DE HONRA

Declaro que o presente trabalho de licenciatura é resultado resultado de investigação feita pelo autor baseado nos conhecimentos técnicos profissionais adquiridos ao longo do curso e com bibliografias referenciados no trabalho.

Maputo, aos 29 de novembro de 2005

(Jorge Mário Macuacua)

DEDICATÓRIO

Dedico este trabalho a minha esposa e aos meus filhos pela compreensão e tolerancia na concessão do tempo para a minha formação.

Meus agradecimentos tambem aos docentes da faculldade de engenharia em especial ao meu supervisor Dr. Kourbatov por ter dedicado muito atenção na supervisão deste trabalho.

LISTA DE SÍMBOLOS

- A_{par} – amplitude da força;
- A – área do parafuso, mm^2
- A_p – área da cabeça do punção pressionada, mm^2 ;
- B_f – largura da fresa, mm;
- C – comprimento da chapa, mm;
- C_{um} – coeficiente do uso do material;
- C_{uf} – coeficiente do uso da ferramenta;
- C_f – custos de fabricação, Mt;
- C_m – custo de matéria prima, Mt;
- CFT – custos totais fixos, Mt;
- CVT – custos variáveis totais, Mt;
- CT – custos totais, Mt;
- D_f – diâmetro da fresa, mm;
- D_1 - diâmetro de raiz da rosca, mm;
- D_1 - diâmetro médio do parafuso, mm;
- D_d – diâmetro dos discos, mm;
- d_1 – diâmetro da fibra neutra, mm;
- E – módulo da elasticidade, N / mm^2 ;
- F – força externa que carrega o apoio, N;
- f – coeficiente de atrito;
- F_{par} - força suportada por cada parafuso, N;
- F_{ap} – força de aperto, N;
- F_{max} – força máxima que actua no apoio, N;
- F_{min} - força mínima que actua no apoio, N;
- F_c – força de corte, N;
- i – raio de giração, mm;
- J – momento de inércia da secção considerada, mm^4 ;
- K_s – coeficiente de segurança;
- K_n – coeficiente de normalização;
- K_u – coeficiente de unificação;

K_p – coeficiente de precisão;

K_r - coeficiente da rugosidade;

K_{um} – coeficiente de uso material;

K_{df} – coeficiente de correção da força de corte que tem em conta o desgaste da ferramenta;

K_{esv} – coeficiente de correção da velocidade de corte que tem em conta o estado do material;

K_{mfv} – coeficiente de correção da velocidade de corte que tem em conta o material da ferramenta cortante;

K_{mv} – coeficiente de correção da velocidade de corte que tem em conta a resistência do material a trabalhar;

K_{mtv} – coeficiente de correção da velocidade de corte que tem em conta o método de tratamento;

K_{qv} – coeficiente de correção da velocidade de corte que tem em conta as dimensões do cabo da ferramenta;

K_{te} – coeficiente de correção da duração da ferramenta que tem em conta o número de ferramentas que trabalham simultaneamente;

K_{tm} – coeficiente de correção da duração da ferramenta que tem em conta o número de máquinas que serve um operário;

K_v – coeficiente de correção da velocidade de corte;

$K_{\phi v}$; $K_{\phi 1v}$; K_{rv} – coeficientes da velocidade de corte que tem em conta a geometria da parte cortante da ferramenta;

K_{ap} – coeficiente de correção da força de corte que tem em conta a parte do dique das brocas;

$K_{\phi p}$; $K_{\gamma p}$; $K_{\lambda p}$; K_{rp} – coeficiente da força de corte que tem em conta a geometria da parte cortante da ferramenta;

K_{mp} – coeficiente da correção da força de corte;

K_{σ} - coeficiente que tem em conta a distribuição da carga entre filetes da rosca;

K – coeficiente de rigidez

L_f – comprimento do corpo a flambar, mm;

l_1 - distância da posição da ferramenta relativamente a peça a trabalhar, mm;

L_t – largura das tiras, mm;

L – lucro, Mt;

M – momento de corte, N x mm;

M_f – momento flector, N x mm;

n_v - expoente para o cálculo do coeficiente da resistência do material a trabalhar;

n_p – expoente para o cálculo do coeficiente de correcção da força de corte;

n_c – frequência de rotações calculada, r.p.m;

n_m – frequência de rotações da máquina tabelada, r.p.m;

N_c – potência de corte, kW;

N_p – número das peças;

P_z - força de corte, N;

P_a – força axial, N;

P – passo entre os discos, mm;

P_u – preço do produto, Mt;

P_{dmax} – força máxima, t;

Q_n - quantidade das superfícies normalizadas;

Q_Σ – quantidade total das superfícies;

Q_u – quantidade das superfícies unificadas;

Q_{pm} – grau de tolerância da média aritmética das superfícies;

Q_{pi} - grau de tolerância da i -ésima superfície;

Q_{Lt} - quantidade das tiras paralelamente a largura da chapa;

Q_{ct} – quantidade das tiras paralelamente ao comprimento da chapa;

Q_{Lt} – quantidade das peças paralelamente a largura da chapa;

Q – esforço de corte, N;

Q_1 – esforço de corte máximo, N;

Q_{ct} – quantidade das peças paralelamente ao comprimento da chapa;

R_{zm} – altura média das irregularidade das superfícies;

R_{zi} – altura da irregularidade da i -ésima superfície;

R – raio médio do par roscado mm;

R_o – raio dos discos, mm;

r – razão da frequências

r_1 – raio da curvatura, mm;

R_{d1} ; R_{d2} – resistência as deformações, Kg / mm²;

R_{dm} – resistência média as deformações, Kg / mm²;

RT – receita total, Mt;

S_z – avanço por dente, mm / dente;

S – coeficiente de segurança;

[S] - coeficiente de segurança admissível;

S_v - avanço por volta, mm / v;

S_m – avanço da máquina tabelada, mm / v;

s – espessura, mm;

t – profundidade de corte, mm;

T – período da resistência da ferramenta cortante, min;

T_r – torque necessário para subir a máquina, N/mm²;

t_p – tempo de tratamento, min;

W_p - momento de resistência, mm³;

U_i - número de superfícies com a mesma qualidade;

V_{pm} – volume da peça acabada mm³;

V_{pb} – volume da peça bruta, mm³;

V_c – velocidade de corte calculada, m / min;

V_r – velocidade de corte real, m / min;

y – posição da fibra neutra, mm;

Z - coeficiente da carga externa;

z – número de dentes;

α - ângulo de folga, °;

σ_{eq} – tensão equivalente, MPa;

[σ] - tensão admissível, MPa;

σ_{-1} – limite de fadiga de material, MPa;

σ_a – amplitude de tensão;

σ_m – tensão média;

σ_e – limite de escoamento, MPa;

σ_r – tensão de rotura, MPa;

σ_{\max} – tensão máxima, Kg / mm²;

σ_c – tensão de compressão, MPa;

φ - ângulo de atrito, °;

φ – ângulo de posição principal, °;

φ_1 - ângulo de posição auxiliar, °;

ψ - ângulo de subida da rosca, °;

φ_R ; φ_r – deformações;

ψ_σ - coeficiente de sensibilidade a simetria;

ε_i – defeito de instalação;

ε_p – defeito de posicionalmente;

ε_a – defeito de aperto;

ε_d – defeito do dispositivo;

γ - ângulo de ataque, °;

γ – ângulo de inclinação da aresta cortante, °;

τ – tensão de esmagamento, MPa;

λ - ângulo de inclinação da aresta cortante principal, °;

ω - ângulo de inclinação da aresta cortante auxiliar nas brocas, °;

C_v ; q_v ; x_v ; y_v ; u_v ; p_v ; m – coeficientes e expoentes da velocidade de corte;

$C_{p(z)}$; $x_{p(z)}$; $y_{p(z)}$; $u_{p(z)}$; q_p ; n_{pz} ; w_p – coeficiente e expoentes para o cálculo da força de corte;

C_m ; q_m ; x_m ; y_m – coeficiente e expoentes para o cálculo do momento tursor no alargamento usando a broca;

K_p ; C_p - coeficientes de correcção no cálculo da força axial;

INDICE

INTRODUÇÃO.....	11
1. PARTE CONSTRUTIVA	12
1.1. ANÁLISE DESCRITIVA DE MÉTODOS DE ASSENTAMENTO DE MÁQUINAS.....	12
1.2. DESCRIÇÃO DAS CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO DAS PEÇAS DO APOIO E ESCOLHA DO MATERIAL.....	15
1.3 ANÁLISE CONSTRUTIVA DAS PEÇAS QUE COMPÕEM O APOIO	18
1.4. VERIFICAÇÃO DA RESISTENCIA DE ALGUMAS PEÇAS E ESCOLHA DA ESPESSURA DA BORRACHA.....	27
2. PARTE TECNOLÓGICA.....	31
2.1 ELABORAÇÃO DO PROCESSO TECNOLÓGICO DE FABRICAÇÃO DO PARAFUSO 1	31
2.1.1. ANALISE TECNOLÓGICA DO PARAFUSO 1.....	31
2.1. 2. ESCOLHA DO TIPO DE PRODUÇÃO E METODO DE TRATAMENTO.	34
2.1.3. ESCOLHA DA PEÇA BRUTA.....	35
2.1.4. ESCOLHA DAS BASES TECNOLÓGICAS	35
2.1.5. ESCOLHA DA SEQUENCIA DE TRATAMENTO DAS SUPERFÍCIES	38
2.1.6. ELABORAÇÃO DA ROTA DE TRATAMENTO	39
2.1.7. ELABORAÇÃO DE FASES.....	40
2.1.8 CÁLCULO DO REGIME DE CORTE	42
2.2. ELABORAÇÃO DO PROCESSO TECNOLÓGICO DE FABRICAÇÃO DO CASQUILHO 5.....	46
2.2.1. ANÁLISE TECNOLÓGICA.....	46
2.2.2 ESCOLHA DA PEÇA BRUTA	49
2.2.3 ESCOLHA DAS BASES TECNOLÓGICAS	49
2.2.4 ESCOLHA DA SEQUÊNCIA DE TRATAMENTO DAS SUPERFÍCIES	51
2.2.5. ELABORAÇÃO DA ROTA DE TRATAMENTO	53
2.2.6. ELABORAÇÃO DE FASES.....	54
2.2.7 CÁLCULO DO REGIME DE CORTE	56
2.2.8 PROGRAMA CNC	62

2.3 ELABORAÇÃO DO PROCESSO TECNOLÓGICO DE FABRICAÇÃO DO PRATO 6	65
2.3.1. ANÁLISE TECNOLÓGICA DO PRATO 6	65
2.3.2 CÁLCULO DO DIÂMETRO DOS DISCOS	67
2.3.3. PLANEAMENTO DA CHAPA.....	68
2.3.4. ESCOLHA DAS BASES TECNOLÓGICAS	71
2.3.5. ESCOLHA DA SEQUENCIA DE TRATAMENTO	73
2.3.6. ELABORAÇÃO DA ROTA DE TRATAMENTO	73
2.3.7. ELABORAÇÃO DE FASES.....	74
2.4 ELABORAÇÃO DO PROCESSO TECNOLÓGICA DO CASQUILHO 8	77
2.4.1. ANÁLISE TECNOLÓGICA DO CASQUILHO 8	77
2.4.2. CÁLCULO DO DIÂMETRO DOS DISCOS	79
2.4.3. PLANEAMENTO DA CHAPA.....	79
2.4.4. ESCOLHA DAS BASES TECNOLÓGICAS	80
2.4.5. ESCOLHA DA SEQUENCIA DE TRATAMENTO	81
2.4.6. ELABORAÇÃO DA ROTA DE TRATAMENTO	82
2.5.7. ELABORAÇÃO DE FASES.....	82
3. DIMENSIONAMENTO DE ESTAMPA PARA CASQUILHO 8.....	85
3.1 DIMENSIONAMENTO DE PUNÇÃO E MATRIZ	85
3.1.1 DIMENSIONAMENTO DE PUNÇÕES PARA ESTAMPAGEM DO CASQUILHO 8.....	86
3.1.2 DIMENSIONAMENTO DAS MATRIZES	89
3.1.3 DIMENSIONAMENTO DA ESPIGA	90
4. CÁLCULO ECONÓMICO	91
4.1. ANÁLISE DO LUCRO	93
CONCLUSÃO	95
RECOMENDAÇÕES	96
BIBLIOGRAFIA	97
ANEXOS.....	98

INTRODUÇÃO

Para um funcionamento perfeito das máquinas é necessário que elas estejam bem assentes e niveladas de modo a conferir a precisão requerida.

Um dos problemas que surge durante o funcionamento das máquinas é a vibração que tende a piorar a qualidade das peças produzidas por um lado, e por outro transfere-se da máquina ao homem através do pavimento causando –

- lhe doenças profissionais. Deste modo vários estudos tem-se feito no sentido de minimizar cada vez mais o efeito de vibrações das máquinas com o propósito de melhorar a precisão dos artigos produzidos, e diminuir o índice de doenças profissionais.

O desenvolvimento da industria proporcionou a projecção e fabricação de diferentes tipos de apoios de pequeno gabarito, cómodos no seu manuseamento, mas que permitem o amortecimento eficaz de vibrações.

O presente trabalho de licenciatura baseia-se na elaboração do processo tecnológico de fabricação dos apoios para o assentamento de máquinas. Neste trabalho pretende:

- dimensionar as peças do apoio
- elaborar os processos tecnológicos de fabricação das peças do apoio
- projectar algum equipamento necessário para a produção das peças que compõem o apoio
- fazer cálculo económico do projecto.

1. PARTE CONSTRUTIVA

1.1. ANÁLISE DESCRITIVA DE MÉTODOS DE ASSENTAMENTO DE MÁQUINAS

Os apoios são aplicados no assentamento e regulação das máquinas, tem grande aplicação especialmente na produção em série grande e em massa. Os apoios devem ser capazes de: suportar a máquina; permitir o nivelamento da máquina; amortecer as vibrações transmitidas da máquina ao solo, ou da vizinhança à máquina. Na produção em pequena série e unitária as máquinas podem ser assentadas: em pernos embutidos no pavimento; em betão e em solas de borracha.

Assentamento de máquinas em pernos embutidos no pavimento

Este tipo de pernos são aplicados para máquinas diversas, de precisão normal. Os pernos são previamente embutidos no pavimento, (fig. 1) e a máquina assenta na anilha que se encontra entre as porcas de modo a permitir a regulação do nível da máquina. Este método tem a inconveniência de permitir que as vibrações sejam absorvidas pelo solo. Recomenda-se que o operador da máquina esteja sobre o estrado de madeira.

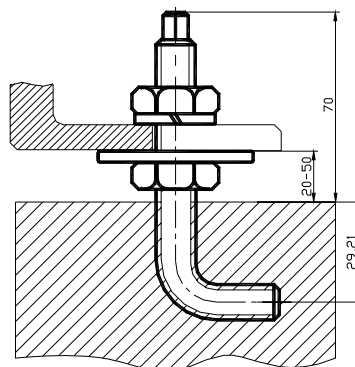


Fig. 1 Pernos embutidos no pavimento

Assentamento das máquinas em betão

Este é o método com custo relativamente elevado por precisar de técnicos especializados quer mecânicos, como os de construção civil. As máquinas são assentadas em betão armado previamente preparado e nivelado. Neste método geralmente embutem-se porcas para permitir o reaperto das máquinas. Tem a

inconveniência de transmitir vibrações ao solo. Recomenda-se que o operador da máquina esteja sobre o estrado de madeira.

Assentamento de máquinas em solas de borracha

Nas solas de borracha (fig. 2), são assentes máquinas pesadas e muito pesadas, cujo o peso garante a fixação da máquina. Tem a vantagem de permitir o amortecimento eficaz de vibrações, tem a inconveniência de só ser aplicável em pavimentos bem nivelados. Este método permite o assentamento de máquinas para o tratamento de semiacabamento e acabamento.

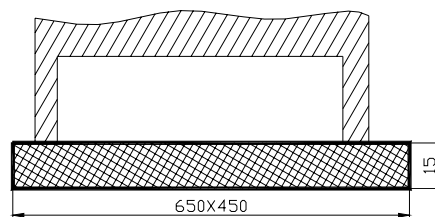


Fig. 2 Sola de borracha

Assentamento de máquinas em apoios

Existem diferentes tipos de configurações de apoios de acordo com o tipo de máquinas que se pretende instalar. É de destacar os seguintes apoios: apoios para máquinas portáteis, apoios para máquinas ligeiras e apoios para máquinas pesadas.

Apoios para assentamento de máquinas portáteis

São constituídos por anilhas empregnadas em borracha com espessura que varia de 15 a 20 mm (fig. 3). Através do furo da anilha passa um parafuso que fixa a máquina por meio da porca. Estes apoios tem a vantagem de garantir boa estabilidade da máquina durante o funcionamento, e tem a desvantagem de não poder permitir o nivelamento da máquina.

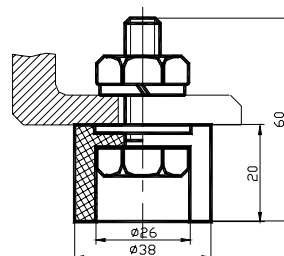


Fig. 3 Apoio para assentamento de máquina portáteis

Apoios para assentamento de máquinas ligeiras

A base da máquina apoia-se entre as anilhas e porcas (fig. 4), e é possível a regulação do nível da máquina, desapertando a porca superior, e gira-se a porca inferior com a chave de boca procedendo assim o nivelamento da máquina.

É constituído por uma base com borracha prensada entre pratos. O prato superior é ligado rigidamente ao parafuso e o prato inferior é apertado aos parafusos embutidos no pavimento. Este tipo de apoio garante o amortecimento de vibrações e suavidade durante o funcionamento da máquina, tem a inconveniência da complexidade no processo de assentamento da máquina devido a necessidade de acerto do apoio nos parafusos embutidos no pavimento.

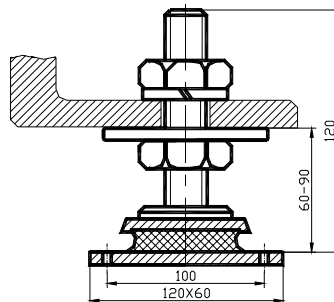


Fig. 4 Apoios para assentamento de máquinas ligeiras

Apoios para assentamento de máquinas pesadas

O apoio é constituído por uma base com borracha 9 prensada no prato 6 que assenta ao pavimento (fig. 5). O prato 6 é ligado rigidamente ao casquilho 8, que contém furo cego, cujas as paredes deslizam os vedantes 7 e o fundo do casquilho 8 serve de encosto ao parafuso 1 para permitir a regulação da máquina. Na parte superior do pé da máquina é colocado a anilha 3 de modo a cobrir o furo deste, posteriormente sobre a anilha 3 é colocado a porca 2 que serve para freiar o apoio após a regulação da altura pretendida, após o nivelamento o pé da máquina e o apoio são apertados pela porca 2. Este tipo de apoios garante facilidade no processo de montagem e movimentação de máquinas, é um método de baixo custo; permite o amortecimento de vibrações e suavidade durante o funcionamento da máquina.

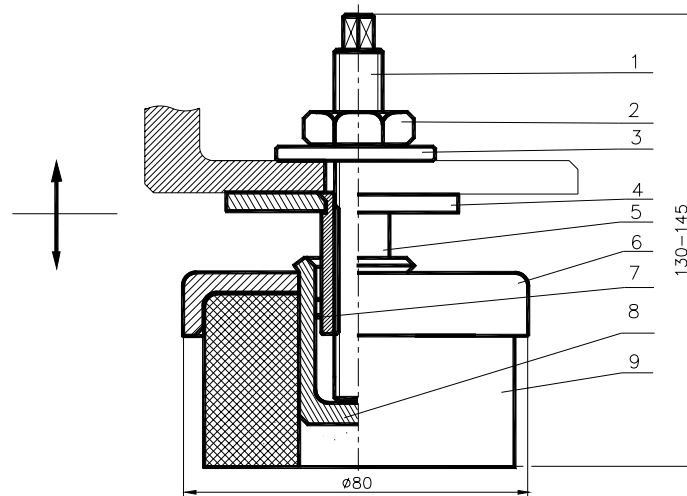


Fig. 5 Apoios para assentamento de máquinas pesadas

De diferentes métodos de assentamento de máquinas, foi escolhido o assentamento em apoios para máquinas pesadas porque tem grande aplicação na produção em série grande e em massa, permite a movimentação rápida de máquinas, sua ordenação e o agrupamento de máquinas segundo a rota de produção. Por outro lado o processo de assentamento de máquinas com este tipo de apoios é de menor custo relativamente a outros tipos de apoios e não necessita de técnicos altamente qualificados.

1.2. DESCRIÇÃO DAS CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO DAS PEÇAS DO APOIO E ESCOLHA DO MATERIAL

O parafuso 1, M12X1,25 (fig. 5) serve para a regulação da altura do apoio, tem rosca quase em todo seu comprimento e uma cabeça quadrada. É unido ao casquilho 5 através da ligação roscada. Ao girar o parafuso através da chave de boca até encostar no fundo do casquilho 8, o casquilho 5 começa a subir até ao nível pretendido. Durante o funcionamento da máquina a ligação roscada é sujeita as cargas cíclicas de cisalhamento e esmagamento bastante grandes, por isso o parafuso poderá ser fabricado do aço 45, com propriedades mecânicas $\sigma_r = 600$ MPa; $\sigma_e = 360$ MPa. Após o tratamento de têmpera e revenimento alto vai ter $\sigma_r = 834$ MPa; $\sigma_e = 569$ MPa; dureza HB =250 [2]. Após a fabricação poderá ser pintada por tinta anticorrosiva.

A porca 2, M12X1,25 é fabricada do aço 45 com propriedades e tratamentos parecidas aos do parafuso 1, permite o aperto do apoio na máquina, e por ser uma peça normalizada pode ser comprada em vez de produzi – las.

A anilha 3, é fabricada do aço 45 com propriedades e tratamentos parecidas aos do parafuso 1, é instalada entre o pé da máquina e a porca, ela distribui uniformemente a carga de aperto transmitida pela ligação roscada entre a porca 2 e o parafuso 1, é sujeita ao esforço de compressão durante o aperto, e por ser uma peça normalizada pode ser comprada.

A anilha de suporte 4, é fabricada do aço 45 com propriedades e tratamentos parecidas aos do parafuso 1, permite o assentamento do pé da máquina, é sujeita ao esforço cíclico de flexão e esmagamento bastante grandes durante o funcionamento do apoio. É ligada rigidamente ao casquilho 5 através da prensagem. A anilha 4 por ser normalizada poderá ser comprada.

O casquilho roscado 5, permite a regulação do apoio, tem forma de uma bucha. Na parte externa o casquilho 5 aloja dois vedantes 7, que deslizam sobre as paredes do casquilho 8 vedando o ar. Durante o funcionamento da máquina a ligação roscada é sujeita a cargas cíclicas de cisalhamento e esmagamento bastante grandes, por isso poderá ser fabricada do aço 45, com propriedades e tratamentos parecidas aos do parafuso 1.

Os vedantes 7, separam o casquilho 5 e o casquilho 8, eles deslizam sobre o casquilho 8 durante a regulação do apoio, e durante o funcionamento da máquina amortecem as vibrações vedando o ar que existe entre o casquilho 5 e o casquilho 8. Os vedantes tem a forma de anéis toroidais e são normalmente comprados no mercado nacional.

O prato 6, permite o alojamento da borracha 9, é ligado rigidamente com o casquilho 8 através de cravamento, a face superior permite o assentamento da máquina no início da regulação, é sujeito ao esforço cíclico de flexão e esmagamento bastante grandes durante o funcionamento do apoio, por isso poderá ser fabricada por corte e embutidura não profunda da chapa de aço 20X. No estado recusido o material tem boa plasticidade para embutidura, tem propriedades mecânicas: $\sigma_r = 480 \text{ MPa}$; $\sigma_e = 220 \text{ MPa}$; $\delta = 30\%$ com 3 mm de

espessura. Após o tratamento de têmpera e revenimento alto vai ter $\sigma_r = 784$ MPa; $\sigma_e = 637$ MPa; $\delta = 10\%$. Após a fabricação poderá ser pintada por tinta anticorrosiva.

O casquilho 8, permite o deslizamento dos vedantes 7 entre as paredes do casquilho, a face interna do casquilho serve de base de encosto do parafuso 1 de modo a permitir o nivelamento da máquina, a superfície cilíndrica externa serve de guia a borracha 9. tem forma de um copo. É ligado rigidamente com o prato 6 através da prensagem e posterior cravamento. Durante o funcionamento da máquina o casquilho é sujeito a cargas cíclicas de tracção e esmagamento bastante grande, por isso o casquilho poderá ser fabricada por corte e embutidura profunda de chapa de aço 20X, de 3,2 mm de espessura, com propriedades parecidas aos do prato 6, destacando que entre os estágios de embutidura poderá ser submentido ao recozimento de modo a conferir maior plasticidade a peça, após a estampagem poderá ter tratamentos e propriedades parecidos aos do prato 6.

Descrição do funcionamento do apoio

O apoio sem parafuso 1, é colocado de modo o pé da máquina assente na anilha de suporte 4 do apoio, e através do furo do pé da máquina faz-se o aparafusamento do parafuso 1 no casquilho roscado 5. A regulação do apoio é feita fazendo girar o parafuso 1 através da chave de boca. Porque o parafuso 1 está encostado no fundo do casquilho 8, sua rotação faz subir o casquilho 5, que desliza sobre o casquilho 8 através de vedantes 7, até a altura pretendida. Feita a regulação do apoio é apertada a porca 2 sobre a anilha 3 de tal forma que o parafuso 1 não gire durante o funcionamento da máquina. A eliminação significativa de vibrações nas máquinas é conseguida por meio da vedação do ar através de vedantes 7 por um lado e por outro através da borracha 9.

