

**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
Departamento de Engenharia Mecânica**

Prof. Doutor Alexandre Kourbatov

PROJECTO TECNOLÓGICO
(Exemplo do Projecto de Curso)

**Tema: Preparação Construtiva e Tecnológica de Fabricação
duma Engrenagem dum Moinho**

Elaborado por:

Verificado por:

Maputo 2007

TAREFA.

Elaborar o processo tecnológico de fabricação duma engrenagem dum moinho apresentada na figura 1 (rota de tratamento e 2 ÷ 3 fases), projectar um equipamento especial necessário para sua produção. Programa anual – 2400 peças. O equipamento disponível é o equipamento da Oficina do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Eduardo Mondlane.

Parâmetros principais da engrenagem: $m = 2$; $z = 30$; $D = 64$; $L = 20$; furo - $\phi 20$;
escatel - $b = 6$, $t = 23,5$

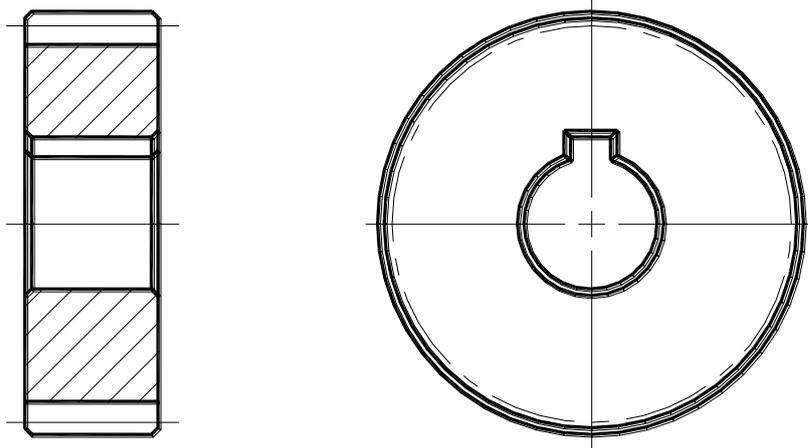


Figura 1. Esboço do produto

Professor _____ Data _____

Estudante _____ Data _____

Minha proposta de Negócio na Internet!

Eu procuro os parceiros com quem vamos fazer o Negócio na Internet. Precisa o acesso a internet, 3-4 h/dia e um investimento financeiro.

Vou ensinar tudo o que seja necessário. O negócio na Internet tem grande perspectiva, permite ficar financeiramente independente dentro dum tempo.

Vejam o clipe <http://b21v.ru/pt/?p=39> e contactam comigo pelo Skype alexandre.kourbatov

ÍNDICE

INTRODUÇÃO

1. **Análise construtiva da peça**
2. **Análise tecnológica da peça**
3. **Escolha do tipo de produção e do método de trabalho**
4. **Escolha da peça bruta**
5. **Escolha das bases tecnológicas**
6. **Escolha da sequência de tratamento das superfícies**
7. **Elaboração da rota de tratamento**
8. **Determinação das sobressessuras e cotas intermediárias**
9. **Elaboração das fases**
 - 9.1. **Fase 10. Corte do varão**
 - 9.2. **Fase 20. Forjadura a quente**
 - 9.3. **Fase 30. Torneamento de semiacabamento da face direita, abertura e alargamento do furo central e dum chanfro 6**
 - 9.4. **Fase 40. Torneamento de semiacabamento da face esquerda, do cilindro externo e dos chanfros 5 e 6**
 - 9.5. **Fase 50. Brocheamento do escatel**
 - 9.6. **Fase 60. Fresagem de desbastamento dos dentes**
 - 9.7. **Fase 70. Têmpera**
 - 9.8. **Fase 80. Revenimento alto**
 - 9.9. **Fase 90. Torneamento de acabamento das faces**
 - 9.10. **Fase 100. Rectificação do furo central**
 - 9.11. **Fase 110. Rectificação de acabamento dos dentes**
 - 9.12. **Fase 120. Boleamento dos bordos agudos**
 - 9.13. **Fase 130. Controle final da peça**
10. **Avaliação da qualidade do produto**
11. **Avaliação técnico-económica das decisões tomadas**
12. **Projectação do equipamento especial**
 - 12.1. **Bucha de instalação de engrenagem pelo furo e face**
 - 12.2. **Calibre macho 23,5H11**
 - 12.3. **Bucha para guiar brocha**
 - 12.4. **Dispositivo de agarro de brocha**

LITERATURA

ANEXOS

- A.1. **Desenho da peça acabada**
- A.2. **Desenho da peça bruta**
- A.3. **Cartões da rota de tratamento**
- A.4. **Cartões das fases de tratamento**
- A.5. **Esquemas de tratamento**
- A.6. **Desenho de montagem dum bucha de instalação**
- A.7. **Desenho do calibre macho 23,5H11**
- A.8. **Desenho da bucha para guiar brocha**
- A.9. **Desenho de dispositivo de agarro de brocha**

INTRODUÇÃO

A preparação tecnológica de fabricação dum produto tem grande importância para empresas para organizar sua produção efectiva. Da qualidade de preparação tecnológica dum produto depende a produtividade de fabricação, os custos e os lucros duma empresa. Por isso é muito importante realizar este trabalho com grande qualidade.

O objectivo deste trabalho é a demonstração dum exemplo de preparação construtiva e tecnológica de fabricação duma engrenagem dum redutor de moinho de seriais com elaboração da documentação construtiva e tecnológica necessária para organização da sua fabricação, projecção do equipamento especial necessário para sua fabricação. Neste trabalho estão elaboradas todas as fases de tratamento, estão projectados: um dispositivo de aperto da engrenagem num torno pelo furo e face, um calibre macho para controlar dimensão 23,5 h11 do escatel e uma bucha de guia da brocha para escatel.

O projecto está constituído duma parte textual que inclui as decisões tomadas, sua argumentação, cálculos necessários e dos anexos com documentação construtiva em forma dos desenhos da peça acabada, peça bruta, do equipamento especial projectado e com documentação tecnológica em forma dos cartões de rota, de fases e dos esquemas de tratamento.

1. Análise construtiva do produto

Descrição do produto, do seu destino e do destino das suas superfícies.

O produto é uma engrenagem cilíndrica com dentes oblíquos dum redutor de moinho dos seriais. O redutor serve para diminuir a frequência de rotação do veio do moinho. A engrenagem observada recebe o torque do veio da entrada do redutor através da chaveta prismática e transmite-o para roda dentada que fica situada no segundo veio do redutor.

A engrenagem tem uma forma do disco com cilindro externo 1 (Fig. 2) com diâmetro $\phi 64$, furo 2 com diâmetro $\phi 20$ e faces 3 com dimensão 20 mm. Por meio do furo 2 a roda dentada coloca-se num veio. Para receber um torque do veio o furo 2 tem uma ranhura 7 para chaveta prismática (escatel) com largura de 6 mm e dimensão de 23,5 mm que determina a sua profundidade. Os dentes 4 da engrenagem são superfícies principais da engrenagem, garantem uma transmissão de rotação e relação de transmissão pretendida. Os dentes têm módulo $m=2$ mm, número de dentes $z=30$, ângulo de engrenamento $\alpha=20^{\circ}$ e ângulo de inclinação $\beta=10^{\circ}$.

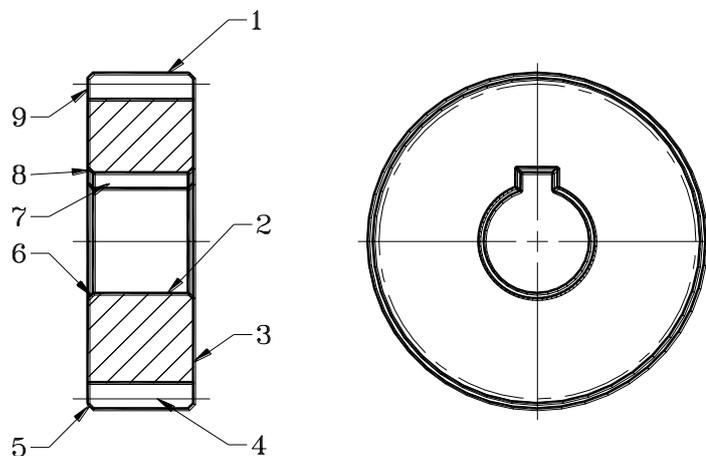


Figura 2. Superfícies da engrenagem

Para facilitar a orientação mutua das peças correspondentes durante montagem, para evitar corte das peças conjugadas e dos dedos dos operários durante montagem, para diminuir a concentração das tensões, evitar fendas, estão previstos chanfros nas superfícies 1, 2, 4 e arredondamento dos bordos agudos nas extremidades dos dentes. A superfície 1 têm chanfros circulares externos 5 com dimensões 1×45^0 de dois lados. O furo 2 tem chanfros circulares internos 6 com dimensões 1×45^0 de dois lados. A ranhura 7 tem chanfros rectilíneos 8 com dimensões 1×45^0 de dois lados (3 dum lado e 3 doutro). Todos os bordos agudos dos dentes devem ser arredondados com raio R 0,16 mm. As ranhuras entre dentes e escatel devem ser feitas com raios transitórios R 0,16 no fundo.

Condições de funcionamento da engrenagem.

A engrenagem trabalha dentro do redutor de moinho e está banhada com óleo. A engrenagem transmite torque médio, trabalha com choques pequenas, seus dentes trabalham com grandes tensões de contacto, desgaste e flexão médios. A temperatura de funcionamento da engrenagem oscila de 10 a 80^0C .

Escolha do material.

Para trabalhar bem nas condições acima indicadas o material deve ter elevadas propriedades mecânicas, especialmente dureza, resistência a fadiga, ao desgaste e a flexão. Para estes fins podem ser usados os aços com médio teor de carbono que permite receber elevadas propriedades mecânicas do aço por têmpera e revenimento. Para garantir o endurecimento em toda a profundidade da engrenagem o material tem que ter pelo menos 1% dum elemento ligante, por exemplo, crómio. A presença de crómio permite aumentar a temperabilidade do aço, aumentar seu diâmetro crítico até 15-20 mm, o que corresponde ao valor da espessura da engrenagem. Além disso, o crómio em quantidade de 1% permite aumentar ductilidade do material para melhor aquecer choques e suas resistências a fadiga e a corrosão.

Dai a engrenagem pode ser feita, por exemplo, do aço 40X GOST4543-71 que tem propriedades mecânicas e tecnológicas bastante altas e é bastante barato. O aço 40X tem seguinte composição química [4]: C-0,36-0,44%; Cr-0,8-1,15; Mn -0,4-0,8%; Si-0,15-0,4%; S \leq 0,035%; P \leq 0,035%.

As propriedades mecânicas do aço 40X são seguintes [2]:

- a) no estado normalizado depois de laminagem a quente: limite de resistência a ruptura - $\sigma_r=650$ MPa; dureza - 217 HB; alongamento relativo - $\delta=20\%$;
- b) depois de têmpera e revenimento alto: limite de resistência a ruptura - $\sigma_r=981$ MPa; limite de escoamento - $\sigma_e=784$ MPa; alongamento relativo - $\delta=10\%$; constrição relativa - $\psi=45\%$; resiliência - $a_e=6$ kgf·m/cm².

O aço 40X trata-se bem sob pressão a quente no estado de austenite e tem boas propriedades de usabilidade no estado normalizado.

Argumentação das dimensões e escolha da precisão e da rugosidade das superfícies

Para ter a possibilidade de uso das ferramentas cortantes e dos medidores normalizados e assim diminuir os custos de produção é preferível ter todas as dimensões da peça normalizadas. Além disso, para diminuir os custos de fabricação das peças, a precisão das suas dimensões, da forma e disposição, a sua rugosidade devem ser bem argumentadas [5].

A seguir observam-se todas as superfícies da engrenagem, apresenta-se seu destino, condições de trabalho, analisam-se as dimensões que se recebem quando se trata a superfície observada, verifica-se sua normalização, faz-se a escolha e argumentação da precisão das suas

dimensões, do seu desvio fundamental (ou desvios superior e inferior), da precisão da forma, disposição e da rugosidade das superfícies.

O cilindro externo 1 (Fig. 2) é uma superfície que forma a cabeça dos dentes, é relativamente livre, não tem contacto com outras superfícies mas seu diâmetro não pode ser alterado muito (só dentro de alguns décimos do mm). Pois o cilindro 1 é aberto (não tem limites nas extremidades), durante seu tratamento recebe-se uma só dimensão, o diâmetro do cilindro $\phi 64$, que não pertence a nenhuma série das dimensões normais mas ele se recebe por cálculo através do valor normalizado do módulo e do número dos dentes ($d_e = m \cdot z + 2m$). Além disso, durante o tratamento o diâmetro $\phi 64$ garante-se por disposição do bico do ferro cortante no sentido radial o que se regula no torno facilmente e não precisa o uso da ferramenta especial. Pois o cilindro é uma superfície relativamente livre, o seu diâmetro pode ser feito com 12 grau de tolerância, que na produção em série pequena pode ser medido com paquímetro mas na produção em série grande será necessário projectar e fabricar o calibre fêmea especial. O diâmetro $\phi 64$ pode ser feito com desvio fundamental h , que é mais usado para dimensões externas e livres. Pois o cilindro 1 é uma superfície relativamente livre, os seus desvios da forma e da disposição podem ser dentro da tolerância do seu diâmetro. O cilindro 1 pode ser feito com rugosidade $R_z 40 \mu\text{m}$ (que é menor de $IT12_{\phi 64/4} = 300/4 = 75 \mu\text{m}$) para aumentar resistência a corrosão e melhorar aspecto.

O comprimento deste cilindro (18 mm) é uma dimensão que não se recebe durante o tratamento desta superfície, mas sim durante o tratamento das faces 3 e dos chanfros 6. Por isso o operário que vai trabalhar o cilindro 1 não precisa ser preocupado, nem pode ser responsabilizado por comprimento do cilindro 1 e não precisa medi-lo.

O furo 2 é uma superfície através de que a engrenagem instala-se no veio e orienta-se no espaço, daí é uma base construtiva. Pois o furo 2 é uma superfície aberta (não tem limites nas extremidades), durante seu tratamento recebe-se uma só dimensão, o diâmetro do furo $\phi 20$ que pertence a uma série $R_a 10$ das dimensões normais. Da precisão deste diâmetro e do seu ajustamento com veio depende muito a precisão de funcionamento do redutor (é sensível a variação do diâmetro em alguns centésimos do mm). Por isso o diâmetro do furo deve ser feito com alta precisão e superfície deve ter baixa rugosidade. Para garantir a melhor disposição da engrenagem no veio e melhor engrenamento com roda dentada, evitar a incerteza da disposição da engrenagem no espaço pode-se prever o ajustamento com aperto e o sistema de ajustamento de furo base. Pois o mecanismo por si próprio não é de grande responsabilidade (redutor duma máquina agrícola - moinho) e a engrenagem trabalha com velocidades relativamente pequenas, o diâmetro do furo pode-se fazer com 7 grau de tolerância e desvio fundamental H (pois é uma dimensão interna e o sistema de ajustamento usada é de furo base - furo faz-se com $\phi 20H7$ e veio com $\phi 20s7$). Os desvios da circularidade e da cilindridade do furo 2 não devem superar 0,01 mm, que é menor de $IT7_{\phi 20/2} = 21/2 = 10,5 \mu\text{m}$. A rugosidade da superfície do furo 2 pode ser $R_a 1,25 \mu\text{m}$, que corresponde a $R_z 5$ que é menor de $IT7_{\phi 20/4} = 21/4 = 5,25 \mu\text{m}$.

O comprimento do furo (18 mm), é uma dimensão que não se recebe durante o tratamento desta superfície, mas sim durante o tratamento das faces 3 e dos chanfros 7 e por isso não pertence ao furo. O operário que vai trabalhar o furo 2 não precisa ser preocupado, nem pode ser responsabilizado com o seu comprimento e não precisa medi-lo.

As faces 3 da engrenagem entram em contacto com faces do veio e da bucha, servem para orientação axial da engrenagem, daí são bases construtivas. Durante o trabalhar das faces recebe-se uma única dimensão de 20 mm (distância entre as faces) que pertence a uma série $R_a 10$ dos valores normais. A precisão desta dimensão não influi na precisão de funcionamento

do mecanismo (pode variar até 1 mm e mais sem influencia no funcionamento do mecanismo) mas a precisão do engrenamento depende da disposição de inclinação da engrenagem, ou seja do batimento axial das faces 3 ou da planicidade e perpendicularidade das faces 3 ao furo 2. Por isso a dimensão de 20 mm pode ser feita com 12 grau de tolerância mas para garantir boa disposição de inclinação da engrenagem pode-se tomar o limite do batimento axial das faces 3 de 0,05 mm. A dimensão 20 mm pode ser feita com desvio fundamental h, que é mais usado para dimensões externas e livres. A rugosidade das faces R_z não pode superar a metade de tolerância de batimento (para não prejudica-lo), ou seja $50/2 = 25 \mu\text{m}$, por isso podemos tomar $R_z 20 \mu\text{m}$, que por sua vez é menor de $IT12_{20}/4 = 210/4 = 52,5 \mu\text{m}$.

Outras dimensões das faces ($D=62$ e $d=22$) não se recebem durante o tratamento das faces, eles se recebem durante o tratamento do cilindro 1, do furo 2 e dos chanfros 5 e 6. Por isso o operário que vai trabalhar as faces 3 não precisa ser preocupado, nem pode ser responsabilizado com os diâmetros $\phi 62$ e $\phi 22$ mm e não precisa medi-los.

Os dentes 4 da engrenagem são superfícies muito importantes, da precisão deles depende a precisão de funcionamento e rendimento do redutor e do moinho. Os dentes desta engrenagem entram em contacto com dentes da roda dentada de maior diâmetro e se deslizam entre si. Durante o tratamento dos dentes recebe-se uma série das dimensões. A precisão das algumas destas dimensões tem grande influência no funcionamento do mecanismo (diâmetro primitivo $D_p = 60$ mm, passo $P = 6,28$ mm, ângulos de engrenamento e de inclinação dos dentes $\alpha = 20^\circ$ e $\beta = 10^\circ$) pois fica sensível a sua variação em alguns centésimos do mm. A precisão das outras dimensões tem pequena influência no funcionamento do mecanismo (diâmetros externo $D_e = 64$ mm e interno $D_i = 55$ mm, altura dos dentes $H = 4,5$ mm), que podem variar seus valores até alguns décimos do mm.

O parâmetro principal dos dentes é o seu módulo de 2 mm, que é um valor normalizado, da série dos módulos normalizados dos dentes das engrenagens. Por isso os dentes podem ser considerados como as superfícies normalizadas, pois podem ser trabalhados com ferramentas normalizadas, projectadas e fabricadas para estes fins. Mas há de notar que algumas suas dimensões ($D_e=\phi 64$, $D_i=\phi 55$, $P=6,28$) não pertencem a nenhuma série das dimensões normais, elas se recebem por meio dos cálculos através do módulo normalizado e número dos dentes e se fabricam por meio de uso das ferramentas normalizadas. O diâmetro primitivo $\phi 60$ e a altura dos dentes 4,5 mm são as dimensões normalizadas e pertencem a série $R_a 40$ e $R_a 20$ respectivamente. Os ângulos de engrenamento $\alpha=20^\circ$ e de inclinação dos dentes $\beta=10^\circ$ pertencem respectivamente a 1 e 2 série dos ângulos normais.

Pois o mecanismo por si próprio é de responsabilidade normal (mecanismo agrícola), as dimensões principais dos dentes da engrenagem de que depende muito o seu funcionamento (o diâmetro primitivo $\phi 60$, o passo entre dentes 6,28, os ângulos 20° e 10°), podem ser feitos com 7 grau de tolerância das dimensões lineares e angulares respectivamente. O diâmetro primitivo $\phi 60$ pode ser feito com desvio fundamental h, pois é uma dimensão externa e para garantir uma pequena folga com dentes da roda dentada. O passo 6,28 pode ser feito com desvios simétricos $\pm IT7/2$, pois esta dimensão é do tipo nem furo nem veio e os ângulos 20° e 10° com desvios simétricos $\pm AT7/2$, pois ângulos geralmente se fabricam com desvios simétricos.

O fundo dos dentes é uma superfície relativamente livre, não entra em contacto com roda dentada mas seu diâmetro e altura dos dentes não podem variar muito. Por isso o diâmetro interno $D_i=\phi 55$ e altura dos dentes $H=4,5$ mm podem ser feitos com 12 grau de tolerância, com desvios fundamentais h para o diâmetro D_i e j_s para a altura dos dentes, pois a primeira dimensão é externa e livre e outra é nem furo nem veio. Além disso, todos os dentes devem

ser bem dispostos relativamente ao furo, não deve ser grande batimento radial, ou desvio de coaxialidade dos dentes 4 com furo 2, porque disso depende a precisão, a área de engrenamento dos dentes, constância da folga entre dentes, existência das vibrações, do barulho por causa de choques entre dentes durante funcionamento. Para o mecanismo de responsabilidade normal pode-se tomar o batimento radial admissível ou desvio de coaxialidade dos dentes 4 com furo 2 até 0,05 mm. Entre as superfícies laterais dos dentes e cilindro interno devem ser feitos os raios transitórios para diminuir concentração das tensões, por exemplo, R0,16 mm com desvios $\pm IT14/2$, pois raios são dimensões livres do tipo nem furo nem veio.

Pois os dentes trabalham com deslizamento suas superfícies de trabalho (superfícies de contacto, de deslizamento) devem ter pequena rugosidade para diminuir o coeficiente do atrito, diminuir o desgaste dos dentes, aumentar o rendimento de engrenamento. Pois a velocidade de deslizamento é relativamente pequena e a responsabilidade do mecanismo é normal pode-se tomar a rugosidade das superfícies de trabalho dos dentes igual a $R_a 1,25 \mu\text{m}$.

O comprimento dos dentes (≈ 20 mm) não se recebe durante o tratamento dos dentes, mas sim durante o tratamento das faces 3 e das superfícies de boleamento 9. O operário que vai trabalhar dentes não deve preocupar-se com esta dimensão, nem pode ser responsabilizado por ela e não precisa medi-la.

A ranhura 7 (escatel) é uma superfície bastante importante que entra em contacto com chaveta, garante transmissão de torque e orienta engrenagem no veio. Durante o tratamento do escatel 7 recebe-se a largura do escatel de 6 mm, a dimensão 23,5 mm que determina a profundidade do escatel e o raio transitório 0,16 mm. A dimensão mais importante do escatel é a sua largura de 6 mm que pertence a uma série normal R_a40 . Esta dimensão tem pequena influência no funcionamento do mecanismo (seu valor pode variar em alguns centésimos do mm praticamente sem influência no funcionamento) por isso deve ser feita com elevada precisão. Para facilitar a instalação da engrenagem no veio, para ter a folga garantida entre ranhura e chaveta, para largura do escatel pode-se escolher 10 grau de tolerância e desvio fundamental D, pois é uma dimensão interna e utiliza-se o sistema do veio base (pois a metade da chaveta coloca-se no escatel do veio e outra metade no escatel da engrenagem), ou seja toma-se a classe de tolerância D10. Os planos laterais do escatel podem ser feitos com rugosidade da superfície $R_a 2,5 \mu\text{m}$, que corresponde a $R_z 10 \mu\text{m}$ e é menor de $IT10_6/4 = 48/4 = 12 \mu\text{m}$. Além disso, há de prever a simetria de disposição da ranhura relativamente ao eixo do furo. Pois o mecanismo é de responsabilidade normal e a assimetria de disposição da ranhura relativamente ao eixo do furo não deve ultrapassar a folga média ($30 + 48 = 78 \mu\text{m}$), toma-se o desvio admissível da simetria do escatel de 0,05 mm.

A outra dimensão de 23,5 mm, que determina o fundo do escatel, não pertence a nenhuma série dos valores normais mas recebe-se por cálculo através do diâmetro normalizado do furo e da altura normalizada da chaveta. O fundo da ranhura não entra em contacto com chaveta, é uma superfície relativamente livre (a dimensão 23,5 mm pode variar em alguns décimos do mm), mas deve ser prevista uma folga radial garantida entre a chaveta e ranhura. Por isso a dimensão 23,5 mm pode ser feita com 11 grau de tolerância e desvio fundamental H (pois é uma dimensão interna e garante uma folga). O fundo do escatel pode ter rugosidade $R_z 20 \mu\text{m}$ que é menor de $IT11_{23,5}/4 = 130/4 = 32,5$. Entre o fundo e lados laterais do escatel devem ser feitos raios transitórios para diminuir a concentração das tensões. O raio transitório pode ter valor R0,16 mm, que é uma dimensão livre, pois é menor do valor do chanfro na chaveta e pode ser feito com desvios $\pm IT14/2$.

O comprimento da ranhura (≈ 18 mm) não se recebe durante o tratamento do escatel mas sim durante o tratamento das faces 3 e dos chanfros 8 e não durante o tratamento dos dentes 4. Por isso o operário que vai trabalhar escatel pode não se preocupar com seu comprimento, não pode ser responsabilizado por ele e não precisa medi-lo.

Todos os chanfros (5, 6 e 8) são superfícies livres, eles servem só para facilitar a orientação mútua das peças conjugadas e para proteger as superfícies de contacto e mãos dos operários de corte durante montagem. Por isso o comprimento do cateto de 1 mm pode ser feito com desvios $\pm IT14/2$ (ou $\pm 0,1$ mm), o ângulo de 45° com desvios $\pm AT14/2$ ($\pm 1^\circ$) e chanfros podem ser feitos com rugosidade R_z 40 μm para aumentar resistência a corrosão e ter bom aspecto. A dimensão de 1 mm pertence a uma série normal R_{a5} e o ângulo 45° – a série 1 das dimensões angulares.

As superfícies de boleamento 9 servem para eliminar os bordos agudos das arestas laterais dos dentes. Estas superfícies são livres, durante seu tratamento recebe-se o raio de arredondamento de R 0,16 mm que pertence a uma série R_a 5 dos valores normais. Esta dimensão pode ser feita com desvios $\pm IT14/2$ (ou $\pm 0,1$ mm) e as superfícies podem ser feitas com rugosidade R_z 40 μm para aumentar resistência a corrosão e ter bom aspecto.

Pois os chanfros e as superfícies de boleamento são superfícies livres, os desvios da sua forma e da disposição podem ser dentro da tolerância da sua dimensão igual a 0,2 mm.

Conclusão.

Os resultados da análise construtiva da engrenagem estão apresentados na Tabela 1.