1.3 ANÁLISE CONSTRUTIVA DAS PEÇAS QUE COMPÕEM O APOIO [2]

Parafuso 1.

A superfície cilíndrica 3 (fig. 6) serve para abrir rosca, tem diâmetro $\varnothing 12$ mm, que pertence a uma série de dimensões normalizadas Ra10, pode ter uma classe de tolerância d12 porque a dimensão é exterior e a superfície vai receber a rosca M12X1,25 a rugosidade pode ser $R_z 40$ porque a superfície é livre e $R_z < IT/4$.

A rosca externa 4, tem dimensão M12X1,25 que pertence a série de dimensões normalizadas das roscas, pode ter uma classe de tolerância 6g porque tem pequena influência no funcionamento do apoio, a rugosidade pode ser $R_z 20$ para garantir bom aparafusamento.

A cabeça 5, do parafuso é quadrada tem a dimensão $\square 8$ que pertence a série normalizada Ra10, pode ter uma classe de tolerância h12 porque é externa e aloja a chave de boca durante a regulação da máquina, a rugosidade pode ser $R_z 40$ porque $R_z < IT/4$. O comprimento $L = 110$ mm pertence a série normalizada Ra20, com classe de tolerância h14 porque é exterior e livre, a rugosidade pode ser $R_z 40$ porque $R_z = IT/4$. O raio $r = 0,5$ mm pertence a série de dimensões normalizadas Ra5, pode ter os desvios de $\pm IT/2$ porque a dimensão é livre, a rugosidade pode ser $R_z 40$ porque $R_z < IT/4$.

O quadrado contém 8 arestas boleadas $r = 0,5$ mm que pertence a série de dimensões normalizadas Ra5, pode ter os desvios de $\pm IT/2$ porque a dimensão é livre, a rugosidade pode ser $R_z 40$ porque $R_z < IT/4$, são boleadas de modo a eliminar os cantos vivos.

As faces 1, tem dimensão $L = 120$ mm, que pertence a série de dimensões normalizadas Ra40, pode ter uma classe de tolerância h14 porque a dimensão é livre, a rugosidade pode ser $R_z 40$ porque $R_z = IT/4$, sendo a face da parte da cabeça do parafuso constitui superfície livre, e a face da parte roscada constitui uma superfície que serve de batente ao casquilho 8.

Todos chanfros 2, tem dimensão do cateto c2, que pertence a série de dimensões normalizadas Ra10, pode ter os desvios de $\pm IT/2$, e o ângulo $\alpha 45^\circ$ com

desvios $\pm AT14/2$ porque as dimensões são livres, a rugosidade pode ser R_z40 porque $R_z < IT/4$.

Os parâmetros das superfícies do parafuso 1 estão apresentados na tabela 1 e o desenho em anexo.

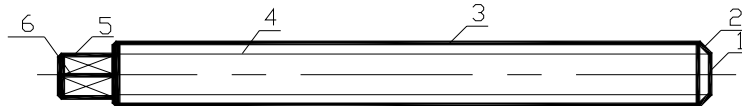


Fig., 6 Esquema de indicação de superfícies do parafuso 1

Tabela 1 Parâmetros das superfícies do parafuso 1

Nº das sup.	Nome das superf.	Destino das superf.	Qt. das sup.	Dimensão	Desvio fundamenta l e grau de tolerância	Rugosidade	Serie norma lizada
1	Face	Base de encosto no casquilho 7	2	L = 120	h14	$R_z 40$	Ra40
2	Chanfro externo	Facilitar a entrada do parafuso	2	C 2 $\alpha 45^\circ$	$\pm IT14/2$ $\pm AT14/2$	$R_z 40$	Ra10
3	Cilíndro. externo	Receber a rosca	1	$\varnothing 12$	d12	$R_z 40$	Ra10
4	Rosca externa	Regular o apoio	1	M12x1,25 $\varnothing 11,972$ $\varnothing 11,16$ r 0,16 $\alpha 60^\circ$	6g - 0,212 - 0,132 $\pm IT12/2$ $\pm AT12/2$	$R_z 20$	Ra10
5	Quadrado	Alojamento da chave	4	$\square 8$ L = 110 r = 0,5	h12 h14 $\pm AT14/2$	$R_z 40$	Ra10 Ra20 Ra5
6	Superf. de boleanento.	Eliminar arestas vivas	8	r = 0,5	$\pm IT14/2$	$R_z 40$	Ra5

Casquilho roscado 5.

O cilindro externo 3 (fig. 7) tem dimensão principal $\varnothing 18$ mm que pertence a série de dimensões normalizadas Ra20, pode ter uma classe de tolerância h12 porque é externa e será cravada na anilha 4. O comprimento $L = 24$ mm, pertence a série de dimensões normalizadas Ra40, pode ter uma classe de tolerância h14 porque é externa e livre, a rugosidade pode ser $R_z 40$ porque $R_z < IT/4$. O raio $r = 0,5$ mm pertence a série de dimensões normalizadas Ra5, pode ter os desvios de $\pm IT/4$ porque a dimensão é livre, a rugosidade pode ser $R_z 40$ porque $R_z < IT/4$.

A rosca interna M12X1,25, que pertence a série de dimensões normalizadas das roscas, pode ter uma classe de tolerância 6H porque é interna e tem pequena influência no funcionamento do apoio, a rugosidade pode ser $R_z 20$ para garantir melhor aparafusamento. O diâmetro $\varnothing 10,7$ mm pertence a uma série de dimensões normalizadas de roscas, pode ter um desvio de $+0,265$ porque é furo e vai receber a rosca M12X1,25. O diâmetro $\varnothing 11,188$ mm pertence a uma série de dimensões normalizadas de roscas, pode ter um desvio de $+0,18$ porque é interna e tem pequena influência no funcionamento do apoio, o raio $r = 0,16$ pertence a série de dimensões normalizadas de rosca, pode ter os desvios de $\pm IT/2$, e o ângulo $\alpha 60^\circ$ com desvios $\pm AT/2$ porque as dimensões são livres. A rugosidade pode ser $R_z 20$ porque $R_z < IT/4$, para facilitar o aparafusamento.

O furo 7, tem a dimensão $\varnothing 10,7$ mm que pertence a uma série de dimensões normalizadas Ra40, pode ter uma classe de tolerância H12 porque é interna e a superfície vai receber o parafuso M12X1,25 a rugosidade pode ser $R_z 40$ porque $R_z < IT/4$.

O furo 1, tem a dimensão $\varnothing 13$ mm que pertence a uma série de dimensões normalizadas Ra40, pode ter uma classe de tolerância H14 porque é interna e livre, a rugosidade pode ser $R_z 40$ porque $R_z < IT/4$. A dimensão $L = 2$ mm que pertence a série Ra10, com desvio $\pm IT/2$ porque é incerta e não influencia no funcionamento da peça, o raio $r = 0,5$ pertence a série de dimensões normalizadas Ra5, com desvios de $\pm IT/2$, e o ângulo $\alpha 45^\circ$ com desvios

$\pm AT14/2$ porque as dimensões são livres. A rugosidade pode ser R_z40 porque $R_z < IT/4$.

O cilindro externo 4, tem diâmetro $\varnothing 20$ mm, que pertence a série de dimensões normalizada Ra10, pode ter uma classe de tolerância b12 porque é exterior e deve garantir a folga, a rugosidade pode ser R_z40 porque deve $R_z < IT/4$.

As ranhuras 5, tem diâmetro $\varnothing 18$ mm, que pertence a série de dimensões normalizadas Ra20, pode ter uma classe de tolerância h12 porque é externa e aloja os vedantes de borracha, a rugosidade pode ser R_z40 porque $R_z < IT/4$, o raio $r = 1,5$ mm, que pertence a série de dimensões normalizadas Ra5, pode ter os desvios de $\pm 1T12/2$ porque o alojamento de vedantes não tem folga, a rugosidade pode ser R_z40 porque $R_z < IT/4$. As dimensões $L = 3$ mm, que pertence a série Ra40 e $L = 4$ mm, pertence a série Ra5, podem ter um desvio $\pm 1T14/2$ porque são incertas e não influenciam no funcionamento da peça, e a rugosidade pode ser R_z40 porque $R_z < IT/4$.

As faces 2, tem dimensão $L = 28$ mm, que pertence a série de dimensões normalizadas Ra20, pode ter uma classe de tolerância h14 porque é externa e não influi no funcionamento do apoio, a rugosidade pode ser R_z40 porque $R_z < IT/4$.

Os Parâmetros das superfícies do casquilho 5, estão apresentados na tabela 2 e o desenho em anexo.

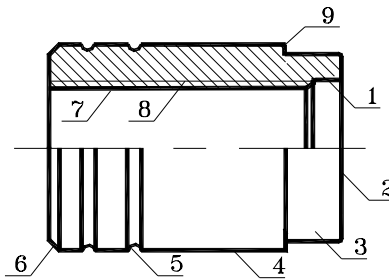


Fig. 7 Esquema de indicação de superfícies do casquilho roscado 5

Tabela 2 Parâmetros das superfícies do casquilho roscado 5

Nº das sup.	Nome das superf.	Destino das superf.	Qt. das sup.	Dimensão	Desvio fund. e grau de tol.	Rugosidade	Serie norm.
1	Furo	Superfície livre (permitir encravamento da anilha)	1	Ø 13 L = 2 R0,5 $\alpha 45^\circ$	H14 $\pm IT14/2$ $\pm IT14/2$ $\pm AT14/2$	R _z 40	Ra40 Ra10 Ra5
2	Face	Superfície livre (limitar a peça)	2	L = 28	h14	Rz40	Ra20
3	Cilindro externo	Prensar a anilha do suporte 5	1	Ø18 L = 24 R0,5	h12 h14 $\pm IT14/2$	R _z 40	Ra20 Ra40
4	Cilindro externo	Garantir a folga	1	Ø20	b12	R _z 40	Ra10
5	Ranhura	Acentamento de vedantes.	2	Ø18 r = 1,5 L = 3 L = 4	h12 $\pm IT12/2$ $\pm IT14/2$ $\pm IT14/2$	R _z 40	Ra10 Ra40 Ra5
6	Chanfro externa	Facilitar a passagem de vedantes	1	C 2 $\alpha 45^\circ$	$\pm IT14/2$ $\pm AT14/2$	R _z 40	Ra10
7	Furo	Formação da rosca interna	1	Ø10,7	H12	R _z 40	Ra40
8	Rosca interna	Permitir a regulação do apoio	1	M12x1,25 d ₁ = 10,7 d ₂ = 11,188 r = 0,16 $\alpha = 60^\circ$	6H + 0,265 + 0,18 $\pm AT12/2$ $\pm AT12/2$	R _z 20	Ra10
9	Sup. de boeamen.	Eliminar arestas vivas	2	R0,5	$\pm IT14/2$	R _z 40	Ra5

Prato 6.

O furo 1, (fig. 8) tem diâmetro $\varnothing 26$ mm, que pertence a série de dimensões normalizadas Ra40, pode ter uma classe de tolerância H12 porque é interna e nele entra o casquilho 8, a rugosidade pode ser $R_z 40 < IT/4$. O comprimento $L = 3$ mm pertence a série de dimensões normalizadas Ra40, pode ter uma classe de tolerância h14 porque não influi no funcionamento do apoio e a rugosidade pode ser $R_z 40 < IT/4$.

O furo 5, tem diâmetro $\varnothing 74$ mm, que pertence a série de dimensões normalizadas Ra40, pode ter uma classe de tolerância H12 porque é interna e serve de guia a borracha 9. O raio $r = 3$ mm, que pertence a série de dimensões normalizadas Ra5, pode ter os desvios de $\pm IT 14/2$, porque é uma dimensão incerta e livre. A rugosidade pode ser $R_z 40 < IT/4$.

As faces 2 e 7, tem dimensão $L = 13$ mm, que pertence a série de dimensões normalizadas Ra40, pode ter uma classe de tolerância h14 porque é dimensão livre, a rugosidade pode ser $R_z 40 < IT/4$.

A face 6, tem dimensão $L = 3$ mm, que pertence a série de dimensões normalizadas Ra40, pode ter uma classe de tolerância h14 porque é externa e não influi no funcionamento do apoio, a rugosidade pode ser $R_z 40 < IT/4$.

Cilindro externo 4, tem diâmetro $\varnothing 80$ mm, que pertence a série de dimensões normalizadas Ra10, pode ter uma classe de tolerância h14 porque a dimensão é externa e livre, a rugosidade pode ser $R_z 40 < IT/4$.

A superfície de boleamento externa 3, tem dimensão $r = 6$ mm, que pertence a série de dimensões normalizadas Ra40, pode ter os desvios de $\pm IT 14/2$, porque é uma dimensão incerta e livre, a rugosidade pode ser $R_z 40 < IT/4$.

As superfícies de boleamento 8, podem ter $r = 0,5$ mm e um desvio de $\pm IT 14/2$ porque é dimensão incerta e livre, a rugosidade podem ter $R_z 40 < IT/4$.

Os Parâmetros das superfícies do prato 6, estão apresentados na tabela 3 e o desenho em anexo.

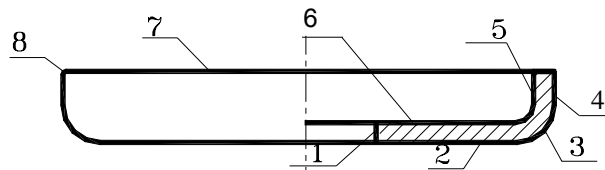


Fig. 8 Esquema de indicação de superfícies da prato 6

Tabela 3 Parâmetros das superfícies da prato 6

Nº das sup	Nome das superf.	Destino das superf.	Qt. das sup.	Dimensão	Desvio fundamental e grau de tolerância	Rugosidade	Serie normalizada
1	Furo passante	Prensagem do casquilho 8	1	Ø26	H12	R _z 40	Ra40
2	Face	Superfície livre(limitar a peça)	1	L = 13	h14	R _z 40	Ra40
3	Sup. de boleadamento externo	Eliminar concentração de tensões.	1	r = 6	± IT14/2	Rz40	Ra40
4	Cilindro externo	Superfície livre	1	Ø80*	h14	R _z 40	Ra10
5	Furo cego	Guia da borracha	1	Ø74 L = 3 r = 3	H12 h14 ± IT14/2	R _z 40	Ra40 Ra10 Ra5
6	Face	Base de encosto da borracha	1	L = 3	h14	R _z 40	Ra40
7	Face	Superfície livre(limitar a peça)	1	L = 13	h14	R _z 40	Ra40
8	Sup. de boleadamento	Eliminar concentrações de tensões	4	r = 0,5	± IT14/2	R _z 40	Ra40

Casquilho 8.

A face 3, (fig. 9) tem dimensão $L = 30$ mm, que pertence a série de dimensões normalizadas Ra40, pode ter uma classe de tolerância h14 porque é dimensão externa e livre, a rugosidade pode ser $R_z40 < IT/4$.

O cilindro externo 4, tem diâmetro $\varnothing 26$ mm que pertence a série de dimensões normalizadas Ra40, pode ter uma classe de tolerância h12 porque é externa e ligada rigidamente ao prato 6 através de cravamento, por uma lado e por outro a parte remanescente é prensada a borracha 9 que permite o amortecimento das vibrações residuais, a rugosidade pode ser $R_z40 < IT/4$.

O furo 1 cego, tem diâmetro $\varnothing 20$ mm, que pertence a série de dimensões normalizadas Ra40, pode ter uma classe de tolerância H10 porque é interna e nele deslizam vedantes 7 que servem para vedação do ar, a rugosidade pode ser R_z5 para diminuir o desgaste do vedante e fuga do ar. A dimensão $L = 3,2$ mm, que pertence a série de dimensões normalizadas Ra10, pode ter uma classe de tolerância h14 porque serve de batente ao parafuso 1 durante a regulação do apoio. O raio $r = 3$ mm, que pertence a série de dimensões normalizadas Ra40, pode ter os desvios de $\pm IT14/2$, porque é dimensão incerta e livre, a rugosidade pode ser $R_z40 < IT/4$.

A face interna 2, serve de batente ao parafuso 1 durante a regulação do apoio, tem dimensão $L = 3,2$ mm, que pertence a série de dimensões normalizadas Ra10, pode ter uma classe de tolerância h14 porque a rugosidade pode ser $R_z40 < IT/4$.

A superfície boleada externa 5, $r = 6$ mm, que pertence a série de dimensões normalizada Ra40, pode ter os desvios de $\pm IT14/2$, porque é dimensão incerta e livre, a rugosidade pode ser $R_z40 < IT/4$.

As superfícies de boleamento 7, podem ter $r = 0,5$ mm e os desvios de $\pm IT14/2$ porque é dimensão incerta e livre e a rugosidade pode ser $R_z40 < IT/4$.

Os Parâmetros das superfícies do casquilho 8, estão apresentados na tabela 4 e o desenho em anexo.

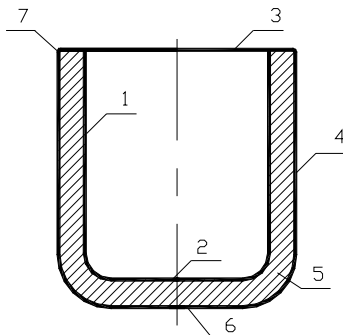


Fig. 9 Esquema de indicação de superfícies do casquilho 8

Tabela 4 Parâmetros das superfícies do casquilho tipo bucha 8

Nº das sup.	Nome das superf.	Destino das superf.	Qt. das sup.	Dimensão	Desvio fundamental e grau de tolerância	Rugosidade	Serie normalizada
1	Furo	Deslizamento de vedantes.	1	$\varnothing 20$ $L = 3,2$ $r = 3$	H10 h14 $\pm IT14/2$	$R_z 5$	Ra40 Ra10 Ra20
2	Face	Base de encosto do parafuso	1	$L = 3,2$	h14	$R_z 40$	Ra10
3	Face	Superfície livre (limitar a peça)	1	$L = 30$	h14	$R_z 40$	Ra40
4	Cilindro externo	Prensagem do prato e da borracha	1	$\varnothing 26$	h12	$R_z 40$	Ra40
5	Sup. de boleamento	Facilitar a entrada da borracha	1	$r = 6$	$\pm IT14/2$	$R_z 40$	Ra40
6	Face	Sup. livre	1	$L = 30$	h14	$R_z 40$	Ra40
7	Sup. de boleamento.	Superfície livre	2	$r = 0,5$	$\pm IT14/2$	$R_z 40$	Ra5

1.4. VERIFICAÇÃO DA RESISTENCIA DE ALGUMAS PEÇAS E ESCOLHA DA ESPESSURA DA BORRACHA

Para verificação da resistência a peças de apoio toma-se o exemplo da fresadora universal com o peso de 16000 N apoiado sobre quatro apoios. Isto é cada apoio suportará uma carga de 4000 N.

Com base na 4ª hipótese de resistência de materiais, tem-se [3]

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \times \tau^2} \leq [\sigma]; \quad (1)$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_e}{K_s}; \quad K_s = (1,5 \dots 2,5)$$

Onde: K_s – coeficiente de segurança, σ_{eq} – tensão equivalente; $[\sigma]$ – tensão admissível. σ_e – limite de escoamento.

Para parafuso 1 temos:

$$\sigma = \frac{F}{A}; \quad A = \frac{\pi \times d_1^2}{4} \quad (2)$$

$$\tau = \frac{T_r}{W_p}; \quad T_r = 0,5 \times F \times d_2 \times \operatorname{tg}(\psi + \varphi) + 0,67 \times F \times R \times f; \quad (3)$$

$$W_p = 0,2 \times d_1^3$$

Onde: F – força externa que carrega o apoio; f – coeficiente de atrito; d_1 – diâmetro da raiz da rosca; d_2 – diâmetro médio do parafuso; T_r – torque necessário para subir máquina; W_p – momento de resistência; ψ – ângulo de subida da rosca; φ – ângulo de atrito; R – raio médio do parafuso, A – área transversal do parafuso

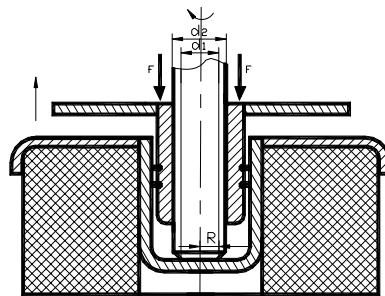


Fig. 10 Esquema de vedação do ar

Dados: $d_1 = 10,78 \text{ mm}$; $d_2 = 11,278 \text{ mm}$; $R = 5 \text{ mm}$; $F = 4000 \text{ N}$; $f = 0,15 \dots 0,20$);
escolhe-se $f = 0,17$; $p = 1,25 \text{ mm}$ (passo da rosca); $\varphi = 9,5^\circ$ para $f = 0,17$; $\Psi =$
 $= (2^\circ,30' \dots 3^\circ,30')$ escolhe-se $\Psi = 3^\circ$; $\sigma_e = 569 \text{ Mpa}$

$$[\sigma] = \frac{569}{2} = 284,5 \text{ MPa};$$

$$\sigma = \frac{4 \times 4000}{3,14 \times 10,78^2} = 43,85 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{0,5 \times 4000 \times 11,278 \times \text{tg}(3^\circ + 9,5^\circ) + 0,67 \times 4000 \times 5 \times 0,17}{0,2 \times 10,78^3} = 29,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{43,85^2 + 3 \times 29,1^2} = 66,81 \text{ MPa}; \quad \sigma_{eq} < [\sigma]$$

Cálculo da margem da resistência do parafuso

$$\Delta = \frac{[\sigma] - \sigma_{eq}}{[\sigma]} \tag{4}$$

$$\Delta = \frac{284,5 - 66,81}{284,5} = 0,765 = 76,5\%$$

O par roscado tem uma margem de resistência de 76,5 %.

Uma das propriedades do apoio é o amortecimento das vibrações durante o funcionamento da máquina. Por isso é necessária a verificação da resistência à fadiga do par roscado quando sujeito a cargas cíclicas [3].

A verificação à fadiga é feita através da verificação do coeficiente de segurança.

$$S = \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma \times \sigma_a + \psi_\sigma \times \sigma_m} \geq [s] \tag{5}$$

$$[S] \approx 1,5$$

$$\sigma_{-1} = (0,4 \dots 0,5) \times \sigma_r$$

$$\sigma_m = \frac{F_{ap} + F_{par} / 2}{A_{par}}$$

$$\sigma_a = \frac{F_{par} / 2}{A_{par}}$$

$$F_{max} = F_{ap} + Z \times F$$

$$A_{par} = \frac{F_{max} - F_{min}}{2}$$

$Z = (0,2 \dots 0,3)$; escolhe-se $Z = 0,25$

Material: aço 40; limite de rotura: $\sigma_r = 834$ MPa.

Onde: σ_{-1} – limite de fadiga do material; Ψ_σ - coeficiente de sensibilidade à simetria; K_σ - coeficiente que tem em conta a distribuição da carga entre filetes da rosca; σ_m - tensão média; σ_a - amplitude da tensão. A_{par} - amplitude da força; F_{ap} – força do aperto; F_{par} - força exercida pelo parafuso; Z - coeficiente da carga externa ; $\Psi_\sigma = 0,1$; $K_\sigma = (3,4 \dots 4,5)$, para aço ao carbono.

Porque a rosca é obtida por laminagem, espera-se um bom perfil e boa resistência a fadiga por isso: $K_\sigma = 4 \times 0,75 = 3$

$$\sigma_{eq} = \frac{1,3 \times 4 \times F_{ap}}{\pi \times d_1^2} \leq [\sigma] \quad (6)$$

$$F_{ap} = \frac{\pi \times d_1^2 \times [\sigma]}{4 \times 1,3}; \quad F_{ap} = \frac{3,14 \times 10,78^2 \times 284,5}{4 \times 1,3} = 19963,93 \text{ N}$$

$$F_{min} = F_{ap} = 19963,93 \text{ N}$$

$$F_{max} = 19963,93 + 0,25 \times 4000 = 20963,93 \text{ N}$$

$$A_{par} = \frac{20963,93 - 19963,93}{2} = 500 \text{ N}$$

$$\sigma_m = \frac{19963,93 + 1000/2}{500} = 40,93$$

$$F_{par} = (0,2 \dots 0,3) \times F; \quad F_{par} = 0,25 \times 4000 = 1000 \text{ N}$$

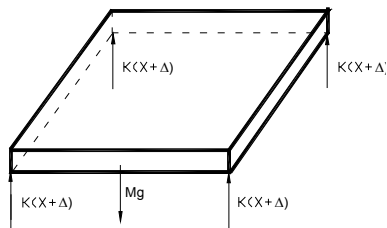
$$\sigma_a = \frac{1000/2}{500} = 1$$

$$\sigma_{-1} = 0,45 \times 834 = 375,3 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{375,3}{3 \times 1 + 0,1 \times 40,93} = 52,9 \gg [S]$$

O par roscado tem grande coeficiente de segurança .

Para a escolha da espessura da borracha 9, pode-se considerar o exemplo da fresadora (pag. 26), a funcionar a uma rotação de 1000 r.p.m, e requer-se que a deflexão estática criada pelo peso da máquina não super a 10 mm.