O desenho da engrenagem está apresentado no Anexo 1 e contém todas as vistas e cortes que permitem compreender a construção de todas as superfícies e do produto em geral. O desenho contém todas as dimensões, precisão das dimensões, da forma e da disposição, a rugosidade de todas as superfícies que correspondem ao seu destino, às condições do seu trabalho e a escolha feita a cima. Na maioria dos casos as dimensões da engrenagem são normalizadas com excepção de uma dimensão 23,5 mm que determina a profundidade do escatel e algumas dimensões dos dentes que estão obtidas por meio dos cálculos através das dimensões normalizadas. É importante notar que os dentes 4 da engrenagem, que são superfícies mais importantes e complexas, consideram-se normalizados, pois têm módulo e ângulos de engrenamento e de inclinação normalizados.

O desenho contém a designação do material da peça, suas propriedades e outras exigências técnicas que correspondem ao seu destino e às condições do trabalho da engrenagem.

Minha proposta de Negócio na Internet!

Eu procuro os parceiros com quem vamos fazer o Negócio na Internet. Precisa o acesso a internet, 3-4 h/dia e um investimento financeiro.

Vou ensinar tudo o que seja necessário. O negócio na Internet tem grande perspectiva, permite ficar financeiramente independente dentro dum tempo.

Vejam o clipe <http://b21v.ru/pt/?p=39> e contactam comigo pelo Skype alexandre.kourbatov

Tabela 1. Parâmetros das superfícies da engrenagem

N ref	Nome da superfície	Destino da superfície	Quant.	Dimensões e precisão	Rugos. Rz/Ra	Série normal Ra
1	Cilindro externo $\phi 64h12$	Limite da peça, formação da cabeça dos dentes, superfície livre	1	$\phi 64h12$	40	Calcul.
2	Furo central $\phi 20H7$	Instalação no veio, base construtiva	1	$\phi 20H7$ /o/ - 0,01	Ra1,25	10
3	Faces esq. e dir.	Limites da peça, superfícies de encoste, base construtiva	2	L=20h12 axial 0,05 A	Rz20	5
4	Dentes da roda cil. ext. m=2, z=30, CP7	Transmissão de movimento, superfícies principal de trabalho	30	m=2 Dp=60h7 De=64h12 Di=55h12 H=4,5* P=6,28+/-IT7/2 $\alpha=20^\circ$ +/-AT7/2 $\beta=10^\circ$ +/-AT7/2 R0,16+/-IT14/2 coax. 0,05 A	Ra1,25	10 10 Calcul. Calcul. p/inf. Calcul. 1 1
5	Chanfros circ. ext. $1 \times 45^\circ$	Eliminar arestas agudas na cabeça dos dentes	2	C=1+/-IT14/2 $\phi=45^\circ$ +/-AT14/2	Rz40	5 1
6	Chanfros circ. int. $1 \times 45^\circ$	Facilitar instalação no veio, eliminar arestas agudas no furo central	2	C=1+/-IT14/2 $\phi=45^\circ$ +/-AT14/2	Rz40	5 1
7	Escatel	Instalar chaveta prismática	1	B=6D10 H=23,5H11 R 0,16+/-IT14/2 simetria 0,05 A	Ra2,5 Rz20	5 Calc. 5
8	Chanfros rectilín. $1 \times 45^\circ$	Facilitar instalação no veio, eliminar arestas agudas no escatel	6	C=1+/-IT14/2 $\phi=45^\circ$ +/-AT14/2	Rz40	5 1
9	Superfícies de boleamento	Eliminar arestas agudas nas extremidades dos dentes	60	R 0,16+/-IT14/2	Rz40	5

2. Análise tecnológica do produto

A dificuldade ou facilidade de fabricação dum produto pode ser avaliada por meio de parâmetros qualitativos e quantitativos da tecnologibilidade [8].

Entre os parâmetros qualitativos da tecnologibilidade destacam: complexidade da configuração do produto e necessidade de uso das ferramentas especiais; normalização e uniformidade das superfícies; simetria do produto; precisão e rugosidade argumentadas das superfícies; existência dos chanfros nas superfícies conjugadas; existência dos raios transitórios, raios de arredondamento dos bordos vivos; existência de inclinações das superfícies estampadas e fundidas; constância da espessura das paredes das peças estampadas e fundidas; existência da superfície de separação simples das peças estampadas e fundidas; existência das bases tecnológicas cómodas e necessidade de uso dos dispositivos especiais; rigidez da peça, existência das nervuras do reforço; complexidade de trajectórias das ferramentas; acesso às superfícies da peça, existência de entradas e saídas cómodas para ferramentas; possibilidade de tratamento simultâneo de algumas superfícies, etc.

Entre os parâmetros quantitativos da tecnologibilidade destacam:

- 1) parâmetros globais: tempo de execução das fases; tempo de fabricação dum lote de produtos; preço de custo de fabricação, custos capitais de preparação de produção dum produto, etc. que podem ser determinados só depois de elaborar todos os elementos do processo de fabricação;
- 2) parâmetros parciais: coeficientes de normalização, unificação, precisão, rugosidade das superfícies; coeficiente de uso do material, etc.

Complexidade do produto

A engrenagem é uma peça de configuração bastante simples, tem forma dum disco simples, mas tem grande número dos dentes 4 ($z=30$) que têm superfícies laterais perfiladas de grau de precisão bastante alta e baixa rugosidade. Entretanto, os dentes são normalizados, têm módulo e ângulos de engrenamento e de inclinação normalizados. Por isso existem na venda as ferramentas e máquinas-ferramentas normalizadas para seu tratamento.

O furo 2 da engrenagem é outra superfície de alta precisão da dimensão diametral mas tem a forma simples e o diâmetro normalizado. O escatel 7 é uma superfície de precisão elevada da dimensão e da disposição. Uma dimensão do escatel (profundidade de 23,5 mm) não é normalizada mas esta dimensão pode ser obtida por orientação mútua da engrenagem e da ferramenta. Para este fim será necessário projectar e fabricar um dispositivo especial simples e pode-se usar uma brocha para escatel normalizada.

Para medição do batimento dos dentes 4 relativamente ao furo 2 e da assimetria do escatel 7 relativamente ao furo 2 será necessário projectar e fabricar os dispositivos ou medidores especiais ou especializados.

As superfícies 1, 2 e 7 têm chanfros 5, 6, e 8 das dimensões iguais ($1 \times 45^\circ$) o que facilita o seu tratamento e sua medição. Está previsto o arredondamento dos bordos vivos dos dentes de dois lados. Os chanfros e bordos vivos permitem diminuir a concentração das tensões, evitar fendas durante tratamento térmico, facilitar a orientação mútua das peças correspondentes durante montagem e evitar corte das peças conjugadas e dos dedos dos operários durante montagem.

Em total a peça contém 105 superfícies (veja Tabela 1), delas 60 superfícies são superfícies de boleoamento de precisão normal e 30 superfícies são ranhuras perfiladas dos dentes com alto grau de precisão. Além disso, há mais 2 superfícies de alta e elevada precisão (furo 2 e escatel 7) que complicam a fabricação da engrenagem.

Daí, pode-se fazer a conclusão que pela precisão e forma das superfícies a peça tem complexidade média ou reduzida.

Existência das bases tecnológicas cómodas e necessidade dos dispositivos especiais

O furo 2 e as faces 3 são as bases construtivas da engrenagem, servem para sua orientação no veio, deles depende também a precisão do engrenamento dos dentes. Por isso para diminuir os defeitos de colocação, o furo 2 junto com uma das faces 3 podem ser usados como bases tecnológicas principais. O furo 2 e uma das faces 3 representam as bases tecnológicas bastante seguras e cómodas para instalação da engrenagem nas máquinas-ferramentas. Mas para garantir alta precisão de orientação da engrenagem nas máquinas-ferramentas será necessário projectar, fabricar e usar os dispositivos especiais ou especializados que não terão a folga entre o furo 2 da engrenagem e a superfície do dispositivo onde será colocada a engrenagem.

A necessidade de garantir elevada precisão de orientação dos dentes 4 relativamente ao furo 2 (batimento $\leq 0,05$ mm) exige também o uso dos dentes 4 como base tecnológica para o

acabamento do furo 2 que deve ser feito antes de acabamento dos dentes. Para isso também será necessário projectar e fabricar um dispositivo especial ou especializado.

A necessidade de garantir elevada precisão de disposição do escatel relativamente ao eixo do furo (assimetria $\leq 0,05$ mm) também necessita o uso do furo como base tecnológica para trabalhar escatel e a projecção e fabricação de um dispositivo especial ou especializado de orientação da ferramenta relativamente ao furo.

Rigidez da peça

A engrenagem é uma peça bastante grossa e rígida, tem diâmetro externo $\phi 64$ mm e comprimento (espessura) 20 mm. Isso permitirá trabalhar a peça com altos regimes, alta produtividade, sem grandes deformações durante tratamento sob pressão, usinagem, tratamento térmico, sem precisar os elementos, dispositivos adicionais para aumentar sua rigidez.

Complexidade de trajectórias das ferramentas

Grande parte das superfícies da engrenagem representam superfícies dos dentes que têm uma forma perfilada bastante complexa. Para seu tratamento será necessário utilizar as máquinas-ferramentas e/ou as ferramentas especializadas. No caso de uso das ferramentas perfiladas (fresas de disco ou de cabo de módulo, ferros cortantes, etc.) a trajectória do seu deslocamento é rectilínea. No caso de uso das máquinas-ferramentas especializadas (fresadoras, escateladoras, rectificadoras para talhar dentes, etc.) os movimentos da ferramenta e da peça também são simples mas devem ser bem concordados, o que se garante por construção e ajustamento dos accionamentos das máquinas-ferramentas correspondentes. Mas é importante notar que os dentes da engrenagem observada são normalizados pelo módulo e por isso será possível utilizar as ferramentas e máquinas-ferramentas normalizadas, que já se fabricam em série com empresas apropriadas e estão na venda. As trajectórias de deslocamento das ferramentas durante o tratamento das outras superfícies da engrenagem são simples, rectilíneas.

Acesso às superfícies da peça, existência de entradas e saídas cómodas para ferramentas

O acesso a todas as superfícies da engrenagem é simples, todas elas são abertas. Por esta mesma razão todas as ferramentas têm cómodas entradas às superfícies a trabalhar e saídas das superfícies trabalhadas. Só que durante o tratamento da superfície cilíndrica externa 1 e dos dentes 4 o dispositivo de aperto da engrenagem na máquina não deve impedir a saída livre das ferramentas, deve ser de tamanho menor do diâmetro inferior dos dentes ou afastado bem dos dentes.

Possibilidade de tratamento simultâneo de algumas superfícies e algumas peças

Os dentes da engrenagem podem ser trabalhados nas máquina especializadas para talhar dentes que garantem o seu tratamento simultâneo usando o método de envolvimento como o método de formação da superfície. Este método de tratamento dos dentes é de maior produtividade em comparação com método de cópia nas fresadoras comuns onde os dentes se tratam separadamente, um por um. No princípio, pode-se trabalhar simultaneamente as superfícies cilíndricas e os chanfros, as faces e os chanfros ou alguns chanfros com algumas ferramentas simultaneamente ou usando as ferramentas combinadas. O tratamento simultâneo de algumas superfícies permite aumentar produtividade de tratamento.

Alem disso, algumas superfícies podem ser trabalhadas com uma mesma ferramenta, por exemplo, superfície cilíndrica externa, faces e chanfros externos, furo e chanfros internos se usar a ferramenta com ângulo $\varphi=45^{\circ}$. O uso de uma mesma ferramenta para trabalhar algumas

superfícies permite aumentar o nível da sua utilização e diminuir a quantidade das ferramentas necessárias.

Muito importante notar que se pode projectar os dispositivos que permitam instalar logo algumas peças e realizar o tratamento simultâneo de algumas superfícies. Assim podem ser trabalhados os cilindros externos 1, furos 2 e dentes 4 de algumas peças instaladas simultaneamente num dispositivo.

A seguir determinam-se alguns parâmetros quantitativos parciais de tecnologibilidade.

O coeficiente de normalização das superfícies calcula-se pela fórmula:

$$C_n = N_{sn} / N_{ts}, \quad (1)$$

onde N_{sn} é o número das superfícies de forma e dimensões normalizadas; N_{ts} é o número total de superfícies da peça.

No caso observado N_{ts} é igual a 105 (veja Tabela1), N_{sn} é igual a 103, não estão normalizadas duas superfícies - cilindro externo e escatel pois têm dimensões não normalizadas.

Daí: $C_n = 103 / 105 = 0,98$

O coeficiente de normalização é muito próximo a 1 o que significa que na maioria dos casos não é necessário projectar e fabricar as ferramentas e medidores especiais e a tecnologibilidade pelo este parâmetro é alta.

O coeficiente de unificação das superfícies calcula-se pela fórmula:

$$C_u = N_{su} / N_{ts}, \quad (2)$$

onde N_{su} é o número das superfícies unificadas, que têm forma parecida e podem ser trabalhadas com mesmas ferramentas.

No caso observado o número das superfícies unificadas é igual:

$$N_{su} = 30 \text{ (dentes 4)} + 2 \text{ (faces 3)} + 2 \text{ (chanfros 5)} + 2 \text{ (chanfros 6)} + 6 \text{ (chanfros 8)} + 60 \text{ (superfícies de boleamento)} = 102.$$

Daí: $C_u = 102 / 105 = 0,97$

O coeficiente de unificação é muito próximo a 1 o que significa que maior parte das superfícies trata-se com mesmas ferramentas cortantes e mede-se com mesmos medidores. Pois $C_u > 0,6$ a tecnologibilidade pelo este parâmetro é alta.

O coeficiente que toma em conta o número das superfícies N_{sp} que precisam ser usinadas calcula-se pela fórmula:

$$C_{su} = N_{spu} / N_{ts}, \quad (3)$$

onde N_{spu} é o número de superfícies que precisam ser usinadas.

Para caso observado: $C_{su} = 105 / 105 = 1$

O coeficiente C_{su} é igual a 1, isso significa que todas as superfícies precisam ser usinadas o que complica o processo de tratamento.

O coeficiente de precisão das superfícies calcula-se pela fórmula:

$$C_p = 1 - 1/G_{tm}, \quad (4)$$

onde G_{tm} é o grau de tolerância médio:

$$G_{tm} = \frac{\sum G_{ti} \cdot n_{si}}{N_{ts}}, \quad (5)$$

onde G_{ti} é o grau de tolerância da i -ma superfície; n_{si} é o número das superfícies da mesma i -ma precisão.

Aqui há de tomar em conta que os grau de precisão dos dentes e das roscas não são compatíveis com graus de tolerância das dimensões lineares e por isso ou para estas superfícies os coeficientes de precisão devem ser calculadas separadamente, ou seu grau de precisão deve ser transformado para um valor compatível com grau de tolerância da dimensões lineares. Por exemplo, o 7 grau de precisão dos dentes pode-se igualar ao 7 grau de tolerância das dimensões lineares e o 6 grau de precisão das roscas pode-se igualar ao 12 grau de tolerância das dimensões lineares.

No caso observado temos (veja Tabela 1):

- número das superfícies do 14 grau de tolerância:
2 (chanfros 5) + 2 (chanfros 6) + 6 (chanfros 8) + 60 (superfícies de boleamento 9) = 70;
- número das superfícies do 12 grau de tolerância: 1 (cilindro 1, $\phi 64h12$);
- número das superfícies do 10 grau de tolerância:
1 (escatel 7, 6D10) + 2 (faces 3, batim. 0,05) = 3;
- número das superfícies do 7 grau de tolerância:
1 (furo 2, $\phi 20H7$) + 30 (dentes 4, $\phi 60h7$) = 31.

Daí: $G_{tm} = (14 \cdot 70 + 12 \cdot 1 + 10 \cdot 3 + 7 \cdot 31) / 105 = 11,8$ $C_p = 1 - 1/11,8 = 0,92$

Pelo valor do grau de tolerância médio das superfícies G_{tm} e pelo número das superfícies de alta precisão (dentes da engrenagem e furo central - 31 superfície de 105) pode-se concluir que a precisão da engrenagem é elevada.

O coeficiente de rugosidade das superfícies ou rugosidade R_z média calculam-se pelas fórmulas:

$$C_r = \frac{N_{ts}}{\sum C_{ri} \cdot n_{sri}} \quad (6) \quad \text{ou} \quad R_{zm} = \frac{\sum R_{zi} \cdot n_{sri}}{N_{ts}}, \quad (7)$$

onde C_{ri} é a classe de rugosidade da i -ma superfície; n_{sri} é o número das superfícies da mesma i -ma rugosidade; R_{zm} é a rugosidade R_z média; R_{zi} é a altura média aritmética da irregularidade da i -ma superfície;

Para caso observado temos (veja Tabela 1):

- número das superfícies da rugosidade R_z 40 – 4 classe:
1 (cilindro 1) + 2 (chanfros 5) + 2 (chanfros 6) + 6 (chanfros 8) + 60 (superfícies de boleamento) = 71
- número das superfícies da rugosidade R_z 20 – 5 classe: 2 (faces 3)
- número das superfícies da rugosidade R_a 2,5 ou R_z 10 – 6 classe: 1 (escatel 7)
- número das superfícies da rugosidade R_a 1,25 ou R_z 5 – 7 classe:
1 (furo 2) + 30 (dentes 4) = 31

Daí: $R_{zm} = (40 \cdot 71 + 20 \cdot 2 + 10 \cdot 1 + 5 \cdot 31) / 105 = 29 \mu m$

$$C_r = 105 / (4 \cdot 71 + 5 \cdot 2 + 6 \cdot 1 + 7 \cdot 31) = 0,2$$

A engrenagem tem uma rugosidade um pouco reduzida ($R_{zm} = 29 \mu\text{m}$ e $C_r = 0,2$), 31 superfície têm baixa rugosidade o que dificulta o seu tratamento.

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

$$C_{um} = m_{pa} / m_{pb} = V_{pa} / V_{pb}, \quad (8)$$

onde m_{pa} e V_{pa} são a massa e volume da peça acabada; m_{pb} e V_{pb} são a massa e volume da peça bruta.

O volume da peça acabada ou da peça bruta pode ser calculado como soma dos volumes elementares da peça acabada ou da peça bruta.

A peça acabada pode-se apresentar através 3 volumes (veja Fig.1): 1) volume V_1 do disco externo; 2) volume V_2 do furo; 3) volume V_3 do escatel. O volume dos chanfros e superfícies de boleamento pode-se tomar em conta através do coeficiente, por exemplo, 0,98. Assim o volume da peça acabada pode ser calculado pela formula: $V_{pa} = 0,98 (V_1 - V_2 - V_3)$.

O volume dum cilindro calcula-se pela fórmula: $V = \pi \cdot D^2 \cdot L / 4$ (9)

O volume dum prisma calcula-se pela fórmula: $V = L \cdot B \cdot H$ (10)

Como diâmetro do disco externo pode-se tomar o diâmetro primitivo dos dentes para tomar em conta a existência das ranhuras entre dentes, daí:

$$V_1 = 3,1416 \cdot 0,6^2 \cdot 0,2 / 4 = 0,05655 \text{ dm}^3$$

$$V_2 = 3,1416 \cdot 0,2^2 \cdot 0,2 / 4 = 0,00628 \text{ dm}^3$$

$$V_3 = 0,2 \cdot 0,06 \cdot 0,035 = 0,00042 \text{ dm}^3$$

$$V_{pa} = 0,98(0,05655 - 0,00628 - 0,00042) = 0,04885 \text{ dm}^3$$

A forma da peça bruta está determinada no capítulo 4 e suas dimensões – no capítulo 8.

Para peça bruta em forma dum disco sem furo o seu volume:

$$V_{pb} = 3,1416 \cdot 0,673^2 \cdot 0,233 / 4 = 0,082885 \text{ dm}^3$$

Daí: $C_{um} = 0,04885 / 0,082885 = 0,59$

Este valor fica próximo aos limites admissíveis para produção em série média (0,6 ÷ 0,8).

A massa da peça calcula-se pela fórmula: $m = \rho \cdot V$, (11)

onde ρ é a densidade do material da peça em kg/dm^3 ou g/cm^3 .

Desta maneira: a massa da peça acabada $m_{pa} = 7,8 \cdot 0,04885 = 0,381 \text{ kg}$

a massa da peça bruta $m_{pb} = 7,8 \cdot 0,082855 = 0,6465 \text{ kg}$.

Os parâmetros globais da tecnologibilidade estão apresentados nos capítulos seguintes.

Os tempos de execução das fases estão apresentados nos cartões da rota e das fases (veja Anexos).

O tempo de fabricação dum lote das engrenagens e preço de custo dum engrenagem estão apresentados no capítulo 11.

Conclusão

Em total a peça tem 105 superfícies (veja Tabela 1). Grande número das superfície (30) são superfícies perfiladas dos dentes 4 com alto grau de precisão e baixa rugosidade. Além disso,

há mais 4 superfícies (furo 2, faces 3 e escatel 7) de alta e elevada precisão e baixa rugosidade que complicam a fabricação da engrenagem. Para produção destas engrenagens será necessário projectar e fabricar uma série dos dispositivos para sua instalação nas máquinas-ferramentas, medição de alguns parâmetros, orientação das ferramentas, etc. Daí, pode se concluir que a peça tem configuração simples, mas a complexidade da sua produção é média ou elevada e a eficácia da sua produção depende principalmente da eficácia de fabricação dos dentes 4 e do furo 2.

3. Escolha do tipo de produção e do método de trabalho

A escolha do tipo de produção e do método de trabalho realiza-se em duas etapas [8]. No início o tipo de produção escolhe-se de maneira aproximada em função das dimensões do produto, da complexidade da sua configuração e do programa mensal ou anual de fabricação deste produto. Com base da decisão tomada na primeira etapa realiza-se a projecção posterior até determinar fases e tempo da sua execução. A seguir (no capítulo 11) faz-se a verificação da escolha do tipo de produção segundo ao coeficiente de ocupação das máquinas-ferramentas. Se a verificação dar outro tipo de produção será necessário fazer certas correcções das decisões tomadas, diminuir ou aumentar o nível de mecanização, automatização, universalização, especialização do equipamento utilizado, da sua quantidade e complexidade, etc.

No caso observado temos produto de tamanhos pequenos, de complexidade média da sua configuração e da produção, o programa anual $Q_a = 2400$ peças/ano. A escolha inicial pode ser feita segundo ao programa mensal, dimensões e complexidade do produto da Tabela 2.

O programa mensal calcula-se pela fórmula: $Q_m = Q_a / 12$.

Daí, para o projecto observado temos: $Q_m = 2400 / 12 = 200$ peças/mês

Para estas condições segundo a Tabela 2 escolhe-se a produção em série média. Neste caso para aumentar a eficácia de produção será necessário utilizar bastante largamente os métodos de tratamento de maior produtividade, será necessário utilizar bastante largamente o equipamento especial e especializado de acção rápida e automatizada.

Tabela 2. Escolha prévia do tipo de produção [8]

Tipo de produção	Programa mensal de fabricação dos produtos		
	grandes, complexos	médios	pequenos, simples
Produção unitária	1 - 2	2 - 5	5 - 10
Em série pequena	2 - 5	5 - 25	10 - 50
Em série média	2 - 25	25 - 150	50 - 300
Em série grande	25 - 150	150 - 300	300 - 1000
Em massa	> 150	> 300	> 1000

Na produção em série média pode ser utilizado o método de trabalho sem cadeia ou em cadeia. Para nosso caso escolhemos o método de trabalho sem cadeia para evitar gastos ligados com reinstalação do equipamento (o equipamento na oficina do Departamento de Engenharia Mecânica está instalado segundo os seus tipos, algum equipamento tem a instalação fixa e não pode ser deslocado sem desmontagem do fundamento e outro pode ser deslocado pois é instalado nos apoios amortecedores).

A quantidade das peças acabadas num lote Q_{pal} pode ser tomado igual ao programa mensal, bimensal ou calculada pela fórmula:

$$Q_{pal} = \sqrt{\frac{2 \cdot Q_a \cdot C_r}{C_{aa}}}, \quad (12)$$

onde C_r é custo de um reajustamento de uma máquina-ferramenta para outra fase; C_{aa} é o custo de armazenamento anual de um produto.

Tomamos Q_{pl} igual ao programa mensal: $Q_{pal} = Q_m = 200$ peças

A quantidade das peça bruta Q_{pbl} para fabricar um lote tomamos maior em 5% para compensar as peças defeituosas possíveis. Dai, $Q_{pbl} = 210$ peças.

4. Escolha da peça bruta

A engrenagem está feita do aço de construção 40X GOST4543-71. No estado normalizado este aço é bem plástico (tem o alongamento relativo $\delta=20\%$) o que permite utilizar os métodos de tratamento sob pressão a quente para obtenção das peças brutas: laminagem, forjadura, estampagem, etc. Pois o tipo de produção é de série média, a configuração e as dimensões da peça bruta tem que ser aproximadas as da peça acabada. Pois a configuração da peça acabada é bastante simples (disco sem escalões) e o diâmetro externo é bastante pequeno (diâmetro > 64 mm e comprimento > 20 mm) para fazer peça bruta podemos cortar o disco do varão laminado normalizado com diâmetro $\phi 71$ ou podemos cortar um cilindro do diâmetro um pouco menor (por exemplo, $\phi 55$) e do comprimento maior para fazer um disco de tamanho pretendido através de forjadura com uso da matriz.

A segunda variante além de economia do material permite receber peça bruta com estrutura fibrosa que tem melhores propriedades mecânicas, melhor trabalha com flexão, tensões cíclicas, com desgaste, etc. Por isso escolhemos a segunda variante. No início será cortado um cilindro com serra de disco do varão da secção circular do menor diâmetro mas de maior comprimento que dará o volume do cilindro igual ao volume da peça bruta. A seguir por forjadura a quente com uso da matriz será fabricado um disco com forma e dimensões pretendidas.

A peça bruta pode ter forma do disco com ou sem furo, com sobressessuras no cilindro externo 1, nas faces 3 e no furo 2 (se peça bruta tiver furo). A forma (com ou sem furo) e as dimensões da peça bruta, estão determinadas no capítulo 8, depois de cálculos das sobressessuras.

Para escolha inicial do método de obtenção e da forma da peça bruta podemos tomar a sobressessura igual 2 mm de um lado qualquer da peça. Neste caso peça bruta vai ter o diâmetro externo $\phi 68$ mm, o comprimento 24 mm e o diâmetro do furo (se tiver) de $\phi 16$ mm.

O volume da peça bruta sem furo será igual:

$$V_{pbl} = 3,1416 \cdot 0,68^2 \cdot 0,24 / 4 = 0,08716 \text{ dm}^3$$

O coeficiente de uso do material neste caso será igual:

$$C_{um1} = 0,04885 / 0,08716 = 0,56.$$

Para variante da peça bruta com furo vamos ter:

$$V_{pbl2} = 0,08716 - 3,1416 \cdot 0,16^2 \cdot 0,24 / 4 = 0,08233 \text{ dm}^3$$

$$C_{um2} = 0,04885 / 0,8233 = 0,59$$

Comparando os coeficientes de uso do material para duas variantes podemos dizer que a peça bruta com furo dá pequena economia de material (só cerca de 3%) que, alias, é bastante barato. Por outro lado, o processo de estampagem de disco com furo é mais caro de que sem furo, pois vai precisar duas estampas (uma para fazer cavidades de dois lados e outra para abrir furo, pois o diâmetro do furo é menor do seu comprimento) e vai ter menor produtividade, pois serão necessárias duas fases, em vez de uma para fazer disco sem furo.

Tomando tudo isso em conta e que o tipo de produção que temos é em série média escolhemos forjadura com matriz como método de obtenção da peça bruta e disco sem furo como forma da peça bruta. Pelas mesmas razões escolhemos 16 grau de tolerância das dimensões da peça forjada e rugosidade R_z 300 das suas superfícies.

5. Escolha das bases tecnológicas

Durante a análise tecnológica do produto já foi dito que como bases tecnológicas principais da engrenagem há de usar o furo 2 e uma das faces que são bases construtivas.

Estas superfícies podem ser usadas como bases tecnológicas para tratamento do cilindro externo 1, dos dentes 4, duma das faces 3 (outra face deve ser feita antes de fabricação do furo) e dos chanfros 5 e 6. O esquema de instalação da peça para trabalhar as superfícies acima indicadas está apresentada da figura 3.

O uso do furo 2 e duma das faces 3 como bases tecnológicas permite liquidar 5 graus de liberdade da peça. Fica não eliminada só a rotação relativamente ao eixo do furo. Pois não há nenhuma superfície que precisa uma orientação angular relativamente ao eixo do furo isso fica suficiente para garantir a disposição necessária da engrenagem no espaço.

Se evitar a folga entre o furo da peça e os elementos de instalação do dispositivo (usando grampos autocentrantes, ajustamento com aperto, etc.), garante-se (teoricamente) a disposição certa do eixo do furo que pode ser considerado como uma base tecnológica. Daí, o uso do furo 2 e duma das faces 3 como bases tecnológicas, garante a coincidência das bases tecnológicas com as bases de medição para maior parte das dimensões das superfícies acima indicadas.

Para as dimensões diametrais o defeito de posicionamento sempre fica igual a zero, pois o diâmetro não depende da disposição da peça [8]. Daí, para $\phi 64h12$ do cilindro externo 1 e $\phi 60h7$ dos dentes 4 temos: $\varepsilon_{p\phi 64} = \varepsilon_{p\phi 60} = 0$. O passo entre dentes $6,28j_s7$ não depende da disposição da peça e determina-se por ferramenta, por isso $\varepsilon_{p6,28} = 0$.

Quando bases tecnológicas coincidem com bases de medição das dimensões, o defeito de posicionamento delas fica igual a zero [8]. Para dimensão 45° dos chanfros 5 e 6 a base tecnológica e de medição é o eixo da peça; para dimensão $20h12$ e para dimensão 1 mm do chanfro esquerdo 5 a base tecnológica e de medição é a face esquerda. Daí:

$$\varepsilon_{p45}^0 = \varepsilon_{p20} = \varepsilon_{p1} = 0.$$

Se outros chanfros 5 e 6 e as faces 3 se tratam numa mesma instalação os defeitos de posicionamento dos seus catetos também ficam iguais a zero, i.é: $\varepsilon_{p1} = 0$

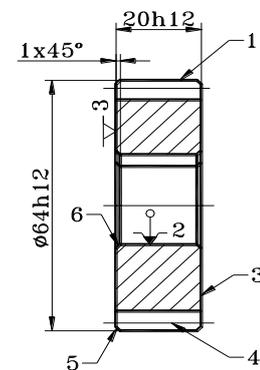


Figura 3. Esquema de instalação para trabalhar superfícies 1, 3, 4, 5 e 6

Os defeitos de aperto para estas dimensões também podem ser iguais a zero, se realizar o aperto com forças radiais autocentrantes, o que se garante com uso duma bucha de três grampos autocentrantes [8], ou seja: $\varepsilon_{a\phi64} = \varepsilon_{a\phi60} = \varepsilon_{a6,28} = \varepsilon_{a45}^0 = \varepsilon_{a20} = \varepsilon_{a1} = 0$.

Daí, os defeitos de colocação para estas dimensões vão ser iguais ao defeito de dispositivo que pode ser tomado igual de 1/5 a 1/3 da menor tolerância das dimensões que se recebem com instalação num mesmo dispositivo. As dimensões $\phi64h12$, $20h12$ e $1x45^0$ recebem-se com uma mesma instalação na máquina. A menor tolerância tem o comprimento $20h12$ - $IT_{20h12} = 210 \mu\text{m}$ [6], daí: $IT_{\min}/5 = 210/5 = 42 \mu\text{m}$ e $IT_{\min}/3 = 210/3 = 70 \mu\text{m}$.

Tomamos $\varepsilon_{d\phi64} = \varepsilon_{d45}^0 = \varepsilon_{d20} = \varepsilon_{d1} = 70 \mu\text{m}$ para diminuir os custos do dispositivo.

As dimensões dos dentes recebem-se noutra instalação, noutra máquina e, pois elas têm menor tolerância, o dispositivo para trabalhar dentes deve ser feito com maior precisão. Para garantir a dimensão $\phi60h7$ dos dentes há de usar o dispositivo com defeito de $IT_{\min}/5 = 30/5 = 6 \mu\text{m}$ até $IT_{\min}/3 = 30/3 = 10 \mu\text{m}$. Além disso, o defeito do dispositivo deve ser menor da metade da tolerância de coaxialidade dos dentes relativamente ao furo central que fica igual a $50/2 = 25 \mu\text{m}$. Tomamos $\varepsilon_{d\phi60} = \varepsilon_{d6,28} = 10 \mu\text{m}$.

O defeito de colocação determina-se pela fórmula:

$$\varepsilon_c = \sqrt{\varepsilon_p^2 + \varepsilon_a^2 + \varepsilon_d^2} \quad (13)$$

Daí: $\varepsilon_{c\phi64} = \varepsilon_{c45}^0 = \varepsilon_{c20} = \varepsilon_{c1} = 70 \mu\text{m}$; $\varepsilon_{c\phi60} = \varepsilon_{c6,28} = 10 \mu\text{m}$

Pois os defeitos de colocação ficam menores da metade de tolerância das dimensões observadas, pode-se utilizar o método automático de obtenção destas dimensões. Isso significa que para uma série das peças utiliza-se a mesma disposição de cada ferramenta que foi determinada durante o ajustamento da máquina. Depois de um certo desgaste da ferramenta pode aparecer necessidade de fazer um reajustamento, uma correção de disposição das ferramentas.

O uso do furo central 2 e duma das faces 3 como bases tecnológicas permite garantir a coaxialidade do cilindro externo 1, dos dentes 4, dos chanfros 5 e 6 e a perpendicularidade das faces 3 ao furo 2.

Há de notar que o uso das mesmas bases tecnológicas para tratamento de algumas superfícies (1, 3, 4, 5 e 6) representa uma certa constância das bases tecnológicas o que permite diminuir o número necessário dos dispositivos diversos, o número de reinstalações da peça e assim diminuir o custo de fabricação.

O furo central 2 e uma das faces 3 também pode e devem ser usados como bases tecnológicas para trabalhar o escatel 7 para garantir a simetria relativamente ao furo. Mas neste caso utiliza-se outro esquema de instalação, com aperto perpendicular a face e assim perpendicular as cotas do escatel $6D10$ e $23,5H11$, que se realiza através de força de corte (fig. 4).

A dimensão $6D10$ não depende da disposição da peça, garante-se por largura da ferramenta, por isso $\varepsilon_{c6} = 0$. A dimensão $23,5H11$ tem como base de medição a geratriz do furo central 2 que não coincide com bases tecnológicas. O defeito de posicionamento da dimensão $23,5H11$ ficará igual a soma da metade de tolerância do furo central no momento de tratamento do escatel e da folga máxima entre o furo e elemento de

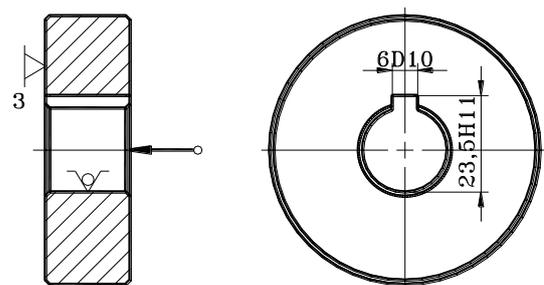


Figura 4. Esquema de instalação para trabalhar escatel 7

instalação do dispositivo. Neste momento o furo 2 estará feito com 8^0 grau de tolerância (veja capítulo 7). Se tomar o ajustamento entre o furo e o elemento de instalação do dispositivo H8/h8, vamos ter $\varepsilon_{p23,5} = 33/2 + 2 \cdot 33 = 82,5 \mu\text{m}$.

Os defeitos de aperto para dimensões 6D10 e 23,5H11 ficam iguais a 0, pois forças de aperto são perpendiculares as cotas, i.é $\varepsilon_{a6} = \varepsilon_{a23,5} = 0$. Os defeitos do dispositivo neste caso tomamos em função da menor tolerância que tem a dimensão 6D10, i.é de $IT_{\min} = 48/5 \approx 9 \mu\text{m}$ até $IT_{\min} = 48/3 = 16 \mu\text{m}$. Além disso, o defeito de dispositivo deve ser menor da metade de tolerância da simetria, ou seja $50/2 = 25 \mu\text{m}$. Tomamos $\varepsilon_{d6} = \varepsilon_{d23,5} = 16 \mu\text{m}$.

Daí temos: $\varepsilon_{c6} = 16 \mu\text{m}$ e $\varepsilon_{c23,5} = \sqrt{82,5^2 + 16^2} = 84 \mu\text{m}$.

Pois o defeito de colocação da dimensão 6D10 fica menor da metade de tolerância (i.é $16 < 48/2 = 24 \mu\text{m}$) esta dimensão pode ser recebida por método automático da obtenção das dimensões. Para dimensão 23,5H11 o defeito de colocação fica maior da metade da sua tolerância (i.é $84 > 130/2 = 65 \mu\text{m}$) por isso o método automático da obtenção das dimensões não pode ser usado. Alteramos o ajustamento entre o furo e o elemento de instalação do dispositivo de H8/h8 para H8/j_s7. Neste caso vamos ter a folga máxima igual a $33 + 21/2$ e daí: $\varepsilon_{p23,5} = 33/2 + 33 + 21/2 = 60 \mu\text{m}$ e $\varepsilon_{c23,5} = \sqrt{60^2 + 16^2} = 62 \mu\text{m}$.

Assim o defeito de colocação da dimensão 23,5H11 fica menor da metade da sua tolerância (i.é $62 < 130/2 = 65 \mu\text{m}$), por isso esta dimensão nestas condições já pode ser recebida por método automático da obtenção das dimensões.

Para trabalhar furo 2, uma das faces 3 e um chanfro interno 6 no início, quando ainda não há superfícies trabalhadas, como bases tecnológicas podem ser usadas a superfície cilíndrica externa 1 e uma das faces 3 (fig. 5). Neste caso ficam eliminadas 5 graus de liberdade (fica não eliminada só a rotação da peça relativamente ao seu eixo) o que é suficiente para trabalhar superfícies acima indicadas. Para diâmetro do furo o defeito de colocação $\varepsilon_{c\phi 20} = 0$, pois o furo ainda não existe.

Para a dimensão 20h12 das faces a base tecnológica coincide com a de medição (a base tecnológica e de medição é a face esquerda) e por isso anula-se o defeito de posicionamento e de aperto, i.é: $\varepsilon_{p20} = 0$.

O defeito de aperto para dimensão 20h12

$\varepsilon_{a20} = 0$, pois as forças de aperto são perpendiculares a cota. O defeito de

colocação neste caso fica igual ao defeito de dispositivo que pode ser tomado de 1/5 a 1/3 da tolerância da dimensão observada. Tomamos $\varepsilon_{c21h12} = 210/3 = 70 \mu\text{m}$.

Pois os defeitos de colocação para estas dimensões ficam menores da metade das sua tolerâncias, então, pode ser usado o método automático de obtenção destas dimensões.

Para o acabamento do furo 2 e das faces 3 como bases tecnológicas há de usar as superfícies involutas dos dentes 4 e uma das faces 3 para garantir a coaxialidade dos dentes 4 e a perpendicularidade das faces 3 com furo 2 (fig. 6). Estas bases tecnológicas eliminam todos os 6 graus de liberdade da peça. Se utilizar o aperto com três grampos autocentrantes especiais serão anulados os defeitos de posicionamento e de aperto e os defeitos de colocação ficam iguais ao defeito de dispositivo que podem ser tomados de 1/5 a 1/3 da menor

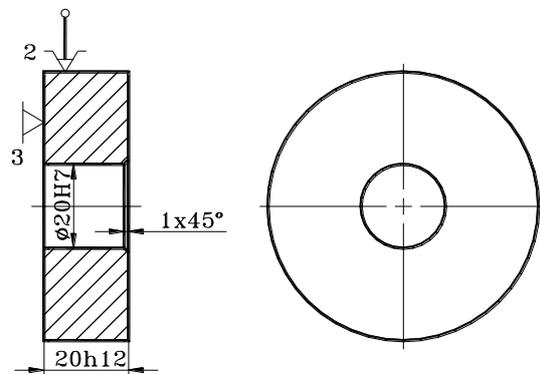
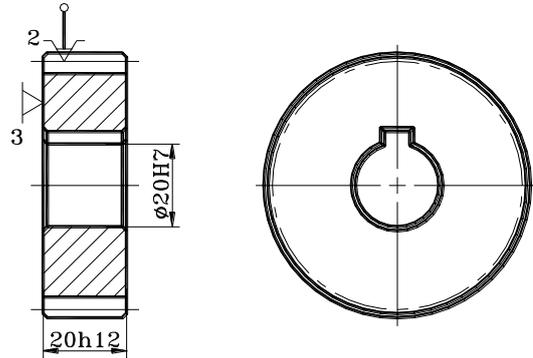


Figura 5. Esquema de instalação para trabalhar superfícies 2, 3 e 6

tolerância das dimensões observadas. Neste caso a menor tolerância tem furo e podemos tomar $\varepsilon_{c\phi 20H7} = \varepsilon_{c20h12} = 21/3 = 7 \mu\text{m}$ o que permite usar o método automático de obtenção destas dimensões, pois fica menor da metade da sua tolerância.

Figura 6. Esquema de instalação para acabamento do furo 2 e das faces 3



6. Escolha da sequência de tratamento das superfícies

Antes da escolha da sequência de tratamento das superfícies faz-se o agrupamento de todas as superfícies que podem ser trabalhadas numa mesma maneira. Num grupo incluem as superfícies que têm mesma forma, grau de precisão e rugosidade [8].

Para nosso caso temos seguintes grupos:

1. Cilindro externo 1 - $\phi 64h12$, $R_z 40$;
2. Furo central 2 - $\phi 20H7$, $R_a 1,25$;
3. Faces 3 - $20h12$, batimento axial 0,05, $R_z 20$;
4. Dentes 4 - $\phi 60h7$, coaxialidade 0,05 com furo 2, $R_a 1,25$;
5. Chanfros circulares externos 5 e internos 6 - $1 \times 45^\circ$, $\pm IT14/2$, $R_z 40$;
6. Escatel 7 - $B=6D10$, simetria 0,05, $R_a 2,5$;
7. Chanfros rectilíneos 8 ($1 \times 45^\circ$) e superfícies de boreamento 9 ($R 0,16$) - $\pm IT14/2$, $R_z 40$.

A seguir faz-se a escolha da sequência de tratamento das superfícies de cada grupo que permite garantir a forma, grau de precisão e rugosidade pretendidas.

Cilindro externo 1 - $\phi 64h12$, $R_z 40$

O primeiro método de formação do cilindro 1 é forjadura que garante 16 grau de tolerância e rugosidade $R_z 300$ [6]. Pois estes grau de tolerância e rugosidade são muito maiores dos valores pretendidos, escolha-se o último método de tratamento que garante a precisão pretendida. Como último método de tratamento pode ser utilizado o torneamento ou a fresagem de semiacabamento que garantem 12 grau de tolerância e rugosidade $R_z 40$ [6]. O torneamento pode ser realizado com ferro cortante para cilindrar com pastilha de liga dura e a fresagem com fresa cilíndrica de cabo de aço rápido, usando mesa giratória. Destes duas variantes o torneamento parece que tenha maior rendimento pois a ferramenta de liga dura permite trabalhar com maior velocidade de que de aço rápido, embora a fresa tenha maior número dos dentes. Além disso, o ferro cortante é mais barato de que fresa, por isso escolhemos o torneamento de semiacabamento como último método de tratamento.

Pois o primeiro método de tratamento garante precisão muito baixa e a diferença entre o grau de tolerância do primeiro e último método é igual a 4, e a relação entre a rugosidade depois de primeiro e último tratamento é igual a 7,5, pode-se esperar que não sejam necessários os métodos intermediários de tratamento desta superfície, pois o sistema tecnológico neste caso é bastante rígido.

A sequência de tratamento escolhida do cilindro externo 1 está apresentada na tabela a seguir.

N	Método de tratamento	Grau de tolerância IT	Rugosidade R_z
1	Forjadura	16	300
2	Torneamento de semiacabamento	12	40

Furo central 2 - $\phi 20H7$, $R_a 1,25$

Pois foi decidido não fazer furo na peça forjadura, como primeiro método de formação do furo central pode ser brocagem comum que garante 12 grau de tolerância e $R_z 80$. Pois estes parâmetros são muito longe dos necessários, escolhemos o último método de tratamento que garante a precisão pretendida. Como último método de tratamento podem ser usados: rectificação de acabamento, brocheamento de acabamento e mandrilagem de acabamento. O brocheamento e mandrilagem não garantem elevada precisão de disposição do furo. Além disso, o acabamento do furo será feito depois de têmpera e revenimento alto. Neste caso a brocha e o mandril, de preferência, devem ser feitos com dentes de liga dura, por isso será necessário projectar e fabrica-los por encomenda individual, e assim eles serão bem caros o que não é conveniente para produção em série média. Por outro lado, entre as máquinas-ferramentas disponíveis não há rectificadoras, por isso será necessário encomendar este tratamento noutra empresa, mas esta variante garante não só a precisão da dimensão mas também a precisão da forma e disposição do furo. Daí, escolhemos como último método de tratamento a rectificação de acabamento que garante a precisão de 7 grau de tolerância e rugosidade $R_a 1,25$.

Pois a diferença entre o grau de tolerância e a relação entre a rugosidade depois de primeiro e último métodos de tratamento são maiores dos limites recomendados, há de escolher métodos intermediários de tratamento do furo 2. Pois o grau de tolerância do primeiro método de tratamento é igual a 12 e a rugosidade é $R_z 80$, e tomando em conta as recomendação [7, 8] (diminuição recomendável do grau de tolerância até 2 unidades e da rugosidade até 4 vezes), o segundo método de tratamento pode garantir 10 grau de tolerância e rugosidade $R_z 20$, o terceiro – 8 grau de tolerância e $R_a 2,5$.

Como segundo método de tratamento podem ser usados: torneamento de acabamento, alargamento de desbastamento, mandrilagem de desbastamento, brocheamento de desbastamento e rectificação de desbastamento. O segundo método de tratamento faz-se antes de têmpera e revenimento alto, por isso os alargadores, mandris e brochas podem ser feitos de aço rápido. O torneamento de acabamento não pode ser realizado da oficina, pois não há tornos de elevada precisão e este método é de menor produtividade. O alargamento e a mandrilagem de desbastamento podem ser realizados no equipamento disponível mas o seu rendimento é menor de brocheamento. O alargador e mandril são ferramentas bastante baratas e embora neste caso será necessário utilizar dois tratamentos intermediários, a brocagem, o alargamento e a mandrilagem podem ser realizados numa mesma máquina, numa mesma fase.

O brocheamento permite diminuir o grau de tolerância logo em $3 \div 4$ unidades e rugosidade a $6 \div 8$ vezes, pois as forças de corte são equilibradas no sentido radial e sistema tecnológico fica rígido. Neste último caso elimina-se um tratamento intermediário, o brocheamento garante alta produtividade, embora brocha é uma ferramenta especial, é bastante cara e o brocheamento vai precisar uma máquina e uma fase adicional. Entre as máquinas-ferramentas disponíveis não há brocheadoras, só se tentar fazer o brocheamento num torno comum, usando cabeçote móvel, carro longitudinal e um dispositivo adicional ou este tratamento pode ser encomendado noutra empresa.

A rectificação de desbastamento, no princípio, pode ser realizada num torno, usando um dispositivo para rectificação especial (que há de projectar e fabricar), que se coloca no torno

em vez do porta-ferramenta e que deve ser projectado e fabricado. Além disso, embora a rectificação é um método de alta produtividade, neste caso será necessário realizar dois tratamentos intermediários, pois o sistema tecnológico neste caso será de baixa rigidez.

Tomando todo isso em conta, tentando no máximo utilizar o equipamento disponível e ferramentas mais baratas, escolhemos a seguinte sequência de tratamento do furo 2.

N	Método de tratamento	Grau de tolerância IT	Rugosidade R_z
1	Brocagem comum	12	80
2	Alargamento de acabamento	10	20
3	Mandrilagem de acabamento	8	10
3	Rectificação de acabamento	7	5

Faces 3 – 20h12, batimento axial 0,05, R_z 20.

As faces 3 fiquem formadas na peça bruta, por isso o primeiro método de tratamento das faces 3 é forjadura com 16 grau de tolerância das dimensões e rugosidade R_z 300. Pois estes parâmetros ficam longe dos pretendidos, escolhemos o último método de tratamento. O último método de tratamento tem que garantir 12 grau de tolerância da dimensão 20h12, 9 grau de tolerância do batimento axial (segundo a tolerância de batimento axial das faces 0,05 e [6]) e rugosidade R_a 2,5.

Neste caso como último método de tratamento podem ser usados: torneamento de acabamento ou rectificação de desbastamento. A oficina disponível não tem tornos de alta precisão nem rectificadoras. Neste caso este tratamento deve ser encomendado noutra empresa. Entre duas variantes possíveis escolha-se o torneamento de acabamento, pois é mais fácil encomendar um torno de que uma rectificadora, embora o torneamento é de menor produtividade.

Pois há grande diferença entre grau de tolerância e rugosidade do primeiro e último métodos de tratamento, é necessário incluir pelo menos um método de tratamento intermediário que garante 12 grau de tolerância da dimensão, 11 grau de tolerância do batimento axial da face e rugosidade R_z 50. Estes parâmetros da precisão da face 3 pode ser garantidos por torneamento de semiacabamento dum dos tornos disponíveis (de precisão normal).

Daí, escolha-se a seguinte sequência de tratamento das faces 3.

N	Método de tratamento	Grau de tolerância IT		Rugosidade R_z
		da dim.	do batim.	
1	Forjadura	16	16	300
2	Torneamento de semiacabamento	12	11	50
3	Torneamento de acabamento	12	9	20

Dentes 4 - $\phi 60h7$, coaxialidade 0,05 com furo 2, R_a 1,25

Os dentes 4 não ficam formados na peça bruta e como primeiro método de tratamento dos dentes podem ser: fresagem de desbastamento dos dentes numa fresadora universal, usando cabeçote divisara universal, com fresa de módulo de disco, ou com fresa de módulo de cabo, ou fresagem de desbastamento numa fresadora para talhar dentes com fresa de módulo sem fim. Os primeiros dois métodos de tratamento podem ser realizados no equipamento disponível mas são de baixa produtividade, pois trata-se dente por dente. O tratamento numa fresadora para talhar dentes só pode ser realizado noutra empresa por encomenda e tem a produtividade muito maior de que primeiros métodos. Além disso, o tratamento numa fresadora para talhar dentes garante maior precisão e permite diminuir a sequência de

tratamento dos dentes. Por isso, se for possível fazer encomenda, utilizamos como primeiro método de tratamento dos dentes a fresagem numa fresadora para talhar dentes com fresa de módulo sem fim com 9 classe de precisão e rugosidade R_z 20. Caso contrário a fresagem pode ser realizado numa fresadora universal com fresa de módulo de disco e cabeçote divisora disponíveis.

Pois o primeiro método de tratamento não garante a precisão necessário escolhemos o último método de tratamento dos dentes. Como último método de tratamento dos dentes que garante 7 classe de precisão dos dentes e rugosidade R_a 1,25 podem ser: rectificação de acabamento numa rectificadora para talhar dentes, escatamento de acabamento numa escateladora para talhar dentes ou rasuramento na máquina de rasurar. Nenhuma destas máquinas fica disponível na oficina. O acabamento dos dentes será feito depois de têmpera e revenimento alto. Neste caso, o escatamento de acabamento e rasuramento, não são métodos convenientes, pois utilizam as ferramentas de aço rápido. Por isso escolhemos como último método de tratamento a rectificação dos dentes numa rectificadora para talhar dentes que será realizada por encomenda noutra empresas.

Assim, a sequência de tratamento dos dentes será seguinte.

N	Método de tratamento	Grau de tolerância IT	Rugosidade R_z
1	Fresagem de desbastamento	9	20
2	Rectificação de acabamento	7	5

Chanfros circulares externos 5 e internos 6 – $1x45^\circ$, $\pm IT14/2$, R_z 40

Os chanfros 5 e 6 não ficam formados na peça bruta. Além disso, sua precisão é normal e pode ser atingida por um único tratamento. O método de tratamento dos chanfros circulares mais conveniente é torneamento de semiacabamento que se realiza com um ferro cortante para chanfrar externo e interno respectivamente e garante 14 grau de tolerância e rugosidade R_z 40.

N	Método de tratamento	Grau de tolerância IT	Rugosidade R_z
1	Torneamento unitário (semiacabamento)	14	40

Aqui há de notar que os chanfros internos 6 também podiam ser trabalhados com escareador, mas um dos chanfros será trabalhado com instalação pelo furo 2 e neste caso o escareador podia cortar o dispositivo de instalação.