Dados: $W_o = 4000 \text{ N}$; $m = 1600 \text{ Kg}$;

$\delta_{st} \leq 10 \text{ mm}$; $n = 1000 \text{ r.p.m}$

Fig. 11 Esquema de modelo de cálculo

$$\sum F_{\text{ext}} = \sum F_{\text{efect}} \quad [7]$$

$$\text{Eq. Estática: } 4 \times K \times \Delta - m \times g = 0 \quad (7)$$

$$\text{Eq.din.: } -4 \times K \times X = m \times \ddot{X}$$

$$m \times \ddot{X} + 4 \times K \times X = 0$$

onde: K – coeficiente de regidez; m – massa da máquina; $\sum F_{\text{ext}}$ – somatório das forças externas; $\sum F_{\text{efect}}$ - somatório das forças efectivas; X – deslocamento da máquina; Δ – cedência da borracha.

Resolvendo as equações diferenciais tem-se :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{4 \times K}{m}} \quad (8)$$

$$K = \frac{W_o}{\delta_{st}}$$

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60}$$

onde: W_o – esforço suportada por cada apoio, δ_{st} – deflexão estática; ω_n – frequência natural; ω - frequência do sistema; n – frequência de rotações.

$$K = \frac{4000}{0,010} = 400000 \text{ N/m}$$

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60} = \frac{\pi \times n}{30} = \frac{3,14 \times 1000}{30} = 104,67 \text{ rad/s}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{4 \times 400000}{1600}} = 31,6 \text{ rad/s}$$

$\omega > \omega_n$ a máquina funciona sem ressonância; para $\omega_n = 31,6 \text{ rad/s}$ deve-se passar rapidamente desta faixa para evitar o efeito de ressonância.

Para cálculo da amplitude de oscilação usa-se a seguinte relação, [7]:

$$\frac{X}{\delta_{st}} = \frac{1}{r^2 - 1} \quad (10)$$

onde : r – razão de frequência

$$r = \frac{\omega}{\omega_n} = \frac{104,67}{31,6} = 3,31$$

Sintonia baixa pois $r > 1$

$$X = \frac{\delta_{st}}{r^2 - 1} = \frac{10}{3,31^2 - 1} = 1,05 \text{ mm}$$

Pode-se escolher uma espessura da borracha 9, $s > 15$ mm porque supera a deflexão estática e a amplitude de oscilação.

Toma-se a espessura da borracha de 25 mm de acordo com a disponibilidade do mercado.

2. PARTE TECNOLÓGICA

2.1 ELABORAÇÃO DO PROCESSO TECNOLÓGICO DE FABRICAÇÃO DO PARAFUSO 1

2.1.1. ANÁLISE TECNOLÓGICA DO PARAFUSO 1

O parafuso (fig.6), possui 18 superfícies todas com dimensões normalizadas. É roscado em todo o seu comprimento com a rosca M12X1,25 6g, Rz40, contém uma cabeça quadrada 8h12 mm onde se aloja uma chave de boca de 10 mm, todas outras superfícies são de precisão normal. Para garantir alta produtividade o cilindro pode ser tratado por rectificação de semiacabamento sem centros e a rosca pode ser aberta por método de laminação de roscas exteriores. Como base tecnológica principal pode ser usado o cilindro 3.

O parafuso é de rigidez baixa pois $L/D \approx 10$, mas permite a rectificação do cilindro 3 na rectificadora sem centros e abertura da rosca M12 X1,25. As ferramentas descrevem uma trajectória simples, pois tem acesso fácil quer das ferramentas cortantes, quer dos instrumentos de medição. Os chanfros sendo todos de 45° podem ser tratadas com a mesma ferramenta cortante. As faces do quadrado poderão ser tratadas em simultâneo duas a duas com o uso de 2 fresas montadas em mandril da fresadora universal. Como medidores usar-se-á

calibres tipo passa não passa para o caso das faces da cabeça e do cilindro e o calibre de rosca tipo fêmea para o caso da rosca.

A análise quantitativa é feita através da determinação dos coeficientes de tecnologibilidade.

Coeficiente de normalização, K_N

$$K_N = \frac{Q_N}{Q_\Sigma} \quad (11)$$

onde: Q_N – quantidade das superfícies normalizadas; Q_Σ - quantidade total das superfícies

Veja tabela 1 pag. 19, todas as superfícies são normalizadas. Por isso $K_N = 1$, é possível o uso de ferramentas e instrumentos de medição normalizados, o que diminui o custo das peça a produzir.

Coeficiente de unificação

$$K_u = \frac{Q_u}{Q_\Sigma} \quad (12)$$

Onde: Q_u – quantidade das superfícies unificadas.

Tabela 5. Quant. Superf. unificadas

Nome da superfície	Nº das sup.
Face 1	2
Quadrado 4	4
Superf. boleadas	9
Total	15

$K_u \approx 1$, significa que a peça tem grande número de superfícies unificadas, o que diminui a quantidade das ferramentas e medidores necessários para fabricação da peça, consequentemente diminui os custos de produção.

$$K_u = \frac{15}{18} = 0,83$$

O coeficiente de precisão

$$K_p = 1 - \frac{1}{Q_{pm}}; \quad Q_{pm} = \frac{\sum Q_{pi} \times n_i}{Q_\Sigma} \quad (13)$$

onde: Q_{pm} – grau de tolerância médio aritmético das superfícies; Q_{pi} - grau de tolerância da í-ma superfície; n_i - número de superfícies com a mesma qualidade.

Tabela 6 Quantidade de precisão das superfícies

Nome da Superfície	Grau de tol.	Nº das superfícies
4	11 ^a	1
3; 5	12 ^a	5
1; 2 ; 6	14 ^a	12
Total		18

$$Q_{pm} = \frac{(1 \times 11) + (5 \times 12) + (12 \times 14)}{18} = 13,28$$

$$K_p = 1 - \frac{1}{13,28} = 0,93$$

A peça é de precisão normal, o que facilita o seu fabrico e reduz os custos.

O coeficiente de rugosidade, K_r

$$K_r = \frac{1}{R_{zm}}; \quad R_{zm} = \frac{\sum R_{zi} \times n_i}{Q_\Sigma} \quad (14)$$

onde: R_{zm} – altura média das irregularidades da superfície; R_{zi} – altura média das irregularidades de i-ma superfície; n_i - número das superfícies com a mesma rugosidade.

Tabela 7 Rugosidade das superfícies

Nome das Sup.	Rugosidade, R _z	Nº das superfícies
4	20	1
1; 2; 3; 5 ; 6	40	17
Total		18

$$R_{zm} = \frac{(1 \times 20) + (17 \times 40)}{18} = 38,88$$

$$K_r = \frac{1}{38,88} = 0,026 = 2,6\%$$

A rugosidade das superfícies é média, a rosca será tratada por deformação plástica através da laminação de rolos de tarracha, o que diminui o custo de fabricação.

Coeficiente de uso do material

$$K_{um} = \frac{V_{pa}}{V_{pb}} \quad (15)$$

onde: V_{pa} - volume da peça acabada; V_{pb} – volume da peça bruta.

Na fig.12 representam-se os volumes elementares do parafuso 1.

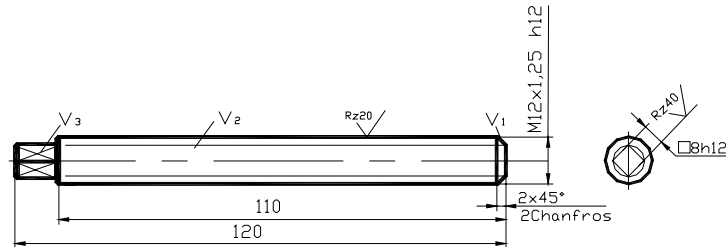


Fig. 12 Volumes elementares do parafuso 1

O Volume V_1 , é tomado como volume do tronco do cone; V_2 como volume do cilindro; V_3 como volume do prisma.

$$V_1 = 0,2617 \times h \times (D^2 + D \times d + d^2)$$

$$V_1 = 0,2617 \times 2 \times (12^2 + 12 \times 10 + 10^2) = 190,52 \text{ mm}^3$$

$$V_2 = \frac{\pi \times d_m^2}{4} \times l = \frac{3,14 \times 11,278^2}{4} \times 108 = 10783,45 \text{ mm}^3$$

$$V_3 = a^2 \times l = 8^2 \times 10 = 640 \text{ mm}^3$$

d_m – diâmetro médio dos filetes da rosca

$$V_{pa} = 190,52 + 10783,45 + 640 = 11613,97 \text{ mm}^3$$

Como peça bruta pode ser usada um cilindro $\varnothing 12,5 \times 14 \times 122$. neste caso:

$$V = \frac{3,14 \times 12,5^2}{4} \times 122 = 14964,063 \text{ mm}^3$$

O coeficiente de uso do material será:

$$K_{um} = \frac{11613,97}{14964,063} = 0,776$$

Significa que cerca de 22,4% do material da peça bruta perder-se-á em forma de aparas durante o tratamento mecânico.

2.1. 2. ESCOLHA DO TIPO DE PRODUÇÃO E METODO DE TRATAMENTO

Devido ao aumento do novo equipamento industrial, suscita cada vez mais a procura de apoios que garantem melhor assentamento de máquinas, por isso propõe-se uma produção média de 400 peças mensalmente, e tratando-se de uma peça simples, com uma massa de 0,2 Kg, com dimensões e formas

pequena, a peça poderá ser trabalhada facilmente em máquinas automáticas, e usando dispositivos especiais, que permitem a diminuição do tempo de produção. É ilustrada a tabela 8 para a escolha do tipo de produção.

Tabela 8 Escolha do tipo de produção

Tipo de produção	Quantidade de peças			
	Grande	media	pequena	Coefficiente de ocupação [k_o]
unitaria	< 2	< 5	<10	>40
Serie pequena	2 – 5	5 - 25	10 - 50	20 - 40
Serie media	5 – 25	25 150	50 - 300	10 - 20
Serie grande	25 - 150	150 - 300	300 - 1000	2 - 10
Em massa	> 150	> 300	>1000	< 2

Da tabela 8, e sendo uma peça pequena com dimensões inferiores a 0,5 metros, para produção de 400 peças por mês, escolhe-se a produção em serie grande, cujo o coeficiente de ocupação da maquina, $k_o = (2 - 10)$. Sendo assim as máquinas poderão estar dispostas em cadeia e a produção será organizada em partidas de peças. Na oficina poderá-se instalar máquinas de comando numérico, máquinas automatizadas com possibilidade de instalar ferramentas múltiplas, assim como pode-se usar dispositivos e medidores especiais como calíbrs que garantem maior produtividade.

2.1.3. ESCOLHA DA PEÇA BRUTA

O parafuso tem a forma cilíndrica, portanto tendo em conta a produção em série grande a peça bruta poderá ter forma e dimensões muito próximas a da peça acabada, assim a peça bruta poderá ser feita dum varão laminado com 12,5 mm de diâmetro e 122 mm de comprimento e o processo de obtenção da peça bruta poderá ser através de corte do varão laminado a quente.

2.1.4. ESCOLHA DAS BASES TECNOLÓGICAS

As bases tecnológicas devem garantir uma orientação correcta da peça durante o tratamento na máquina de forma a garantir que o defeito de instalação seja menor que a metade da tolerância. Na escolha das bases tecnológicas foram observados os seguintes principios: o princípio de uso das bases construtivas

como bases tecnológicas, o princípio da coincidência das bases de medição com as bases tecnológicas e o princípio da constância das bases tecnológicas.

O cálculo dos defeitos de instalação é feito com base na fórmula:

$$\varepsilon_i = \sqrt{\varepsilon_p^2 + \varepsilon_a^2 + \varepsilon_d^2}, \quad (16)$$

Onde: ε_p - defeito de posicionamento; ε_a - defeito de aperto; ε_{dn} - defeito de dispositivo. A análise destes defeitos faz-se cota por cota.

A instalação da peça na máquina para o tratamento das superfícies 1, 2, 3 e 4 deverá eliminar-se 5 graus de liberdade. A rotação e o deslocamento ao longo do eixo y e z, e o deslocamento ao longo do eixo x. Para tal como bases tecnológicas podem ser usadas o cilindro externo 3 e a face 1 (fig. 13).

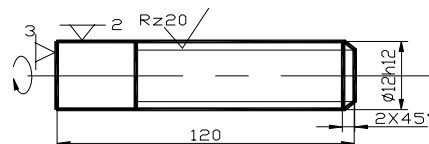


Fig. 13 Esquema de instalação da peça para tratamento das superfícies 1, 2, 3 e 4

Para as dimensões $\varnothing 12$ mm e M12X1,25 o defeito de posicionamento é nulo, pois a bucha de três grampos é auto centrante, $\varepsilon_{p\varnothing 12}$ e $\varepsilon_{pM12X1,25} = 0$. Quanto ao defeito de aperto, verifica-se que nas bucha de 3 grampos as forças de aperto são equilibradas, por isso o defeito de aperto é nulo, $\varepsilon_{a\varnothing 12}$ e $\varepsilon_{aM12X1,25} = 0$. O defeito de dispositivo é igual a $(1/6 - 1/3) IT$. $\varepsilon_{d\varnothing 12}$ e $\varepsilon_{dM12X1,25} = (1/6 - 1/3) X IT_{12} = (1/6 - 1/3) X 180 = (30 - 60) \mu m$. Escolhe-se $\varepsilon_{d\varnothing 12}$ e $\varepsilon_{dM12X1,25} = 45 \mu m$.

$$\varepsilon_{i\varnothing 12 \text{ e } M12X1,25} = \sqrt{0+0+45^2} = 45 \mu m$$

Para dimensão $L = 120$ mm o defeito de posicionamento é nulo, pois há coincidência da base de medição com base tecnológica, $\varepsilon_{p120} = 0$. Uma vez que o sentido da força de aperto é perpendicular a cota observada $L = 120$ mm, o defeito de aperto para esta cota é nulo, $\varepsilon_{a120} = 0$. O defeito de dispositivo é $\varepsilon_{d120} = (1/6 - 1/3) X IT_{14} = (1/6 - 1/3) x 1000 = (166,67 - 333,33) \mu m$; escolhe-se $\varepsilon_{d120} = 250 \mu m$.

$$\varepsilon_{i120} = \sqrt{0+0+250^2} = 250 \mu m$$

Para dimensão do chanfro 2, C2, o defeito de posicionamento é nulo pois o chanfro é tratado simultaneamente com a face 1, $\varepsilon_{p c2} = 0$. O defeito de aperto é

nulo, pois a cota é perpendicular a direcção da força de aperto. $\varepsilon_{ac2} = 0$. Quanto ao defeito do dispositivo, utiliza-se o mesmo dispositivo para as dimensões 120, C2 por isso o defeito do dispositivo é o mesmo. Então $\varepsilon_{dc2} = 250 \mu\text{m}$.

$$\varepsilon_{c2} = \sqrt{0^2 + 0 + 250^2} = 250 \mu\text{m}$$

Para dimensão do ângulo $\alpha 45^\circ$, o defeito de instalação é nulo, $\varepsilon_{i\alpha 45^\circ} = 0$ pois a dimensão não depende da instalação da peça, depende da ferramenta.

O defeito de instalação do raio $r = 0,5 \text{ mm}$ é nulo, $\varepsilon_{ir=0,5} = 0$ porque o boliamento é feito por tratamento manual.

Para as dimensões $\varnothing 12$, M12X1,25, 120, 2 e 45° $\varepsilon_i < IT/3$, por isso pode ser usado o método automático para a obtenção destas dimensões.

A instalação da peça na máquina para o tratamento da superfícies 5 deverá eliminar-se 5 graus de liberdade. A rotação e o deslocamento ao longo do eixo y e z, e o deslocamento ao longo do eixo x, e usam - se como bases tecnológicas as superfícies 1 e 3.

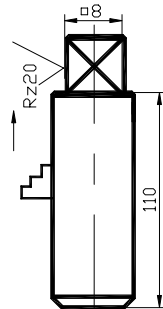


Fig. 15 Esquema de instalação da peça para fresagem do quadrado 5

Para $\square 8$, o defeito de instalação é nulo, $\varepsilon_{i8} = 0$ pois a dimensão não depende da disposição da peça, depende da distância entre fresas.

Para $L = 110 \text{ mm}$, o defeito de posicionamento é nulo, pois há coincidência da base de medição com base tecnológica, $\varepsilon_{p110} = 0$. O sentido da força de aperto é perpendicular a cota observada $L = 110 \text{ mm}$, o defeito de aperto para esta cota é nulo, $\varepsilon_{a110} = 0$. O defeito de dispositivo, $\varepsilon_{d110} = (1/6 - 1/3) \times IT14 = (1/6 - 1/3) \times 870 = (145 - 290) \mu\text{m}$; escolhe-se $\varepsilon_{d110} = 200 \mu\text{m}$.

$$\varepsilon_{i110} = \sqrt{0 + 0 + 200^2} = 200 \mu\text{m}$$

Para dimensões 8 e 110, $\varepsilon_i < IT/3$ por isso pode ser usado o método automático para a obtenção destas dimensões.

2.1.5. ESCOLHA DA SEQUENCIA DE TRATAMENTO DAS SUPERFÍCIES

Para a escolha da sequência de tratamento faz-se o agrupamento das superfícies com a mesma forma, rugosidade e precisão. Assim as superfícies do parafuso ficam agrupadas da seguinte forma:

grupo 1: face 1 L = 120 mm, h14, R_z40

grupo 2: chanfro 2 C2, α45°, ±IT14/2, ±AT14/2, R_z40

grupo 3: cilindro 3 Ø12h12, R_z40

grupo 4: quadrado 5 8, h12, R_z40

grupo 5: rosca 4, M12X1,25 6g, R_z20

grupo 6: superfícies de boliamento 6, r = 0,5 mm, ±IT14/2, R_z40

As faces 1 inicialmente obtidas por corte, serão facejados de modo a adquirir 14° grau de tolerância e rugosidade R_z40.

Tabela 9 Face 1 L= 120 mm, h14 e R_z40

n°	Método de tratamento	Qualidade	Rugosidade R _z
1	Corte	14	80
2	Torneamento de semiacabamento	14	40

O chanfro 2, poderá ser obtido por chanframento de modo a adquirir um desvio ±IT14/2 e rugosidade R_z40.

Tabela 10 Chanfro 2, C2, α45°, ±IT14/2, ±AT14/2, R_z40

n°	Método de tratamento	Qualidade	Rugosidade R _z
2	Chanframento de semiacabamento	14	40

O cilindro 3 inicialmente obtido por laminagem pode-se rectificar na rectificadora sem centros de modo a adquirir 12° grau de tolerância e uma rugosidade R_z20. A rectificação sem centros garante alta produtividade, trabalhando peças de baixa rigidez .

Tabela 11 Cilíndrica 3, Ø 12 mm , h12, R_z40 ;

n°	Método de tratamento	Qualidade	Rugosidade R _z
1	Laminagem	14	80
2	Rectificação de desbastamento	12	40

As superfícies que formam o quadrado 5, podem serem obtidos simultaneamente duas a duas pelo único tratamento de fresagem de modo a adquirir 12°

grau de tolerância e rugosidade R_z40 .

Tabela 12 Quadrado 5, 8, h12, R_z40

nº	Método de tratamento	Qualidade	Rugosidade R_z
1	Fresagem de semi acabamento	12	40

A rosca 4, pode ser laminada de uma única vez de modo a adquirir a 6º grau de tolerância e rugosidade R_z20 . a laminagem da rosca garante alta produtividade especialmente quando trabalha peças de baixa rigidez

Tabela 13 Rosca 4, M12X1,25h6, R_z20

nº	Método de tratamento	Qualidade	Rugosidade R_z
1	Laminagem de rosca	6	40

As superfícies de boliamento 6, podem ser tratadas de uma única vez por laminagem de modo a adquirirem a 14º grau de tolerância e rugosidade R_z40

Tabela 14 Boliamento 6, $r = 0,5$ h14, R_z20

nº	Método de tratamento	Qualidade	Rugosidade R_z
1	Com lima	14	40

2.1.6. ELABORAÇÃO DA ROTA DE TRATAMENTO

Para a elaboração da rota de tratamento faz-se o agrupamento de todos os tratamentos de diferentes superfícies que podem ser trabalhadas na mesma máquina sem comutar a disposição da peça na máquina. E tratando-se da produção em série grande propõe-se a simplificação de fases de tratamento de modo a diminuir o tempo de fases, isto é cada operário poderá tratar uma ou duas superfícies com a mesma ferramenta durante pouco tempo e depois passa a peça para outra máquina. No início pode-se cortar varão em cilindro $\varnothing 12,5 \times 122$ na tesoura hidráulica. A seguir, para preparar bases tecnológicas pode ser feita rectificação do cilindro externa 3 na rectificação sem centros e no torno paralelo efectuar o facejamento das faces e simultâneamente podem ser abertas chanfros. Depois disso pode ser trabalhado o quadrado na fresadora universal, bolear bordos agudos com lima numa bancada e aberta rosca num laminador de roscas, no fim do processo podem ser feitas têmpera e revenimento alto nos fornos eléctricos.

A seguir é apresentada a tabela de rota tecnológica e no anexo cartões de rota.

Tabela 15 Rota tecnológica

nº	Conteúdo da fase	Máquina	Base tecnológica
10	Corte de varão laminado	Tesoura hidráulica	Cilindro externa 3 e face 1
20	Rectificação de desbastamento do cilindro 3	Rectificadora sem centros 1	Cilindro externa 3 e face 1
30	Torn. das faces 1 e do chanfro 2;	Torno paralelo 1	Cilindro externa 3 e face 1
40	Fresagem do quadrado 5	Fresadora universal	Cilindro externa 3 e face 1
50	Boliamento dos bordos agudos	Bancada	
60	Laminagem da rosca 4	Laminador de roscas	Cilindro ext. 3
70	Tempera	Forno eléctrico	
80	Revenimento alto	Forno eléctrico	

2.1.7. ELABORAÇÃO DE FASES

Fase 10. Pode ser realizada numa tesoura hidráulica de marca Schou. O varão pode ser instalado no torninho pneumático pela superfície cilíndrica 3 e num apoio tipo cavalete para garantir um comprimento $l = 122 \text{ mm}$. A lâmina da tesoura pode ser feita de aço rápido P6M5, para medição do comprimento do cilindro pode ser usado um paquímetro $0,05 \text{ L} = 180 \text{ mm}$.

Fase 20. Pode ser realizada numa rectificadora sem centro de marca schou. O cilindro instala-se entre 2 rebolos de corte e mandante.

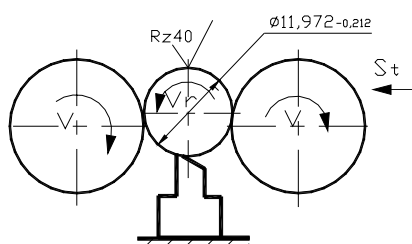


Fig. 16 Rectificação do cilindro 3

1. Rectificar o cil. 3 até $\text{Ø}11,972_{-0,212}$; e $l = 112_{0,87}$; Rz40. Mó para desbastar A -220 - Y - V223; calibre tipo passa não passa $\text{Ø}11,972_{-0,212}$

Fase 30. Pode ser realizada num torno paralelo modelo 1224B. A peça pode ser instalada numa bucha hidráulica de 3 grampos, pelo cilindro 3 e face 1.

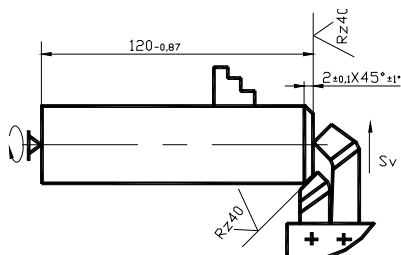


Fig. 17 Esquema de tratamento da face 1 e do chanfro 2

1. Facejar a face direita 1 até $121_{-0,1}$ e abrir chanfro 2 até $2^{\pm 0,1} \times 45^{\circ}$; Rz40. Ferro para facejar e abrir chanfro P6M5; paquímetro 0,05; L = 180 mm; escantilhão de 45° .

2. Facejar a face esquerda 1 até $120_{-0,1}$ e abrir chanfro 2 até $2^{\pm 0,1} \times 45^{\circ}$; Rz40. Ferro para facejar e abrir chanfro P6M5; paquímetro 0,05; L = 180 mm; escantilhão de 45° .

Fase 40. Pode ser realizada numa fresadora universal modelo Milko 35r. A peça pode ser instalada numa bucha hidráulica de 3 grampos, pelo cilindro 3 e face 1.

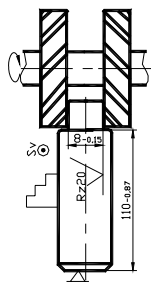


Fig. 18 Esquema de fresagem do quadrado 5

1. Fresar o quadrado 4 até $8_{-0,15}$; L = $110_{-0,87}$; r = $0,5^{\pm 0,1}$; Rz40. Fresas cilíndricas P6M5; paquímetro 0,05; L = 180 mm; calibre 8h12

Fase 50. Pode ser realizada num torno paralelo modelo 1224B. A peça pode ser instalada numa bucha hidráulica de 3 grampos. O boliamento pode ser feita manualmente com ajuda de lima rectangular.

Fase 60. Pode ser realizada num laminador de roscas externas. A peça instala-se entre dois rolos num apoio.

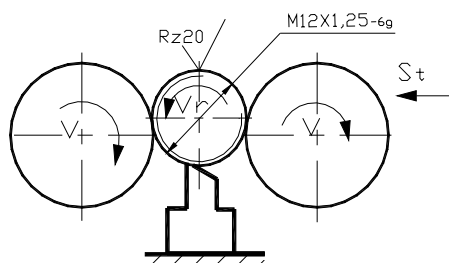


Fig. 19 Esquema de laminação da rosca 4

1. Laminar rosca M12X1,25; Rz20; rolos P6M5 para abrir rosca; calibre fêmea M12X1,25 – 6g

Fase 70. Pode ser realizada num forno eléctrico. A têmpera pode ser feita da seguinte forma, [2]:

- A. Meter o jogo das peças no forno quente, a 900° e fazer exposição de 0,5 h.
- B. Retirar as peças do forno e mergulhar na água até arrefecer.

Fase 80. Pode ser realizada num forno eléctrico. O revenimento alto pode ser feita da seguinte forma, [2]:

- A. Meter o jogo das peças no forno quente, $t = 600^{\circ}$ c e deixar lá 2 horas.
- B. Tirar peças do forno e coloca-las no chão.

2.1.8 CÁLCULO DO REGIME DE CORTE

Fase 40. Fresagem do quadrado 4 até $8^{\circ}_{-0,15}$; $L = 110_{-0,87}$.

O esquema de tratamento está apresentado na fig. 18, pag. 41.

Peça bruta: Aço 45, possui no estado laminado a quente; $\sigma_e = 360$ MPa; $\sigma_r = 600$ MPa; dureza HB = 200.

Para trabalhar o quadrado escolhemos fresas de disco de aço rápido P6M5 instaladas no mandril que garante boa rigidez .

Escolhemos fresadora universal Milko -35r: $P = 2,54$ kW; $\eta = 75\%$.

O diâmetro da fresa determina-se pela fórmula [1]:

$$D_f > d_a + 2 \times (t + f) \quad (17)$$

t – profundidade de corte ; f – folga entre o mandril e a peça; d_a – diâmetro do mandril; $f = (5 - 10)$ mm; $t = 10$ mm; $d_a = 36$ mm

$$D_f > 36 + 2 \times (10 + 8) = 72 \text{ mm}$$

O diâmetro da fresa normalizada $D_f = 80$ mm; largura da fresa $B_f = 20$ mm; número de dentes $z = 15$ (valor interpolado) [1].

Escolha dos parâmetros geométricos da parte cortante da ferramenta

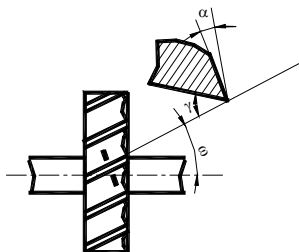


Fig. 20 Esquema geometria da parte cortante

Da tabela 78 pag. 16: $\alpha = 12^{\circ}$ e nas faces 6° ; da tabela 79 pag. 16:

$\gamma = 10^{\circ}$ para HB > 150.

Da tabela 83 pag. 17: $\omega = 15^{\circ}$

Profundidade de corte

$t = 10 \text{ mm}$; $B = 2 \text{ mm}$ (largura da fresagem)

Escolha dos avanços

Da tabela 34 pag. 30: $S_v = 0,06 \text{ mm / dente}$ para regidez média e $N_m \leq 5 \text{ kW}$.

Da pag. 32 tabela. 39: $C_v = 68,5$; $q_v = 0,25$; $x_v = 0,3$; $y_v = 0,2$; $u_v = 0,1$; $p_v = 0,1$;
 $m = 0,2$; duração da fresa pag. 34 tab. 40: $T = 120 \text{ min}$

Coefficiente de correcção K_{mv} calcula – se pela fórmula [1]:

$$K_{mv} = C_m \times \left(\frac{750}{\sigma_t} \right)^{n_v} \quad (18)$$

Da pag. 18 tab. 2: $n_v = 0,9$ para aço rápido ; $c_m = 1,0$ para aço rápido.

$$K_{mv} = 1,0 \times \left(\frac{750}{600} \right)^{0,9} = 1,22$$

$k_{esv} = 1,0$ sem crosta; $k_{fv} = 1,0$ para P6M5

$$k_v = k_{mv} \times k_{esv} \times k_{fv} \quad (19)$$

$$k_v = 1,22 \times 1,0 \times 1,0 = 1,22$$

A velocidade de corte calcula-se pela fórmula [1]:

$$V_c = \frac{C_v \times D^{q_v} \times k_v}{T^m \times t^{x_v} \times S_z^{y_v} \times B^{u_v} \times Z^{p_v}} \quad (20)$$

$$V_c = \frac{68,5 \times 80^{0,25} \times 1,22}{120^{0,2} \times 10^{0,3} \times 0,06^{0,2} \times 2^{0,1} \times 15^{0,1}} = 19,533 \text{ m / min}$$

A frequência de rotações calcula-se pela fórmula [1]:

$$n_c = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D_f} \quad (21)$$

$$n_c = \frac{1000 \times 19,533}{3,14 \times 80} = 77,76 \text{ r.p.m}$$

Da máquina (pag. 10), [1] $n_m = 68 \text{ r.p.m}$

$$V_r = \frac{3,14 \times 68 \times 80}{1000} = 17,1 \text{ m / min}$$

$$S_{mc} = S_z \times z \times n_m \quad (22)$$

$$S_{mc} = 0,06 \times 15 \times 68 = 61,2 \text{ mm / min}$$

Da máquina (pag. 10), [1]: $S_{mm} = 44 \text{ mm/min}$

$$S_{zr} = \frac{S_{mm}}{z \times n_m} \quad (23)$$

$$S_{zr} = \frac{44}{15 \times 68} = 0,043 \text{ mm/dente}$$

Verificação dos parâmetros escolhidos do regime de corte através da potência de corte e da máquina ferramenta: da pag. 34 tab. 41: $C_p = 682$; $x_p = 0,86$;

$y_p = 0,72$; $u_p = 1,0$; $q_p = 0,86$; $w_p = 0$

Coefficiente de correcção K_{mp} calcula – se pela fórmula:

$$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_t}{750} \right)^n \quad (24)$$

Onde: $n = 0,3$ da tabela [1].

$$K_{MP} = \left(\frac{600}{750} \right)^{0,3} = 0,935$$

A força de corte calcula-se pela fórmula [1]:

$$P_z = \frac{C_p \times t^{x_p} \times S_{zr}^{y_p} \times B^{u_p} \times z \times k_{mp} \times k_{df}}{D_f^{q_p} \times n_m^{w_p}} \quad (25)$$

Onde: $k_{df} = 1,6$ para $\sigma_r = 600$ MPa

$$P_z = \frac{682 \times 10^{0,86} \times 0,043^{0,72} \times 2^{1,0} \times 15 \times 0,935 \times 1,6}{80^{0,86} \times 68^0} = 531,22 \text{ N}$$

Tratando-se de tratamento simultâneo de duas faces :

$$P_z = 2 \times 531,22 = 1062,45 \text{ N}$$

A potência de corte calcula-se pela fórmula:

$$N_c = \frac{P_{zc} \times V}{60000}; \text{ [kW]} \quad (26)$$

$$N_c = \frac{1062,45 \times 17,1}{60000} = 0,303 \text{ kW}$$

Verificação: $N_c = 0,303 < N_m \times \eta = 3 \times 0,75$; o tratamento pode ser realizada na máquina escolhida.

Verificação da resistência do sistema tecnológico

O elemento mais sobrecarregado é o mandril porque sofre o esforço de torção e flexão, tem relativamente pequeno diâmetro e suficientemente grande comprimento

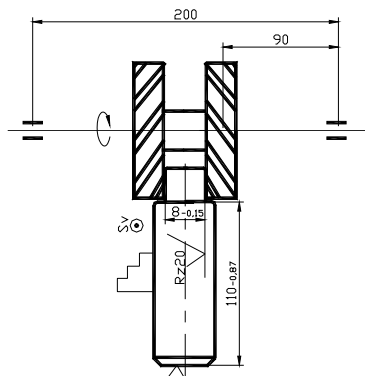


Fig. 21 Esquema de apresentação de forças

Com base nas fórmulas de [6],

$$\sigma_{eq} = \frac{\sqrt{M_t^2 + M_f^2}}{W_o} \quad (27)$$

$$M_t = \frac{P_z \times D_f}{2};$$

$$M_f = P_z \times l$$

$$W_o = 0,1 \times d^3$$

$$\sigma_{eq} \leq [\sigma];$$

$$[\sigma] = (60-90) \text{ MPa, para aço}$$

Parâmetros do mandril: $d = 30 \text{ mm}$; $L = 200 \text{ mm}$

$$M_f = 531,22 \times 90 = 47809,8 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_t = \frac{531,22 \times 80}{2} = 21248,8 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$W_o = 0,1 \times 30^3 = 2700 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{eq} = \frac{\sqrt{47809,8^2 + 21248,8^2}}{2700} = 19,38 \text{ MPa}$$

$\sigma_{eq} < [\sigma]$; condição verificada, significa que o sistema tecnológico resiste aos esforços com os regimes de corte escolhidos.

O coeficiente do uso da máquina calcula-se pela fórmula:

$$C_{um} = \frac{N_c}{N_m \times \eta}; \quad (28)$$

$$C_{um} = \frac{0,303}{3 \times 0,75} = 0,135$$

Significa que aproveita-se cerca 13,5% da capacidade da máquina, pode-se optar por uma máquina menos potente que a escolhida.

O coeficiente do uso da ferramenta calcula-se pela fórmula:

$$C_{uf} = \frac{V_r}{V_c}; \quad (29)$$

$$C_{uf} = \frac{17,1}{19,533} = 0,875$$

Significa que houve um bom aproveitamento no uso da ferramenta cortante porque aproveitou-se cerca de 87,5% da sua capacidade de usinabilidade.

Cálculo do tempo de tratamento

$$t_p = \frac{(l_s + l_1 + 3)}{S_{mm}} \quad (30)$$

Onde l_1 – comprimento da entrada da fresa; l_s – comprimento a fresar

$$l_s = 10 \text{ mm}$$

$$l_1 = \sqrt{t \times (D - t)} \quad (31)$$

$$l_1 = \sqrt{10 \times (80 - 10)} = 26,26 \text{ mm}$$

$$t_p = \frac{10 + 26,26 + 3}{44} = 0,892 \text{ min}$$

Tabela 16. Parâmetros do regimes de corte

Param.	t [mm]	S_{zr} [mm/dente]	S_{mm} [mm/min]	v_r [m/min]	n_m [r.p.m.]	$2 \times P_z$ [N]	N_c [kW]	t_p [min]
Valores	10	0,043	44	17,1	68	1062,45	0,303	0,892

2.2. LABORAÇÃO DO PROCESSO TECNOLÓGICO DE FABRICAÇÃO DO CASQUILHO 5

2.2.1. ANÁLISE TECNOLÓGICA

O casquilho roscado 5 (fig.7) possui 12 superfícies, todas com dimensões normalizadas. Possui um furo roscado em todo o seu comprimento com a rosca M12X1,25 6H. A superfície cilíndrica externa é escalonada na extremidade direita de modo a facilitar o assentamento e posterior cravamento da anilha 4, e na extremidade esquerda é ranhurada de modo a alojar vedantes para a vedação do ar, as outras dimensões do casquilho são de precisão normal.

O casquilho 5 é de rigidez baixa, pois tem paredes bastante finas aproximadamente 3 mm. Para garantir alta produtividade o cilindro 4 pode ser tratada na rectificadora sem centros, e as restantes superfícies poderão ser tratadas em máquinas de comando numérico e como base tecnológica pode-se usar o cilindro 4. As ferramentas descrevem trajetórias simples, pois tem acesso fácil quer das ferramentas cortantes, quer dos instrumentos de medição. As ranhuras 5 poderão ser tratadas em simultâneo com uso de duas ferramentas de corte para perfilar montadas em dispositivo especial. Como medidores usar-se-á

calibres tipo passa não passa para o caso das superfícies cilíndricas, calibre de rosca tipo macho para verificação da rosca e escantilhão para verificação de superfícies perfiladas.

A seguir faz-se o cálculo dos coeficientes de tecnologibilidade

Coeficiente da normalização, K_N

Veja tabela 2, pag. 22, todas as superfícies são normalizadas. $K_N = 1$, por isso é possível o uso de ferramentas e instrumentos de medição normalizados, o que diminui o custo das peça a produzir.

Coeficiente de unificação

Tabela 17 Quant. superf. unificadas

Nome das superfícies	Nº total superfícies
Face 2	2
Ranhuras 5	2
Sup. Boleadas 9	2

No total são 6 superfícies unificadas

Da formula 12: $K_u = \frac{6}{12} = 0,5$

$K_u = 0,5$ significa que a peça tem metade das superfícies unificadas, o que diminui o número de ferramentas necessárias para o tratamento, assim reduz o custo da produção da peça.

Coeficiente de precisão

Tabela 18 Quantidade de precisão das superfícies

Superfícies	Qualidade	Nº das superfícies
8	11 ^a	1
3; 4; 5; 7	12 ^a	5
1; 2 ; 6; 9	14 ^a	6
Total		12

O coeficiente de precisão calcula-se pela fórmula 13:

$$Q_{pm} = \frac{(11 \times 1) + (12 \times 5) + (14 \times 6)}{12} = 12,92; \quad K_p = \frac{1}{12,92} = 0,923$$

A peça é de precisão normal, o que facilita o seu fabrico e reduz os custos.

Coefficiente de rugosidade, K_r

Tabela 19 Rugosidade das superfícies

Superfícies	Rugosidade, R_z	Nº total das superfícies
8	20	1
1; 2 ; 3; 4; 5; 6; 7;9	40	11
Total		12

O coeficiente de rugosidade calcula-se pela fórmula 14:

$$R_{zm} = \frac{(20 \times 1) + (40 \times 11)}{12} = 38,33; \quad K_r = \frac{1}{38,33} = 0,0261$$

A rugosidade das superfícies é média, a rosca interna será trata mecanicamente por macho o que diminui o custo de fabricação.

Coefficiente do uso do material

Na fig. 22 apresentam-se os volumes elementares do casquilho 5

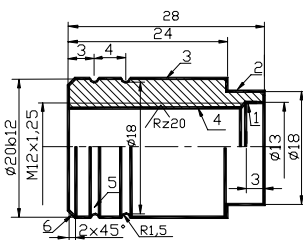


Fig. 22 Volumes elementares do casquilho 5

Os volumes V_1 ; V_2 ; V_3 ; V_4 são tomados como volume do cilindro e calculam-se pela fórmula:

$V = (\pi \times d^2/4) \times e$; o volume V_5 , é tomado como volume da metade do toro e calcula-se pela fórmula:

$V = 1/2 \times 2,4674 \times D \times d^2$. Onde $D = 20$ mm e $d = 3$ mm

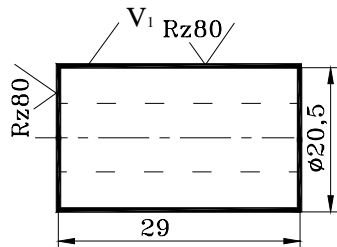
O volume V_6 é tomado como volume do tronco do cone e calcula-se pela fórmula: $V_6 = 0,2617 \times h \times (D^2 + D \times d + d^2)$

Tabela 20 Cálculo do volume da peça acabada

Volumes	Quantidade	cálculo	Vol. [mm ³]
1	1	- $(3,14 \times 13^2/4) \times 2$	- 265,33
2	1	$(3,14 \times 18^2/4) \times (28 - 24)$	1017,36
3	1	$(3,14 \times 20^2/4) \times 24$	7536
4	1	- $(3,14 \times 11,12^2/4) \times (28 - 3)$	-2417,9963
5	2	- $1/2 \times 2,4674 \times 20 \times 3^2$	- 222,066
6	1	- $0,2617 \times 2 \times (20^2 + 20 \times 18 + 18^2)$	- 567,37
Σ			5080,5977

O sinal (-) indica um furo, isto é sem material.

Cálculo da peça bruta



$$V_{pb} = \frac{3,14 \times (20,5^2 - 10^2) \times 29}{4} = 7290,5 \text{ mm}^3$$

Fig. 23 Esquema peça bruta

O coeficiente do uso do material será:

$$K_{um} = \frac{5080,5977}{7290,5} = 0,7$$

Significa que cerca de 30% do material da peça bruta perder-se-á em forma de aparas durante o tratamento mecânico. $K_{um} = 0,7$ fica dentro das recomendações para a produção em serie grande.

2.2.2 ESCOLHA DA PEÇA BRUTA

O casquilho 5, tem a forma cilíndrica, portanto a peça bruta poderá ser feita dum tubo $\varnothing 20,5 \times \varnothing 10 \times 29$, o processo de obtenção da peça bruta poderá ser através de corte do tubos laminados a quente e estampagem a quente.

2.2.3 ESCOLHA DAS BASES TECNOLÓGICAS

A instalação da peça na máquina para o tratamento da superfícies 1,2,3,7,8 e 9 deverá eliminar-se 5 graus de liberdade. A rotação e o deslocamento ao longo do eixo y e z, e o deslocamento ao longo do eixo x. Para tal como bases tecnológicas podem ser usadas o cilindro externo 4 e a face esquerda 2 fig. 24 que garantem a coincidência das bases tecnológicas com as de medição para maior parte das dimensões e construção das bases tecnológicas.

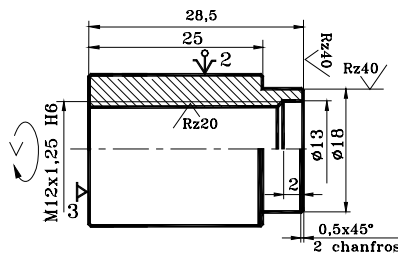


Fig. 24 Esquema de instalação da peça para tratamento das superfícies 1,2,3,7,8 e 9
 Para dimensões, $L = 29$ mm, $L = 25$, o defeito de posicionamento é nulo, pois há coincidência da base de medição com as bases tecnológicas, ϵ_{p29} , $\epsilon_{p25} = 0$. Uma vez que a força de aperto é perpendicular as cotas observadas, o defeito de aperto para estas cotas é nulo, ϵ_{a29} ; $\epsilon_{a25} = 0$. O defeito de dispositivo, é determinada pela tolerância mínima. $\epsilon_{d20;25} = (1/6 - 1/3) \times IT14 = (1/6 - 1/3) \times 520 = (86,67 - 173,33) \mu\text{m}$; escolhe-se $\epsilon_{d29;25} = 130 \mu\text{m}$.

$$\epsilon_{i29;25} = \sqrt{0 + 0 + 130^2} = 130 \mu\text{m}$$

Para o diâmetro $\varnothing 10,7$ mm do furo 7, o defeito de instalação é nulo, $\epsilon_i \varnothing 10,5 = 0$ pois depende da ferramenta e não dependem da disposição da peça.

Para as dimensões $L = 2$ mm; o defeito de posicionamento é nulo, pois há coincidência da base de medição com as bases tecnológicas, $\epsilon_{p2} = 0$. Uma vez que a força de aperto é perpendicular as cotas observadas, o defeito de aperto para estas cotas é nulo, $\epsilon_{a2} = 0$. O defeito de dispositivo, é determinada pela tolerância mínima. $\epsilon_{d2} = (1/6 - 1/3) \times IT14 = (1/6 - 1/3) \times 250 = (41,67 - 83,33) \mu\text{m}$; escolhe-se $\epsilon_{d2} = 70 \mu\text{m}$.

$$\epsilon_{i2} = \sqrt{0 + 0 + 70^2} = 70 \mu\text{m}$$

Para as dimensões dos diâmetros $\varnothing 13$ mm; $\varnothing 18$ mm; e M12 X 1,25; C0,5 mm o defeito de instalação é nulo, $\epsilon_i = 0$ pois dependem da ferramenta e não da disposição da peça. Assim para todas dimensões acima observadas $\epsilon_i < IT/3$, por isso para sua obtenção pode ser usado método automático de obtenção das dimensões.

A instalação da peça na máquina para o tratamento da superfícies 1;5 e 6 deverá eliminar-se 5 graus de liberdade. A rotação e o deslocamento ao longo

do eixo y e z, e o deslocamento ao longo do eixo x. Por isso como bases tecnológico podem ser usados o cilindro 4 e a face direita 2, fig. 25.

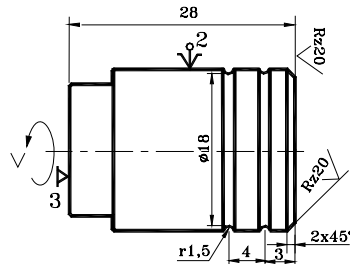


Fig. 25 Esquema de instalação da peça para o tratamento das superfícies 1; 5 e 6
 Para Dimensão L = 28 mm o defeito de posicionamento é nulo, pois há coincidência da base de medição com as bases tecnológicas, $\epsilon_{p120} = 0$. Uma vez que o sentido da força de aperto é perpendicular a cota observada, o defeito de aperto para esta cota é nulo, $\epsilon_{a28} = 0$. O defeito de dispositivo $\epsilon_{d28} = (1/6 - 1/3) \times IT14 = (1/6 - 1/3) \times 520 = (86,67 - 173,33) \mu m$. Escolhe-se $\epsilon_{d28} = 130 \mu m$.

$$\epsilon_{i28} = \sqrt{0 + 0 + 130^2} = 130 \mu m$$

Para a dimensão do chanfro 2, C2 o defeito de posicionamento é nulo, pois o chanfro é tratado simultaneamente com a face 1, $\epsilon_{p c2} = 0$. O defeito de aperto é nulo, pois a cota é perpendicular a direção da força de aperto. $\epsilon_{ac2} = 0$. O defeito do dispositivo, utiliza-se o mesmo dispositivo para as dimensões: L = 28 mm e C2 por isso o defeito do dispositivo é o mesmo. Então $\epsilon_{d c2} = 130 \mu m$

$$\epsilon_{ic2} = \sqrt{0^2 + 0 + 130^2} = 130 \mu m$$

Para dimensão do ângulo $\alpha 45^\circ$, o defeito de instalação é nulo, $\epsilon_{i\alpha 45^\circ} = 0$ pois a dimensão não depende da instalação da peça, depende da ferramenta.

Para as dimensões L = 4 mm; L = 3 mm e r = 1,5 mm o defeito de instalação é nulo, $\epsilon_i = 0$ pois depende da ferramenta e não dependem da disposição da peça.

2.2.4 ESCOLHA DA SEQUÊNCIA DE TRATAMENTO DAS SUPERFÍCIES

As superfícies do casquilho 5 ficam agrupadas da seguinte forma:

grupo 1: cilindros 4 $\varnothing 20$ mm, h12, $R_z 40$

grupo 2: face 2 L = 28 mm, h14, $R_z 40$

Grupo3: furo 7 $\varnothing 10,7$ mm, H12, $R_z 40$

grupo 4: furo 1 $\varnothing 13$ mm, H14, $R_z 40$

grupo 5: cilindros 3 $\varnothing 18$ mm, h12, $R_z 40$

grupo 6: chanfro 9 C0,5 $\alpha 45^\circ$, $\pm IT 14/2$, $\pm AT 14/2$, $R_z 40$

grupo 7: Rosca interna 8, M12X1,25 - 6H, $R_z 20$

grupo 8: ranhuras 5 $\varnothing 18$ mm, h12, $R_z 40$

grupo 9: chanfro 2 C2, $\alpha 45^\circ$, $\pm IT 14/2$, $\pm AT 14/2$, $R_z 40$

O cilindro 4, depois de estampagem a quente pode-se rectificar na rectificadora sem centros de modo a adquirir 12° grau de tolerância e uma rugosidade $R_z 40$

Tabela 21 Cilíndrica 3, $\varnothing 12$ mm, h12, $R_z 40$;

n ^o	Método de tratamento	Qualidade	Rugosidade R_z
1	Estampagem a quente	14	80
2	Rectificação de desbastamento	12	40

Para as faces 2 inicialmente obtidos por estampagem, serão facejados de modo a adquirir 14° grau de tolerância e rugosidade $R_z 40$.

Tabela 22 Face 2 L = 28 mm, h14 e $R_z 40$

n ^o	Método de tratamento	Qualidade	Rugosidade R_z
1	Estampagem a quente	14	80
2	Torneamento de semiacabamento	14	40

O furo 7 depois de estampagem a quente pode ser broqueado de modo a adquirir 12° grau de tolerância e uma rugosidade $R_z 40$.

Tabela 23 Furo 7, $\varnothing 10,7$ mm, H12, $R_z 40$;

n ^o	Método de tratamento	qualidade	Rugosidade R_z
1	Estampagem a quente	18	80
2	broqueamento	12	40

O furo 1 será alargado de modo a adquirir 14° grau de tolerância e uma rugosidade $R_z 40$.

Tabela 24 Furo 1 $\varnothing 13$ mm, H14, $R_z 40$

n ^o	Método de tratamento	Qualidade	Rugosidade R_z
1	Alargamento	14	40

O cilindro externo 3 pode ser torneada por único tratamento de semiacabamento de modo a adquirir 12° grau de tolerância e uma rugosidade $R_z 20$.

Tabela 25 Cilindros 3, Ø 18 mm, h14, R_z40

nº	Método de tratamento	qualidade	Rugosidade R _z
1	Torneamento de semiacabamento	14	40

As ranhuras 5 será obtida por torneamento de semiacabamento de modo a adquirir 12º grau de tolerância e uma rugosidade R_z40.

Tabela 26 Ranhuras 5, Ø18h12, R_z40 ;

nº	Método de tratamento	qualidade	Rugosidade R _z
1	Torneamento de semiacabamento	12	40

O chanfro 6, pode ser obtido por chanframento de modo a adquirir um desvio ±IT14/2 e rugosidade R_z40.

Tabela 27 Chanfro 6, C2, α45º, ±IT14/2, ±AT14/2, R_z40

nº	Método de tratamento	qualidade	Rugosidade R _z
1	Chanframento de semiacabamento	14	40

A rosca interna 8, pode ser tratada por meio de macho de modo a adquirir a 6º grau de tolerância e uma rugosidade R_z20

Tabela 28 Rosca 8, M12X1,25 - 6H, R_z20

nº	Método de tratamento	Qualidade	Rugosidade R _z
1	Abertura de rosca	11	40

Em vez de boleamento 9, pode-se fazer chanfros que podem ser obtidos por chanframento de modo a adquirirem um desvio ±IT14/2 e rugosidade R_z40. Esta alteração permite automatizar o processo de fabricação destas superfícies.