Escatel 7 – $B=6D10$, simetria 0,05, R_a 2,5

O escatel não fica formada na peça bruta. Como primeiro método de tratamento do escatel podem ser: escatamento de desbastamento numa escateladora ou fresadora universal, usando um dispositivo correspondente, ou brocheamento. O método de escatamento e desbastamento não garante a precisão pretendida e depois desbastamento será necessário fazer o acabamento. Além disso, o escatamento é um método de baixa produtividade. O brocheamento do escatel é um método de alta produtividade. Além disso, na venda há brochas para escateis normalizados, só precisa projectar e fabricar uma guia para brocha que vai corresponder ao diâmetro do furo e vai garantir a profundidade pretendida do escatel. Pois na oficina não há broheadora, o brocheamento do escatel pode ser feito num torno.

Assim, será um único método de tratamento do escatel.

N	Método de tratamento	Grau de tolerância IT	Rugosidade R_z
1	Brocheamento de desbastamento	10	10

Chanfros rectilíneos 8 (1x45⁰) e superfícies de boleamento 9 (R 0,16) - ± IT14/2, R_z 40.

Os chanfros rectilíneos 8 dos bordos do escatel e superfícies de boleamento 9 dos bordos laterais dos dentes pode ser feitos por lima. Embora, no princípio, a limagem é um processo de baixa produtividade, os raios de boleamento 9 são muito pequenos e podem ser trabalhados por um único passo da lima. Os chanfros 8 também são bastante pequenos e seu tratamento será bastante fácil.

Os resultados da escolha da sequência de tratamento das superfícies da engrenagem observada estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3. Sequência de tratamento das superfícies.

Nº ref	Nome e parâmetros do grupo das superfícies	Nº p/o	Método de tratamento	Grau toler.	Rugos. Rz	Grupo tratam
1	Cilindro ext. $\phi 64h12$, R _z 40	1	Forjadura a quente	16	300	1
		2	Torneamento de semiacabamento	12	40	2
2	Furo $\phi 20H7$, /o/0,05, Ra1,25	1	Brocagem	12	80	3
		2	Alargamento	10	20	3
		3	Mandrilagem	8	10	3
		4	Rectificação de acabamento	7	5	4
3	FACES L=20h12, 0,05, R _z 20	1	Forjadura a quente	16	300	1
		2	Torneamento de semiacabamento	12	50	2/3
		3	Torneamento de acabamento	12	20	5
4	Dentes da roda cil. externa m=2, z=30, CP7, Ra1,25	1	Fresagem de desbastamento	9	20	6
		2	Rectificação de acabamento	7	5	7
5	Chanfros circ. ext. 1x45°, R _z 40	1	Torneamento unitário	14	40	2
6	Chanfros circ. int. 1x45°, R _z 40	1	Torneamento unitário	14	40	2/3
7	Escatel B=6D10, 23,5H11, Ra2,5	1	Brocheamento de desbastamento	10	10	8
8	Chanfros rectilíneos 1*45, R _z 40	1	Limagem	14	40	9
9	Superfícies boleam. R0,25, R _z 40	1	Limagem	14	40	9
	Toda peça	1	Têmpera	-	-	10
	Toda peça	1	Revenimento alto	-	-	11

7. Elaboração da rota de tratamento

Agrupamento dos métodos de tratamento das superfícies diferentes

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

Fazemos este agrupamento observando os métodos de tratamento apresentados na tabela 3 de cima para baixo. No primeiro grupo pode-se incluir a forjadura do cilindro externo 1 e das faces 3. No segundo grupo pode-se incluir tratamentos que se realizam num torno de precisão normal com instalação no furo central e numa face 3. Neste grupo pode-se incluir: o torneamento de semiacabamento do cilindro externo 1, dum face 3 e dos chanfros 5 de dois lados e do chanfro 6 dum lado. No terceiro grupo pode-se incluir os tratamentos que se realizam num torno de precisão normal com instalação num cilindro externo 1 e numa face 3. Neste grupo entram: brocagem, alargamento e mandrilagem do furo central 1, torneamento de semiacabamento dum face 3 e dum chanfro 6. Estes tratamentos não podem ser incluídos no

segundo grupo junto com tratamento do cilindro externo 1, pois tornos precisam diferentes dispositivos de aperto das peças. O tratamento das faces e dos chanfros seria melhor dividir entre estes dois grupos para equilibra-los e diminuir os defeitos de colocação.

A rectificação de acabamento do furo central representa 4 grupo e realiza-se numa rectificadora dos furos. O torneamento de acabamento das faces 3 pode ser realizado num torno de elevada precisão e entra no 5 grupo. A fresagem de desbastamento dos dentes, que se realiza numa máquina de talhar dentes por fresagem, representa 6 grupo. A rectificação de acabamento dos dentes realiza-se numa rectificadora para rectificar dentes e entra no 7 grupo. O brocheamento do escatel realiza-se numa máquina de brochar horizontal e entra no 8 grupo. Estes grupos são simples pois não podem ser combinadas com tratamento doutras superfícies.

A limagem dos chanfros rectilíneos do escatel e das superfícies de boleamento dos dentes realizam-se num posto de serralheiro e representa o 9 grupo de tratamentos. E finalmente a têmpera e o revenimento alto criam o 10 e 11 grupos de tratamento respectivamente, pois podem ser realizados num forno do mesmo tipo mas aquecidos até diferentes temperaturas.

Os resultados de agrupamento dos métodos de tratamento (números de grupos) para engrenagem observada estão apresentados na última coluna da tabela 3.

Criação das fases e determinação da sequência da sua execução

Nesta etapa no início observam-se todos os grupos de tratamento e analisa-se se todos os tratamentos que entraram num grupo podem ser realizados numa fase ou será necessário dividi-los entre algumas fases. Para isso analisa-se: que tipo de máquina-ferramenta pode ser usado para tratamento das superfícies que entraram num grupo; quantas ferramentas são necessários para tratamento de todas as superfícies que entraram num grupo; se haver lugar numa máquina-ferramenta para instalar todas as estas ferramentas; que complexidade pode ter fase.

Depois de criação das fases determina-se a sequência de execução das fases, ou seja própria rota de tratamento. Tomando em conta que no início fabrica-se peça bruta, a seguir faz-se o tratamento das bases tecnológicas, depois o desbastamento e semiacabamento das superfícies principais, de maior área e precisão, a seguir o tratamento das superfícies auxiliares (chanfros, ranhuras, pequenos planos, furos, etc.). O tratamento das superfícies auxiliares pode ser realizado nas fases de tratamento das bases tecnológicas ou superfícies principais depois do seu desbastamento ou semiacabamento. Se for necessário, a seguir faz-se o tratamento térmico e no fim o acabamento das superfícies principais de elevada e alta precisão.

Na produção em série média bastante grande parte do equipamento que se usa para tratamento deve ser automatizada, podem ser usadas as máquinas universais para tratamentos simples, máquinas semiautomáticas e automáticas, máquinas de ferramentas e árvores múltiplas, máquinas de comando programado.

Para nosso caso o primeiro grupo é forjadura que pode ser realizada numa prensa numa fase. O posto de forjadura deve ser equiparado também com um forno eléctrico para aquecer peças até o estado da estrutura austenítica. Mas antes de forjadura deve ser prevista uma fase de corte do varão em cilindro que pode ser realizada numa máquina de cortar.

O segundo grupo de tratamentos pode ser realizado num torno paralelo de comando manual ou num torno de comando programado numa só fase pois precisa só 2 ferramentas: um ferro cortante para cilindrar, facejar e abrir chanfros externos com $\varphi = 45^\circ$ e outro ferro cortante para abrir chanfros internos. Mas esta fase só pode ser feita depois de tratamento do furo 2 (que é base tecnológica) que ainda não existe. O terceiro grupo de tratamentos também pode ser realizado num torno de comando manual ou num torno de comando programado numa só

fase pois precisa só 5 ferramentas: um ferro cortante para facejar, uma broca, um alargador, um mandril e um ferro cortante para abrir chanfro interno. O furo central 2 e uma face 3 podem ser usadas a seguir como bases tecnológicas para trabalhar o cilindro externo 1, outra face 3 e chanfros 5 e 6.

A seguir pode ser realizada a fase de brocheamento do escatel que pode ser realizada num torno paralelo. Depois de brocheamento do escatel pode-se fazer a fresagem dos dentes (6^o grupo de tratamento). A fresagem dos dentes seria melhor fazer numa fresadora para talhar dentes com fresa de módulo sem fim de alta produtividade. Esta máquina não é disponível e se não for possível fazer este tratamento por encomenda ele pode ser realizado numa fresadora universal com fresa de módulo de disco disponíveis. Depois de fresagem dos dentes podem ser feitas duas fases de tratamento térmico: têmpera (para aumentar resistência e dureza do material) e a seguir revenimento alto (para tirar tensões internas e aumentar plasticidade e resiliência). O tratamento térmico pode ser realizado nos fornos eléctricos correspondentes.

Depois de tratamento térmico no início há de melhorar bases tecnológicas principais: faces e furo central. Pode-se começar numa fase de tratamento das faces num torno paralelo, usando como bases tecnológicas o furo central e face oposta. A seguir pode-se realizar uma fase de rectificação do furo central numa rectificadora dos furos, usando como bases tecnológicas as ranhuras entre dentes e uma das faces.

Depois disso pode-se realizar uma fase de rectificação dos dentes numa rectificadora para talhar dentes, usando como bases tecnológicas o furo central e uma das faces. No fim do processo podem ser realizadas uma fase de limagem dos bordos agudos e outra fase de controle final da qualidade das engrenagens nos postos de serralharia e de controle de qualidade respectivamente.

A rota de tratamento elaborada com indicação dos números das fases, seu nome e conteúdo, tipo de equipamento e bases tecnológicas está apresentada na tabela 4.

Tabela 4. Rota de tratamento da engrenagem

N _{fase}	Nome e conteúdo	Equipamento	Bases tecnológicas
10	Corte do varão	Máquina de cortar	Cilindro externo 1 e face 3
20	Forjadura a quente	Prensa, forno el.	
30	Torneamento de semiacabamento numa face direita 3, brocagem, alargamento e mandrilagem do furo central 2 e abertura dum chanfro direito 6	Torno	Cilindro externo 1 e face 3
40	Torneamento de semiacabamento do cilindro externo 1, numa face esquerda 3 e dos chanfros 5 e 6	Torno	Furo 2 e face 3
50	Brocheamento do escatel 7	Broheadora	Furo 2 e face 3
60	Fresagem de desbastamento dos dentes 4	Fresadora para talhar dentes	Furo 2 e face 3
70	Têmpera	Forno eléctrico	
80	Revenimento alto	Forno eléctrico	
90	Torneamento de acabamento das faces 3	Torno	Furo 2 e face 3
100	Rectificação do furo central 2	Rectificadora cilíndrica interna	Face 3 e dentes 4
110	Rectificação de acabamento dos dentes 4	Rectificadora para talhar dentes	Furo 2 e face 3
120	Boleamento dos bordos agudos 9 nas extremidades dos dentes e abertura dos chanfros 8 no escatel	Bancada de serralheiro	
130	Controle final dos parâmetros da peça	Bancada de controlador	

8. Cálculo das sobresspessuras e cotas intermediárias

Pois temos a produção de série média e para diminuir gastos do material realizamos o cálculo das sobresspessuras e cotas intermediárias para superfícies principais da engrenagem. O cálculo das sobresspessuras e cotas intermediárias realiza-se em conformidade com teoria apresentada em [1, 8], sequência e dados de tratamento das superfícies correspondentes apresentadas na tabela 3 do capítulo 6.

Cilindro externo 1

Os resultados do cálculo das sobresspessuras para dimensão diametral do cilindro externo da engrenagem estão apresentados na tabela 5.

Tabela 5. Resultados de cálculo das sobresspessuras do cilindro externo 1 ($\phi 64h12, R_z 40$)

Nº p/o	Método de tratamento	Grau de tolerância IT	Rugosidade R_z em μm	Camada defeituosa h em μm	Defeito no espaço ρ em μm	Defeito de colocação ε_c em μm	Sobresspessura min admis $2Z_{\text{min ad}}$ em μm
1	Forjadura a quente	16	300	400	79	-	-
2	Torneamento s/acabamento	12	40	60	4	70	1612

A sequência de tratamento do cilindro externo, os valores do grau de tolerância IT e da rugosidade R_z depois de cada tratamento tomam-se da tabela 3 do capítulo 6. Os valores da espessura da camada defeituosa h_i tomam-se da tabela 7.1 [6] em conformidade com possibilidades dos métodos de tratamento correspondentes e tomando em conta a relação recomendada [1, 8]:

$$h = (1 \div 2) \cdot R_z \quad (14)$$

O defeito no espaço para primeiro tratamento ρ_1 calcula-se pela fórmula seguinte:

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_c^2 + \rho_d^2 + \rho_e^2}, \quad (15)$$

onde ρ_c é o defeito de curvatura da superfície observada; ρ_d é o defeito de deslocamento numa parte da superfície observada relativamente a outra parte da mesma superfície; ρ_e é o defeito de excentricidade da superfície observada relativamente a base tecnológica.

A fórmula geral de cálculo da curvatura no espaço ρ_c é:

$$\rho_c = \Delta_{ce} \cdot L, \quad (16)$$

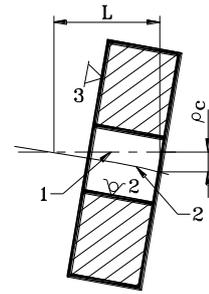
onde Δ_{ce} é a curvatura específica em $\mu\text{m}/\text{mm}$ (toma-se de 0,1 a 5 $\mu\text{m}/\text{mm}$, depende do método de obtenção da superfície observada e da rigidez da peça observada); L é o comprimento em mm do cateto que determina o defeito de curvatura no espaço (depende do esquema de instalação da peça observada na máquina-ferramenta durante tratamento da superfície observada).

O esquema de cálculo do defeito de curvatura do cilindro externo ρ_c está apresentado na figura 7. Nesta figura: 1 é a linha de rotação da peça; 2 é o eixo do cilindro externo; L é o comprimento que determina ρ_c . A curvatura do cilindro externo aparece por causa da sua não perpendicularidade a face, da inclinação do eixo do cilindro observado relativamente ao eixo do furo base (por causa da curvatura da broca, etc.), por causa da curvatura do mandril onde se coloca a peça observada, etc.

Para caso observado (forjadura) pode-se tomar $\Delta_{ce} = 2 \mu\text{m}/\text{mm}$ (pois a peça é bastante rígida) e $L = 30 \text{ mm}$, daí:

$$\rho_c = 2 \cdot 30 = 60 \mu\text{m}$$

Figura 7. Esquema de cálculo do ρ_c do cilindro externo



O defeito de deslocamento duma parte da superfície observada relativamente a outra parte da mesma superfície para caso observado não existe ($\rho_d = 0$), pois toda superfície observada forma-se durante forjadura numa matriz (fig. 8).

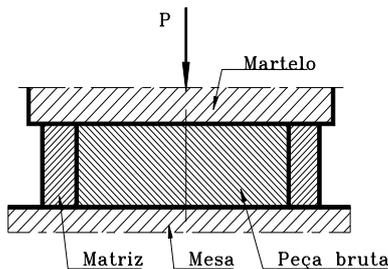


Figura 8. Esquema de forjadura

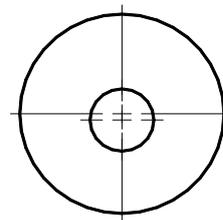


Figura 9. Excentricidade do cilindro externo relativamente ao furo base

O defeito de excentricidade da superfície observada (cilindro externo) relativamente a base tecnológica (furo central) ρ_e (fig. 9) aparece por causa de deslocamento da broca durante sua entrada no material, por causa de não coincidência do eixo de rotação da peça com eixo do cilindro observado (por causa dos defeitos da bucha de três grampos), etc. O valor deste defeito depende da rigidez da broca, da simetria da sua afiação, dos defeitos de fabricação da bucha de três grampos que se usa durante brocagem, etc. Este defeito não pode superar a metade do defeito de coaxialidade do cilindro externo e do furo central. Tomamos $\rho_e = 50 \mu\text{m}$, pois podemos usar a broca curta, o alargamento, mandrilagem posterior sem reinstalação da peça e a rectificação vão ainda diminuir a excentricidade.

Neste caso vamos tem:
$$\rho_1 = \sqrt{60^2 + 0^2 + 50^2} = 79 \mu\text{m}$$

Os defeitos no espaço para tratamentos posteriores determinam-se pela fórmula:

$$\rho_i = C_c \cdot \rho_{i+1}, \quad (17)$$

onde C_c é o coeficiente de correcção (toma-se de 0,02 a 0,06); ρ_{i+1} é o defeito no espaço depois de tratamento anterior.

Para torneamento de semiacabamento vamos ter: $\rho_2 = 0,05 \cdot 79 \approx 4 \mu\text{m}$.

O defeito de colocação para dimensão $\phi 64\text{h}12$ foi determinado no capítulo 5.

As sobressessuras mínimas admissível para as dimensões diamétricas calculam-se pela fórmula seguinte:

$$2 Z_{\min ad i} = 2 (R_{z i+1} + h_{i+1} + \sqrt{\rho_{i+1}^2 + \varepsilon_{ci}^2}) \quad (18)$$

Para caso observado temos: $2 Z_{\min ad 2} = 2 (300 + 400 + \sqrt{79^2 + 70^2}) = 1612 \mu\text{m}$

Depois de cálculo das sobressessuras faz-se cálculo das dimensões intermediárias. As dimensões intermediárias calculam-se de baixo para cima, começando das dimensões limites (máxima e mínima) que podem ser obtidas depois de último tratamento. Para dimensões externas com desvio fundamental h (temos $\phi 64h12$) as dimensões limites que podem ser obtidas depois de último tratamento determinam-se pelas fórmulas seguintes:

$$d_{\max u} = d_{\text{nom}} \qquad d_{\min u} = d_{\text{nom}} - IT_u \qquad (19)$$

Para caso observado temos: $d_{\max 2} = 64 \text{ mm}$ $d_{\min 2} = 64 - 0,3 = 63,7 \text{ mm}$

As dimensões limites externas diametraes que podem ser obtidas depois de tratamentos anteriores calculam-se pelas fórmulas seguintes:

$$d_{\max i} = (d_{\min i+1} + 2 Z_{\min i+1} + IT_i)_{\text{arr}\uparrow}$$

$$d_{\min i} = d_{\max i} - IT_i \qquad (20)$$

onde todas as parcelas instalam-se em mm e $\text{arr}\uparrow$ significa arredondamento com excesso até o nível do valor da tolerância.

Para forjadura do cilindro externo temos:

$$d_{\max 1} = 63,7 + 1,612 + 1,9 \rightarrow 67,3 \text{ mm} \qquad d_{\min 1} = 67,3 - 1,9 = 65,4 \text{ mm}$$

Depois de cálculo das dimensões limites verifica-se a sobressessura mínima. A sobressessura mínima para qualquer tratamento não pode ser menor da sobressessura mínima admissível calculada antes. Para dimensões diametraes externas a sobressessura mínima depois de arredondamento da dimensão máxima calcula-se pela fórmula seguinte:

$$2 Z_{\min i} = d_{\min i-1} - d_{\min i} \qquad (21)$$

Para caso observado temos: $2 Z_{\min 2} = 64,5 - 63,7 = 1,7 \text{ mm} = 1700 \mu\text{m}$

O valor da sobressessura mínima (1700 μm) fica maior do valor da sobressessura mínima admissível (1612 μm) por isso as dimensões intermediárias determinadas servem. Os resultados do cálculo das dimensões intermediárias para dimensão diametral do cilindro externo 1 estão apresentados na tabela 6.

Tabela 6. Resultados de cálculo das dimensões intermediárias do cilindro externo 1

Nº p/o	Método de tratamento	Tolerância IT em μm	Dimensões calculadas		Sobressessura min calc. $2Z_{\min \text{ calc.}}$ em μm
			$D_{\max \text{ calc}}$ mm	$D_{\min \text{ calc}}$ mm	
1	Forjadura a quente	1900	67,3	65,4	-
2	Torneamento s/acabamento	300	64	63,7	1700

Minha proposta de Negócio na Internet!

Eu procuro os parceiros com quem vamos fazer o Negócio na Internet. Precisa o acesso a internet, 3-4 h/dia e um investimento financeiro.

Vou ensinar tudo o que seja necessário. O negócio na Internet tem grande perspectiva, permite ficar financeiramente independente dentro dum tempo.

Vejam o clipe <http://b21v.ru/pt/?p=39> e contactam comigo pelo Skype alexandre.kourbatov

Furo central 2

Os resultados do cálculo das sobressessuras para dimensão diametral do furo central da engrenagem estão apresentados na tabela 7.

Tabela 7. Resultados de cálculo das sobressessuras do furo central 2 ($\phi 20H7$, $R_a 1,25$)

Nº p/o	Método de tratamento	Grau de tolerância IT	Rugosidade R_z em μm	Camada defeituosa h em μm	Defeito no espaço ρ em μm	Defeito de colocação ε_c em μm	Sobressessura min admis $2Z_{\text{min ad}}$ em μm
1	Brocagem comum	12	80	100	64	-	-
2	Alargamento de acabamento	10	20	40	2	0	488
3	Mandrilagem de acabamento	8	10	20	0	0	124
4	Rectificação de acabamento	7	5	10	0	7	74

A sequência de tratamento do furo central, os valores do grau de tolerância IT e da rugosidade R_z depois de cada tratamento tomam-se da tabela 3 do capítulo 6. Os valores da espessura da camada defeituosa h_i tomam-se em conformidade com recomendações (fórmula (11)) acima apresentadas. O defeito no espaço para primeiro tratamento ρ_1 determina-se pela fórmula (15). O esquema de calculo dos defeitos de curvatura ρ_c e de excentricidade ρ_e do furo central está apresentado na figura 10. O defeito de curvatura do furo ρ_c aparece por causa da curvatura da broca e o defeito da excentricidade ρ_e por causa do seu deslocamento durante penetração no material e por causa de não coaxialidade do eixo de rotação da peça com eixo da broca. Se usar a broca curta, pode-se tomar $\Delta_{ce} = 2 \mu\text{m} / \text{mm}$. O comprimento $L = 20 \text{ mm}$.

Daí, pela fórmula (16): $\rho_c = 2 \cdot 20 = 40 \mu\text{m}$

O defeito de deslocamento duma parte do furo relativamente a outra sua parte fica igual a zero ($\rho_d = 0$), pois furo forma-se por broca. O defeito da excentricidade do furo relativamente a base tecnológica tomamos igual a $50 \mu\text{m}$ ($\rho_e = 50 \mu\text{m}$).

Daí, pela fórmula (15): $\rho_1 = \sqrt{40^2 + 0^2 + 50^2} = 64 \mu\text{m}$

Os defeitos no espaço depois de tratamentos posteriores determinam-se pela fórmula (17):

$$\rho_2 = 0,03 \cdot 64 \approx 2 \mu\text{m}; \quad \rho_3 = 0,03 \cdot 3 \approx 0 \mu\text{m}$$

O defeito de colocação do furo para primeiro tratamento não existe, pois o furo ainda não existia. Para segundo e terceiro tratamentos $\varepsilon_{c2} = \varepsilon_{c3} = 0$, pois estes tratamentos realizam-se sem reinstalação da peça. Para último tratamento $\varepsilon_{c4} = 7 \mu\text{m}$ (veja capítulo 5).

As sobressessuras mínimas admissível para as dimensões diametraes calculam-se pela fórmula (18):

$$2 Z_{\text{min ad } 2} = 2 (80 + 100 + \sqrt{64^2 + 0^2}) = 488 \mu\text{m}$$

$$2 Z_{\text{min ad } 3} = 2 (20 + 40 + \sqrt{2^2 + 0^2}) = 124 \mu\text{m}$$

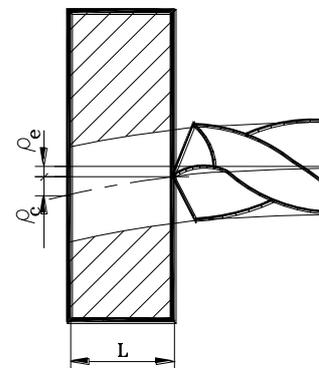


Figura 10. Esquema de calculo dos defeitos no espaço do furo central

$$2 Z_{\min \text{ ad } 4} = 2 (10 + 20 + \sqrt{0^2 + 7^2}) = 74 \mu\text{m}$$

As dimensões intermediárias do furo calculam-se de baixo para cima, começando das dimensões limites (máxima e mínima) que podem ser obtidas depois de último tratamento. Para dimensões internas com desvio fundamental H (temos $\phi 20\text{H}7$) as dimensões limites que podem ser obtidas depois de último tratamento determinam-se pelas fórmulas seguintes:

$$d_{\max u} = d_{\text{nom}} + IT_u \qquad d_{\min u} = d_{\text{nom}} \qquad (19)$$

Para caso observado temos: $d_{\max 4} = 20 + 0,021 = 20,021 \text{ mm}$; $d_{\min 4} = 20 \text{ mm}$

As dimensões limites internas diamétricas que podem ser obtidas depois de tratamentos anteriores calculam-se pelas fórmulas seguintes:

$$d_{\min i} = (d_{\max i+1} - 2 Z_{\min \text{ ad } i+1} - IT_i)_{\text{arr}\downarrow}$$

$$d_{\max i} = d_{\min i} + IT_i \qquad (20)$$

onde todas as parcelas instalam-se em mm e $\text{arr}\downarrow$ significa arredondamento com deficiência até o nível do valor da tolerância ou até um valor da ferramenta normalizada (quando a dimensão da peça garante-se por dimensão da ferramenta).