Tabela 29 Boliamento 9, r = 0,5 h14, R_z20

nº	Método de tratamento	Qualidade	Rugosidade R _z
1	Chanframento	14	40

2.2.5. ELABORAÇÃO DA ROTA DE TRATAMENTO

O processo de tratamento começa pela obtenção da peça bruta por meio de estampagem a quente. A seguir pode-se rectificar o cilindro externo 4 na rectificadora sem centros e as outras superfícies poderão ser tratadas na máquina CNC. No fim pode-se realizar o tratamento térmico num forno que permite a regulação da concentração dos gases protectores de modo a evitar a oxidação da peça. A seguir é apresentada a tabela de rota tecnológica constituída das seguintes fases:

Tabela 30 Rota tecnológica

nº	Conteúdo da fase	Maquina	Base tecnológica
10	Corte do tubo	Serra de disco	
20	Estampagem a quente do varão laminado	Prensa hidráulica	
30	Rectificação do cilindro 4	Rectificadora sem centros	Cilindro ext. 4
40	Torneamento de semiacabamento da face direita 2; alargamento dos furos 7 e 1; torn. do cilíndricas 3; abert. de rosca 8, dos chanfros 9.	Torno CNC	Superfície 4 e 2
50	Torneamento de semiacabamento da face esquerda 1, do chanfro 6; das sup. ranhuradas 5 .	Torno CNC	Superfície 4 e 2
60	Tempera	Forno eléctrico	
70	Revenimento alto	Forno eléctrico	

2.2.6. ELABORAÇÃO DE FASES

Fase 10. Pode ser realizada numa Serrote de disco Imor. O tubo pode ser instalado no torninho pneumático pela cilindro ext. 4, o comprimento do tubo, 29 mm é garantido pelo limitador acoplado no serrote. O disco de corte pode ser feita de aço rápido P6M5, paquímetro 0,05 L = 180 mm.

Fase 20. Pode ser realizada na prensa semiautomática com capacidade de 100 t, de marca Schou e os tubos podem ser afixadas nas estampas, para aquecer as peças pode-se usar o forno eléctrico que permite a regulação dos gases.

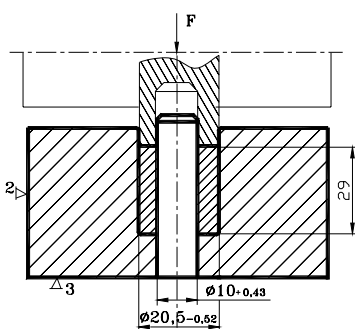


Fig. 26 Esquema da estampagem do tubo

A. Colocar as peças no forno quente, $t = 900^{\circ}$, deixar lá durante 15 min.

B. Tirar as peças do forno e colocar na estampa. atenezes.

1. Embutir o tubo até $\text{Ø}20,5_{-0,52}$; $\text{Ø}10_{+0,43}$; Rz40. Estampas; calibres $\text{Ø}20,5\text{h}14$, $\text{Ø}10\text{H}14$

Fase 30. Pode ser realizada na rectificadora sem centros, esquema parecida está representada na fig. 16, recebe-se $\varnothing 20_{-0,37}$; Rz40. Mó para desbastar

A -220 - Y - V223; calibre tipo passa não passa $\varnothing 20b12$

Fase 40. Pode ser realizada numa máquina CNC Dyna Mute. O tubo pode ser instalada numa bucha de pinça.

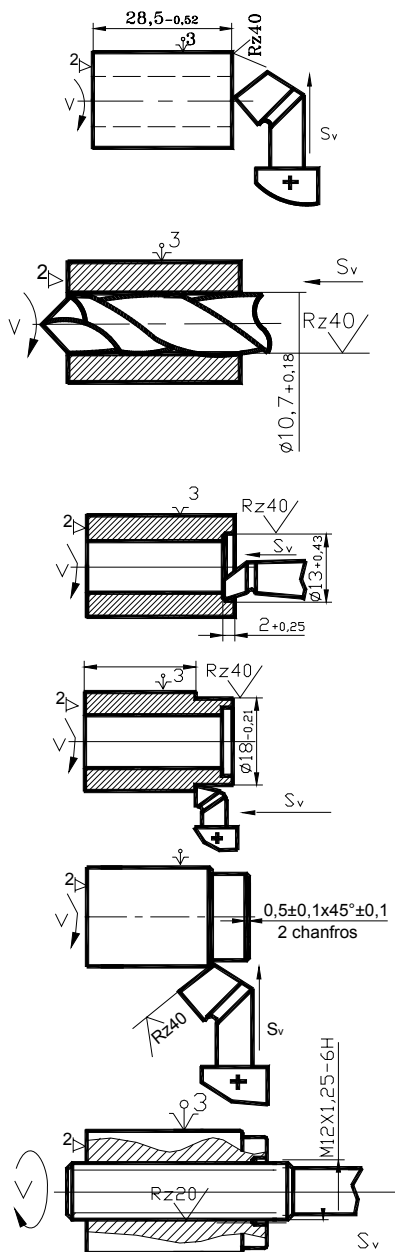


Fig. 27 Esquemas de tratamento da fase 30

1. Facejar a face direita 2 até $L = 28,5_{-0,52}$; Rz40. Ferro cortante para facejar P6M5; paquímetro 0,05; $L = 180$ mm.

2. Broquear o furo 7 até $\varnothing 10,7^{+0,18}$; Rz40. Broca P6M5, calibre macho $\varnothing 10,7H12$.

3. Alargar o furo 1, até $\varnothing 13^{+0,43}$, $L = 2_{+0,25}$; $r = 0,5$; $\alpha 45^\circ$; Rz40. Alargador P6M5, calibre macho $\varnothing 13H14$.

4. Cilindrar a sup. 3, até $\varnothing 18_{-0,21}$; $L = 25_{-0,52}$; Rz40. Ferro para cilindrar P6M5; calibres $\varnothing 18h12$.

5. Abrir 2 chanfros 9, $C = 0,5^{\pm 0,1}$ $\alpha 45^\circ$; Rz40. Ferro cortante para chanfrar P6M5, escantilhão.

6. Abrir rosca M12X1,25; Rz20. Macho P6M5 para abrir rosca;

Fase 50. Pode ser realizada numa máquina CNC. A peça pode ser instalada numa bucha de pinça.

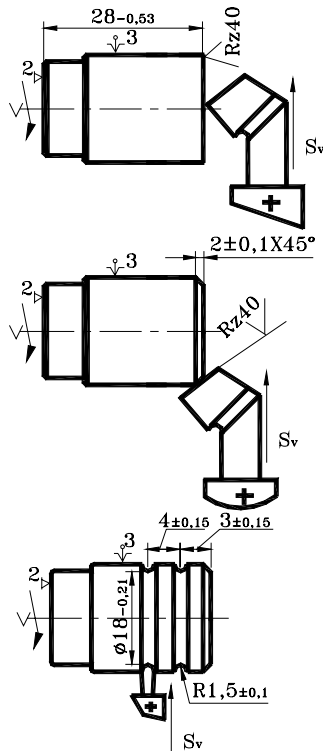


Fig. 28 Esquemas do tratamento da fase 20

Fase 60. A têmpera pode ser realizada no forno eléctrico com regulação da concentração de gases.

- Meter o jogo das peças no forno quente a 900° e fazer exposição de 0,5 h
- Tirar as peças do forno e mergulhar na água até arrefecer.

Fase 70. O revenimento alto pode ser realizada no forno eléctrico com regulação da concentração de gases.

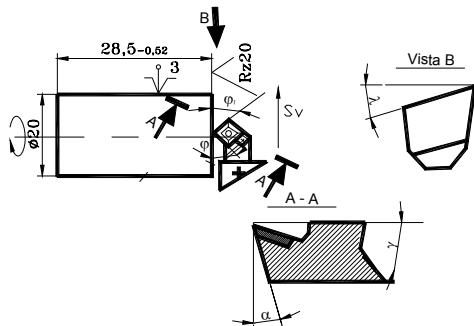
- Meter o jogo das peças no forno quente, a 600° e deixar lá durante 2 h.
- Tirar as peças no forno e coloca - las no chão.

2.2.7 CÁLCULO DO REGIME DE CORTE

Fase 30. Torneamento da face 2 até $L = 29$ mm Rz40

Peça bruta: Aço 45, $\sigma_r = 600$ MPa; com dureza HB = 200. A ferramenta cortante escolhida é de aço rápido P6M5 porque possui boa ductilidade e aguenta bem a

ligeiros choques. O esquema de tratamento com indicação da geometria do ferro cortante está apresentado na fig. 29



Os parâmetros geométricos da parte cortante da ferramenta escolhe-se da [2]. Da tab. 30 pag. 12: $\alpha = 12^\circ$; $\gamma_{ch} = -4^\circ$; $\gamma = 25^\circ$; $\lambda = 0$. Da tab. 31: $\varphi = 45^\circ$; $\varphi_l = 15^\circ$; $r_b = 1 \text{ mm}$

Fig. 29 Esquema de facejamento da face 1

Escolhe-se torno CNC Dyna Mate 3000; potência = 0,95 kW; rend. $\eta = 70 \%$.

Secção do cabo: quadrada 12 X 12

Profundidade de corte: $t = 0,5 \text{ mm}$

Escolha dos avanços

1. Avanços em função do método de tratamento, da tab. 11, pag.20

$$S_v = 0,5 \times 0,75 = 0,3 \text{ mm / v}$$

O coeficiente 0,75 toma-se em conta a diminuição da secção transversal do cabo.

2. Avanço em função da rugosidade, da tab. 14 pag. 22

$$S_v = 0,57 \times 0,45 = 0,257 \text{ mm / v; para } R_z40 \text{ (valor interpolado)}$$

Escolhe-se $S_{vm} = 0,257 \text{ mm / v}$

O período de resistência da ferramenta de corte calcula-se pela fórmula:

$$T = T_e \times K_{Tf} \times K_{Tm} \quad (32)$$

$T_e = 60$; $K_{Tf} = 1$; $K_{Tm} = 1,4$ pois trata-se de produção em série grande cada operário pode servir 2 máquinas.

$$T = 60 \times 1 \times 1,4 = 84 \text{ min}$$

A velocidade de corte calcula-se pela fórmula:

$$V_c = \frac{C_v \times C_{cv}}{T^m \times t^{xv} \times S_{vm}^{yv}} \times K_v \quad (33)$$

Onde : $K_v = K_{mv} \times K_{esv} \times K_{fv} \times K_{\varphi v} \times K_{\varphi 1v} \times K_{rv} \times K_{qv} \times K_{mtv}$

Da tab. 17 pag. 23 $C_v = 420$; $x_v = 0,15$; $y_v = 0,2$; $m = 0,2$; tab. 6 pag.19 $K_{fv} = 0,15$ para aço rápido P6M5; tab. 5 pag.19 $K_{esv} = 0,9$ para estampagem a quente,

$K_{mtv} = 1,18$ para facejamento na razão $d : D = 0,5$; tab. 18 pag. 24a: $K_{\phi v} = 1,0$ para $\phi = 45^\circ$; $K_{\phi 1v} = 0,97$ para $\phi_1 = 15^\circ$; $K_{rv} = 0,94$ para $r_b = 1\text{mm}$; pag. 24a $K_{qv} = 0,93$ para secção do cabo com 16×16 e é próxima a secção do cabo 12×12 .

$$K_{MV} = C_m \times \left(\frac{750}{\sigma} \right)^{nv} \quad (34)$$

$$K_{MV} = 1,0 \times \left(\frac{750}{600} \right)^{1,75} = 1,478$$

$$K_v = 1,478 \times 0,9 \times 0,15 \times 1,0 \times 0,97 \times 0,94 \times 0,93 \times 1,18 = 0,1997$$

$$V_c = \frac{420}{84^{0,2} \times 0,5^{0,15} \times 0,257^{0,2}} \times 0,1997 = 50,33 \text{ m / mm}$$

A frequência de rotações calcula-se pela fórmula 21:

$$n_c = \frac{1000 \times 50,33}{3,14 \times 20} = 801,45 \text{ r.p.m}; \quad n_m = 800 \text{ r.p.m}$$

$$V_r = \frac{3,14 \times 20 \times 800}{1000} = 50,24 \text{ m / mm}$$

A força de corte calcula-se pela fórmula:

$$P_z = C_p \times t^{xp} \times S_{vm}^{yp} \times V_r^{np} \times K_p \quad [\text{N}] \quad (35)$$

Onde: $K_p = K_{mp} \times K_{\phi p} \times K_{\gamma p} \times K_{rp} \times K_{\lambda p}$; da tab. 22 , pag. 25 $c_{pz} = 2000$; $x_{pz} = 1$; $y_{pz} = 0,75$; $n_{pz} = 0$; da tab. 9, pag. 20: $n = 0,75$; da tab. 23, pag. 26: $K_{\phi p} = 1,0$ para $\phi = 45^\circ$; $K_{\gamma p} = 1,0$ para $\gamma = 25^\circ$; $K_{\lambda p} = 1$ para aço rápido; $K_{rp} = 0,93$ para $r_b = 1\text{mm}$

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma}{750} \right)^n \quad (36)$$

$$K_{mp} = \left(\frac{600}{750} \right)^{0,75} = 0,846$$

$$K_p = 0,846 \times 1,0 \times 1 \times 0,93 \times 1 = 0,787$$

$$P_z = 2000 \times 1^1 \times 0,257^{0,75} \times 50,24^0 \times 0,787 = 568,14 \text{ N}$$

A potência de corte calcula-se pela fórmula 26

$$N_c = \frac{568,14 \times 50,24}{60000} = 0,476 \text{ kW}$$

Verificação: $N_c = 0,476 < N_m \times \eta = 0,95 \times 0,7$ O tratamento pode ser realizado na máquina escolhida.

O coeficiente do uso da máquina calcula-se pela fórmula 28

$$C_{um} = \frac{0,476}{0,95 \times 0,7} = 0,72$$

Aproveita-se cerca 72% da capacidade da máquina o que significa que a máquina foi bem escolhida.

O coeficiente do uso da ferramenta calcula-se pela fórmula 29

$$C_{uf} = \frac{50,24}{50,33} = 0,998$$

Significa que houve um bom aproveitamento no uso da ferramenta cortante porque aproveitou-se cerca de 99,8% da sua capacidade de usinabilidade.

O tempo de tratamento calcula-se pela fórmula:

$$t_p = \frac{(C + t \times c \operatorname{tg} \varphi + 2)}{n_m \times S_{vm}} \quad (37)$$

Onde: $C = (D_{inic} - D_{fin})$

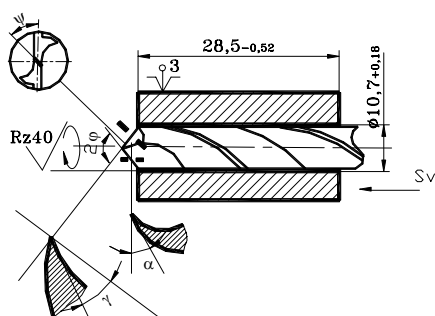
$$C = 20 - 10 = 10 \text{ mm}$$

$$t_p = \frac{(10+2)}{800 \times 0,257} = 0,058 \text{ min}$$

Tabela 30 Parâmetros do regimes de corte

Paramet.	t [mm]	S_{vm} [mm/v]	v_r [m/min]	n_m [r.p.m.]	P_z [N]	N_c [KW]	t_p [min]
Valores	0,5	0,257	50,24	800	568,14	0,476	0,058

Broqueamento do furo 7 até $\varnothing 10,7_{-0,18}$; Rz40;



Parâmetros geométricos da parte cortante da broca escolhe-se da [2]. Escolhe-se afiação simples com dorso cónico perfilado. Da tab. 44 pag. 14: $\alpha = 14^\circ$; $\omega = 26^\circ$; $2\varphi = 118^\circ$; $\Psi = 50^\circ$

Fig. 30 Esquema da brocagem do furo 7

A ferramenta cortante escolhida é uma broca helicoidal de aço rápido P6M5, de cabo cónico tipo morse por tratar-se de aço.

Profundidade de corte

$$t = \frac{(D-d)}{2} \quad (38)$$

$$t = \frac{(10,7-10)}{2} = 0,35 \text{ mm}$$

Escolha dos avanços

Da tabela 26 pag. 27: $S_v = 0,5$ para alargamento do aço e $d \leq 15$.

Cálculo da rigidez: $X = l / d_m$; $d_m = (d + 0,4 \times d) / 2 = 1,4 \times d / 2$;

$$d = (1,4 \times 10,7) / 2 = 7,49 \text{ mm}$$

$X = 30 / 7,49 = 4$. O sistema tecnológico tem rigidez média, assim como a fixação da broca na bucha adaptadora assume-se rígida por se tratar de cabo cónico porque garante uma fixação segura.

$S_v = 0,5 \times 0,7 = 0,35 \text{ mm} / v$; multiplicou-se por 0,7 porque no furo vai-se abrir rosca.

Escolhe-se $S_{vm} = 0,35 \text{ mm} / v$

Período de resistência da broca calcula-se pela fórmula 32

$T_e = 45$; $K_{Tf} = 1$; $K_{Tm} = 1,4$ pois trata-se de produção em série grande cada operário pode servir para 2 máquinas.

$$T = 45 \times 1 \times 1,4 = 63 \text{ min}$$

Cálculo da velocidade de corte

$$V_c = \frac{C_v \times D_f^{q_v} \times k_v}{T^m \times t^{x_v} \times S_{vm}^{y_v}} \quad (39)$$

$$\text{Onde: } K_v = K_{mv} \times K_{mfv} \times K_{lv} \times K_{av} \times K_{esv}$$

$$\text{Da fórmula 34: } k_{mv} = 1,0 \times \left(\frac{750}{600} \right)^{0,9} = 1,222$$

Onde: $n_v = 0,9$ e $C_m = 1,0$ para aço rápido

Da tab. 28, pag. 28: $C_v = 16,2$; $q_v = 0,4$; $x_v = 0,2$; $y_v = 0,5$; $m = 0,2$; para broqueamento. $K_{av} = 1,0$; da tab. 31 pag. 29 $K_{lv} = 1$ para alargamento; da tab. 5 pag. 19 $k_{esv} = 0,9$ para estampagem; da tab. 6 pag. 19 $k_{fv} = 1,0$ para P6M5.

$$K_v = 1,222 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,9 = 1,0998$$

$$V_c = \frac{16,2 \times 10,7^{0,4} \times 1,0998}{63^{0,2} \times 0,35^{0,2} \times 0,35^{0,5}} = 41,87 \text{ m/min}$$

A frequência de rotações calcula-se pela fórmula 21

$$n_c = \frac{1000 \times 41,87}{3,14 \times 10,7} = 1246,1 \text{ r.p.m}; \quad n_m = 1246 \text{ r.p.m}$$

$$V_r = \frac{3,14 \times 10,7 \times 1246}{1000} = 41,86 \text{ m/min}$$

O momento torsor calcula-se pela fórmula:

$$M_t = C_m \times D_f^{q_m} \times t^{x_m} \times S_{vm}^{y_m} \times K_{mp} \times K_{ap} \times K_{df} \quad (40)$$

Da tab. 32 pag. 29: $C_m = 0,9$; $q_m = 1,0$; $x_m = 0,9$; $y_m = 0,8$

$K_{mp} = 0,846$ já calculado na pag. 58 é o mesmo para o broqueamento

$K_{ap} = 1,0$ para broqueamento ; $k_{df} = 1,6$ para $\sigma_r = 600 \text{ MPa}$

$$M_t = 0,9 \times 10,7^{1,0} \times 0,35^{0,9} \times 0,35^{0,8} \times 0,846 \times 1,0 \times 1,6 = 2,188 \text{ N}\cdot\text{m}$$

A força de corte calcula-se pela fórmula:

$$P_a = C_p \times D_b^{q_p} \times t^{x_p} \times S_{vm}^{y_p} \times K_p \quad (41)$$

Onde: $K_p = K_{mp} \times K_{ap} \times K_{df}$; tab. 32 , pag. 29: $c_p = 670$; $y_p = 0$; $x_p = 1,2$; $y_p = 0,65$

$$K_p = 0,846 \times 1,0 \times 1,6 = 1,354$$

$$P_a = 670 \times 10,7^0 \times 0,35^{1,2} \times 0,36^{0,65} \times 1,354 = 132,45 \text{ N}$$

A potência de corte calcula-se pela fórmula:

$$N_c = \frac{M_t \times n_m}{9550} \quad (42)$$

$$N_c = \frac{2,188 \times 1000}{9550} = 0,23 \text{ kW}$$

Verificação: $N_c = 0,23 < N_m \times \eta = 0,95 \times 0,7$ O tratamento pode ser realizado na máquina escolhida.

O coeficiente do uso da máquina calcula-se pela fórmula 28

$$C_{um} = \frac{0,23}{0,95 \times 0,7} = 0,346$$

Significa que aproveita-se cerca 34,6% da capacidade da máquina.

O coeficiente do uso da ferramenta calcula-se pela fórmula 29

$$C_{uf} = \frac{41,86}{41,87} = 0,999$$

Significa que houve um bom aproveitamento no uso da ferramenta cortante

porque aproveitou-se cerca de 99,9% da sua capacidade de usinabilidade.

O tempo de tratamento calcula-se pela fórmula:

$$t_p = \frac{c_f + (1 : 3) + t \times c \operatorname{tg} \varphi}{S_{vm} \times n_m} \quad (43)$$

$$t_p = \frac{29 + 2 + 0,35 \times c \operatorname{tg} 59}{0,35 \times 1000} = 0,089 \text{ min}$$

Tabela 31 Parâmetros do regimes de corte

Paramet.	t [mm]	S _{vm} [mm/v]	v _r [m/min]	n _m [r.p.m.]	P _a [N]	N _c [kW]	t _p [min]
Valores	0,35	0,35	42,86	1246	132,45	0,23	0,089

2.2.8 PROGRAMA CNC

Definição das ferramentas, da sua disposição no cabeçote revolver, do seu ponto of do sistema de coordenadas da peça usado na fase 30.

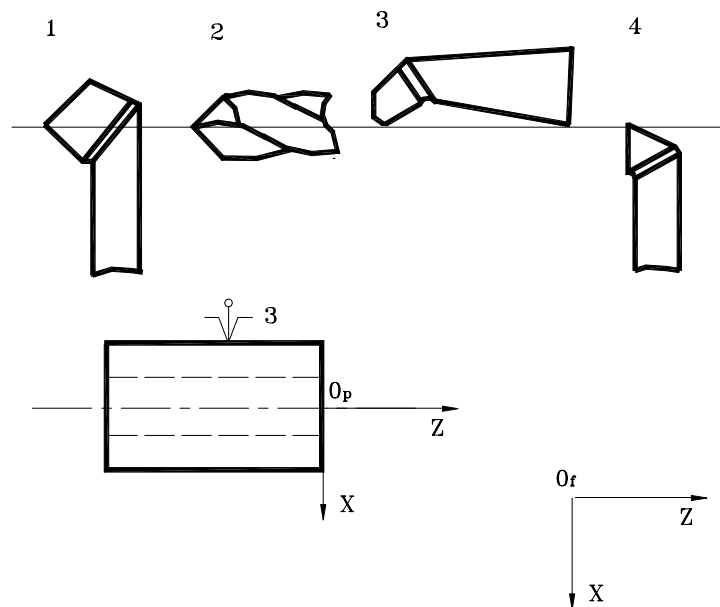


Fig. 31 Esquemas de ferramentas usadas na fase 30 e sistema de coordenadas de ferramentas e da peça

Tabela 32 coordenadas da trajetoria da ferramenta

Nº	X [mm]	Z [mm]	Notas
----	--------	--------	-------

0	40	30	Posicionamen. do ferro de facejar 1 no zero da ferramenta
1	22	-1	Aproximação rápido da ferramenta 1; rotação da peça
2	-1	-1	Facejar a peça
3	40	30	Afastamento rápido da ferr. 1 para o zero da ferramenta
0	40	30	Posicionamento da broca no zero da ferramenta
1	0	2	Aproximação rápido da broca; rotação da peça
2	0	-35	Alargamento do furo 7
3	0	2	Afastamento rápido da broca
4	40	30	Deslocamento rápido da broca para o zero da ferramenta
0	40	30	Posicionamento do ferro de cilindrar interior 3
1	13	2	Aproximação rápido da ferramenta 3; rotação da peça
2	13	- 3	Alargamento do furo 1
3	10	2	Afastamento rápido da ferramenta 3
4	40	30	Afastamento rápido da ferr. 3 para o zero da ferramenta
0	40	30	Posicionamento do ferro de cilindrar exterior 4
1	18	2	Aproximação rápido da ferramenta 4; rotação da peça
2	18	- 5	Cilindragem do cilindro 3
3	20	- 5	Afastamento da ferramenta 4
4	40	30	Afastamento rápido da ferr. 4 para o zero da ferramenta
0	40	30	Posicionamento do ferro de chanfrar 1
1	20	1	Aproximação rápido da ferramenta 1; rotação da peça
2	20	- 2,5	Abrir chanfro
2	38	- 2,5	Afastar a ferramenta 1
3	38	- 14	Aproximação rápida da ferramenta 1
4	38	- 14,5	Abrir chanfro
5	38	- 14	Afastar a ferramenta 1
6	40	30	Afastamento rápido da ferr. 1 para o zero da ferramenta.