Para furo central temos:

$$d_{\min 3} = 20,021 - 0,074 - 0,033 \rightarrow 19,9 \text{ mm}; \qquad d_{\max 3} = 19,9 + 0,033 = 19,933 \text{ mm};$$

$$d_{\min 2} = 19,933 - 0,124 - 0,084 \rightarrow 19,7 \text{ mm}; \qquad d_{\max 2} = 19,7 + 0,084 = 19,784 \text{ mm};$$

$$d_{\min 1} = 19,784 - 0,488 - 0,21 \rightarrow 19 \text{ mm}; \qquad d_{\max 1} = 19 + 0,21 = 19,21 \text{ mm};$$

Verificamos as sobressessuras mínimas. Para dimensões diamétricas internas a sobressessura mínima depois de arredondamento da dimensão mínima calcula-se pela fórmula seguinte:

$$2 Z_{\min i} = d_{\max i} - d_{\max i-1} \qquad (21)$$

$$\text{Para furo central temos: } 2 Z_{\min 2} = 19,784 - 19,21 = 0,574 \text{ mm} = 574 \mu\text{m};$$

$$2 Z_{\min 3} = 19,933 - 19,784 = 0,149 \text{ mm} = 149 \mu\text{m};$$

$$2 Z_{\min 4} = 20,021 - 19,933 = 0,088 \text{ mm} = 88 \mu\text{m};$$

Todas as sobressessuras calculadas ficam maiores das sobressessuras mínimas admissíveis determinadas antes e apresentadas na tabela 7 por isso as dimensões intermediárias determinadas servem. Os resultados de cálculo das dimensões intermediárias para furo central estão apresentados na tabela 8.

Tabela 8. Resultados de cálculo das dimensões intermediárias do furo central 2

Nº p/o	Método de tratamento	Tolerância IT em μm	Dimensões calculadas		Sobressessura min calc. $2Z_{\min \text{ calc.}}$ em μm
			$D_{\max \text{ calc}}$ mm	$D_{\min \text{ calc}}$ mm	
1	Brocagem comum	210	19,21	19	-
2	Alargamento de acabamento	84	19,784	19,7	574
3	Mandrilagem de acabamento	33	19,933	19,9	149
4	Rectificação de acabamento	21	20,021	20	88

Faces 3

Os resultados de cálculo das sobressessuras para dimensão da face 3 da engrenagem estão apresentados na tabela 9.

Tabela 9. Resultados de cálculo das sobressessuras para faces 3 (20h12, R_z 2,5)

Nº p/o	Método de tratamento	Grau de tolerância IT	Rugosidade R_z em μm	Camada defeituosa h em μm	Defeito no espaço ρ em μm	Defeito de colocação ϵ_c em μm	Sobressessura min admis $Z_{\text{min ad}}$ em μm
1	Forjadura a quente	16	300	400	128	-	-
2	Torneamento s/acab. dir.	12	50	100	7	70	898
3	Torneamento s/acab. esq.	12	50	100	7	70	898
4	Torneamento acab. dir.	12	20	30	1	7	164
5	Torneamento acab. esq.	12	20	30	1	7	164

As faces esquerda e direita tratam-se cada uma por sua vez. A sequência de tratamento das faces, os valores do grau de tolerância IT e da rugosidade R_z depois de cada tratamento tomam-se da tabela 3 do capítulo 6. Os valores da espessura da camada defeituosa h_i tomam-se em conformidade com recomendações (11) acima apresentadas. O esquema de cálculo dos defeitos de curvatura ρ_c das faces é parecida ao esquema para cilindro externo e está apresentado na figura 11. O defeito de curvatura da face ρ_c aparece principalmente por causa da sua não perpendicularidade ao furo base e por causa da curvatura do mandril onde se coloca a peça observada.

Para caso observado já foi tomada $\Delta_{ce} = 2 \mu\text{m}/\text{mm}$ e temos $L = 64 \text{ mm}$, daí, pela fórmula (16): $\rho_c = 2 \cdot 64 = 128 \mu\text{m}$

O defeito de deslocamento numa parte da superfície observada relativamente a outra parte da mesma superfície para caso observado não existe ($\rho_d = 0$), pois uma face forma-se durante forjadura inteiramente por mesa e outra por martelo (fig. 8).

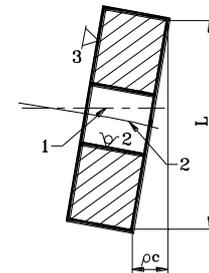


Figura 11. Esquema de cálculo do ρ_c das faces

O defeito da excentricidade das faces $\rho_e = 0$, pois sua excentricidade não influi na dimensão observada (20h12). Daí, pela fórmula (15): $\rho_1 = 128 \mu\text{m}$

Os defeitos no espaço depois dos tratamentos posteriores determinam-se pela fórmula (17):

$$\rho_2 = \rho_3 = 0,03 \cdot 128 \approx 7 \mu\text{m}; \quad \rho_4 = \rho_5 = 0,03 \cdot 7 \approx 1 \mu\text{m}$$

Os defeitos de colocação das faces forem determinados no capítulo 5.

As sobressessuras para dimensões unilaterais das faces podem ser calculadas pela fórmula:

$$Z_{\text{min ad } i} = R_{z\ i+1} + h_{i+1} + \rho_{i+1} + \epsilon_{ci+1} \quad (22)$$

Para faces 3 temos: $Z_{\text{min ad } 2,3} = 300 + 400 + 128 + 70 = 898 \mu\text{m}$

$$Z_{\text{min ad } 4,5} = 50 + 100 + 7 + 7 = 164 \mu\text{m}$$

As dimensões limites depois de cada tratamento determinamos de baixo para cima. Depois de último tratamento as dimensões limites correspondem a cota 20h12 e determinam-se segundo a fórmula (19), ou seja:

$$d_{\max 5} = 20 \text{ mm} \quad \text{e} \quad d_{\min 5} = 20 - 0,21 = 19,79 \text{ mm}$$

As dimensões unilaterais externas que se recebem depois de tratamentos anteriores determinam-se pelas fórmulas:

$$d_{\max i} = (d_{\min i+1} + Z_{\min ad i+1} + IT_i)_{\text{arr}\hat{u}} \quad (23)$$

$$d_{\min i} = d_{\max i} - IT_i$$

onde todas as parcelas instalam-se em mm e $\text{arr}\hat{u}$ significa arredondamento com excesso até o nível do valor da tolerância.

Para faces 3 temos:

$$d_{\max 4} = 19,79 + 0,164 + 0,21 \rightarrow 20,2 \text{ mm}; \quad d_{\min 4} = 20,2 - 0,21 = 19,99 \text{ mm};$$

$$d_{\max 3} = 19,99 + 0,164 + 0,21 \rightarrow 20,4 \text{ mm}; \quad d_{\min 3} = 20,4 - 0,21 = 20,19 \text{ mm};$$

$$d_{\max 2} = 20,19 + 0,898 + 0,21 \rightarrow 21,3 \text{ mm}; \quad d_{\min 2} = 21,3 - 0,21 = 21,09 \text{ mm};$$

$$d_{\max 1} = 21,09 + 0,898 + 1,3 \rightarrow 23,3 \text{ mm}; \quad d_{\min 1} = 23,3 - 1,3 = 22 \text{ mm};$$

Verificamos as sobressessuras mínimas obtidas depois de arredondamento das dimensões máximas. Para dimensões unilaterais externas a sobressessura mínima depois de arredondamento da dimensão máxima calcula-se pela fórmula seguinte:

$$Z_{\min i} = d_{\min i-1} - d_{\min i} \quad (24)$$

Para faces 3 vamos ter:

$$Z_{\min 2} = 22 - 21,09 = 0,91 \text{ mm} = 910 \text{ }\mu\text{m};$$

$$Z_{\min 3} = 21,09 - 20,19 = 0,9 \text{ mm} = 900 \text{ }\mu\text{m};$$

$$Z_{\min 4} = 20,19 - 19,99 = 0,2 \text{ mm} = 200 \text{ }\mu\text{m};$$

$$Z_{\min 5} = 19,99 - 19,79 = 0,2 \text{ mm} = 200 \text{ }\mu\text{m}$$

Todas as sobressessuras calculadas ficam maiores das sobressessuras mínimas admissíveis determinadas antes e apresentadas na tabela 9 por isso as dimensões intermediárias determinadas servem. Os resultados de cálculo das dimensões intermediárias para furo central estão apresentados na tabela 10.

Tabela 10. Resultados de cálculo das dimensões intermediárias das faces 3 (20h12)

Nº p/o	Método de tratamento	Tolerância IT em μm	Dimensões calculadas		Sobressessura min calc. $Z_{\min \text{ calc.}}$ em μm
			$D_{\max \text{ calc}}$ mm	$D_{\min \text{ calc}}$ mm	
1	Forjadura a quente	1300	23,3	22	-
2	Torneamento s/acab. dir.	210	21,3	21,09	910
3	Torneamento s/acab. esq.	210	20,4	20,19	900
4	Torneamento acab. dir.	210	20,2	19,99	200
5	Torneamento acab. esq.	210	20	19,79	200

Elaboração da peça bruta

Depois de cálculo das sobressessuras e cotas intermediárias pode-se finalizar a determinação da forma e das dimensões da peça bruta. Segundo os resultados obtidos temos: diâmetro externo da peça bruta - $\phi 67,3_{-1,9}$; comprimento - $23,3_{-1,3}$. Para facilitar a extracção da peça bruta da matriz o cilindro externo fazemos com uma conicidade de 5^0 . Os bordos da peça bruta devem ser arredondados com raio R 1 mm para diminuir as tensões internas e possibilidade de formação das fendas. O desenho da peça bruta está apresentado no anexo A.2.

9. Elaboração das fases

Na etapa de elaboração das fases para cada fase faz-se a escolha, cálculo de: 1) modelo da máquina-ferramenta; 2) tipo do dispositivo de aperto da peça a trabalhar na máquina-ferramenta; 3) sequência de execução das passagens; 4) tipo das ferramentas cortantes para cada passagem, sua disposição na máquina; 5) medidores para medição das dimensões, da forma e da disposição das superfícies trabalhadas; 6) parâmetros de todas as ferramentas (material da sua parte cortante, suas dimensões principais, geometria da parte cortante - ângulos de afiação); 7) regimes e do tempo de tratamento para cada passagem; 8) tempo de execução da fase. Para fases que se realizam nas máquinas-ferramentas de comando programado, além disso, determina-se trajectória de deslocamento de todas as ferramentas e elabora-se programa de comando.

9.1. Fase 10. Corte do varão

Segundo ao cálculo das sobressessuras, a peça bruta forjada tem diâmetro $\phi 67,3$ e comprimento 23,3 mm. A forjadura da peça do tipo de disco faz-se ao longo do eixo. Neste caso o cilindro que será forjado deve ter o diâmetro d_c igual ao diâmetro do varão d_v menor de $\phi 67,3$ e normalizado. Tomamos o diâmetro do varão d_v de que será cortado um cilindro para forjadura igual a 50 mm. O cilindro cortado deve ter o volume maior do volume da peça bruta em $1 \div 5\%$. Dai, o comprimento do cilindro L_c que deve ser cortado calculamos pela fórmula:

$$L_c = (4,04 \div 4,2) \cdot V_{pb} / (\pi \cdot d_v^2) \quad (25)$$

Para nosso caso temos: $L_c = 4,1 \cdot 0,082885 / (3,14 \cdot 0,5^2) = 0,433 \text{ dm} = 43,3 \text{ mm}$

Então, a fase 10 está constituída de uma passagem de corte do cilindro com diâmetro $\phi 50h14(0,62)$ e comprimento $L = 43,3h14(0,62)$. Os desvios das dimensões determinam-se em conformidade com valores de tolerância e desvio fundamental. Por sua vez, o valor da tolerância IT toma-se da tabela de tolerâncias 7.2 [6] em conformidade com dimensão nominal (neste caso respectivamente 50 e 43,3 mm), desvio fundamental (neste caso h) e grau de tolerância (neste caso 14). Ao desvio fundamental h corresponde o desvio superior $es = 0$ e o desvio inferior $ei = -IT$. $IT_{50h14} = 0,62$ e $IT_{42,2h14} = 0,52$.

O corte do varão pode ser feito com serrote mecânico, com serra de disco, com disco abrasivo ou a gás. Destes métodos o corte com serra de disco dá maior precisão da dimensão e garante elevada produtividade. A maior produtividade garante corte com disco abrasivo mas no DEMA não há máquina para cortar com discos abrasivos e este método é a $2 \div 3$ vezes mais caro. No DEMA há uma máquina de cortar de modelo “Thomas 315 ST” com serra de disco com diâmetro $\phi 315$ o que é suficiente para nosso caso, pois a espessura máxima do material que pode ser cortado com esta serra (veja fig. 12):

$$e_{\max} = (315 - 50) / 2 - 5 = 127,5 \text{ mm},$$

onde 315 é o diâmetro da serra de disco em mm; 50 é o diâmetro externo do anel de aperto da serra de disco em mm; 5 é a folga entre o anel de aperto da serra e o varão em mm.

A máquina “Thomas 315 ST” tem motor eléctrico de potência 1,5 kW e rendimento $\eta = 0,8$. O esquema de corte do varão está apresentado na fig. 12 e no anexo A.5. A serra de disco instala-se na árvore principal da máquina.

A instalação e o aperto do varão realiza-se por meio do torninho da máquina que tem uma régua para garantir o comprimento necessário da peça. O aperto realiza-se manualmente o que é admissível para produção em série média. A medição do comprimento do cilindro cortado pode ser realizado com paquímetro, pois o tipo de produção é de série média e a precisão da dimensão a medir é normal (14 grau de tolerância). Para sua medição pode ser utilizado o paquímetro com uma divisão 0,1 mm (que é menor de $IT_{42,2h14} / (3 \div 5) = 0,62 / (3 \div 5) = 0,12 \div 0,21$ mm) e com comprimento de 130 mm.

A fase começa de levantamento do varão e sua instalação entre mordentes do torninho na posição horizontal e encosto no apoio a direita (veja fig. 12), que garante o comprimento pretendido. Depois de atingir contacto com apoio faz-se aperto do varão por meio de alavanca. Depois de corte do cilindro faz-se desaperto e deslocamento do varão até apoio a direita para cortar outra peça bruta. O tempo necessário para instalação, aperto e desaperto do varão T_a pode-se determinar através de cronometragem destas acções ou da sua simulação, ou por estimativa. Tomamos $T_a = 0,3$ min.

Segundo à recomendação na pág. 8 [6] escolhemos o aço rápido como tipo do material da serra de disco (fresa) e da pág. 12 [6] escolhemos o aço rápido P6M5 (GOST) ou HS 6-5-2 (ISO) que é mais usado para fresas para trabalhar aços macios e de dureza reduzida. Da pág. 184 [1] escolhemos a serra de disco GOST 2679-73 com diâmetro $D_f = 315$ mm, diâmetro do furo $d_f = 40$ mm, largura $B_f = 3$ mm e número dos dentes $z = 100$. A serra de disco instala-se no mandril da máquina.

Segundo à recomendação da pág. 8 [6] escolhemos a afiação aguda dos dentes. Da tab. 78 pág. 27 [6] tomamos o ângulo de folga $\alpha = 20^\circ$ e da tab. 79 pág. 27 [6] tomamos o ângulo de ataque $\gamma = 15^\circ$. A serra de disco tem dentes rectos, ou seja ângulo $\omega = 0^\circ$.

Segundo ao esquema de corte (fig. 12) a profundidade de corte t fica igual ao diâmetro do varão e a largura da fresagem fica igual a largura da fresa, ou seja: $t = 50$ mm; $B = 2$ mm.

Segundo à tab. 43 [6] para trabalhar aços com $\sigma_r > 600$ MPa recomenda-se o avanço por dente $S_z = 0,04 \div 0,07$ mm/dente. No nosso caso temos a largura da peça ao longo do corte b igual a 50 mm. O passo circular entre os dentes da serra calcula-se pela fórmula:

$$p = \pi D_f / z \quad (26)$$

Para caso observado $p = 3,14 \cdot 315 / 100 = 9,9$ mm. Dai, $b/p = 50 / 9,9 = 5,1$. Neste caso, segundo a nota da tab. 43 na pág. 48 [6], determinamos por interpolação o coeficiente de correcção $K_{bp} = 1,65$ e recebemos o avanço recomendado $S_z 1,65 (0,04 \div 0,07) = 0,066 \div 0,116$ mm/dente. Na máquina escolhida o avanço realiza-se manualmente. Tomamos o valor mínimo $S_z = 0,07$ mm/dente, pois a máquina que temos é de potência pequena.

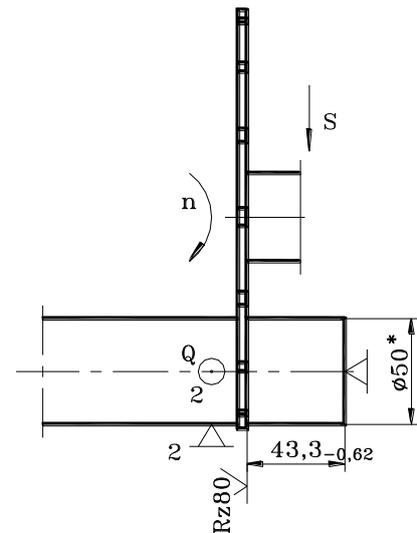


Figura 12. Esquema de corte do varão.

Segundo à tab. 44 [6] para cortar aços com $\sigma_r > 600$ MPa com serra de disco de aço rápido recomenda-se a velocidade de corte $V_c = 16 \div 22$ m/min. A máquina que escolhemos garante a frequência de rotação da árvore principal $n_m = 20$ rpm e a velocidade de corte $V_c = 20$ m/min.

Para verificar a possibilidade de corte do varão com regimes escolhidos calculamos a força de corte pela fórmula seguinte [6]:

$$P_z = \frac{C_p * t^{x_p} * S_{zr}^{y_p} * B^{u_p} * z}{D_f^{q_p} * n_m^{w_p}} * K_{mp} * K_{df}, \quad (27)$$

onde C_p , x_p , y_p , u_p , q_p são coeficiente e expoentes que determinam a influência dos parâmetros correspondentes na força de corte; K_{mp} e K_{df} são coeficientes de correcção da força de corte em função das propriedades do material a trabalhar e do estado de desgaste da ferramenta respectivamente.

Para fresa de disco de aço rápido e para trabalhar aço de construção da tab. 41 pág. 47 [6] tomamos:

$$C_p = 682; x_p = 0,86; y_p = 0,72; u_p = 1; q_p = 0,86 \text{ e } w_p = 0$$

O coeficiente de correcção K_{mp} calcula-se pela fórmula da tab. 9 pág. 31 [6]:

$$K_{mp} = (\sigma_r / 750)^n, \quad (28)$$

onde σ_r é a resistência a ruptura do material a trabalhar em MPa; n é o expoente que determina a influência da resistência a ruptura do material a trabalhar na força de corte.

Da tab. 9 [6] tomamos o expoente $n = 0,3$ pois trabalhamos com fresa de aço de construção com $\sigma_r = 650$ MPa. Neste caso $K_{mp} = (650/750)^{0,3} = 0,96$.

Da recomendação na pág. 31 [6] tomamos por extrapolação o coeficiente $K_{df} = 1,6$, pois trabalhamos material com $\sigma_r = 650$ MPa.

$$\text{Dai: } P_z = \frac{682 \cdot 50^{0,86} \cdot 0,07^{0,72} \cdot 3^1 \cdot 100}{315^{0,86} \cdot 20^0} \cdot 0,96 \cdot 1,6 = 9493 \text{ N}$$

A potência de corte em kW calculamos pela fórmula da pág. 5 [6]:

$$N_c = P_z \cdot V_c / 60000 \quad (29)$$

Para nosso caso temos: $N_c = 9493 \cdot 20 / 60000 = 3,1$ kW

A potência da máquina multiplicada por seu rendimento $N_m \cdot \eta = 1,5 \cdot 0,8 = 1,2$ kW é bem menor da potência necessária para corte $N_c = 3,1$ kW por isso o corte não pode ser realizado nesta máquina com estes regimes.

Pois não temos máquina mais potente, diminuimos a potência de corte, diminuindo o avanço e perdendo a produtividade de tratamento. Se tomamos $S_z = 0,015$ mm/dente recebemos $P_z = 3131$ N e $N_c = 1,03$ kW e neste caso o corte do varão já pode ser realizado na máquina escolhida. O coeficiente de uso da máquina pela potência determinamos pela fórmula [6]:

$$C_{um} = N_c / (N_m \cdot \eta) \quad (30)$$

Para caso observado temos $C_{um} = 1,03 / (1,5 \cdot 0,8) = 0,86$ o que é bastante bom.

O tempo básico de tratamento em min determinamos pela fórmula [6]:

$$T_b = (C_s + l_e + l_s) / S_m, \quad (31)$$

onde C_s é o comprimento da superfície trabalhada em mm; l_e e l_s são comprimentos de entrada e saída da ferramenta em mm; S_m é o avanço em mm/min.

O avanço S_m calcula-se pela fórmula: $S_m = S_v \cdot n_m = S_z \cdot z \cdot n_m$ (32)

Para corte do varão temos: $T_p = (50 + 1 + 1) / (0,015 \cdot 100 \cdot 20) = 1,73 \text{ min}$

O tempo de execução da fase determinamos pela fórmula [8]:

$$T_f = T_{pr} / Q_{pal} + (\Sigma T_b + \Sigma T_a) \cdot [1 + (\alpha + \beta + \gamma) / 100], \quad (33)$$

onde T_{pr} é o tempo de preparação do equipamento necessário para realizar fase; ΣT_b e ΣT_a são somas dos tempos básicos e auxiliares de tratamento em min; α , β e γ são coeficientes que tomam em conta o tempo para serviço técnico, de organização e para descanso respectivamente em % (soma deles toma-se de 3 a 16% em função de complexidade de máquina, da fase e intensidade de trabalho).

A preparação para execução da fase 10 inclui: recepção e estudo da tarefa segundo a cartão da fase; recepção dos varões do diâmetro $\phi 50$. Para execução desta fase está estimado o tempo de preparação $T_{pr10} = 10 \text{ min}$.

Tomamos o tempo auxiliar para execução da passagem $T_a = 0,2 \text{ min}$ segundo a cronometragem (ou por simulação ou estimativa) das acções de aproximação e afastamento da serra do disco, ligação e desligação da rotação da serra de disco, colocação dos discos cortados numa caixa. Pois a fase e a máquina são simples, tomamos a soma dos coeficientes $\alpha + \beta + \gamma = 6\%$ [8]. Neste caso recebemos o tempo da execução da 10 fase:

$$T_{f10} = 10/200 + (1,73 + 0,3 + 0,2) 1,06 = 2,5 \text{ min.}$$

O comprimento dos varões em mm que serão necessários para fabricar um lote de 210 peças calculamos pela fórmula:

$$C_{va} = 1,05 Q_{pbl} \cdot (C_{bp} + B_f), \quad (34)$$

A quantidade das peças brutas num lote $Q_{pbl} = 210$, o comprimento da peça bruta $C_{pb} = 43,3 \text{ mm}$, a largura da serra de disco $B_f = 3 \text{ mm}$. Daí temos:

$$C_{va} = 1,05 \cdot 210 (43,3 + 3) = 10210 \text{ mm}$$

9.2. Fase 20. Forjadura a quente

A fase 20 está constituída de duas passagens: de aquecimento e de forjadura duma peça bruta com utilização da matriz e obtenção do disco com diâmetro $\phi 67,3h16(-1,9)$, comprimento $L = 23,3h16(-1,3)$ e rugosidade das superfícies $R_z 300 \mu\text{m}$ (veja capítulo 8).

No DEMA há única prensa de biela e manivela do modelo 80FW-AC que pode ser utilizada para forjadura dos discos e que garante a força até 80 toneladas. O esquema de forjadura está apresentado nas fig. 8, 13 e no anexo A.5.

O aquecimento dos cilindros pode ser feito num dos fornos eléctricos disponíveis. Além da prensa e do forno o posto de trabalho para fase 20 deve ser equiparado com: alicate que se usa para manipulação da peça; matriz para facilitar a obtenção das dimensões da peça bruta e paquímetro para

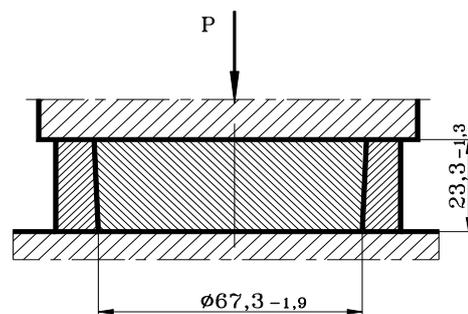


Figura 13. Esquema de forjadura

controlar suas dimensões. Pois as dimensões que se recebem durante forjadura são de 16 grau de tolerância, para sua medição pode ser usado um paquímetro com uma divisão de 0,1 mm e comprimento 130 mm.

A temperatura de aquecimento dos cilindros para forjadura em graus pode ser determinada pela fórmula [9]:

$$t_f^{\circ} = A_{3L} + (100 \div 200), \quad (35)$$

$$\text{onde } A_{3L} = A_3 + \Sigma \Delta A_{li} + 230 \Sigma \Delta C_{Si}, \quad (35.1)$$

onde A_{3L} é a temperatura de transformação alotrópica da ferrite para austenite dos aços com liga em °C; A_3 é a temperatura de transformação alotrópica da ferrite para austenite do aço sem liga em °C; $\Sigma \Delta A_{li}$ é a soma das parcelas de influência dos elementos de liga na temperatura A_1 de transformação da perlite para austenite em °C; $\Sigma \Delta C_{Si}$ é a soma das parcelas de influência dos elementos de liga no teor de carbono na eutectóide em %.

O aço 40X tem aproximadamente 0,4% de C e 1% de Cr. Segundo ao diagrama Fe-Fe₃C a temperatura de transformação alotrópica A_3 para aço com 0,4% de C corresponde a 800°C [9]. Segundo ao diagrama da influência dos elementos de liga na temperatura A_1 para 1% de Cr temos $\Delta A_{1Cr} = 20^{\circ}\text{C}$ [9]. Segundo ao diagrama da influência dos elementos de liga no teor de carbono da eutética para 1% de Cr temos $\Delta C_{SCr} = -0,05\%$ [9].

Daí: $t_f^{\circ} = 800 + 20 - 230 \cdot 0,05 + (100 \div 200) = 908,5 \div 1008,5^{\circ}\text{C}$.

Escolhemos a temperatura média do forno $t_f^{\circ} = 950 \pm 10^{\circ}\text{C}$ para poupar energia e pois os fornos ficam perto da prensa.

O tempo de aquecimento T_{aq} em min pode ser determinado pela fórmula [9]:

$$T_{aq} = D_{\min \max} \cdot K_{ia} \cdot K_{ma} \cdot K_{fp} \cdot K_{la}, \quad (36)$$

onde $D_{\min \max}$ é a dimensão mínima da secção mais grossa da peça em mm; K_{ia} é o coeficiente da intensidade de aquecimento no forno quente; K_{ma} é o coeficiente em função do meio de aquecimento; K_{fp} é o coeficiente em função da forma da peça; K_{la} é o coeficiente em função dos lados de aquecimento da peça.

A dimensão mínima da secção mais grossa da peça $D_{\min \max} = 43,3$ mm. Pelo diagrama [9] para aquecimento no forno quente com temperatura 950°C o coeficiente $K_{ia} = 0,06$. Para o aquecimento no meio gasoso do forno o coeficiente $K_{ma} = 2$ [9]. Para peças em forma de cilindro o coeficiente $K_{fp} = 2$ [9]. O aquecimento das peças realiza-se de 5 lados e por interpolação podemos tomar o coeficiente $K_{la} = 1,2$ [9].

Daí, $T_{aq} = 43,3 \cdot 0,06 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 1,2 = 12,5$ min.

A força necessário para forjadura em N pode ser calculada pela fórmula:

$$F_f = A_{\max p} \cdot \sigma_e^t, \quad (36.1)$$

onde $A_{\max p}$ é a área máxima da secção transversal da peça em mm²; σ_e^t é o limite de escoamento do material a forjar com temperatura de forjadura em MPa. Para caso observado temos: $F_f = 3,14 \cdot 67,3^2 \cdot 33 / 4 = 117391$ N = 11,7 t. A prensa escolhida tem força maior (80 t), por isso forjadura pode ser realizada nela.

Segundo a simulação (estimativa, cronometragem) a colocação de um cilindro frio no forno, retirada de um cilindro quente, forjadura de um disco e sua colocação numa caixa levam cerca de 0,8 min, ou seja $T_b + T_a = 0,8$ min. Para realizar o tratamento contínuo, sem espera do aquecimento de uma peça, é necessário manter no forno quente pelo menos $T_{aq} / (T_b + T_a) =$

$12,5 / 0,8 = 16$ cilindros. Então, será necessário manter no forno quente 16 cilindros, ou seja, no início do turno é necessário colocar no forno 16 cilindros frios e antes de tirar um cilindro quente para forjadura será necessário coloca-la um cilindro novo frio.

A preparação para execução desta fase inclui: recepção e estudo da tarefa segundo a cartão de fase; recepção numa caixa com 210 peças brutas, numa matriz; aquecimento do forno e primeiro jogo de 16 peças até temperatura 950°C . Estimamos o tempo de preparação para esta fase $T_{pr20} = 60$ min.

O tempo de execução da fase calculamos pela fórmula (33), tomando a soma dos coeficientes $\alpha+\beta+\gamma = 10\%$, pois o equipamento e fase é de complexidade média [8].

Dai: $T_{f20} = 60 / 200 + 0,8 \cdot 1,1 = 1,2$ min.

9.3. Fase 30. Torneamento de semiacabamento da face direita 3, brocagem, alargamento e mandrilagem do furo central 2 e abertura dum chanfro direito 6

A fase 3 é bastante complexa, fica constituída de 5 passagens. Esta fase seria melhor realizar numa máquina semiautomática ou automática. No DEMA há um torno de comando programado (CNC) de modelo DM 3000, que serve para trabalhar peças com diâmetro até $\phi 75$ mm e comprimento até 300 mm mas tem potência pequena de 0,95 kW. O cabeçote revolver deste torno tem 6 lugares para instalação das ferramentas. A peça a trabalhar no nosso caso pode ser instalada na bucha de três grampos do torno pela superfície cilíndrica externa 1 e pela face esquerda 3.

O tratamento seria melhor começar do semiacabamento da face direita 3, para garantir boa entrada da broca, para eliminar crosta endurecida forjada e assim diminuir o desgaste da broca, alargador e mandril. Depois disso podem ser realizados brocagem, alargamento e mandrilagem do furo central 2. No fim da fase pode ser feita abertura do chanfro direito 6 no furo trabalhado.

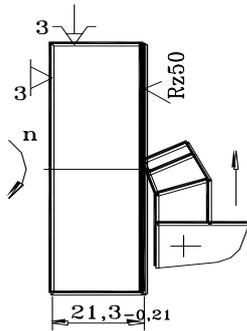
Para execução desta fase serão necessárias seguintes ferramentas: 1) ferro cortante para facejar; 2) broca $\phi 19$ (veja cálculo das sobresspessuras e cotas intermediárias do furo no capítulo 8); 3) alargador $\phi 19,7$; 4) mandril $\phi 19,9$; 5) ferro cortante para chanfrar interno. As ferramentas necessárias para realização desta fase seria melhor colocar nas posições do cabeçote revolver que correspondem a sequência da sua utilização acima apresentada. Os esquemas de tratamento desta fase estão apresentados na fig. 14 e no anexo A.5.

Pois temos produção em série média e dimensões que se recebem nesta fase são de elevada precisão, para medi-las podemos usar: 1) calibre fêmea 21,3h12 para medir comprimento da engrenagem; 2) calibres macho 19H12, 19,7H10 e 19,8H8 para medir diâmetro do furo; 3) escantilhão para medir chanfro 45° .

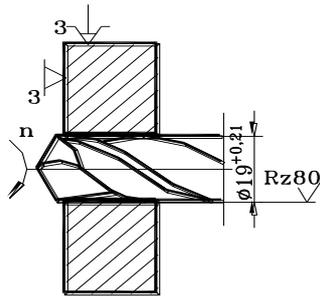
A fase começa de levantamento de uma peça bruta da caixa das peças não trabalhadas, sua instalação entre três dentes da bucha até o contacto deles com cilindro externo e face esquerda e aperto através da chave de encaixe. A fase acaba com desaperto da peça trabalhada e sua colocação na caixa das peças trabalhadas. Estimamos $T_{ai} = 0,2$ min para realização destas acções.

A seguir para cada passagem escolhemos parâmetros principais da ferramenta, regimes e tempo de corte.

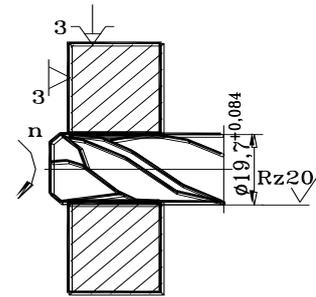
1. Torneiar face direita até $21,3h12(-0,21)$, $Rz50$



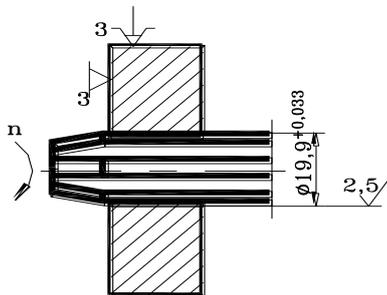
2. Abrir furo 2 $\phi 19H12(+0,21)$, $Rz80$



3. Alargar furo 2 até $\phi 19,7H10(+0,084)$, $Rz20$



4. Alargar furo 2 até $\phi 19,9H8(+0,033)$, $Ra2,5$



5. Abrir chanfro interno $1,25 \pm 0,1 \times 45^\circ \pm 1^\circ$, $Rz40$

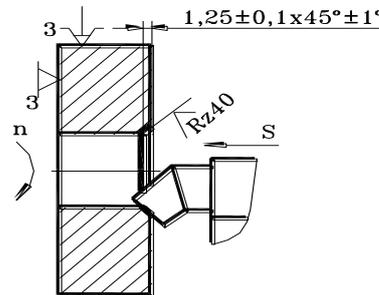


Figura 14. Esquemas de tratamento da fase 30.

Torneamento da face direita

Segundo a tab. 10 depois de torneamento de semiacabamento da face direita há de receber a dimensão $21,3h12(-0,21)$, $R_z 50 \mu\text{m}$. Ferro cortante para facejar pode ser com pastilha de liga dura T15K6 que se recomenda para ferros cortantes para semiacabamento dos aços (veja pág. 12 [6]). Em conformidade com porta-ferramenta da máquina escolhida, escolhemos a secção do cabo do ferro cortante $12 \times 12 \text{ mm}$ e comprimento 32 mm . Pois material a trabalhar é o aço de resistência reduzida, da pág. 23 [6] escolhemos forma 2b de afiação da parte cortante, com chanfro e ranhura na superfície de ataque para reforça-la e enrolar apara (fig. 15).

Para trabalhar aço com liga e parte cortante de liga dura da tab. 30 pág. 23 [6] escolhemos: o ângulo de chanfro $\gamma_{ch} = -4^\circ$; o ângulo de ataque $\gamma = 15^\circ$; o ângulo de dorso principal $\alpha = 12^\circ$ e o ângulo de inclinação da aresta cortante principal $\lambda = 0^\circ$. Segundo a nota desta tab. tomamos a largura do chanfro $f = 0,2 \text{ mm}$. Segundo a tab. 31 pág. 24 [6] para ferro cortante para facejar de liga dura escolhemos os ângulos de posição $\phi = 60^\circ$ (pois sistema tecnológico é de rigidez média) e $\phi_1 = 20^\circ$. Pois face é aberta e rugosidade da face depois deste tratamento é $Rz 50$ (veja capítulo 8), da tab. 5 pág. 24 [6] escolhemos o raio de bico $R_b = 2 \text{ mm}$.

A espessura da camada a cortar em mm para facejamento de semiacabamento da face calcula-se pela fórmula da pág. 4 [6]:

$$Z = C_{inic} - C_{fin}, \quad (37)$$

onde C_{inic} e C_{fin} são comprimento antes e depois de tratamento em mm.

Em conformidade com cotas intermediárias para faces 3 (veja capítulo 8) temos: $Z = 23,3 - 21,3 = 2 \text{ mm}$.

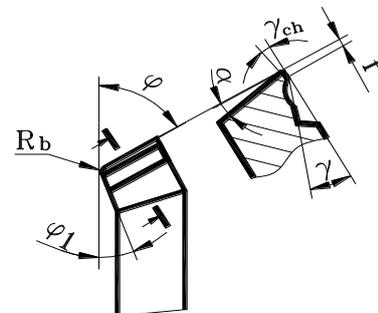


Figura 15. Geometria do ferro cortante para facejar

Tentamos levantar toda esta camada por um passo, neste caso temos a profundidade de corte $t = 2$ mm.

Da tab. 11 pág. 32 [6] para torneamento externo de desbastamento (que serve também para facejamento) para diâmetro da peça $\phi 67,3$, para ferro cortante com cabo 16x25, para tratamento do aço com liga e profundidade de corte até 3 mm recomenda-se o avanço $S_{vt} = 0,6$ mm/volta e com cabo 25x40 - $S_{vt} = 1,2$ mm/volta. Destas recomendações vê-se que a diminuição da área da secção do cabo a 2,5 vezes (de 25x40 para 16x25) leva a diminuição do avanço a 2 vezes. Temos cabo do ferro cortante da secção 12x12 que é menor a 2,8 vezes da secção 16x25 por isso diminuimos o avanço tabelado a 2 vezes $S_{vc1} = 0,6 / 2 = 0,3$ mm/volta.

Da tab. 12 pág. 32 [6] o avanço admissível por resistência da pastilha de liga dura com $\phi = 45^0$ para espessura da pastilha 4 mm e profundidade de corte até 4 mm é $S_{vt} = 1,3$ mm/volta. Segundo às notas 3 e 4 este valor há de multiplicar por coeficientes de correcção 0,6 (pois temos $\phi = 60^0$) e 0,9 (pois temos superfície a trabalhar forjada o que vai provocar choques pequenos). Daí: $S_{vc2} = 1,3 \cdot 0,6 \cdot 0,9 = 0,7$ mm/volta.

Da tab. 14 pág. 34 [6] para garantir a rugosidade $R_z 50$ e tendo raio de bico do ferro cortante $R_{bico} = 2$ mm tomamos o avanço $S_{vt} = 0,8$ mm/volta. Tomando em conta a nota 2 há de multiplicar o valor tabelado por 0,45, pois temos o aço com $\sigma_r = 650$ MPa.

Daí: $S_{vc3} = 0,8 \cdot 0,45 = 0,36$ mm/volta.

Dos 3 avanços recomendados (pelo método de tratamento $S_{vc1} = 0,3$ mm/v, pela resistência da pastilha de liga dura $S_{vc2} = 1,3 \cdot 0,6 \cdot 0,9 = 0,7$ mm/v e pela rugosidade $S_{vc3} = 0,36$ mm/v) tomamos o menor avanço $S_{vc} = 0,3$ mm/v para satisfazer todas as exigências. No torno DM 3000 o avanço regula-se em mm/min, para tal há de saber a frequência de rotação da árvore principal.

Para calcular a velocidade de corte escolhemos o coeficiente e expoentes da tab. 17 pág. 35 [6]. Para facejamento do aço com liga 40X com ferro cortante de liga dura T15K6 e com avanço $S_{vc} = 0,3$ mm/volta melhor serve primeira linha para torneamento dos aços ao carbono com $\sigma_r = 750$ MPa com ferramenta de liga dura T15K6:

$$C_v = 420; x_v = 0,15; y_v = 0,2; m = 0,2$$

Pois não há notas correspondentes ao processo observado tomamos o coeficiente $C_{cv} = 1$. O tratamento faz-se sem líquido refrigerante.

Escolhemos a duração da ferramenta $T_e = 60$ min que é recomendada para semiacabamento. Tomamos que simultaneamente trabalha uma só ferramenta e um operário serve uma só máquina-ferramenta. Daí, das tab. 7 e 8 pág. 30 [6] temos os coeficientes de correcção da duração da ferramenta $K_{Tf} = 1$; $K_{Tm} = 1$ e neste caso $T = 60$ min.

Pois coeficiente e expoentes tabelados estão apresentados para aço ao carbono com $\sigma_r = 750$ MPa e nos temos aço ao cromo com $\sigma_r = 650$ MPa, determinamos o coeficiente de correcção da velocidade de corte K_{mv} que toma em conta as propriedades do material a trabalhar. Para tratamento de aços o coeficiente de correcção K_{mv} calcula-se pela fórmula da pág. 5 [6]:

$$K_{mv} = C_m (750 / \sigma_r)^{n_v}, \quad (38)$$

onde C_m e n_v são coeficiente e expoente que tomam em conta as propriedades do material a trabalhar.

Da tab. 2 pág. 29 [6] para trabalhar aço ao cromo com ferramenta de liga dura $C_m = 0,95$ e $n_v = 1$. Daí temos: $K_{mv} = 0,95 (750/650)^1 = 1,1$

Pois superfície a trabalhar está com crosta depois de forjadura, segundo a tab. 5 pág. 30 [6] escolhemos o coeficiente de correcção da velocidade de corte em função do estado da camada superficial $K_{esv} = 0,8$. Pois o material da ferramenta que observamos e da linha escolhida da tab. 17 da pág. 35 [6] é mesmo (T15K6) o coeficiente de correcção da velocidade de corte em função do material da ferramenta $K_{mfv} = 1$. Da tab. 18a pág. 36 [6] tomamos os coeficientes de correcção da velocidade de corte em função dos parâmetros geométricos da ferramenta: $K_{\varphi v} = 0,9$ (para $\varphi = 60^0$); $K_{\varphi 1v} = 0,94$ (para $\varphi_1 = 20^0$); $K_{rv} = 1$ (para ferramenta de liga dura). Da tab. 18b pág. 36 [6] tomamos os coeficientes de correcção da velocidade de corte em função das dimensões do cabo da ferramenta K_{qv} . Para cabo 12x12 por interpolação determinamos $K_{qv} = 0,89$. Da tab. 18c pág. 36 [6] tomamos os coeficientes de correcção da velocidade de corte em função do método de tratamento K_{mtv} . O facejamento realiza-se do diâmetro $D = 67,3$ mm até diâmetro $d = 0$ (até eixo). Neste caso temos relação $d / D = 0$ e o coeficiente $K_{mtv} = 1,24$.

Calculamos o coeficiente de correcção da velocidade de corte pela fórmula da pág. 5 [6]:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{esv} \cdot K_{mfv} \cdot K_{\varphi v} \cdot K_{\varphi 1v} \cdot K_{rv} \cdot K_{qv} \cdot K_{mtv} \quad (39)$$

Para facejamento temos: $K_v = 1,1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,94 \cdot 1 \cdot 0,89 \cdot 1,24 = 0,82$

Calculamos a velocidade de corte V_c em m/min pela formula da pág. 5 [6]:

$$V_c = \frac{C_v \cdot C_{cv}}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S_{vm}^{y_v}} \cdot K_v \quad (40)$$

Para facejamento temos: $V_c = \frac{420 \cdot 1}{60^{0,2} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,3^{0,2}} \cdot 0,82 = 174$ m/min

Calculamos a frequência de rotação da árvore principal n_c em rpm pela fórmula da pág. 5 [6]:

$$n_c = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D_{inic}} \quad (41)$$

Para caso observado temos: $n_c = \frac{1000 \cdot 181}{3,1416 \cdot 67,3} = 825$ rpm

Torno DM 3000 permite instalar qualquer frequência de rotação da árvore principal dentro de uma das faixas: até 1000, 2000 ou 4000 rpm. Tomamos primeira faixa de frequências da árvore principal e própria frequência de rotação pela máquina $n_m = 825$ rpm. A velocidade de corte real V_r em m/min calcula-se pela fórmula da pág. 5 [6]:

$$V_r = \pi \cdot D_{inic} \cdot n_m / 1000, \quad (42)$$

Para caso observado $V_r = 3,14 \cdot 67,3 \cdot 825 / 1000 = 174$ m/min.

Pois o avanço nesta máquina regula-se pelo valor em mm/min, calculamo-lo pela fórmula (32): $S_m = 0,3 \cdot 825 = 247$ mm/min.

O torno DM 3000 permite instalar qualquer avanço dentro do intervalo de 2,5 a 1270 mm/min. Por isso utilizamos o avanço pela máquina S_{mm} igual ao avanço calculado, ou seja tomamos $S_{mm} = 247$ mm/min.

Verificamos a possibilidade de uso dos regimes escolhidos no torno DM 3000. Para tal da tab. 22 pág. 37 [6] escolhemos o coeficiente e expoentes para calcular força de corte:

$$C_{pz} = 3000; x_{pz} = 1; y_{pz} = 0,75; n_{pz} = -0,15$$

Para determinar o coeficiente de correcção K_{mp} pela fórmula (28) escolhemos o expoente n_p da tab. 9 pág. 31 [6]. Para tratamento dos aços de construção com ferro cortante de liga dura $n_p = 0,75$. Daí: $K_{mp} = (650/750)^{0,75} = 0,9$. O coeficiente de correcção K_{df} para aço observado foi escolhido na pág. 36 ($K_{df} = 1,6$). Da tab. 23 pág. 39 [6] escolhemos os coeficientes de correcção da força de corte em função dos parâmetros geométricos da ferramenta:

$K_{\phi p} = 0,94$ (para $\phi = 60^\circ$); $K_{\gamma p} = 0,95$ (por extrapolação para $\gamma = 15^\circ$); $K_{\lambda p} = 1$ (para $\lambda = 0^\circ$); $K_{rp} = 1$ (para ferramenta de liga dura).

O componente P_z da força de corte em N para torneamento calcula-se pela fórmula da pág. 5 [6]:

$$P_z = C_{pz} * t^{x_{pz}} * S_{vm}^{y_{pz}} * V_r^{n_{pz}} * K_p, \quad (43)$$

onde K_p é o coeficiente de correcção da força de corte.

$$K_p = K_{mp} * K_{df} * K_{\phi p} * K_{\gamma p} * K_{rp} * K_{\lambda p}$$

Para caso observado temos:

$$P_z = 3000 \cdot 2^1 \cdot 0,3^{0,75} \cdot 174^{-0,15} \cdot 0,9 \cdot 1,6 \cdot 0,94 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 1 = 1442 \text{ N}$$

Calculamos a potência de corte pela fórmula (29): $N_c = 1442 \cdot 174 / 60000 = 4,2 \text{ kW}$

A potência do motor eléctrico da máquina multiplicada por seu rendimento $N_m \cdot \eta = 0,95 \cdot 0,8 = 0,76 \text{ kW}$, o que é muito menor da potência necessária para corte. Por isso o corte observado não pode ser realizado na máquina escolhida, máquina não tem potência suficiente. Para resolver este problema há duas variantes: escolher outra máquina mais potente ou diminuir os regimes de corte.

Entre as máquinas disponíveis não há outro torno de comando programado. Potência suficiente para este tratamento tem só torno paralelo 16K20 de comando manual o que não é muito bom para produção de série média, pois a fase 30 é bastante complexa, tem 5 passagens. Além disso, no torno 16K20 há só um lugar (manga do cabeçote móvel) para instalação das ferramentas do tipo brocas, alargadores e mandris. Por isso durante execução da fase observada será necessário cada vez: afastar cabeçote móvel, tirar uma ferramenta, colocar outra e aproximar o cabeçote móvel a peça a trabalhar. Assim, troca da ferramenta vai levar algumas dezenas segundos e vai diminuir produtividade. Claro que se pode observar possibilidade de compra de um novo torno de comando programado mais potente. Mas máquinas de comando programado são muito caros e com aumento da potência aumenta-se seu preço, por isso a compra de uma máquina CNC deve ser bem argumentada.

O tratamento observado, no princípio, pode ser realizado no torno DM 3000, se diminuir regimes. Por exemplo, o tratamento pode ser feito em 6 passos ($i = 4,2 / 0,76 = 5,5$). Neste caso profundidade de corte, força de corte e potência diminuem-se a 6 vezes, veja fórmulas (43) e (29). Mas isso leva a aumento do tempo de execução desta passagem a 6 vezes o que é bem pior de que o tratamento num torno paralelo 16K20.

Para fins didácticos, para mostrar as etapas de elaboração dos programas para máquinas de comando programado, suponhamos que foi tomada decisão comprar um novo torno CNC, digamos DM 3x00, com potência do motor eléctrico $N_m = 5 \text{ kW}$, com avanços e frequências de rotação iguais ao modelo DM 3000 (o modelo DM 3x00 e seus parâmetros são fictícios). O produto $N_m \cdot \eta = 5 \cdot 0,8 = 4 \text{ kW}$. A potência do torno novo um pouco menor da potência necessária para corte observado. Diminuimos um pouco frequência de rotação para diminuir a potência de corte e poupar ferramenta. Tomamos $n_m = 760 \text{ rpm}$.

Neste caso segundo as fórmulas (32), (42), (43) e (29) vamos ter:

$$S_m = 0,3 \cdot 760 = 228 \text{ mm/min}; \quad V_r = 3,14 \cdot 67,3 \cdot 760 / 1000 = 161 \text{ m/min};$$

$$P_z = 3000 \cdot 2^1 \cdot 0,3^{0,75} \cdot 161^{-0,15} \cdot 0,9 \cdot 1,6 \cdot 0,94 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 1 = 1460 \text{ N}$$

$$N_c = 1460 \cdot 161 / 60000 = 3,9 \text{ kW}$$

Corte com estes regimes já pode ser realizado no torno DM 3x00. Verificamos a resistência da ferramenta. Pois ferro cortante trabalha principalmente com flexão, as tensões de flexão devem ser menores das tensões admissíveis. As tensões de flexão em MPa para caso observado determinam-se pela fórmula:

$$\sigma_f = P_z' \cdot L / W_f, \text{ [MPa]} \quad (44)$$

onde L é o comprimento da parte saliente do ferro cortante em mm; W_f é o momento de resistência da secção transversal do ferro cortante em mm^3 .

O comprimento da parte saliente do ferro cortante toma-se: $L = (1 \div 2) b$, onde b é altura do cabo do ferro cortante. Tomamos $L = 15 \text{ mm}$. O momento de resistência da secção transversal rectangular determina-se pela fórmula:

$$W_f = a \cdot b^2 / 6 \quad (45)$$

Para ferro cortante observado temos: $W_f = 12 \cdot 12^2 / 6 = 288 \text{ mm}^3$;

$$\sigma_f = 1460 \cdot 15 / 288 = 76 \text{ MPa}$$

O cabo do ferro cortante pode ser feito do aço 20 que tem $\sigma_r = 370 \text{ MPa}$. Tomando coeficiente de segurança igual a 2, determinamos tensão admissível $[\sigma_f] = 370 / 2 = 185 \text{ MPa}$ que é bem maior da tensão que aparece no cabo, por isso a ferramenta aquece as cargas.

Calculamos os coeficientes de uso da máquina pela potência (pela fórmula (30)) e da ferramenta pela velocidade de corte pela fórmula da pág. 7 [6]:

$$C_{uf} = V_r / V_c \quad (46)$$

Para facejamento temos: $C_{um} = 3,9 / 4 = 0,98$; $C_{uf} = 161 / 174 = 0,92$

Isso significa que a máquina e a ferramenta utilizam-se muito bem (valores são próximos a 1).

O tempo básico de tratamento para facejamento calculamos pela fórmula (31), tomando em conta fig. 16 e que comprimento da entrada da ferramenta calcula-se pela fórmula:

$$l_e = 1 \div 3 + t \cdot \text{ctg } \varphi \quad (47)$$

Para caso observado temos:

$$T_{b1} = (67,3/2 + 2 + 2 \cdot \text{ctg } 60 + 2) / (0,3 \cdot 760) = 0,17 \text{ min}$$

As acções auxiliares desta passagem incluem: instalação da frequência de rotação e do avanço pretendidos, rotação do cabeçote revolver até instalação do ferro cortante para facejar na posição de trabalho; ligação da rotação da árvore principal, aproximação e afastamento do ferro cortante a superfície a trabalhar / trabalhada. Estimamos tempo da execução destas acções $T_{a1} = 0,2 \text{ min}$.

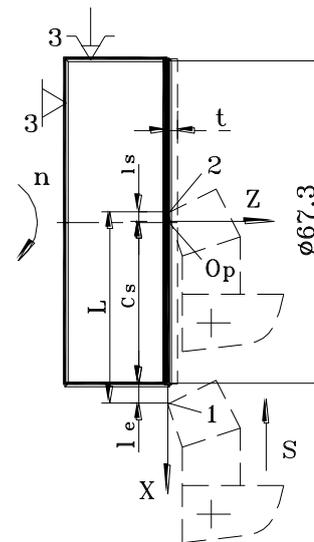


Figura 16. Trajectória de deslocamento do ferro cortante

Abertura do furo central

Segundo a tab. 8 depois de brocagem há de receber furo $\phi 19H12$ e $Rz 80 \mu m$. Pois comprimento do furo é menor de $3D_f$ ($21,3 < 3 \cdot 19 = 57$) e para garantir maior rigidez e maior precisão de disposição do furo escolhemos broca helicoidal curta com cabo cilíndrico e parte cortante de aço rápido P6M5, que é muito usado para fabricar brocas para tratamento dos materiais macios e de dureza reduzida (veja pág. 6 e 12 [6]). Da tab. 42 pág. 17 [6] os parâmetros principais desta broca segundo a GOST 4010-77 são: o diâmetro da parte cortante $D_f = 19 \text{ mm}$; o comprimento total $L = 127 \text{ mm}$; o comprimento da parte de trabalho $l = 64 \text{ mm}$.