Programa

```

000 START MM 01
001 TOLL      1
002 FR X / M  = 40
003 FR Z / M  = 30
004 SET UP > dczx
005 SPINDLE  ON
006 SPD SP   = 800
007 GOf X    22.0000
008      Z   - 1.0000
009 GO  X   - 1.0000
    
```

010 GO Z - 1.0000
011 X > CLR X
012 Z > CLR Z
013 TOLL 2
014 SPD SP = 1246
015 GOf X 0.0000
016 Z 2.0000
017 GO Z - 35.0000
018 GOf Z 2.0000
019 X > CLR X
020 Z > CLR Z
021 TOLL 3
022 SPD SP = 800
023 GOf X 13.000
024 Z 2.0000
025 GO Z - 3.0000
026 GOf X 10.000
027 GOf Z 2.0000
028 X > CLR X
029 Z > CLR Z
030 TOLL 4
031 GOf X 18.000
032 GOf Z 2.0000
033 GO Z - 5.0000
034 GOf X 20.0000
035 X > CLR X
036 Z > CLR Z
037 TOLL 1
038 SPD SP = 800
039 GOf X 20.000
040 Z 1.0000

041 GO X 20.0000
042 GO Z - 2.5000
043 GOf X 38.0000
044 GOf Z - 14.0000
045 GO Z - 14.5000
046 GO Z - 14.0000
047 X > CLR X
048 Z > CLR Z
049 SPINDLE OFF
050 CONTROL 1
051 END NEW PART

2.3 ELABORAÇÃO DO PROCESSO TECNOLÓGICO DE FABRICAÇÃO DO PRATO 6

2.3.1. ANÁLISE TECNOLÓGICA DO PRATO 6

O prato (fig. 8) é constituído por 11 superfícies, todas com dimensões normalizadas. Todas as superfícies podem ser produzidas por estampagem, o que requer a projecção de estampas especiais. O prato não é rígido pois possui uma parede de 3 mm, ela deve ser bem apoiada e apertada nas estampas. O punção descreve uma trajectória rectilínea e tem acesso fácil para tratamento do furo, assim como para a conformação da superfície cilíndrica externa. Como medidores usar-se-á calibres do tipo passa não passa.

A seguir apresentam-se os cálculos dos coeficientes de tecnologibilidade.

O coeficiente de normalização

Segundo a tabela 3 pag.24, todas as superfícies são normalizadas. $K_N = 1$, por isso é possível o uso de ferramentas e instrumentos de medição normalizados, o que diminui o custo das peça a produzir.

Coeficiente de unificação

A peça tem 4 superfícies de boleamento, e o coeficiente de unificação calcula-se pela fórmula 12.

$$K_u = \frac{4}{12} = 0,33$$

Significa que tem poucas superfícies unificadas e mesmo assim, diminui-se o custo de produção porque a peça é produzida por estampagem.

O coeficiente de precisão

As superfícies 1 e 5 tem 12° de grau de tolerância e as outras possui 14° e calcula-se pela fórmula 13:

$$Q_{pm} = \frac{(12 \times 2) + (14 \times 9)}{11} = 13,64; \quad K_p = \frac{1}{13,64} = 0,93$$

A peça é de precisão normal, o que facilita o seu fabrico e redução dos custos.

O coeficiente de rugosidade, K_r

Todas superfícies possui uma rugosidade Rz40 e calcula-se pela fórmula 14:

$$R_{zm} = \frac{40 \times 11}{11} = 40; \quad K_r = \frac{1}{40} = 0,025$$

A rugosidade das superfícies é média, algumas superfícies lisas são obtidos por laminagem e nenhuma superfície é obtido por tratamento mecânico o que diminui o custo de fabricação.

Coefficiente do uso do material

Na fig. 32 apresenta-se os volumes elementares do prato 6.

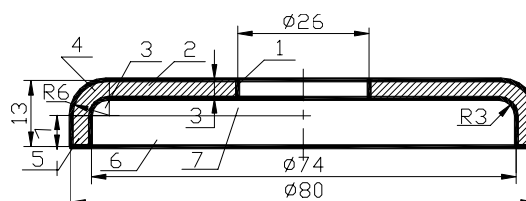


Fig. 32 Volumes elementares do prato 6

Os volumes ; V_1 ; V_2 ; V_5 ; V_6 ; V_7 são tomados como volume dos cilindros

Os volumes V_3 , e V_4 são tomados como volume do 1/4 de toroide.

Tabela 33 Cálculo do volume da peça acabada

Volumes elementares	Quantidad.	Cálculo	Volume [mm ³]
1	1	- 3,14 x (26 / 2) ² x 3	- 1591,98
2	1	3,14 x (80 / 2 - 3) ² x 13	55882,58
3 e 4	2	1/4 x (2,4674 x 12 x 3 ³) x 2	133,24
5	1	3,14 x (80 ² -74 ²)/4 x 7	5077,38
6	1	- 3,14 x (74 / 2) ² x 7	- 30090,62
7	1	- 3,14 x (74 / 2 - 3) ² x 3	- 10889,52
Total			18521,08

O sinal (-) indica um furo, isto é sem material.

O coeficiente do uso do material calcula-se pela fórmula:

$$K_{um} = \frac{V_{pa} \times N_p}{V_{ch}} \quad (44)$$

Onde: N_p – número de peças e V_{ch} – volume da chapa.

Segundo os dados apresentados na pag. 70 teremos:

$$K_{um} = \frac{18521,08 \times 325}{1225 \times 2450 \times 3} = 0,67$$

Significa que cerca de 33% do material da peça bruta perder-se-á em forma de retalho durante corte dos discos.

2.3.2 CÁLCULO DO DIÂMETRO DOS DISCOS [4]

Para as operações de embutidura em geral é necessário ter em conta os seguintes factores: o raio da curvatura; a elasticidade do material da chapa;

evitar os cantos vivos, para este item é aconselhável que os raios de curvatura sejam iguais ou maiores que a espessura da chapa a embutir.

O cálculo do diâmetro do disco pode ser feito através da linha neutra. Segundo

[4]. para r / y = 1; y = 0,421 x 3 = 1,26 mm, e segundo a fig. 33

$$d_1 = d + 2 \times y \quad (45)$$

$$h = 13 - y$$

$$d_1 = 74 + 2 \times 1,26 = 76,5 \text{ mm}$$

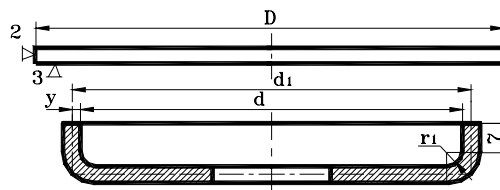


Fig. 33 Esquema de indicação da posição da fibra neutra y

$$D = \sqrt{d_1^2 + 2,28 \times r_1 \times d_1 - 0,56 \times r_1^2 + 4 \times d_1 \times h} \quad (46)$$

$$D = \sqrt{76,5^2 + 2,28 \times 3 \times 76,5 - 0,56 \times 3^2 + 4 \times 76,5 \times 7} = 92,3 \text{ mm}$$

2.3.3. PLANEAMENTO DA CHAPA [5]

No planeamento da chapa é necessário saber a quantidade de discos que cabem numa chapa de aço de 2450 x 1225 mm. A seguir apresenta-se na fig. 34 disposição dos discos a ser estampados em uma fila.

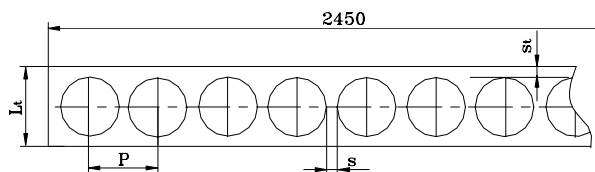


Fig. 34 Esquema de orientação dos discos em uma fila

P – passo entre os discos

$$P = D + s \quad (47)$$

Onde: D - diâmetro dos discos, s - intervalo entre os discos (s = 2 mm)

$$P = 92,3 + 2 = 94,3 \text{ mm}$$

A chapa é dividida por tiras segundo a disposição dos discos.

$$L_t = D + 2 \times s_t \quad (48)$$

Onde: s_t - distância entre o diâmetro dos discos e os bordos das tiras (s_t = 2,5 mm)

$$L_t = 92,3 + 2 \times 2,5 = 97,3 \text{ mm}$$

Para o melhor aproveitamento da chapa deve-se encontrar a disposição de discos na chapa que fornece maior número de peças.

Se cortar a chapa em tiras paralelamente a largura, vamos ter o seguinte.

A quantidade de tiras por chapas calcula-se pela fórmula:

$$Q_t = \frac{C}{L_t} \quad (49)$$

Onde: C – comprimento da chapa e L_t – largura das tiras

$$Q_t = \frac{2450}{97,3} = 25,2$$

Por cada chapa obtém-se 25 tiras de comprimento $C_t = 1225$ mm.

A quantidade de peças por cada tira.

$$Q_{pt} = \frac{C_t - 2}{P} \quad (50)$$

Onde: C_t – comprimento das tiras

$$Q_{pt} = \frac{1225 - 2}{94,3} = 12,96$$

Obtém-se 12 peças por cada tira.

O número total de peças em cada chapa será:

$$N_p = Q_t \times Q_{pt} \quad (51)$$

$$N_p = 25 \times 12 = 300 \text{ peças / chapa}$$

Se cortar a chapa em tiras paralelamente ao comprimento, vamos ter o seguinte:

A quantidade das tiras será:

$$Q_t = \frac{L_c}{L_t} \quad (52)$$

Onde: L_c – largura da chapa

$$Q_{tc} = \frac{1225}{97,3} = 12,59$$

Por cada chapa obtém-se 12 tiras de comprimento $C_t = 2450$ mm.

A quantidade de peças por cada tira calcula-se pela fórmula 50:

$$Q_{pt} = \frac{2450 - 2}{94,3} = 25,96$$

Obtém-se 25 peças por cada tira

O número total de peças em cada chapa calcula-se pela fórmula 51:

$$N_p = 12 \times 25 = 300 \text{ peças / chapa}$$

Tanto a 1ª disposição como a 2ª dá-nos o mesmo número de peças portanto

Pode-se cortar a chapa tanto pela largura assim como pelo comprimento.

Se usar tiras com discos em duas filas (fig. 35) vamos ter o seguinte.

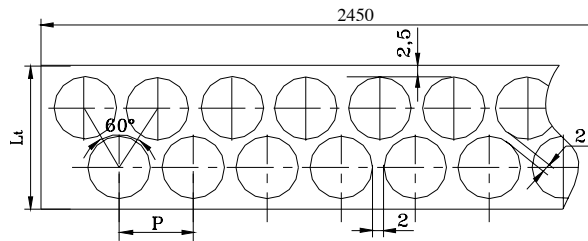


Fig. 35 Esquema de orientação dos discos em duas filas

A largura das tiras será:

$$L_t = (D_d + 2) \times \cos 30^\circ + D_d + 2 \times s_t \quad (53)$$

$$L_t = (92,3 + 2) \times \cos 30^\circ + 92,3 + 2 \times 2,5 = 178,9 \text{ mm}$$

Se cortar a chapa em tiras paralelamente a largura, vamos ter o seguinte.

Da fórmula 48 calcula-se a quantidade de tiras que cabem numa chapas.

$$Q_{L_t} = \frac{2450}{178,9} = 13,7$$

Por cada chapa obtém-se 13 tiras com comprimento $C_t = 1225 \text{ mm}$

A quantidade de peças por tira:

$$Q_{pt} = 2 \times \frac{C_t - 2}{P} \quad (54)$$

$$Q_{pt} = 2 \times \frac{1225 - 2}{94,3} = 25,94$$

Obtém-se 25 peças por cada tira

O número total de peças em cada chapa calcula-se pela fórmula 51:

$$N_p = 13 \times 25 = 325 \text{ peças / chapa}$$

Se cortar a chapa em tiras paralelamente ao comprimento, vamos ter o seguinte.

Calcula-se a quantidade de tiras que cabem numa chapas pela fórmula 52:

$$Q_t = \frac{1225}{178,9} = 6,85$$

Por cada chapa obtém-se 4 tiras com comprimento $C_t = 2450 \text{ mm}$

A quantidade de peças por tira:

$$Q_{pt} = 2 \times \frac{2450 - 2}{94,3} = 51,92$$

Obtém-se 51 peças por cada tira

O número total de peças em cada chapa calcula-se pela fórmula 51:

$$N_p = 6 \times 51 = 306 \text{ peças / chapa}$$

A 1ª disposição com discos em duas filas na chapa é a melhor que a 2ª disposição porque dá maior número de peças, por isso para obtenção de peças vai-se escolher o método da disposição de discos em duas filas na chapa. cortando as tiras paralelamente a largura da chapa porque é a que garante maior número de peças.

2.3.4. ESCOLHA DAS BASES TECNOLÓGICAS

Para instalação da peça na máquina para o corte de chapas em tiras é suficiente eliminar 4 graus de liberdade, assim para orientar a peça na máquina vai-se usar um apoio numa das faces da chapa de modo a eliminar o movimento de translação no eixo Z e rotação ao longo do eixo X. Por outro lado a chapa deverá encostar num dos lados a uma guia de modo a eliminar a rotação no eixo Z e o deslocamento no eixo Y, o deslocamento ao longo do eixo X e Z não afecta a dimensão pretendida. Para assentar a chapa usa-se a mesa da guilhotina e como encosto de guia usam-se os baramentos laterais da guilhotina.

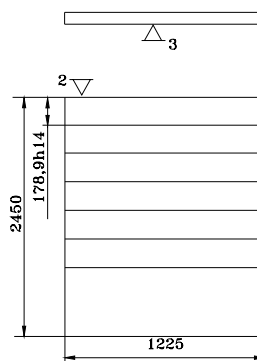


Fig. 36 Esquema de instalação da chapa para o corte de tiras

Para a largura $L = 178,9 \text{ mm}$ o defeito de posicionamento é nulo, pois há coincidência da base de medição com as bases tecnológicas, $\epsilon_{p178,88} = 0$. Uma vez que a força de aperto é perpendicular a cota observada, o defeito de aperto para esta cota é nulo, $\epsilon_{a178,88} = 0$. O defeito de dispositivo $\epsilon_{d178,88} = (1/6 - 1/3) \times IT14 = (1/6 - 1/3) \times 1000 = (166,67 - 333,33) \mu\text{m}$. Escolhe-se $\epsilon_{d178,88} = 300 \mu\text{m}$.

$$\epsilon_{i178,88} = \sqrt{0+0+300^2} = 300 \mu\text{m}$$

A instalação da tira na máquina para o corte dos discos deverá eliminar-se 5 graus de liberdade. O deslocamento ao longo do eixo z, não afecta a precisão da peça. Como base

tecnológicas pode ser usada uma das faces da tira apoiada em 3 pontos, e um lado perpendicular que se encosta nos elementos da estampa e uma ranhura. Assim com estas bases eliminam-se 6 graus de liberdade, deve-se prever limitadores durante o avanço da chapa de modo a garantir a precisão de disposição dos furos.

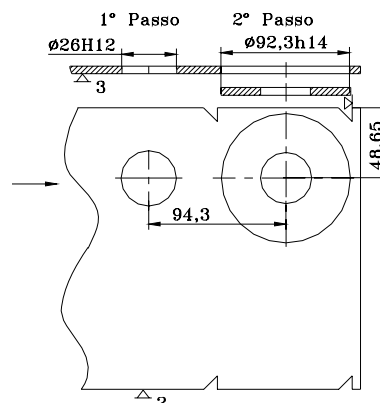


Fig. 37 Esquema de instalação da tira para o corte dos discos com furos

Para os diâmetros $\varnothing 92,3$ e $\varnothing 26$ o defeito de instalação é nulo, $\varepsilon_{i\varnothing 26}$ e $\varepsilon_{i\varnothing 26} = 0$ pois os diâmetros são garantidos pelo punção e a matriz. Para a disposição dos discos $L = 94,3$ mm o defeito de posicionamento é nulo, pois garante-se pela distância entre ranhuras, $\varepsilon_{p94,3} = 0$. Uma vez que o sentido da força de aperto é perpendicular a cota observada o defeito de aperto para esta cota é nulo, $\varepsilon_{a94,3} = 0$. Quanto ao defeito de dispositivo: $\varepsilon_{d94,3} = (1/6 - 1/3) \times IT14 = (1/6 - 1/3) \times 870 = (145 - 290) \mu\text{m}$. Escolhe-se $\varepsilon_{d94,3} = 200 \mu\text{m}$.

$$\varepsilon_{i94,3} = \sqrt{0 + 0 + 200^2} = 200 \mu\text{m}$$

Para a disposição $L = 48,65$ mm, o defeito de posicionamento é nulo porque há coincidência da base de medição com as bases tecnológicas, $\varepsilon_{p48,65} = 0$. O defeito de aperto é nulo, pois a cota é perpendicular a direcção da força de aperto. $\varepsilon_{a48,65} = 0$. O defeito do dispositivo, $\varepsilon_{d48,65} = (1/6 - 1/3) \times IT14 = (1/6 - 1/3) \times 620 = (103,33 - 206,67) \mu\text{m}$. Escolhe-se $\varepsilon_{d48,65} = 150 \mu\text{m}$.

$$\varepsilon_{i48,65} = \sqrt{0 + 0 + 150^2} = 150 \mu\text{m}$$

A instalação do disco na máquina para conformação do prato deverá eliminar-se 5 graus de liberdade. A rotação ao longo do eixo z, não afecta a precisão do prato. Como bases tecnológicas podem ser usadas uma das faces do disco apoiada em 3 pontos, e guiar o

disco através do furo de modo a não permitir deslocamentos axiais na estampa, e assim com estas bases elimina-se 5 graus de liberdade.

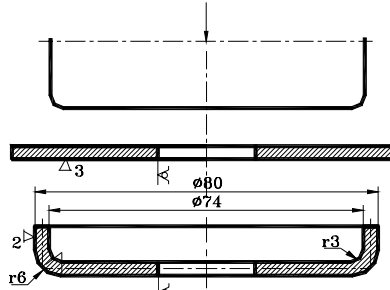


Fig. 38 Esquema de instalação do disco para conformação do prato

Para a conformação dos diâmetros Ø74 mm e Ø80 mm o defeito de instalação é nulo, $\epsilon_{i\text{Ø}74}$ e $\epsilon_{i\text{Ø}80} = 0$ pois os diâmetros são garantidos pelo punção e matriz.

Para a dimensão $L = 13$ mm, o defeito de posicionamento depende da folga entre o furo e o pino da instalação. $\epsilon_{p13} = \delta / 2 + (D_{\text{max}}^{\text{adm}} - d_{\text{min}}^{\text{adm}})$;

$D_{\text{max}}^{\text{adm}} = D_{\text{nim}} + IT$; $d_{\text{max}} = D_{\text{min}} - 2 \times f$; $d_{\text{min}} = d_{\text{max}} - IT$; $D_{\text{max}} = 26 - 0,21 + 0,21/3 = 25,86$ mm; $d_{\text{min}} = 25,79 - 2 \times 0,08 - 0,21/3 = 25,56$; $\epsilon_{p13} = 0,43/2 + (25,86 - 25,56) = 515 \mu\text{m}$. O sentido da força de aperto é paralelo a cota observada, e mesmo assim o defeito de aperto para esta cota é nulo, porque a centragem é feita pelo furo $\epsilon_{a13} = 0$. O defeito de dispositivo, $\epsilon_{d13} = (1/6 - 1/3) \times IT14 = (1/6 - 1/3) \times 430 = (71,67 - 143,33) \mu\text{m}$. Escolhe-se $\epsilon_{d100} = 100 \mu\text{m}$.

$$\epsilon_{i13} = \sqrt{515^2 + 0 + 100^2} = 525 \mu\text{m}$$

Para as dimensões $r = 3$ mm e $r = 6$ mm, o defeito de instalação é nulo,

ϵ_{ir3} e $\epsilon_{ir6} = 0$ porque as superfícies de boleamento são geradas pela configuração da matriz e punção.

2.3.5. ESCOLHA DA SEQUENCIA DE TRATAMENTO

Todas superfícies são de precisão normal. As superfícies de boleamento serão obtidos por tratamento manual, e as outras superfícies recebe-se por estampagem a frio.

2.3.6. ELABORAÇÃO DA ROTA DE TRATAMENTO

O processo de tratamento começa com o corte de chapas em tiras e a seguir pode-se fazer a perfuração do furo e o puncionamento do disco e depois a embutidura do casquilho, no fim pode-se realizar o tratamento térmico num forno que permite a regulação

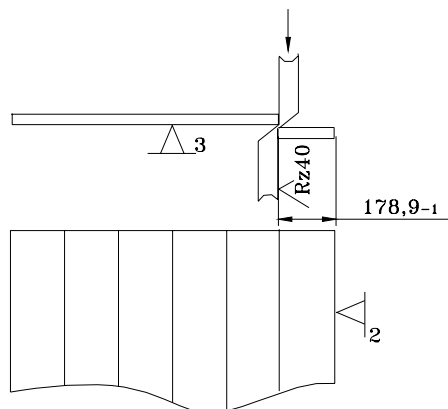
da concentração dos gases protectores. A rota de tratamento está apresentada na tabela 38 e nos cartões de rota em anexo.

Tabela 38 Rota tecnológica

nº	Conteúdo da fase	Máquina	Bases tecnológicas
10	Corte da chapa em tiras	Guilhotina hidráulica 1	Face 2 e lado lateral
20	Corte tiras em disco com furo.	Prensa semi-automática 1	Face 2, lado lateral e ranhura
30	Conformação de prato	Prensa semi-automáticas	Face 2 e furo 1
40	Boleamento		
50	Têmpera	Forno eléctrico	
60	Revenimento alto	Forno eléctrico	

2.3.7. ELABORAÇÃO DE FASES

Fase 10 pode ser realizada numa guilhotina hidráulica com capacidade de 50 t, de marca Schou. A chapa pode ser afixada em prendedores da guilhotina.



1. Cortar chapas em tiras ao longo da largura, $L = 178,9_{-1}$; Rz40.
Lâminas de aço rápido P6M5;
paquímetro 0,05, $L = 250$ mm

Fig. 39 Corte da chapa em tiras

Propriedade do material: $\sigma_r = 480$ MPa; $\sigma_e = 220$ MPa; $\delta = 30$ %

O cálculo da força de corte realiza-se pela fórmula [4]:

$$F = 0,5 \times \frac{t^2}{\text{tg} \gamma} \times \tau_c \times K_{df} \quad (55)$$

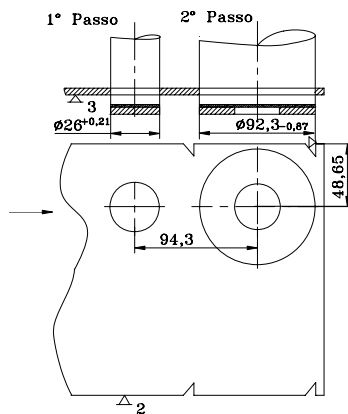
Onde: F_c – força de corte; t – espessura da chapa; τ_c – tensão de cisalhamento de material em Kg / mm^2 ($\tau_c = 0,8 \sigma_r$); γ – angulo de inclinação da aresta cortante da ferramenta, $\gamma = (1 - 2)^\circ$; K_{df} - coeficiente que tem em conta o desgaste da ferramenta, $K_{df} = (1,6 - 1,9)$ para materiais macios, escolhe-se $K_{df} = 1,7$

$$\tau_c = 0,8 \times 480 = 38,4 \text{ kgf / mm}^2$$

$$F = 0,5 \times \frac{3^2}{\text{tg}1,5} \times 38,4 \times 1,7 = 11218,24 \text{ kg} = 11,22 \text{ t}$$

Do cálculo conclui-se que a guilhotina tem grande reserva da capacidade de trabalho.

Fase 20 pode ser realizada numa prensa semiautomática com capacidade de 100 t, de marca Schou e as tiras podem ser afixadas nas estampas.



1. Perfurar o furo $\text{Ø}26^{+0,21}$; Rz40.

2. Puncionar o disco $\text{Ø}92,3_{-0,87}$;

Rz40. Estampa, calibres $\text{Ø}26\text{H}12$;

$\text{Ø}92,3\text{h}14$

Fig. 40 Esquema de instalação da tira para o corte de discos

O cálculo da força de corte realiza-se pela fórmula:

$$Q = p \times t \times \tau_c \times K_{df}$$

$$p = \pi \times d$$

(56)

$$Q'' = (1,1 : 1,2) \times Q$$

Onde: p – perímetro de corte; Q' – esforço máximo total que tem em conta o esforço causado pelo contacto de deslizamento entre punção, peça e matriz,

$$Q_1 = 3,14 \times 92,3 \times 3 \times 38,4 \times 1,7 = 56167,5 = 56,17 \text{ t}$$

$$Q_2 = 3,14 \times 26 \times 3 \times 38,4 \times 1,7 = 15988,38 = 15,99 \text{ t}$$

$$Q_1'' = 1,2 \times Q = 1,2 \times 56,17 = 67,4 \text{ t}$$

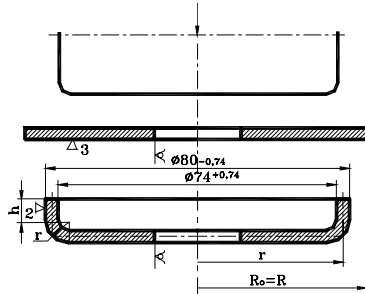
$$Q_2'' = 1,2 \times Q = 1,2 \times 15,99 = 19,2 \text{ t}$$

Para o caso de corte simultâneo.

$$Q_t''' = 67,4 + 19,2 = 86,6 \text{ t}$$

Do cálculo conclui-se que a prensa tem grande reserva da capacidade de trabalho.