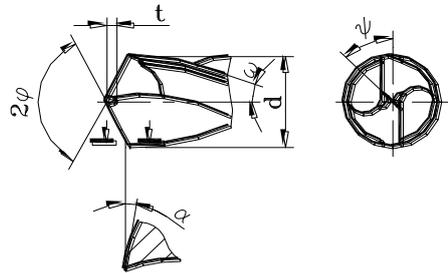


Figura 17. Geometria da parte cortante da broca

Os parâmetros geométricos da broca escolhemos da tab. 44 pág. 25 [6]. Para trabalhar aço de construção escolhemos: $2\phi = 118^\circ$; $\psi = 50^\circ$; $\alpha = 14^\circ$; $\omega = 24^\circ$. Pois o diâmetro da broca é maior de 15 mm e menor de 25 mm, segundo a nota 4 e para facilitar a entrada da broca no material, aumentar a precisão da disposição do furo, utilizamos broca com afiação simples e dique afiado (fig. 17).

Para brocagem profundidade de corte é igual a metade do diâmetro do furo, daí:

$$t = 19 / 2 = 9,5 \text{ mm.}$$

O avanço para brocagem do aço com broca de aço rápido escolhemos da tab. 25 pág. 40 [6]. A dureza HB do aço em kgf/mm^2 determinamos pela fórmula: $HB = \sigma_f / 3,5$ (48)

Para caso observado temos: $HB = 650 / 3,5 = 185 \text{ kgf/mm}^2$

Daí, para broca com diâmetro $\phi 19$ e tratamento do aço com HB 185 escolhemos $S_{vt} = 0,35 \text{ mm/volta}$. Segundo as notas 3 e 4 o avanço tabelado S_{vt} há de multiplicar por coeficientes $K_{tps} = 0,5$ (pois depois de brocagem será feito mandrilagem) e $K_{rzs} = 0,75$ pois rigidez do sistema tecnológico é média. Daí: $S_{vc} = 0,35 \cdot 0,5 \cdot 0,75 = 0,13 \text{ mm/v}$. O avanço na máquina instala-se em mm/min que determinamos depois de cálculo da frequência de rotação a árvore principal.

Da tab. 28 pág. 41 [6] escolhemos o coeficiente e expoentes para calcular velocidade de corte. Para tratamento do aço ao cromo com broca de P6M5 e $S_v < 0,2 \text{ mm/v}$ melhor serve a linha:

$$C_v = 7; q_v = 0,4; y_v = 0,7 \text{ e } m = 0,2$$

Segundo as notas para brocagem $x_v = 0$. Pois escolhemos broca de afiação simples a velocidade de corte calculada será necessário multiplicar por coeficiente $K_{av} = 0,75$.

A duração da broca escolhemos da tab. 30 pág. 42 [6]. Para broca com diâmetro $\phi 19$ de aço rápido e para tratamento do aço de construção $T_e = 45 \text{ min}$. Suponhamos que simultaneamente trabalha uma só ferramenta e um operário serve uma só máquina-ferramenta. Daí, das tab. 7 e 8 pág. 30 [6] temos os coeficientes de correcção da duração da ferramenta $K_{Tf} = 1$; $K_{Tm} = 1$ e neste caso $T = 45 \text{ min}$.

O coeficiente de correcção K_{mv} para aços de construção calcula-se pela fórmula (38). Para tratamento do aço ao cromo com broca de aço rápido da tab. 2 pág. 29 [6] escolhemos $C_m = 0,85$; $n_v = 0,9$, daí: $K_{mv} = 0,85 \cdot (750 / 650)^{0,9} = 0,97$. Pois brocagem faz-se depois de levantamento da crosta forjada por facejamento, $K_{esv} = 1$. O coeficiente $K_{mfv} = 1$ pois material escolhido da broca coincide com material da linha escolhida da tab. 28. O coeficiente $K_{lv} = 1$ (da tab. 31 pág. 42 [6]), pois $L < 3 D_f$.

A velocidade de corte em mm/min para brocagem determina-se pela fórmula da pág. 6 [6]:

$$V_c = \frac{C_v \cdot D_f^{q_v}}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S_{vm}^{y_v}} \cdot K_v, \quad (49)$$

onde coeficiente de correcção

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{esv} \cdot K_{mfv} \cdot K_{lv} \cdot K_{av}$$

Para caso observado temos:

$$V_c = \frac{7 \cdot 19^{0,4}}{45^{0,2} \cdot 9,5^0 \cdot 0,13^{0,7}} \cdot 0,97 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 32 \text{ m/min}$$

Frequência de rotação n_c pela fórmula (41): $n_c = 1000 \cdot 32 / (3,14 \cdot 19) = 538 \text{ rpm}$. Pois máquina permite instalar qualquer frequência de rotação até 1000 (ainda antes foi escolhida primeira faixa), escolhamos $n_m = n_c = 538 \text{ rpm}$. Neste caso $V_r = V_c = 32 \text{ m/min}$

Calculamos o avanço por minuto pela fórmula (32): $S_m = 0,13 \cdot 538 = 70 \text{ mm/min}$. Este avanço pode ser instalado na máquina escolhida pois fica dentro do intervalo dos avanços admissíveis. ($2,5 \div 1270 \text{ mm/min}$)

Para verificar possibilidade de realização deste tratamento na máquina calculamos momento e potência de corte. Os coeficientes e expoentes para calcular momento e força de corte para brocagem determinamos da tab. 32 pág. 42 [2]. Para brocagem do aço 40X com broca de aço rápido melhor serve linha:

$$C_m 0,345; q_m = 2; x_m = 0; y_m = 0,8; C_p = 680; q_p = 1; x_p = 0; y_p = 0,7$$

Da nota para broca com dique afiado o coeficiente de correcção $K_{ap} = 1$. O coeficiente de correcção K_{mp} calculamos pela fórmula (28). Para brocagem do aço de construção da tab. 9 pág. 31 [1] escolhamos o expoente $n_p = 0,75$. Daí: $K_{mp} = (650/750)^{0,75} = 0,9$; $K_{df} = 1,6$ (veja pág. 36)

O momento de corte em N·m para brocagem calcula-se pela fórmula da pág. 7 [6]:

$$M_t = C_m \cdot D_f^{q_m} \cdot t^{x_m} \cdot S_{vm}^{y_m} \cdot K_{mp} \cdot K_{ap} \cdot K_{df} \quad (50)$$

Para caso observado temos: $M_t = 0,345 \cdot 19^2 \cdot 9,5^0 \cdot 0,13^{0,8} \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1,6 = 35 \text{ N·m}$

A potência de corte em kW para brocagem calcula-se pela fórmula da pág. 7 [6]:

$$N_c = \frac{M_t \cdot n_m}{9550} \quad (51)$$

Para caso observado temos: $N_c = 35 \cdot 538 / 9550 = 2 \text{ kW}$. Então, brocagem pode ser realizado no torno novo que aqueça tratamento com potência até 4 kW.

Calculamos os coeficientes de uso da máquina pela potência e da ferramenta pela velocidade pelas fórmulas (30) e (46):

$$C_{um} = 2 / 4 = 0,5; \quad C_{uf} = 32 / 32 = 1.$$

Isso significa que utiliza-se só a metade da potência de máquina mas a ferramenta utiliza-se plenamente.

Calculamos o tempo básico de brocagem pelas fórmulas (31) e (47), tomando em conta fig. 18:

$$T_{b2} = (21,3 + 9,5 \cdot \text{ctg } 59 + 4) / 70 = 0,45 \text{ min}$$

As acções auxiliares desta passagem incluem: instalação da

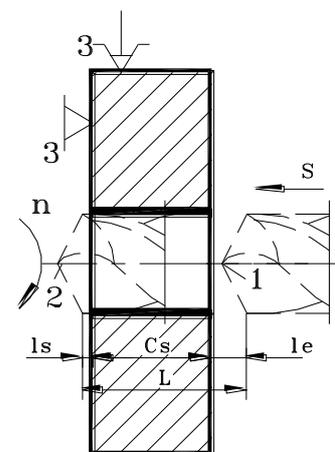


Figura 18. Trajetória de deslocamento da broca

frequência de rotação e do avanço pretendidos, rotação do cabeçote revolver até instalação da broca na posição de trabalho, ligação de fornecimento do líquido lubrificante refrigerante, aproximação e afastamento da broca a / de peça. Estimamos tempo da execução destas acções $T_{a2} = 0,2$ min.

Alargamento do furo central

Segundo a tab. 8 depois de alargamento há de receber $\phi 19,7H10$ e $R_z 20$. Os alargadores com diâmetro de 10 a 40 mm podem ser feitos com parte cortante inteira e cabo cónico segundo GOST 12489-71 [1]. Para parte cortante escolhemos o aço rápido P6M5 (GOST) ou HS 6-5-2 (ISO) que é mais recomendada para alargadores para tratamento dos materiais macios e de dureza reduzida (veja pág.s 6 e 12 [6]).

A geometria da parte cortante do alargador tomamos da tab. 48 pág. 26 [6]. Para trabalhar aço de construção com HB 185 kgf/mm² com alargador de aço rápido recomendam-se (fig. 19): $\gamma = 15^\circ$; $\alpha = 10^\circ$; $\varphi = 60^\circ$; $\varphi_o = 30^\circ$; $\omega = 20^\circ$; $\lambda = 0^\circ$

A profundidade de corte calcula-se pela fórmula da pág.

$$6 [6]: \quad t = (D_f - D_{\text{inic}}) / 2 \quad (52)$$

Para caso observado temos:

$$t = (19,7 - 19) / 2 = 0,35 \text{ mm}$$

O avanço para alargamento dos furos com alargador de aço rápido escolhemos da tab. 26 pág. 40 [6]. Para trabalhar aços com alargador com diâmetro $\phi 19,7$ escolhemos $S_{vt} = 0,7$ mm/v. Pois há de receber furo com 10 grau de tolerância, segundo a nota, o valor tabelado há de multiplicar por coeficiente $K_{mts} = 0,7$, daí: $S_{vc} = 0,7 \cdot 0,7 = 0,49$ mm/v. Pois o avanço na máquina regula-se em mm/min, a seguir será necessário verificar se este avanço fica dentro dos limites de avanços admissíveis da máquina.

O coeficiente e expoentes para calcular a velocidade de corte escolhemos da tab. 29 pág. 41 [6]. Para trabalhar aço de construção com alargador de aço rápido P6M5 escolhemos:

$$C_v = 16,3; \quad q_v = 0,3; \quad x_v = 0,2; \quad y_v = 0,5; \quad m = 0,3.$$

O tratamento deve ser feito com uso dum líquido lubrificante refrigerante.

Da tab. 30 pág. 42 [6] escolhemos para trabalhar aço de construção com alargador e aço rápido com diâmetro $\phi 19,7$ a duração $T_e = 30$ min. Se suponhamos que simultaneamente trabalha uma só ferramenta e um operário serve uma só máquina-ferramenta vamos ter:

$$K_{Tf} = 1; \quad K_{Tm} = 1 \quad \text{e neste caso} \quad T = 30 \text{ min.}$$

O coeficiente de correcção K_{mv} para alargador calcula-se pela mesma fórmula e dados que forem usados para broca (veja pág. 45), no nosso caso: $K_{mv} = 0,97$. O coeficiente de correcção $K_{esv} = 1$, pois superfície a trabalhar não tem crosta. O coeficiente de correcção $K_{mfv} = 1$, pois material do alargador coincide com material da linha escolhida da tab. 41. Os coeficientes de correcção K_{lv} e K_{av} para alargadores são iguais a 1.

$$\text{Neste caso, segundo a fórmula (49)} \quad V_c = \frac{16,3 \cdot 19,7^{0,3}}{30^{0,3} \cdot 0,35^{0,2} \cdot 0,49^{0,5}} \cdot 0,97 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 24,5 \text{ m/min}$$

$$\text{Segundo a fórmula (41)} \quad n_c = 1000 \cdot 24,5 / (3,14 \cdot 19,7) = 396 \text{ rpm}$$

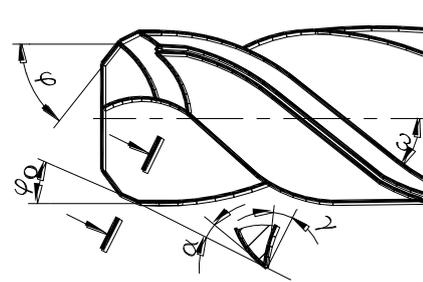


Figura 19. Geometria da parte cortante do alargador

Pois máquina permite instalar qualquer frequência de rotação até 1000 (faixa escolhida antes) $n_m = n_c = 396 \text{ rpm}$ e $V_r = V_c = 24,5 \text{ m/min}$. Segundo a fórmula (32) $S_m = 0,49 \cdot 396 = 194 \text{ mm/min}$ que fica dentro da faixa admissível da máquina.

Pois a profundidade de corte no alargamento é muito menor de que na brocagem logo pode-se confirmar que a máquina vai suportar este tratamento pela potência, C_{um} será bem pequeno e $C_{uf} = 1$.

Segundo as fórmulas (31), (47) e fig. 20

$$T_{b3} = (21,3 + 0,35 \cdot \text{ctg } 30^\circ + 2) / 194 = 0,13 \text{ min}$$

(em vez do ângulo φ utiliza-se o ângulo φ_o , pois é ele que determina comprimento da entrada da ferramenta l_e).

As acções auxiliares desta passagem incluem: instalação da frequência de rotação e do avanço pretendidos, rotação do cabeçote revolver até instalação do alargador na posição de trabalho, aproximação e afastamento do alargador a / de peça. Estimamos tempo da execução destas acções $T_{a3} = 0,2 \text{ min}$.

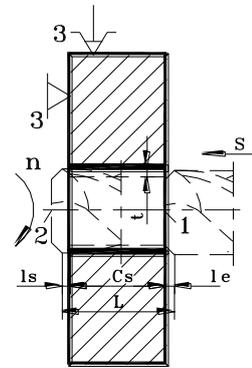


Figura 20. Trajectória de deslocamento do alargador

Mandrilagem do furo central

Segundo a tab. 8 depois de mandrilagem há de receber furo $\phi 19,9H8$ e $R_a 2,5 \mu\text{m}$. Os mandris com diâmetro de 5,5 a 50 mm podem ser feitos com parte cortante inteira e cabo cônico segundo GOST 1672-80 [1]. Para parte cortante escolhemos o aço rápido P6M5 (GOST) ou HS 6-5-2 (ISO) que é mais recomendada para mandris para tratamento dos materiais macios e de dureza reduzida (veja pág. 6 e 12 [6]).

A geometria da parte cortante do alargador tomamos da tab. 53 pág. 26 [6] e suas notas. Para trabalhar aço de construção não temperado com mandril de aço rápido recomendam-se (fig. 21): $\gamma = 0^\circ$; $\alpha = 8^\circ$; $\varphi = 15^\circ$ (pois furo é passante); $\omega = 0^\circ$ (para mandril normal).

Segundo a fórmula (52) temos:

$$t = (19,9 - 19,7) / 2 = 0,1 \text{ mm}$$

O avanço para mandrilagem dos furos com mandril de aço rápido escolhemos da tab. 27 pág. 40 [6]. Para trabalhar aços com alargador com diâmetro $\phi 19,9$ escolhemos $S_{vt} = 1 \text{ mm/v}$. Pois há de receber furo com 8 grau de tolerância, segundo a nota, o valor tabelado há de multiplicar por coeficiente $K_{mts} = 0,7$, daí:

$$S_{vc} = 1 \cdot 0,7 = 0,7 \text{ mm/v.}$$

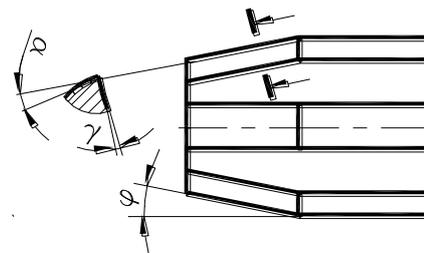


Figura 21. Geometria da parte cortante do mandril

Pois o avanço na máquina regula-se em mm/min, a seguir será necessário verificar se este avanço fica dentro dos limites de avanços admissíveis na máquina.

O coeficiente e expoentes para calcular a velocidade de corte escolhemos da tab. 29 pág. 41 [6]. Para trabalhar aço de construção com mandril de aço rápido P6M5 escolhemos:

$$C_v = 10,5; q_v = 0,3; x_v = 0,2; y_v = 0,65; m = 0,4.$$

O tratamento deve ser feito com uso dum líquido lubrificante refrigerante.

Da tab. 30 pág. 42 [6] escolhemos para trabalhar aço de construção com alargador e aço rápido com diâmetro $\phi 19,7$ a duração $T_e = 40 \text{ min}$. Se supnhamos que simultaneamente trabalha uma só ferramenta e um operário serve uma só máquina-ferramenta vamos ter:

$$K_{Tf} = 1; \quad K_{Tm} = 1 \quad \text{e neste caso} \quad T = 40 \text{ min.}$$

O coeficiente de correcção K_{mv} para mandril calcula-se pela mesma fórmula e dados que forem usados para broca e alargador (veja pág. 45), no nosso caso: $K_{mv} = 0,97$. O coeficiente de correcção $K_{esv} = 1$, pois superfície a trabalhar não tem crosta. O coeficiente de correcção $K_{mfv} = 1$, pois material do mandril coincide com material da linha escolhida da tab. 41. Os coeficientes de correcção K_{lv} e K_{av} para mandris são iguais a 1.

$$\text{Neste caso, segundo a fórmula (49)} \quad V_c = \frac{10,5 \cdot 19,9^{0,3}}{40^{0,4} \cdot 0,1^{0,2} \cdot 0,7^{0,65}} \cdot 0,97 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 11,4 \text{ m/min}$$

$$\text{Segundo a fórmula (41)} \quad n_c = 1000 \cdot 11,4 / (3,14 \cdot 19,9) = 182 \text{ rpm}$$

Pois máquina permite instalar qualquer frequência de rotação até 1000 (faixa escolhida antes) $n_m = n_c = 182 \text{ rpm}$ e $V_r = V_c = 11,4 \text{ m/min}$. Segundo a fórmula (32) $S_m = 0,7 \cdot 182 = 127 \text{ mm/min}$ que fica dentro da faixa da máquina.

Pois a profundidade de corte na mandrilagem é muito pequena logo pode-se confirmar que a máquina vai suportar este tratamento pela potência, C_{um} será bem pequeno e $C_{uf} = 1$.

Segundo as fórmulas (31), (47) e fig. 22 o tempo básico

$$T_{b4} = (21,3 + 0,1 \cdot \text{ctg } 15^\circ + 2) / 127 = 0,19 \text{ min}$$

As acções auxiliares desta passagem incluem: instalação da frequência de rotação e do avanço pretendidos, rotação do cabeçote revolver até instalação do mandril na posição de trabalho, aproximação e afastamento do mandril a / de peça, desligação de fornecimento do líquido lubrificante refrigerante. Estimamos tempo da execução destas acções $T_{a4} = 0,2 \text{ min}$.

Abertura do chanfro internos 1,25x45°, R_z 40

O chanfro no furo abre-se antes de acabamento do furo e das faces. Isso significa que a dimensão do cateto do chanfro feito neste momento será diminuída depois durante tratamento posterior do furo e das faces. Por isso neste momento há de fazer chanfro com maior dimensão do cateto no valor da soma das sobressessuras de tratamento posterior do furo e da face. Segundo à tab. 8, o furo ainda será alargado de $\phi 19,9$ até $\phi 20$. Este alargamento diminuir-se-á o cateto do chanfro no valor $(20 - 19,9)/2 = 0,05 \text{ mm}$. Segundo à tab. 10, durante acabamento da face direita ainda será levantada camada de 0,2 mm, pois dimensão será diminuída de 20,4 até 20,2 mm. Daí, agora será necessário fazer chanfro com cateto $C' = 1 + 0,05 + 0,2 = 1,25 \text{ mm}$ para depois receber $C = 1 \text{ mm}$.

O chanfro no furo 2 pode ser feito com ferro cortante para chanfrar interno com pastilha de liga dura T15K6 que se recomenda para ferros cortantes para semiacabamento dos aços (veja pág. 12 [6]). Pois material a trabalhar é aço e superfície trabalhada (chanfro) é curta, pode-se escolher afiação da parte cortante do tipo 2a com chanfro mas sem ranhura (veja pág. 23 [6] e fig. 23), pois apara será curta e não há necessidade enrola-la. Os ângulos de afiação da cunha cortante ($\alpha, \gamma, \gamma_{ch}$) deste ferro cortante podem ser mesmos que forem tomados para ferro cortante para facejar, pois materiais a trabalhar e da parte cortante da ferramenta são mesmos. Por isso tomamos: $\gamma_{ch} = -4^\circ$; $f = 0,2 \text{ mm}$; $\gamma = 15^\circ$; $\alpha = 12^\circ$; $\lambda = 0^\circ$. O ângulo de posição deve ser $\varphi = 45^\circ$ para receber chanfro de 45° . O ângulo φ_1 e raio de bico neste caso não têm sentido, pois dorso auxiliar e bico do ferro cortante não participam no corte (veja fig. 14).

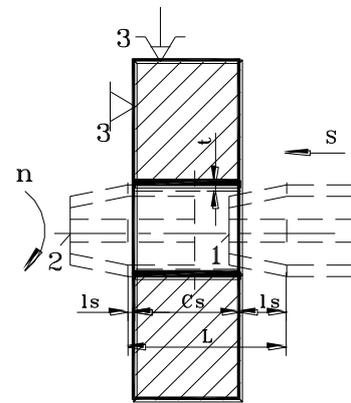


Figura 22. Trajectória de deslocamento do mandril

A profundidade de corte neste caso fica igual ao cateto do chanfro, ou seja $t = 1,25$ mm. Isso significa que a força e a potência de corte serão menores de que no facejamento e pode-se tomar o cabo do ferro cortante 12x20 mm. Da tab. 11 pág. 32 [6] para peça de aço com $\phi 67,3$ e ferro cortante 16x25 recomenda-se o avanço $S_v = 0,6$ mm/v. Pois temos cabo de secção transversal menor quase a 2 vezes, tomamos por extrapolação o avanço $S_v = 0,4$ mm/v.

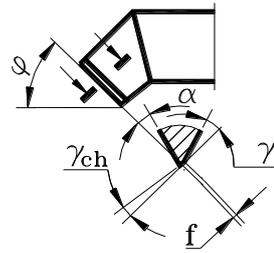


Figura 23. Geometria do ferro cortante para chanfrar interno

Escolhemos o coeficiente e expoentes da velocidade de corte da tab. 17 pág. 35 [6]. Para chanfragem do aço com liga 40X com ferro cortante de liga dura T15K6 e com avanço $S_{vc} = 0,4$ mm/volta melhor serve segunda linha da tab. para torneamento dos aços ao carbono com $\sigma_r = 750$ MPa com ferramenta de liga dura T15K6:

$$C_v = 350; x_v = 0,15; y_v = 0,35; m = 0,2$$

Segundo a nota 1, o coeficiente $C_{cv} = 0,9$, pois temos tratamento interno. O tratamento faz-se sem líquido refrigerante.

Escolhemos a duração da ferramenta $T_e = 60$ min que é recomendada para semiacabamento. Tomando que simultaneamente trabalha uma só ferramenta e um operário serve uma só máquina-ferramenta, temos: $K_{Tf} = 1$; $K_{Tm} = 1$ e $T = 60$ min.

O coeficiente $K_{mv} = 1,1$ pois trata-se mesmo material como no facejamento. O coeficiente $K_{esv} = 1$, pois superfície não tem crosta. O coeficiente $K_{mfv} = 1$, pois o material escolhido na ferramenta coincide com material na tab. 17 da pág. 35 [6]. Da tab. 18a pág. 36 [6] tomamos: $K_{\phi v} = 1$ (para $\phi = 45^\circ$); $K_{\phi_1 v} = 1$ (pois ϕ_1 não tem sentido); $K_{rv} = 1$ (pois R_{bico} não tem sentido). Da tab. 18b pág. 36 [6] tomamos $K_{qv} = 0,93$ para cabo 12x20. Da tab. 18c pág. 36 [6] tomamos $K_{mt} = 1$, pois trabalhamos com avanço longitudinal.

Segundo a fórmula (39) para facejamento temos o coeficiente de correcção da velocidade de corte :

$$K_v = 1,1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,93 \cdot 1 = 1,02$$

Segundo a fórmula (40) para facejamento temos a velocidade de corte

$$V_c = \frac{350 \cdot 0,9}{60^{0,2} \cdot 1,25^{0,15} \cdot 0,4^{0,35}} \cdot 1,02 = 189 \text{ m/min}$$

Pela fórmula (41) temos a frequência de rotação $n_c = \frac{1000 \cdot 181}{3,1416 \cdot 22,4} = 2690$ rpm

Antes foi escolhida primeira faixa das frequências de rotação da árvore principal (até 1000 rpm) que servia bem para tratamentos anteriores. O caso observado pode ser realizado com frequência de rotação muito maior. Mas o comprimento do chanfro é muito pequeno e o aumento da frequência de rotação praticamente não vai dar aumento do rendimento. Por isso, para poupar ferramenta e máquina seria melhor usar $n_m = 1000$ rpm da primeira faixa das rotações da árvore principal.

Neste caso pela fórmula (42) a velocidade de corte real

$$V_r = 3,14 \cdot 22,4 \cdot 1000 / 1000 = 70,4 \text{ m/min.}$$

Pela fórmula (32) o avanço $S_m = 0,4 \cdot 1000 = 400$ mm/min. Pode-se não verificar a potência de corte pois a profundidade e velocidade de corte são menores de que no facejamento e e chanfragem sem dúvida pode ser realizado nesta máquina com regimes escolhidos.

Segundo a fórmula (46) o coeficiente de uso da ferramenta $C_{uf} = 70,4 / 189 = 0,37$ o que é admissível. Segundo a fórmula (31) e fig. 24 o tempo básico de tratamento

$$T_{b5} = (1,25 + 2) / 400 = 0,008 \text{ min}$$

As acções auxiliares desta passagem incluem: instalação da frequência de rotação e do avanço pretendidos, rotação do cabeçote revolver até instalação do ferro cortante para chanfrar interno na posição de trabalho, aproximação e afastamento do ferro cortante a / de peça. Estimamos tempo da execução destas acções $T_{a5} = 0,2 \text{ min}$.