Fase 30, pode ser realizado numa prensa semiautomática com capacidade de 100 t, de marca Schou e os discos podem ser afixadas nas estampas.



1. Embutir prato, $\text{Ø}74^{+0,74}$; $\text{Ø}80_{-0,74}$

$L = 13_{-0,43}$ e $r = 3^{\pm 0,1}$; $r = 6^{\pm 0,1}$; Rz40.

Estampa, calibres $\text{Ø}74\text{H}14$, $\text{Ø}80\text{h}14$, escantilhão.

Fig. 41 Embutidura do prato do prato

Para o cálculo da força de corte determinam-se os raios.

$$R_o = R = D / 2 = 92,3 / 2 = 46,15 \text{ mm}$$

$$r = d_1 / 2 = 76,5 / 2 = 38,25 \text{ mm}$$

As deformações relativas calculam-se pela fórmula:

$$\varphi_R = \ln \frac{R_o}{R} \quad (57)$$

$$\varphi_r = \ln \frac{R}{r}$$

$$\varphi_R = \ln \frac{46,15}{46,15} = \ln 1 = 0$$

$$\varphi_r = \ln \frac{46,15}{38,25} = \ln 46,15 - \ln 38,25 = 3,832 - 3,644 = 0,188$$

As resistências das deformações segundo [4]:

para $\varphi_R = 0\%$ tem-se $R_{d1} = 18 \text{ kg/mm}^2$; para $\varphi_r = 18,8\%$ tem-se $R_{d2} = 38 \text{ kg/mm}^2$

A resistência média calcula-se pela fórmula:

$$R_{dm} = \frac{R_{d1} + R_{d2}}{2} \quad (58)$$

$$R_{dm} = \frac{18 + 38}{2} = 28 \text{ kg/mm}^2$$

A força máxima da embutidura calcula-se pela fórmula:

$$P_{dmax} = 2 \times \pi \times r \times t \times R_{dm} \times \ln \frac{R_o}{r} \quad (59)$$

$$P_{dmax} = 2 \times 3,14 \times 38,25 \times 3 \times 28 \times \ln \frac{46,15}{38,25} = 3788,42 \text{ kg} = 3,79 \text{ t}$$

A tensão máxima calcula-se pela fórmula:

$$\sigma_{rmax} = R_{dm} \times \ln \frac{R_o}{r} \quad (60)$$
$$\sigma_{rmax} = 28 \times \ln \frac{46,15}{38,25} = 5,3 \text{ kg/ m m}^2$$

Do cálculo conclui-se que a prensa escolhida tem maior reserva da capacidade de trabalho.

Fase 40. Boleamento pode ser feito no torno com ferro de bolearmento.

Fase 50. A têmpera pode ser realizada no forno eléctrico com regulação da concentração de gases.

A. Meter o jogo das peças no forno quente a 900° e fazer exposição de 0,5 h

B. Tirar as peças do forno e mergulhar na água até arrefecer.

Fase 60. O revenimento alto pode ser realizada no forno eléctrico com regulação da concentração de gases.

A. Meter o jogo das peças no forno quente, a 600° e deixar lá durante 2 h.

B. Tirar as peças no forno e coloca-las no chão.

2.4 ELABORAÇÃO DO PROCESSO TECNOLÓGICA DO CASQUILHO 8

2.4.1. ANALISE TECNOLÓGICA DO CASQUILHO 8

O casquilho 8, tem a forma de bucha anelar e é constituído por 8 superfícies com dimensões normalizadas, todas superfícies podem ser produzidas por estampagem, o que requer a projecção de estampas especiais.

O casquilho não é rígido pois possui uma parede de 3 mm, ela deve ser bem apoiada e apertada nas estampas.

O punção descreve uma trajectória rectilínea e tem acesso fácil para tratamento do furo, assim como para a conformação da superfície cilíndrica externa. Como medidores usar-se-á calibres do tipo passa não passa.

A seguir apresentam-se os cálculos dos coeficientes de tecnologibilidade.

O coeficiente de normalização

Segundo a tabela 4 pag. 26, todas as superfícies são normalizadas. $K_N = 1$, por isso é possível o uso de ferramentas e instrumentos de medição normalizados, o que diminui o custo das peças a produzir.

Coeficiente de unificação

A peça tem 2 superfícies de boleamento.

O coeficiente de unificação calcula-se pela fórmula 12:

$$K_u = \frac{2}{8} = 0,25$$

Significa que tem poucas superfícies unificadas e mesmo assim, diminui-se o custo de produção porque a peça é produzida por estampagem.

O coeficiente de precisão

A superfície 1 tem 10° grau de tolerância, a superfície 5 tem 12°, e as outras possui 14°. O coeficiente de precisão calcula-se pela fórmula 13:

$$Q_{pm} = \frac{(10 \times 1) + (12 \times 1) + (14 \times 6)}{8} = 13,25; \quad K_p = \frac{1}{13,25} = 0,93$$

A peça é de precisão normal, o que facilita o seu fabrico e redução dos custos.

O coeficiente de rugosidade, K_r

O furo 1 tem uma rugosidade Rz5, as outras superfícies tem Rz40.

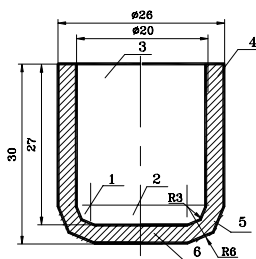
O coeficiente de rugosidade calcula-se pela fórmula 14:

$$R_{zm} = \frac{(5 \times 1) + (40 \times 7)}{8} = 35,63; \quad K_r = \frac{1}{35,63} = 0,028$$

A rugosidade das superfícies é média, o que diminui o custo de fabricação.

Coeficiente do uso do material

Na fig. 42 apresenta-se o esquema da peça acabada



Os Volumes ; V₂; V₃; V₄; V₆ são tomados como volume dos cilindros.
Os Volume V₁ e V₅, são tomados como volumes de 1/4 de toro.

Fig. 42 Volumes elementares do casquilho 8

Tabela 39 Cálculo do volume da peça acabada

Volumes elementares	Quantidad.	cálculo	Volume [mm ³]
1 e 5	2	1/4 x (2,4674 x 12 x 3 ³) x 2	133,24
2	1	- 3,14 x (20/2 -3) ² x 3	- 461,58
3	1	- 3,14 x (20 / 2) ² x (27-3)	- 7536

4	1	$3,14 \times (26 / 2)^2 \times (30 - 6)$	12735,84
6	1	$3,14 \times (26 / 2 - 6)^2 \times 3,2$	492,352
Σ			5363,852

O coeficiente do uso da máquina segundo a fórmula 44, e dados apresentados na pag. 80, será:

$$K_{um} = \frac{5363,852 \times 1012}{1225 \times 2450 \times 3,2} = 0,6$$

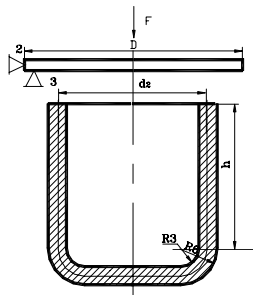
Significa que cerca de 40% do material da peça bruta perder-se-á em forma de retalho durante corte dos discos.

2.4.2. CÁLCULO DO DIÂMETRO DOS DISCOS

O cálculo do diâmetro do disco pode ser feito através da linha neutra y.

Segundo [4] para $r / y = 0,938$; a posição da fibra neutra, (valor interpolado):

$$y = 0,417 \times 3,2 = 1,334 \text{ mm}$$



Da fórmula 45 e segundo a fig.43:

$$d_1 = 20 + 2 \times 1,334 = 22,67 \text{ m}$$

para prato raso:

$$d'_1 = 26 + 2 \times 1,334 = 28,67$$

Fig. 42 Esquema de indicação da posição da fibra neutra y

Da fórmula 45 e tendo em conta a fig. 42 tem-se:

$$D = \sqrt{22,67^2 + 2,28 \times 3 \times 22,67 - 0,56 \times 22,67 - 0,56 \times 3^2 + 4 \times 22,67 \times 24} = 53,2 \text{ mm}$$

2.4.3. PLANEAMENTO DA CHAPA

No planeamento da chapa é necessário saber a quantidade de discos que cabem numa chapa de aço de 2450 x 1225 mm. E foi demonstrado na pag. 70 que a disposição das peças em duas filas na tira garante maior número de peças com menor número de tiras por isso vai-se analisar este tipo de disposição das peças, ver a fig. 35.

Passo entre os discos calcula-se pela fórmula 47.

$$P = 53,2 + 2 = 55,2 \text{ mm}$$

A largura das tiras calcula-se pela fórmula 53:

$$L_t = (53,2 + 2) \times \cos 30^\circ + 53,2 + 2 = 103 \text{ mm}$$

Se cortar a chapa em tiras paralelamente a largura

A quantidade de tiras que cabem numa chapas calcula-se pela fórmula 49:

$$Q_t = \frac{2450}{103} = 23,79$$

Por cada chapa obtém-se 23 tiras com comprimento $C_t = 1225 \text{ mm}$

A quantidade de peças que cabem numa tira calcula-se pela fórmula 54:

$$Q_{pt} = 2 \times \frac{1225-2}{55,2} = 44,31$$

Por cada tira obtém-se 44 peças.

O número total de peças em cada chapa calcula-se pela fórmula 39:

$$N_p = 23 \times 44 = 1012 \text{ peças / chapa}$$

Se cortar a chapa em tiras paralelamente ao comprimento.

A quantidade de tiras que cabem numa chapa calcula-se pela fórmula 52:

$$Q_t = \frac{1225}{103} = 11,89$$

Por cada chapa obtém-se 11 tiras com comprimento $C_t = 2450 \text{ mm}$.

A quantidade de peças que cabem numa tira calcula-se pela fórmula 54:

$$Q_{pt} = 2 \times \frac{2450-2}{55,2} = 88,7$$

Por cada tira obtém-se 88 peças.

O número total de peças em cada chapa calcula-se pela fórmula 39:

$$N_p = 11 \times 88 = 968 \text{ peças / chapa}$$

A 2ª disposição das peças na chapa é menor que a 1ª disposição, por isso opta-se pela 1ª disposição porque dá o mesmo número de peças que a 2ª disposição, e isto faz diminuir o tempo de execução do trabalho, energia e o custo das peças produzidas. por isso para obtenção de peças vai-se cortar as tiras paralelamente a largura da chapa.

2.4.4. ESCOLHA DAS BASES TECNOLÓGICAS

Para o corte das chapas em tiras e corte dos discos pode ser usada as bases tecnológicas descritas na pag. 71

A instalação do disco na máquina para conformação do prato deverá eliminar 5 graus de liberdade. A rotação ao longo do eixo z, não afecta a precisão do prato. Como bases tecnológicas pode ser usada uma das faces do disco apoiada em 3 pontos e cilindro externo, e assim com estas bases elimina-se 5 graus de liberdade.

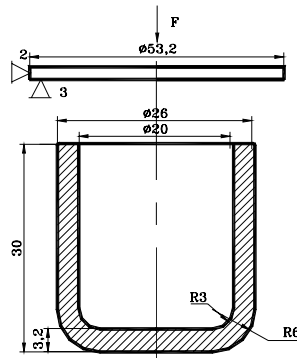


Fig. 43 Esquema de instalação do disco para conformação do casquilho

Para a conformação profunda dos diâmetros $\varnothing 20$ e $\varnothing 26$ mm o defeito de instalação é nulo, $\varepsilon_{i\varnothing 20}$ e $\varepsilon_{i\varnothing 26} = 0$ pois os diâmetros são garantidos pelo punção e a matriz.

Para as dimensões $L = 3,2$ e $L = 30$ mm, o defeito de posicionamento depende da folga entre o disco e o elemento da instalação. $D_{\max} = 53,2 - 0,74 + 0,74/3 = 52,71$ mm; $d_{\min} = 52,46 - 2 \times 0,08 - 0,74/3 = 52,05$; $\varepsilon_{p13} = 0,52/2 + (52,71 - 52,05) = 920$ μm . O sentido da força de aperto é paralela a cota observada, e mesmo assim o defeito de aperto para esta cota é nulo, porque a embutidura é feita sem folga. $\varepsilon_{a3,2;30} = 0$. O defeito de dispositivo $\varepsilon_{d3,2;30} = (1/6 - 1/3) \times IT14 = (1/6 - 1/3) \times 300 = (50 - 100)$ μm . Escolhe-se $\varepsilon_{d3,2;30} = 75$ μm .

$$e_{i3,2;30} = \sqrt{920^2 + 0 + 75^2} = 923 \mu\text{m}$$

Para as dimensões $r = 3$ mm e $r = 6$ mm, o defeito de instalação é nulo, ε_{ir3} e $\varepsilon_{ir6} = 0$ porque as superfícies de boliamento são geradas automaticamente pela configuração da matriz e punção.

2.4.5. ESCOLHA DA SEQUENCIA DE TRATAMENTO

O furo 1, é de precisão elevada e as outras superfícies são de precisão normal, todas elas são obtidos por meio de estampagem a frio. As superfícies de boleamento são de precisão normal e poderão ser no torno com ferro de bolear.

O 10º grau de tolerância da dimensão diametral só pode ser obtido por embutidura com estreitamento das paredes do casquilho.

2.4.6. ELABORAÇÃO DA ROTA DE TRATAMENTO

O processo de tratamento é parecido ao tratamento do prato.

A rota de tratamento está apresentada na tabela 43 e nos cartões de rota em anexo

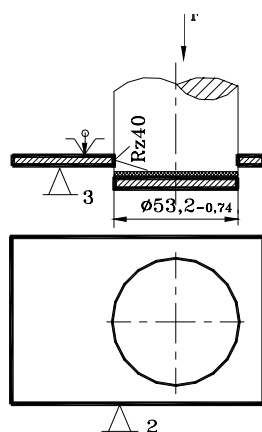
Tabela 43 Rota tecnológica

nº	Conteúdo da fase	Maquina	Base tecnológica
10	Corte da chapa em tiras	Tesoura hidráulica 1	Face 2 e lado lateral
20	Corte dos discos.	Prensa semi-automática 1	Face 2, lado lateral e ranhura
30	Conformação do casquilho.	Prensa semi-automática 2	Face 2
40	Recozimento	Forno eléctrico	
50	Conformação profunda do casquilho	Prensa semi-automática 3	Face 2
60	Boleamento		
70	tempera	Forno eléctrico	
80	Revenimento alto	Forno eléctrico	

2.5.7. ELABORAÇÃO DE FASES

Fase 10. Realiza-se da mesma maneira como na pag. 75 para fase 10.

Fase 20. Pode ser realizado numa prensa semiautomática com capacidade de 100 t, de marca Schou e as tiras podem ser afixadas nas estampas.



1. Cortar dos discos, até $\varnothing 53,2_{-0,74}$; Rz40. Estampa; calibre macho $\varnothing 53,2h14$

Fig. 45 Esquema de instalação da tira para o corte do disco

Cálculo da força de corte

Propriedade do material: $\sigma_r = 480 \text{ MPa}$; $\sigma_e = 220 \text{ MPa}$; $\delta = 30 \%$

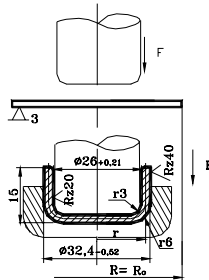
O esforço de corte Q pode ser calculado das fórmulas 55:

$$Q_1 = 3,14 \times 53,2 \times 3,2 \times 38,4 \times 1,7 = 34895,66 = 34,9 \text{ t}$$

$$Q_1' = 1,2 \times 34,9 = 41,88 \text{ t}$$

Do cálculo conclui-se que a prensa tem maior reserva da capacidade de trabalho.

Fase 30. Pode ser realizada numa prensa semiautomática com capacidade de 100 t, de marca Schou e as tiras podem ser afixadas nas estampas.



1. Embutir casquilho até $\text{Ø}26_{+0,21}$; Rz20; $\text{Ø}32,4_{-0,52}$; $L = 15_{-0,43}$; $r = 3^{\pm 0,1}$; $r = 6^{\pm 0,1}$; Rz40. Estampa, calibres $\text{Ø}26\text{H}12$, $\text{Ø}32\text{h}14$, escantilhão, paquímetro 0,05 $L = 180 \text{ mm}$

Fig. 46 Embutidura do casquilho

Para o cálculo da força de corte determina-se os raios.

$$R_o = R = D / 2 = 53,2 / 2 = 26,6 \text{ mm}$$

$$r = d'_1 / 2 = 28,67 / 2 = 14,34 \text{ mm}$$

As deformações relativas calculam-se pela fórmula 57:

$$\varphi_R = \ln \frac{26,6}{26,6} = \ln 1 = 0$$

$$\varphi_r = \ln \frac{26,6}{14,34} = \ln 26,6 - \ln 14,34 = 3,2809 - 2,6631 = 0,6178$$

As resistências das deformações segundo [4]: para $\varphi_R = 0\%$, $R_{d1} = 18 \text{ kg/mm}^2$; para $\varphi_r = 61,78\%$, $R_{d2} = 54 \text{ kg/mm}^2$

A resistência média calcula-se pela fórmula 58:

$$R_{dm} = \frac{18 + 54}{2} = 36 \text{ kg/mm}^2$$

A força máxima da embutidura calcula-se pela fórmula 59:

$$P_{dmax} = 2 \times 3,14 \times 14,34 \times 3,2 \times 36 \times \ln \frac{26,6}{14,34} = 6409,3 \text{ kg} = 6,41 \text{ t}$$

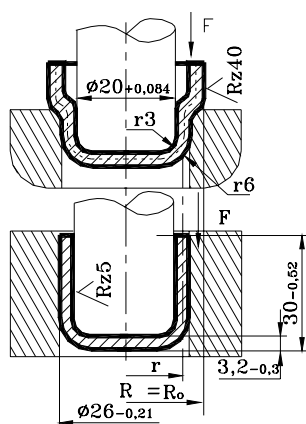
A tensão máxima calcula-se pela fórmula 60:

$$\sigma = 36 \times \ln \frac{26,6}{14,34} = 22,3 \text{ kg/mm}^2$$

Fase 40. O recozimento pode ser realizada no forno eléctrico com regulação da concentração dos gases.

1. Meter as peças ao forno frio e aquecer até 950° e deixar lá 0,5 h.
2. Desligar o forno e submeter as peças a um arrefecimento com velocidade de 100° C / hora dentro do forno.
3. Tirar as peças do forno e deixar no chão.

Fase 50. Pode ser realizado numa prensa semiautomática com capacidade de 100 t, de marca Schou e as tiras podem ser afixadas nas estampas.



1. Embutir o casquilho até $\varnothing 20_{+0,084}$; $Rz5$; $\varnothing 26_{-0,21}$; $L = 3,2_{-0,3}$; $L = 30_{-0,43}$; $r = 3^{\pm 0,1}$; $r = 6^{\pm 0,1}$; $Rz40$. Estampa; calibres $\varnothing 20H10$, $\varnothing 26h14$; escanti - lhão, paquímetro 0,05 $L = 180$ mm

Fig. 46 2ª fase de embutidura do casquilho

Cálculo das deformações φ_R pela fórmula 56:

$$\varphi_R = \ln \frac{26,6}{26,6} = 0$$

Cálculo da deformações φ_r pela fórmula 57:

$$\varphi_r = \ln \frac{26,6}{11,34} = 0,853$$

Cálculo das resistências as deformações [4] fig. 74

Para $\varphi_R = 0\%$ tem-se $R_{d1} = 18 \text{ Kg} / \text{mm}^2$

Para $\varphi_r = 85,3\%$ tem-se $R_{d2} = 59 \text{ Kg} / \text{mm}^2$

Cálculo da resistência média pela fórmula 58:

$$R_{dm} = \frac{18 + 59}{2} = 38,5 \text{ Kg} / \text{mm}^2$$

Cálculo da força máxima das deformações P_d pela fórmula 59:

$$P_d = 2 \times 3,14 \times 11,34 \times 3,2 \times 38,5 \times \ln(26,6 / 11,34) = 7483,98 \text{ Kg} = 7,48 \text{ t}$$

Cálculo da tensão de controle pela fórmula 60:

$$\sigma = 38,5 \times \ln \frac{26,6}{11,34} = 32,84 \text{ Kg/ m m}^2$$

Do cálculo conclui-se que a prensa escolhida tem maior reserva da capacidade de trabalho.

Fase 60. Boliamento pode ser feito no torno com ferramenta de boleamento.

Fase 70. A têmpera pode ser realizada no forno eléctrico com regulação da concentração de gases.

- A. Meter o jogo das peças no forno quente a 900° e fazer exposição de 0,5 h
- B. Tirar as peças do forno e mergulhar na água até arrefecer.

Fase 80. O revenimento alto pode ser realizada no forno eléctrico com regulação da concentração de gases.

- A. Meter o jogo das peças no forno quente, a 600° e deixar lá durante 2 h.
- B. Tirar as peças no forno e coloca-las no chão.

3. DIMENSIONAMENTO DE ESTAMPA PARA CASQUILHO 8

Uma estampa é constituída de punção, matriz, buchas, guias, colunas, parafu-sos e todos elementos que de forma directa ou indirecta contribuem para a efectivação da estampagem. Os elementos punção e matriz são os mais vitais do conjunto estampo porque necessitam de considerável precisão, a qual dependerá a qualidade dimensional das peças a estampar. Por isso para a produção em serie grande é imperiosa a escolha dos elementos normalizados de modo a facilitar a construção de estampas e a mecanização da produção. Para o presente projecto será analisado em pormenor o dimensionamento do jogo punção e matriz, e escolha de diferentes elementos para a construção de estampas

3.1 DIMENSIONAMENTO DE PUNÇÃO E MATRIZ [5]

No dimensionamento do par matriz punção é necessário ter em conta a folga que deve ser observada entre estes elementos que dele depende: a redução da força de corte, o aumento da durabilidade do estampo e a produção de peças com relativa tolerância.

A folga depende do material da chapa e da espessura, pois a folga será maior quanto maior for a espessura da chapa, por um lado e por outro a folga será maior para materiais mais duros.

3.1.1 DIMENSIONAMENTO DE PUNÇÕES PARA ESTAMPAGEM DO CASQUILHO 8

Cálculo das dimensões da matriz e punção.

A folga toma-se do diagrama 4, pg. 78 [5], em função da espessura e resistência do material da chapa. Para $t = 3,2$ mm e $\tau = 38,4$ Kg / mm² a folga é de 0,08 mm.

Para o corte do disco:

$$D_m^{\min} = D_d^{\min} \quad (61)$$

$$D_m^{\max} = D_m^{\min} + IT_m$$

$$d_p^{\max} = D_m^{\min} - 2 \times f$$

$$d_p^{\min} = d_p^{\max} - IT_p$$

Onde : d_p^{\max} - diâmetro máximo do punção; d_d^{\min} - diâmetro mínimo do disco; f - folga; D_m^{\min} - diâmetro mínimo da matriz; D_m^{\max} - diâmetro máximo da matriz D_d^{\min} - diâmetro mínimo do disco; $IT_p = IT_m = IT_d / (3 : 5)$; $D_m^{\min} = D_d^{\min} = D^{\text{nom}} + \delta$.

$$D_m^{\min} = 53,2 - 0,74 = 52,46 \text{ mm.}$$

$$D_m^{\max} = 52,46 + (0,74/3) = 53,71 \text{ mm}$$

$$d_p^{\max} = 52,46 - (2 \times 0,08) = 52,3 \text{ mm}$$

$$d_p^{\min} = 52,3 - (0,74/3) = 52,05 \text{ mm}$$

Para embutidura do casquilho:

$$d_p^{\max} = d_f^{\max}$$

$$d_p^{\min} = d_p^{\max} - IT_p \quad (62)$$

$$D_m^{\min} = d_p^{\max} + (2 \times f_{1,2})$$

$$D_m^{\max} = D_m^{\min} + IT_p$$

Onde : $f_{1,2}$ - folga do 1º e 2º passo respectivamente, $f_1 = t_{\text{max}} + a$, e $f_2 = t_{\text{max}}$, sendo t - espessura da chapa; $a = 0,25$ mm para $t = 3,2$ a 10 mm; $IT_p = IT_f / (3 : 5)$, sendo IT_f - grau de tolerância do furo; $d_p^{\max} = d_f^{\max} = d_f^{\text{nom}} + \delta$.

$$d_p^{\max} = 20 + 0,084 = 20,084 \text{ mm}$$

$$d_p^{\min} = 20,084 - (0,084 / 3) = 20,056 \text{ mm}$$

$$D_m^{\min} = 20,056 + (2 \times 3,402) = 26,86 \text{ mm}$$

$$D_m^{\max} = 26,86 + (0,084 / 3) = 26,89 \text{ mm}$$

Escolha dos escalões do punção, [5].

Para a embutidura do casquilho Ø20h10 tem – se:

$$D = 38\text{mm}; D_1 = 44\text{mm}; z = 8 \text{ mm}; H = 55 \text{ mm}, h = 12 \text{ mm}.$$

Para o corte do disco Ø53,2h14, os escalões do punção não estão normalizados por isso serão definidos pela construção da estampa.

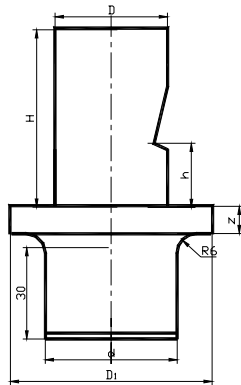


fig.47 Punção para o corte dos discos

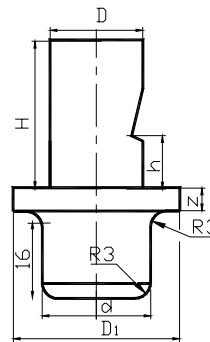


fig.48 Punção para embutidura do casquilho

Para o fabrico de punções e matrizes pode-se escolher o aço para ferramenta UX200Cr13, com a seguinte composição química, [4]: 2,10%C;1,00%Cr; 0.35% Si; 0,30%Mn; 0,25% V. Submetido ao tratamento térmico (têmpera 1000° C, arrefecido ao óleo; revenimento baixo 200°) este aço atinge uma dureza de 64 a 62 HRC.

Verificação de punções quanto à flambagem

A carga que provoca a flambagem é determinada pela fórmula de Euler [5]:

$$\sigma_f = \frac{\pi^2 \times E}{\lambda^2} \quad (63)$$

onde $\lambda = \frac{L}{i}$; $i = \sqrt{\frac{J}{S}}$; e $\sigma_f = \frac{F_c}{S}$

$$L = \sqrt{\frac{\pi^2 \times E \times J}{F_c}} \quad (64)$$

Para casos em que o punção tem guias

$$L = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E \times J}{F_c}} \quad (65)$$

Onde: σ_f - tensão de flambagem; E - módulo de elasticidade; λ - coeficiente de esbelteza; L - comprimento do corpo a flambar; j - momento de inércia; i - raio de giro; S - área da secção considerada; F_c - força de corte, $E = 2,5 \times 10^5$ MPa.

Força exercida no corte dos discos: $F_c = Q = 41,88$ t (calculada na pag.84)

Verificação do comprimento do punção para o corte de discos $\varnothing 53,2$ h14 considerando o punção guiado.

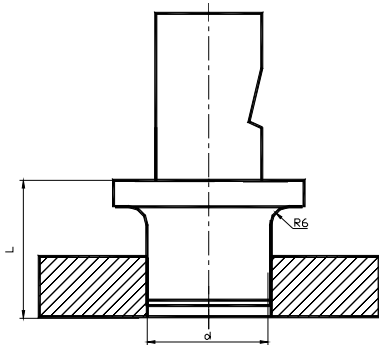


fig. 50 Esquema do punção guiado

$$L = \sqrt{\frac{2 \times 3,14^2 \times 2,5 \times 10^5 \times 367076,37}{41,88 \times 10^4}} = 2078,69 \text{ mm}$$

$$j = \frac{\pi \times d^4}{64}$$

$$j = \frac{3,14 \times 52,3^4}{64} = 367076,37 \text{ mm}^4$$

$L = 2078,69$ mm, significa que o comprimento do punção sensível a flambagem é muito maior, por isso o punção vai suportar o corte dos discos.

Verificação do comprimento do punção para a embutidura do casquilho 8 $\varnothing 20$ H10, considerando o punção guiado. $F_c = P_{\max} = 7,48$ t

$$L = \sqrt{\frac{2 \times 3,14^2 \times 2,5 \times 10^5 \times 7982,71}{7,48 \times 10^4}} = 725,34 \text{ mm}$$

$$j = \frac{3,14 \times 20,084^4}{64} = 7982,71 \text{ mm}^4$$

$L = 725,34$ mm \gg $L = 16$ mm, significa que o punção vai suportar a embutidura dos casquilhos.

Verificação da necessidade do uso de placa de choque

A placa de choque serve para evitar o choque directo entre o punção e o cabeçote. Ela é tão necessária quando a força de corte do punção, dividida pela área do apoio da cabeça do punção for superior da tensão de compressão admissível $[\sigma] = 150$ MPa. Para o corte dos discos: $F_c = Q = 41,88$ t

Área do apoio da cabeça do punção: $S = 3,14 \times 52,3^2 / 4 = 2147,203$ mm²

A tensão de compressão: $\sigma_c = 41,88 \times 10^4 / 2147,203 = 195,04$ N / mm²

Verificação da condição: $1,1 \times \sigma_c < [\sigma]$; $1,1 \times 195,04 > 150$ Mpa. Logo há

necessidade de uso da placa de choque.

Para embutidura dos casquilhos: $F_c = P_{\max} = 7,48 \text{ t}$

Área do apoio da cabeça do punção: $S = 3,14 \times 20,084^2 / 4 = 316,64 \text{ mm}^2$

A tensão de compressão: $\sigma_c = 7,48 \times 10^4 / 316,64 = 236,23 \text{ N} / \text{mm}^2$

$\sigma_c \gg [\sigma_c]$ logo há necessidade de uso da placa de choque.

Placa de guia

A placa de guia será confeccionada de aço ABNT 1020, e não será submetido ao tratamento térmico. A sua espessura é determinada em função do comprimento do punção: $h = L / 4$

3.1.2 DIMENSIONAMENTO DAS MATRIZES

A matriz é um dos elementos da estampa que mais sofre o esforço de compressão ao cortar a peça. A matriz tem que ter o ângulo de escape, a espessura, o perfil a ser cortado e a folga entre o punção e a matriz.

Considera-se a matriz totalmente apoiada. A espessura da chapa a cortar de 3,2 mm, o perímetro do furo da matriz $\varnothing 52,46 \text{ mm}$: $P = \pi \times d = 3,14 \times 52,46 = 164,74 \text{ mm}$.

Com base no diagrama 3, pag. 63, [5], a espessura da matriz será: $t = 35 \text{ mm}$. É recomendado um aumento desta espessura em 3 mm para garantir a durabilidade da matriz e mais 2 mm para cada face da matriz como sobresspessuras de usinagem portando a espessura total da matriz bruta será: $t = 35 + 3 + 4 = 42 \text{ mm}$. Depois de usinagem a espessura da matriz acabada será: $t = 42 - 4 = 38 \text{ mm}$. Segundo a recomendação [5] o ângulo de escape na matriz α para o corte da chapa de 3 mm é de: 3° .

Para o perímetro da embutidura do casquilho 8: $P = 3,14 \times 26,86 = 84,34 \text{ mm}$, a espessura da matriz será: $t = 28 \text{ mm}$. Por mesmas razões a espessura da peça acabada será: $t = 28 + 3 + 4 = 35 \text{ mm}$, que será acrescido por uma sobresspessura de 14 mm por tratar-se de conformação profunda. Depois de usinagem a espessura da matriz acabada será: $t = 49 - 4 = 45 \text{ mm}$.

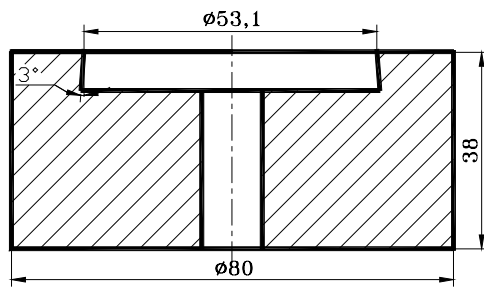


fig.51 Matriz para o corte dos discos

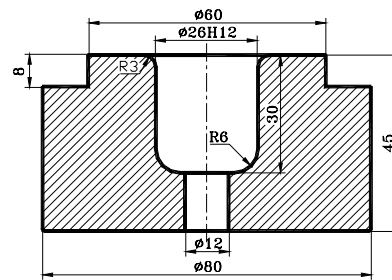


fig.52 Matriz para embutidura dos casquilho

3.1.3 DIMENSIONAMENTO DA EPIGA

No cálculo da espiga é necessário observar que quando o punção move-se para baixo nenhuma força actua na espiga. E quando o punção sobe a espiga é sujeita aos esforços referentes ao peso da parte móvel da estampa, acrescido de esforços de extracção para sacar o punção. A espiga deve ser suficientemente robusta de modo a resistir a estas solicitações. O dimensionamento da espiga deve ter em conta a parte de menor diâmetro que é susceptível a rotura. Na fig. 53 é apresentado o modelo da espiga com as dimensões escolhidas, [5].

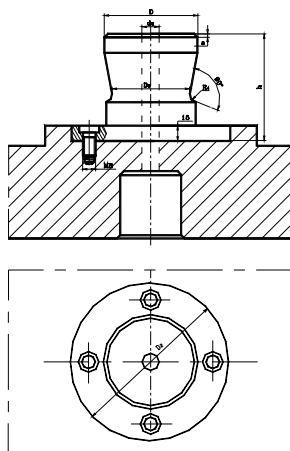


fig. 53 Espiga

Para um diâmetro $D = 32$ escolhe-se as restantes dimensões da espiga:

$D_2 = 48$ mm, $D_3 = 28$ mm, $h = 56$ mm,

$d_2 = 10$ mm, $a = 4$ mm

A montagem da espiga no martelo deve ser feito no centro de aplicação das forças, que coincide com o centro de gravidade da estampa. É de notar que todas as peças a produzir são cilíndricas, o que facilita a determinação do centro de gravidade pelo método analítico.

Perímetro do punção do corte: $P = d \times \pi = 52,3 \times 3,14 = 164,22$ mm

Tendo em conta que os discos estão dispostos em duas filas na tira.

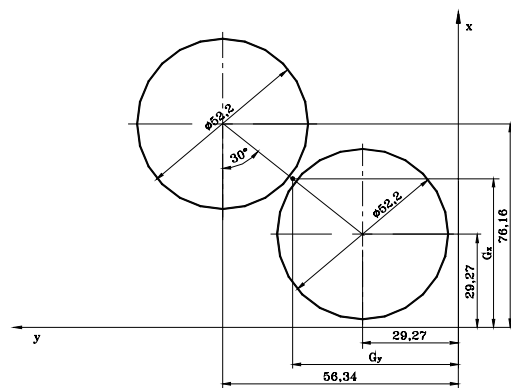


Fig. 54 Esquema para o cálculo do centro de gravidade

Cálculo de coordenadas do centro de gravidade

$$G_x = \frac{\sum P_i \times d_{xi}}{\sum P_i} \quad (66)$$

$$G_y = \frac{\sum P_i \times d_{yi}}{\sum P_i}$$

$$G_y = \frac{164,22 \times 29,27 + 164,22 \times 76,16}{164,22 + 164,22} = 52,72 \text{ mm}$$

$$G_x = \frac{164,22 \times 29,27 + 164,22 \times 56,34}{164,22 + 164,22} = 42,81 \text{ mm}$$

4. CÁLCULO ECONÓMICO

Para a produção de 400 apoios por mês é necessário a aquisição dos seguintes materiais na Intermetal, SARL: para produção do parafuso 1, é necessário a aquisição de 9 varões de aço 45 de dimensão Ø12 x 6000 ao preço de 98.290,60 Mt; para a produção do casquilho 5, é necessário a aquisição de 3 tubos de aço 45 de dimensão Ø21 x Ø10 x 6000 ao preço de 309.401,71 Mt; para a aquisição do prato 6, e casquilho 8 é necessário a aquisição de 3 chapas de aço 20X de dimensão 2450 x 1225 x 3 ao preço de 1.623.931,62 Mt.

Na tabela 44 é determinado o valor que deve ser despendido na aquisição de materiais e outros acessórios necessários para a produção dos apoios.

Tabela 44 Cálculo do custo dos materiais e outros acessórios [11]

Matérias primas e acessórios	Quantidade	Preço unitário [Mt]	Valor [Mt]
Varão Ø12 x 6000	9	98.290,60	884.615,40
Tubo Ø21 x Ø10 x 6000	3	309.401,71	928.205,13
Chapas 2450 x 1225 x 3	3	1.623.931,62	4.871.794,86
Borracha	400	38.433,50	15.373.400,00
Vedantes	400	1.081,50	865.200,00
Anilha Ø20 x Ø60 x 2	400	2.188,00	875.200,00
Anilha Ø14 x Ø30 x 2	400	1.223,50	489.400,00

Total	24.287.815,39
--------------	----------------------

Para a determinação do preço de cada apoio toma-se a seguinte metodologia do cálculo.

$$P_v = (1 + \text{IVA} + K_{cv}) \times C_{pU}$$

$$C_{pU} = C_m + C_f + C_{ad} \quad (67)$$

Onde : $C_m = m_{pb} \times P_m \times K$; e $C_f = \sum P_{fi} \times t_{fi}$; $C_{ad} = K_{ad} \times C_f$

C_m - custo de matéria prima; K_{ca} - coeficiente de custos administrativos

($K_{ca} = 0,25$); C_f - custos de fabricação; m_{pb} - massa da peça bruta em kg;

P_m - preço do material em Mt/kg; K - coeficiente que toma em conta os custos de transporte, armazenagem do material e imprevistos ($K = 0,1$); P_{fi} - preço da i-ma fase em Mt / min; t_{fi} - tempo de execução da i-ma fase em min; C_{ad} - custos administrativos; C_{pU} - custo de produção unitário em Mt; K_{cv} - coeficiente de custos de venda ($K_{cv} = 0,1 - 0,2$).

Os preços de fases por hora são: rectificação = 40.000,00 Mt / h, $t_{fi} = 1,5$ min
fresagem = 30.000,00 Mt / h, $t_{fi} = 0,892$ min; torneamento = 20.000,00 Mt / h,
 $t_{fi} = 0,104$ min; trat. térmico = 50.000,00 Mt / h, $t_{fi} = 2$ h; abertura de roscas =
= 25.000,00 Mt / h, $t_{fi} = 0,5$ min; Montagem = 35.000,00 Mt / h, $t_{fi} = 2$ min

O parafuso 1, tem 6 fases de tratamento.

Para $V_{pb} = 13790,83 \text{ mm}^3$; $m_{pb} = 0,1084 \text{ kg}$

$$C_m = 0,1084 \times 884615,40 \times 0,1 = 9.589,23 \text{ Mt}$$

$$C_f = 40.000,00 \times 1,5 / 60 + 30.000,00 \times 0,892 / 60 + 20.000,00 \times 0,104 / 60 + \\ + 25.000,00 \times 0,5 / 60 + 2 \times 50.000,00 \times 2 = 201.689,00 \text{ Mt}$$

O casquilho 5, tem 5 fases de tratamento.

Para $V_{pb} = 7762,87 \text{ mm}^3$; $m_{pb} = 0,0067 \text{ kg}$

$$C_m = 0,0076 \times 928.505,13 \times 0,1 = 621,9 \text{ Mt}$$

$$C_f = 36.000,00 \times 0,51 / 60 + 40.000,00 \times 1,5 / 60 + 20.000,00 \times 0,5 / 60 + \\ + 20.000,00 \times 0,104 / 60 + 2 \times 50.000,00 \times 2 = 201.642,67 \text{ Mt}$$

Os preços das fases de estampagem para chapas de 3 mm são: corte das chapas em tiras = 20.000,00 Mt / h, $t_{fi} = 0,32$ min; corte das tiras em discos =
= 25.000,00 Mt / h, $t_{fi} = 0,21$ min; embutidura de discos em casquilhos =
= 36.000,00 Mt / h, $t_{fi} = 0,0,51$ min

O prato 6, tem 5 fases de tratamento

$$\text{Para } V_{pb} = 6687,65 \text{ mm}^3; m_{pb} = 0,0524 \text{ kg}$$

$$C_m = 0,0524 \times 4.871.794,86 \times 0,1 = 25.528,21 \text{ Mt}$$

$$C_f = 20.000,00 \times 0,32 / 60 + 25.000,00 \times 0,21 / 60 + 36.000,00 \times 0,51 / 60 + \\ + 2 \times 50.000,00 \times 2 = 200.500,17 \text{ Mt}$$

O casquilho 8, tem 7 fases de tratamento.

$$\text{Para } V_{pb} = 2213,39 \text{ mm}^3; m_{pb} = 0,0174 \text{ kg}$$

$$C_m = 0,0174 \times 4.871.794,86 \times 0,1 = 8.476,92 \text{ Mt}$$

$$C_f = 20.000,00 \times 0,32 / 60 + 25.000,00 \times 0,21 / 60 + 36.000,00 \times 0,51 / 60 + \\ + 2 \times 50.000,00 \times 1 + 36.000,00 \times 0,51 / 60 + 2 \times 50.000,00 \times 2 = \\ = 300.806,17 \text{ Mt}$$

Outros acessórios necessários para a montagem do apoio:

$$C_m = 1,1 \times P_m$$

(68)

$$\text{Anilha } \varnothing 14 \times \varnothing 30 \times 2: C_m = 1,1 \times 1.223,00 = 1.345,00 \text{ Mt}$$

$$\text{Anilha } \varnothing 20 \times \varnothing 60 \times 2: C_m = 1,1 \times 2.188,00 = 2.406,80 \text{ Mt}$$

$$\text{Borracha: } C_m = 1,1 \times 38.433,50 = 42.276,85 \text{ Mt}$$

$$\text{Vedantes: } C_m = 1,1 \times 2 \times 1.081,50 = 1.189,65 \text{ Mt}$$

$$\text{Para montagem: } C_f = 35.000,00 \times 2 / 60 = 1.166,67 \text{ Mt}$$

O cálculo do preço de cada apoio está apresentado na tabela 45

Tabela 45 Cálculo do preço do apoio [11]

Artigo	C _m [Mt]	C _f [Mt]	C _{ad} [Mt]	Valor [Mt]
Parafuso 1	9589,23	201.689,00	50.422,25	261.700,48
Casquilho 5	621,9	201.642,67	50.410,67	252.675,24
Prato 6	25.528,21	200.500,17	50.125,00	276.153,38
Casquilho 8	8.476,92	300.806,17	75.201,50	384.484,59
vedantes	2,379,3			2,379,3
Borracha	42.276,85			42.276,85
Anilha 4	1.933,13			1.933,13
Anilha 2	1.345,00			1.345,00
Montagem		1.166,67	291,67	1.458,34
Custo de produto unitário				1.224.406,31

$$P_v = (1 + 0,17 + 0,2) \times 1.224.406,31 = 1.677.436,65 \text{ Mt}$$

4.1. ANÁLISE DO LUCRO

Os lucros são os excessos da receita total sobre os custos totais. Os custos

podem incluir tanto os explícitos assim como os implícitos. Os custos fixos totais (CFT), são os custos que destinam-se aos insumos fixos e são constantes, não importando o nível de produção, tem como exemplo, os custos de aluguer da fábrica, de equipamentos e dos meios de transporte. Os custos variáveis totais (CVT), são os custos que destinam-se aos insumos variáveis, estes custos variam directamente com o nível de produção. Tem como exemplo, os custos de matéria prima, de mão de obra, de energia e de equipamentos frequentemente substituível. Os custos totais (CT), são iguais a soma dos custos fixos e variáveis. A receita total (RT) é igual ao produto do custo de produção unitário pela quantidade das peças vendidas. O lucro é obtido pela diferença da receita total e o custo total. Na análise do lucro, devido a complexibilidade da determinação dos valores de custos fixos e variáveis estima-se para efeitos de exemplificação que o fundo de custo de mão de obra, energia e consumíveis é de 75.000.000,00 Mt e os custos fixos totais perfazem 100.000.000,00 Mt. Os custos variáveis totais são calculados a partir da tabela 44 e adicionados ao valor do custo de mão de obra, energia e consumíveis. A tabela 46 é feita para análise do custos e na tabela 47 analisam-se os lucros, [11].

Tabela 46 Análise dos custos

Q	CFT [Mt]	CVT [Mt]	CT [Mt]
0	100.000.000,00	0	100.000.000,00
50	100.000.000,00	83.830.914,39	183.830.914,39
100	100.000.000,00	85.830.914,39	185.830.914,39
150	100.000.000,00	88.123.514,39	188.123.514,39
200	100.000.000,00	90.269.814,39	190.269.814,39
250	100.000.000,00	92.416.114,39	192.416.114,39
300	100.000.000,00	94.962.414,39	194.962.414,39
350	100.000.000,00	96.709.534,39	196.709.534,39
400	100.000.000,00	99.287.815,39	199.287.815,39

Tabela 46 Análise dos lucros

Q	CT [Mt]	C _{pu} [Mt]	RT [Mt]	L [MT]
0	100.000.000,00	1.224.406,31	0	- 100.000.000,00
50	183.830.914,39	1.224.406,31	61.220.315,50	- 122.610.598,80
100	185.830.914,39	1.224.406,31	122.440.631,00	- 63.390.283,30
150	188.123.514,39	1.224.406,31	183.660.946,50	- 4.462.567,80
200	190.269.814,39	1.224.406,31	244.881.262,00	54.611.447,70
250	192.416.114,39	1.224.406,31	306.015.775,00	113.599.660,70

300	194.962.414,39	1.224.406,31	367.321.893,00	172.359.478,70
350	196.709.534,39	1.224.406,31	428.542.208,50	231.832.674,20
400	199.287.815,39	1.224.406,31	489.762.524,00	290.474.708,70

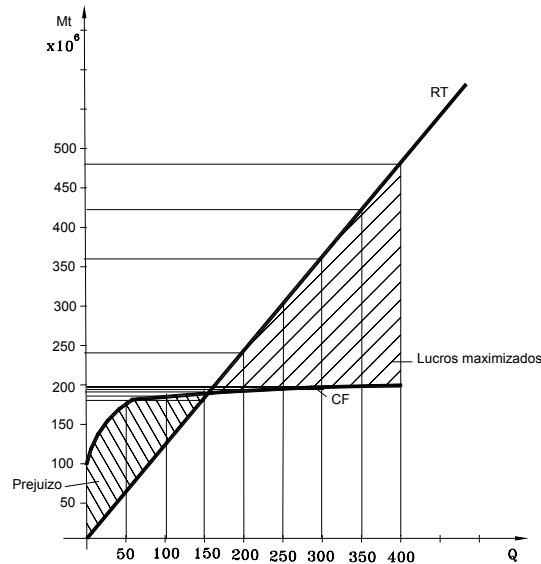


Fig. 55 Gráfico de indicação do lucro e prejuízo

O nível de receitas para a maximização dos lucros pode ser visto graficamente na fig. 55. A receita total é uma linha recta de inclinação positiva através da origem porque o preço é constante. A produção menor do que 200 peças, o custo total excede a receita total e a firma incorre em prejuízo. No intervalo entre 150 a 200 peças, o custo total tende a igualar a receita total e a firma obtém o ponto de nivelamento. Para a produção acima de 200 peças, a receita excede o custo de produção e a firma realiza lucros. Os lucros aumentam a medida que a venda e a receita aumentam como se pode ver no gráfico.

CONCLUSÃO

No presente trabalho foi feita a análise descritiva de métodos de assentamento de máquinas culminando com a escolha do apoio para assentamento de máquinas pesadas como base para a elaboração da preparação construtiva e tecnológica de fabricação do apoio por apresentar vantagens tecnológicas em relação aos demais apoios e outros métodos de assentamento de máquinas.

Na preparação construtiva e tecnológica da fabricação do apoio para máquinas pesadas foi feita a análise construtiva e tecnológica das peças que compõem o apoio, escolha do material, destino das superfícies, classe de tolerância, rugosidade e verificação da resistência de algumas peças do apoio. Para produção das peças do apoio foram elaborados processos tecnológicos de 2 tipos. Assim o parafuso 1 e o casquilho 5 poderão ser tratadas em máquinas ferramentas porque apresentam características técnicas e construtivas que facilmente possam ser tratadas em máquinas ferramentas e máquinas CNC, tendo-se elaborado um programa CNC para o tratamento do casquilho 5. As peças como o prato 6 e o casquilho 8 poderão ser tratadas por estampagem a frio devido a sua construção que permite gerar muitas superfícies simultaneamente e por ser um método de tratamento de baixo custo relativamente a outros métodos na produção em série grande. As outras peças do apoio poderão ser adquiridos no mercado nacional por ser peças simples e de baixo custo.

Foi dimensionado uma estampa para o fabrico do casquilho 8, tendo-se calculado as partes principais da estampa nomeadamente a matriz, o punção e a espiga, e as outras peças da estampa poderão ser escolhidas de acordo com as recomendações bibliográficas.

No cálculo económico foi feita o cálculo do preço do apoio e análise do lucro tendo-se chegado a conclusão de que a produção em série grande do apoio era viável, pois garante uma margem de lucro satisfatório.

RECOMENDAÇÕES

1. Recomenda-se a instalação de máquinas nos apoios amortecedores, pois as máquinas assim assentadas garantem maior produtividade e diminuem o índice de doenças profissionais.
2. Os apoios são constituídos normalmente por peças simples, que podem ser facilmente produzidas nas empresas nacionais a um custo de produção relativamente baixo.

3. A documentação construtiva e tecnológica elaborada pode ser usada para organização da fabricação das peças principais do apoio.
4. As peças normalizadas como a porca 2 e a anilha 3 é recomendável comprar prontas, pois assim resulta na redução de custo de fabricação do apoio.

BIBLIOGRAFIA

1. Alexandre Kourbatov, 'Escolha das ferramentas e do regime de corte', ed. UEM, Maputo, 2001
2. I. V. Iatsina e Rui V. Siteo, 'Cálculo de transmissões por engrenagens', ed. UEM, Maputo, 1991
3. Rui V. Siteo, 'Fichas de Orgãos de Maquinas I e II, Maputo, 2001
4. Mário Rossi 'Estampado en frio de la chapa' 9ª ed., edit. Científico-Médica, 1971
5. Osmar de Brito, 'Estampos de Corte', 1ª ed., edit. Hemos limitada,
6. Frank J. Welzk, 'Resistencia dos materiais', ed. METS, vol. II, RDA, 1984
7. Singiresu S. Rao, 'Mechanical Vibrations', 3rd ed., USA, 1995
8. A. Kutcher 'Tecnologia dos metais' ed. Mir, Moscovo, 1987
9. A. P. Gulháev 'Metais e suas ligas' ed. Mir, Moscovo, 1081
10. P. Denejni 'Manual do torneiro' ed. MIR, Moscovo, 1982

11. Dominick Salvatore 'Introdução à economia' ed. McGraw-Hill, São Paulo, 1981

ANEXOS

Termo de atribuição de tema

Desenhos de peças e de conjunto

Cartões de rotas e de fases

Desenho de estampo