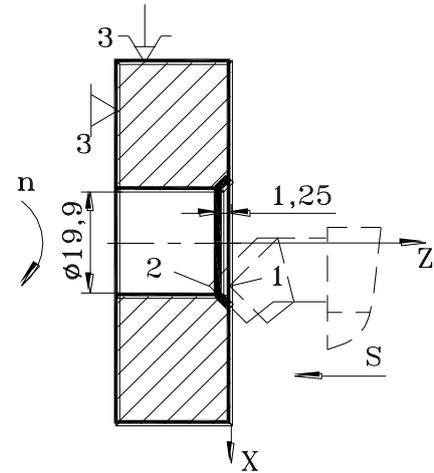


Figura 24. Trajectória de deslocamento do ferro cortante para chanfrar

Determinação do tempo de execução da fase

A preparação para execução desta fase inclui: recepção e estudo da tarefa segundo a cartão de fase; recepção duma caixa com 210 peças brutas; recepção, afiação, instalação e calibração na máquina de ferros cortantes para facejar e para chanfrar interno, de broca, alargador e mandril; recepção dos medidores; procura e transferência do programa de controle do computador para controlador da máquina; verificação de funcionamento do programa de controle sem e com peça bruta instalada. Estimamos o tempo de preparação desta fase $T_{pr20} = 60 \text{ min}$.

Para 5 passagens da 30ª fase temos: $\Sigma T_{b30} = 0,17 + 0,45 + 0,13 + 0,19 + 0,008 = 0,95 \text{ min}$

$$\Sigma T_{a30} = 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 = 1,2 \text{ min}$$

Tomamos soma dos coeficientes $\alpha + \beta + \gamma = 15\%$, pois o equipamento e a fase são bastante complexas [8]. Dai, pela fórmula (33) temos:

$$T_{f30} = 60 / 200 + (0,95 + 1,2) \cdot 1,15 = 2,8 \text{ min.}$$

Pois o tratamento faz-se na máquina de comando programado a seguir determinam-se as coordenadas das trajectórias de deslocamento de todas as ferramentas, acções que devem ser executadas automaticamente e elabora-se o programa de controle.

Determinação das coordenadas de trajectórias de deslocamento das ferramentas e acções a executar na fase 30

Para determinação das coordenadas das trajectórias de deslocamento de todas as ferramentas utilizamos fig. 16, 18, 20, 22 e 24. Nestas fig. com números 1 e 2 estão indicados os pontos críticos das trajectórias. Na fig. 16 estão indicados os eixos do sistema de coordenadas X e Z que correspondem às recomendações para máquina escolhida com ponto de principio O_p . As coordenadas dos pontos críticos das trajectórias determinam-se através de fórmulas geométricas:

- para ferro cortante para facejar (veja fig. 16):

$$X_1 = 67,3 + 2 \cdot (2 + 2 \cdot \text{ctg}60^\circ) = 73,6 \text{ mm}; \quad Z_1 = 0$$

$$X_2 = -2 \text{ mm}; \quad Z_2 = 0$$

- para broca (veja fig. 18): $X_1 = 0;$ $Z_1 = 2 \text{ mm}$

$$X_2 = 0; \quad Z_2 = -(21,3 + 2 + 9,5 \cdot \text{ctg}59^\circ) = -29 \text{ mm}$$

- para alargador (veja fig. 20) tomamos o comprimento da parte cónica $2,5 + 2,5 = 5$ mm, então:

$$X_1 = 0; \quad Z_1 = -5 + 0,35 \cdot \text{ctg}30^\circ + 2 = -4,4 \text{ mm}$$

$$X_2 = 0; \quad Z_2 = -(21,3 + 5 + 2) = -28,3 \text{ mm}$$

- para mandril (veja fig. 22) tomamos o comprimento da parte cónica 15 mm, então:

$$X_1 = 0; \quad Z_1 = -15 + 0,1 \cdot \text{ctg}15^\circ + 2 = -12,6 \text{ mm}$$

$$X_2 = 0; \quad Z_2 = -(21,3 + 15 + 2) = -38,3 \text{ mm}$$

- para ferro cortante para chanfrar interno (veja fig. 24) tomamos a disposição diametral do bico 16 mm:

$$X_1 = 16 \text{ mm}; \quad Z_1 = 0 \text{ mm}$$

$$X_2 = 16 \text{ mm}; \quad Z_2 = -(19,9 - 16) / 2 - 1,25 = 3,2 \text{ mm}$$

As coordenadas e as acções a realizar estão apresentadas na tab. 11.

Tabela 11. Coordenadas dos pontos críticos das trajectórias de deslocamento das ferramentas e acções a realizar na fase 30

N_{feram}	N_{ponto}	X, mm	Z, mm	Acções a realizar
1	0	70	200	Disposição inicial do ferro cortante 1 para facejar
	1	71,5	0	Aproximação rápida do ferro cortante a face, ligação da rotação da árvore principal $n_m = 760$ rpm, instalação avanço $S_m = 228$ mm/min
	2	-1	0	Facejamento
2	0	70	200	Afastamento rápido do ferro cortante 1 para O_f , instalação da broca na posição de trabalho
	1	0	1	Aproximação rápida da broca a face, ligação do fornecimento do líquido lubrificante refrigerante, alteração $n_m = 538$ rpm, $S_m = 70$ mm/min
	2	0	-28	Abertura do furo
3	0	70	200	Afastamento rápido da broca para O_f , instalação do alargador na posição de trabalho
	1	0	-2	Aproximação rápida do alargador a peça, alteração $n_m = 396$ rpm, $S_m = 194$ mm/min
	2	0	-27,3	Alargamento do furo
4	0	70	200	Afastamento rápido do alargador para O_f , instalação do mandril na posição de trabalho
	1	0	-13	Aproximação rápida do mandril a peça, alteração $n_m = 182$ rpm, $S_m = 127$ mm/min
	2	0	-37,3	Mandrilagem do furo
5	0	70	200	Desligação do fornecimento do líquido lubrificante refrigerante, afastamento rápido do mandril para O_f , instalação do ferro cortante para chanfrar interno na posição de trabalho
	1	16	0	Aproximação rápida do ferro cortante a peça, alteração $n_m = 1000$ rpm, $S_m = 400$ mm/min
	2	16	-3,2	Chanfragem

Continuação da tabela 11.

1	0	70	200	Afastamento rápido do ferro cortante para chanfrar interno para O_f , instalação do ferro cortante para facejar na posição de trabalho, desligação da rotação da árvore principal, sinalização do fim de tratamento da peça, retirada da peça trabalhada, instalação da peça bruta nova, repetição de tratamento da peça nova
---	---	----	-----	---

Elaboração do programa de controle da 30ª fase

O programa de controle está elaborada em língua Dynamyte para tornos [8] e corresponde as acções e as coordenadas apresentadas na tab. 11.

```

000 START MM 01
001 TOOL 1
002 SET UP >dczx
003 SPINDLE ON
004 SPD SP= 760
005 GOfX 73.600
006 Z 0.000
007 FR X /M= 228
008 GO X- 2.000
009 Z>CLR Z
010 X>CLR X
011 TOOL 2
012 GOfX 0.000

013 Z 2.000
014 CONTROL 4
015 SPD SP= 538
016 FR Z/M= 70
017 GO Z- 29.000
018 Z>CLR Z
019 X>CLR X
020 TOOL 3
021 GOfX 0.000
022 GOfZ- 4.400
023 SPD SP= 396
024 FR Z/M= 194
025 GO Z- 28.300

026 Z>CLR Z
027 X>CLR X
028 TOOL 4
029 GOfX 0.000
030 GOfZ- 12.600
031 SPD SP= 182
032 FR Z/M= 127
033 GO Z- 38.300
034 Z>CLR Z
035 X>CLR X
036 CONTROL 5
037 TOOL 5

038 GOfX 16.000
039 GOfZ 0.000
040 SPD SP= 1000
041 FR Z/M= 400
042 GO Z- 3.200
043 Z>CLR Z
044 X>CLR X
045 TOOL 1
046 SPINDLE OFF
047 CONTROL 1
048 END NEWPART

```

9.4. Fase 40. Torneamento de semiacabamento do cilindro externo, da face esquerda e dos chanfros 5 e 6

A fase 40 está composta de 5 passagens, embora pode ser realizada só com 2 ferros cortantes: um ferro cortante acotovelado para cilindrar externo, facejar e chanfrar externo com $\varphi = 45^\circ$ e outro ferro cortante para chanfrar interno. Pois fase é bastante complexa e condições de tratamento são parecidos a fase anterior, para esta fase pode ser usado o torno CNC do modelo DM 3XXX escolhido antes para fase 30.

Segundo a escolha das bases tecnológicas, a peça a trabalhar deve ser instalada numa bucha especial pelo furo central e face trabalhadas antes, para garantir a disposição melhor do cilindro externo e da face esquerda relativamente ao furo central e a face direita. Estimamos o tempo auxiliar necessário para instalação da peça bruta nesta bucha e sua retirada posterior $T_{ai} = 0,2$ min. As ferramentas instalam-se numa cabeçote revolver da máquina.

A fase pode ser realizada de seguinte maneira: no início faz-se facejamento, depois cilindragem externa, abertura de dois chanfros externos 5 (tudo isso faz-se com um mesmo ferro cortante) e no fim – abertura dum chanfro interno 6. Os esquemas de tratamento desta fase estão apresentados na fig. 25 e nos anexos.

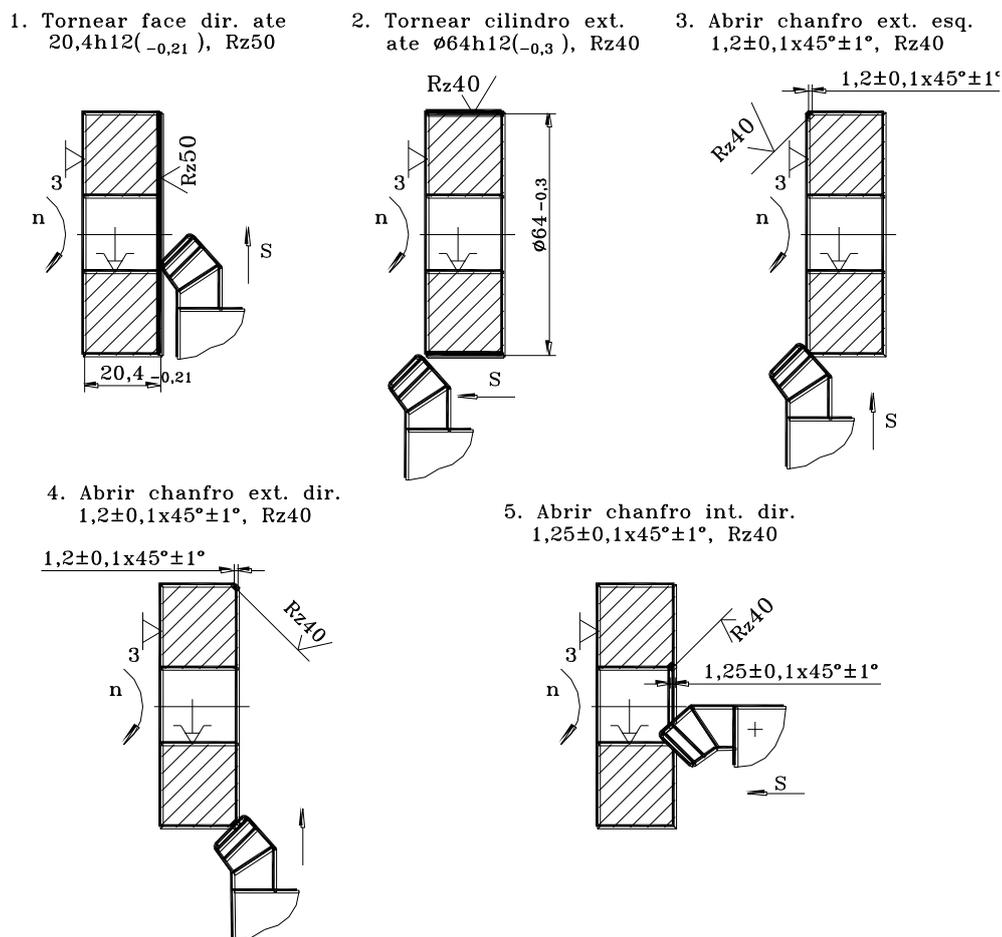


Figura 25. Esquemas de tratamento da fase 40.

Para medir dimensões desta fase podemos usar: 1) calibres fêmea $20,4h12$ e $64h12$ para medir comprimento e diâmetro da engrenagem; 2) escantilhão para medir dimensões lineares e angulares dos chanfros 45° .

A seguir para cada passagem escolhemos parâmetros das ferramentas e regimes de corte.

Torneamento da face esquerda

Segundo a tab. 10 depois de tratamento de semiacabamento da face esquerda há de receber dimensão $20,4h12$ e $R_z 50 \mu\text{m}$. Para facejamento, cilindragem e chanfragem, tomamos ferro cortante com pastilha de liga dura T15K6 que se recomenda para ferros cortantes para semiacabamento dos aços (veja pág. 12 [6]). Pois levanta-se relativamente pequena camada ($< 2 \text{ mm}$) escolhemos a secção do cabo do ferro cortante $12 \times 20 \text{ mm}$ e comprimento 120 mm (veja pág. 14 [6]) que entra no porta-ferramenta do torno DM 3x00. Pois material a trabalhar é o aço de resistência média, da pág. 23 [6] escolhemos forma 2b de afiação da parte cortante, com chanfro e ranhura na superfície de ataque para reforçar aresta cortante e enrolar a para (fig. 26).

Para trabalhar aço com liga e com parte cortante da ferramenta de liga dura, da tab. 30 pág. 23 [6] escolhemos: o ângulo de chanfro $\gamma_{\text{ch}} = -4^\circ$; o ângulo de ataque $\gamma = 15^\circ$; o ângulo de dorso principal $\alpha = 12^\circ$ e o ângulo de inclinação da aresta cortante principal $\lambda = 0^\circ$. Segundo a nota desta tabela tomamos a largura do chanfro $f = 0,2 \text{ mm}$. Pois vamos utilizar esta mesma ferramenta também para cilindragem e abertura dos chanfros externos, tomamos $\varphi = 45^\circ$ e $\varphi_1 = 45^\circ$. Pois face é aberta e rugosidade da face depois deste tratamento é $R_z 50$ (veja capítulo 8), da tab. 5

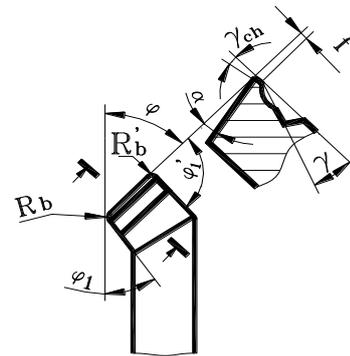


Figura 26. Geometria do ferro cortante para cilindrar, facejar e chanfrar externo

pág. 24 [6] tomamos $R_b = 2 \text{ mm}$.

Pela fórmula. (37) sobresspessura $Z = 21,3 - 20,4 = 0,9 \text{ mm}$. Se levantar toda esta camada por um passo, recebemos profundidade de corte $t = 0,9 \text{ mm}$.

As condições de tratamento da face esquerda são bem parecidas as condições de tratamento da face direita e por isso, no princípio, é possível fazer seu tratamento com mesmos regimes, i. é: $S_v = 0,3 \text{ mm/v}$; $S_m = 228 \text{ mm/min}$; $n_m = 760 \text{ rpm}$ e $V_r = 161 \text{ m/min}$. Mas a profundidade de corte neste caso é menor de que no tratamento da face direita e por isso o tratamento pode ser feito com regimes mais altas.

Nas máquinas de comando manual as acções ligadas com pequeno aumento dos regimes de tratamento (afastamento da ferramenta, paragem de rotação da árvore principal, mudança do avanço e da frequência de rotação, aproximação da ferramenta) podem provocar a diminuição da produtividade, pois a economia do tempo de corte ligada com aumento dos regimes de tratamento pode ser menor da perda do tempo ligada com mudança dos regimes. Por isso nas máquinas de comando manual é melhor não fazer muitas mudanças dos regimes de tratamento, especialmente quando a diferença dos regimes é pequena. Neste caso prefere-se fazer o tratamento de algumas superfícies que tem dimensões parecidas com mesmos regimes: o avanço, geralmente, determina-se pela superfície de menor rugosidade e a frequência de rotação pela superfície de que se levanta maior camada, de maior diâmetro e comprimento.

Nas máquinas de comando programado a mudança dos regimes faz-se sem parar rotação da árvore principal e sem qualquer perda do tempo. Por isso nestas máquinas é melhor trabalhar cada superfície com regimes melhores para esta superfície. Por isso determinamos e vamos usar regimes melhores para cada superfície.

Segundo a tab. 11 pág. 32 [6] para torneamento de desbastamento externo (que serve também para facejamento) para diâmetro da peça $\phi 67,3$, para ferro cortante com cabo 16×25 , para tratamento do aço com liga e profundidade de corte até 3 mm recomenda-se o avanço $S_{vt} =$

0,6 mm/volta e com cabo 25x40 - $S_{vt} = 1,2$ mm/volta. Pois temos cabo do ferro cortante com secção 12x20, que é menor a 1,7 vezes da secção 16x25, diminuimos o avanço tabelado a 1,5 vezes $S_{vc1} = 0,6 / 1,5 = 0,4$ mm/volta.

Segundo a tab. 12 pág. 32 [6] o avanço admissível por resistência da pastilha de liga dura com $\varphi = 45^0$ para espessura da pastilha 4 mm e profundidade de corte até 4 mm é $S_{vt} = 1,3$ mm/v. Segundo a nota 4 este valor há de multiplicar por coeficientes de correcção 0,9 (pois temos superfície a trabalhar forjada o que vai provocar choques pequenos). Daí: $S_{vc2} = 1,3 \cdot 0,9 = 1,17$ mm/volta.

Da tab. 14 pág. 34 [6] para garantir a rugosidade $R_z 50$ e tendo raio de bico do ferro cortante $R_b = 2$ mm tomamos o avanço $S_{vt} = 0,8$ mm/volta. Tomando em conta a nota 2 há de multiplicar o valor tabelado por 0,45, pois temos o aço com $\sigma_r = 650$ MPa. Daí: $S_{vc3} = 0,8 \cdot 0,45 = 0,36$ mm/volta.

Dos 3 avanços recomendados (pelo método de tratamento $S_{vc1} = 0,4$ mm/v, pela resistência da pastilha de liga dura $S_{vc2} = 1,17$ mm/v e pela rugosidade $S_{vc3} = 0,36$ mm/volta) tomamos o menor avanço $S_{vc} = 0,36$ mm/volta para satisfazer todas as exigências. Pois na máquina escolhida o avanço regula-se em mm/min a seguir será necessário verificar a possibilidade de instalação deste avanço na máquina. Da tab. 17 pág. 35 [6] escolhemos o coeficiente e expoentes para calcular a velocidade de corte Para facejamento do aço com liga 40X com ferro cortante de liga dura T15K6 e com avanço $S_{vc} = 0,36$ mm/v melhor serve segunda linha para torneamento dos aços ao carbono com $\sigma_r = 750$ MPa com ferramenta de liga dura T15K6:

$$C_v = 350; x_v = 0,15; y_v = 0,35; m = 0,2$$

Pois não há notas correspondentes ao processo observado tomamos o coeficiente $C_{cv} = 1$. O tratamento faz-se sem líquido refrigerante.

Escolhemos a duração da ferramenta $T_e = 60$ min que é recomendada para semiacabamento. Pois simultaneamente trabalha uma só ferramenta e um operário serve uma só máquina-ferramenta temos: $K_{Tf} = 1$; $K_{Tm} = 1$ e $T = 60$ min.

Pois condições de tratamento são parecidas as de tratamento da face direita (com excepção das dimensões do cabo e dos ângulos φ e φ_1), da pág. 42 tomamos: $K_{mv} = 1,1$; $K_{esv} = 0,8$; $K_{mfv} = 1$. Da tab. 18a pág. 36 [6] tomamos os coeficientes de correcção: $K_{\varphi v} = 1$ (para $\varphi = 45^0$); $K_{\varphi_1 v} = 0,87$ (para $\varphi_1 = 45^0$); $K_{rv} = 1$ (para ferramenta de liga dura). Para cabo 12x20 da tab. 18b pág. 36 [6] tomamos $K_{qv} = 0,93$. O facejamento realiza-se do diâmetro $D = 67,3$ mm até $d = 19,9$ Neste caso temos relação $d / D = 0,3$ e da tab. 18c pág. 36 [6] tomamos o coeficiente $K_{mt} = 1,24$.

Segundo a fórmula (39) temos: $K_v = 1,1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,87 \cdot 1 \cdot 0,93 \cdot 1,24 = 0,88$

Segundo a fórmula (40) temos: $V_c = \frac{350 \cdot 1}{60^{0,2} \cdot 0,9^{0,15} \cdot 0,36^{0,35}} \cdot 0,88 = 198$ m/min

Segundo a fórmula (41): $n_c = \frac{1000 \cdot 198}{3,1416 \cdot 67,3} = 936$ rpm

Escolhemos primeira faixa de frequências de rotação da máquina (até 1000 rpm) e $n_m = 936$ rpm. Neste caso temos: $V_r = 198$ m/min; $S_m = 0,36 \cdot 936 = 337$ mm/min. O avanço S_m pode ser instalado na máquina escolhida pois fica dentro dos limites de 2,5 a 1270 mm/min.

Verificarmos a possibilidade de uso dos regimes escolhidos no torno DM 3030 pela potência. Da tab. 22 pág. 37 [6] escolhemos o coeficiente e expoentes para calcular força de corte:

$$C_{pz} = 3000; x_{pz} = 1; y_{pz} = 0,75; n_{pz} = -0,15$$

Pois trata-se mesmo material que no facejamento da face direita: $K_{mp} = 0,9$; $K_{df} = 1,6$. Da tab. 23 pág. 39 [6] escolhemos $K_{\phi p} = 1$ (para $\phi = 45^\circ$); $K_{\gamma p} = 0,95$ (por extrapolação para $\gamma = 15^\circ$); $K_{\lambda p} = 1$ (para $\lambda = 0^\circ$); $K_{rp} = 1$ (para ferramenta de liga dura).

Segundo a fórmula (43) temos:

$$P_z = 3000 \cdot 0,9^1 \cdot 0,35^{0,75} \cdot 198^{-0,15} \cdot 0,9 \cdot 1,6 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 1 = 777 \text{ N}$$

Pela fórmula (29) a potência de corte $N_c = 777 \cdot 198 / 60000 = 2,6 \text{ kW}$

O torno DM 3030 pode realizar este tratamento pois $N_c = 2,6 < N_m \cdot \eta = 4 \text{ kW}$ (veja pág. 44).

Tomamos o comprimento da parte saliente do ferro cortante $L = 30 \text{ mm}$. Segundo as fórmulas (45) e (44) temos: $W = 12 \cdot 20^3 / 6 = 800 \text{ mm}^3$; $\sigma_f = 777 \cdot 30 / 800 = 29,1 \text{ MPa}$, o que é muito menor das tensões admissíveis para cabo do ferro cortante (veja pág. 45). Quer dizer o ferro cortante suporta a carga.

Segundo as fórmulas (30) e (46) temos: $C_{um} = 2,6 / 4 = 0,64$; $C_{uf} = 198 / 198 = 1$. Isso significa que o torno DM 3030* utiliza-se satisfatoriamente pela potência (pois o coeficiente C_{um} fica dentro de $0,6 \div 0,8$) e ferro cortante utiliza-se muito bem (pois o coeficiente C_{uf} é igual a 1).

Segundo às fórmulas (47), (31) e fig. 27, calculamos tempo básico:

$$T_{b1} = ((67,3 - 19,9)/2 + 2 + 0,9 \cdot \text{tg } 45 + 2) / (0,36 \cdot 936) = 0,09 \text{ min}$$

As acções auxiliares desta passagem incluem: instalação da frequência de rotação e do avanço pretendidos; rotação do cabeçote revolver até instalação do ferro cortante para facejar na posição de trabalho; ligação da rotação da árvore principal; aproximação e afastamento do ferro cortante a / de superfície a trabalhar / trabalhada. Estimamos tempo da execução destas acções $T_{a1} = 0,2 \text{ min}$.

Torneamento do cilindro externo

Segundo a tab. 6 depois de tratamento de semiacabamento do cilindro externo há de receber o diâmetro $\phi 64h12_{(-0,3)}$ e $R_z 40 \mu\text{m}$. Neste caso utiliza-se mesmo ferro cortante que foi usado para passagem anterior só que agora no corte participa o bico superior e o ângulo $\phi_1 = 45^\circ$ será a direita (veja fig. 27). A sobresspessura para cilindragem externa calcula-se pela fórmula da pág. 4 [6]:

$$Z = (D_{inic} - D_{fin})/2, \quad (53)$$

onde D_{inic} e D_{fin} são diâmetros antes e depois de tratamento em mm.

Para caso observado temos: $Z = (67,3 - 64)/2 = 1,65 \text{ mm}$. Se levantar toda camada por um passo vemos ter $t = 1,65 \text{ mm}$. Pois condições de tratamento são parecidas ao tratamento anterior, tomamos $S_{vm} = 0,36 \text{ mm/v}$ (que garante $R_z 40$); $C_v = 350$; $x_v = 0,15$; $y_v = 0,35$; $m = 0,2$; $K_{mv} = 1,1$; $K_{esv} = 0,8$; $K_{mfv} = 1$; $K_{\phi v} = 1$; $K_{\phi 1v} = 0,87$; $K_{rv} = 1$; $K_{qv} = 0,93$. Mas $K_{mtv} = 1$, pois faz-se o tratamento com avanço longitudinal (veja tab. 18c pág. 36 [6])

Calculamos a velocidade de corte pela fórmula (40):

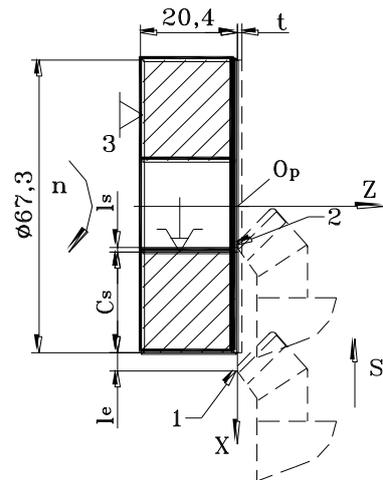


Figura 27. Trajectória de deslocamento do ferro cortante durante facejamento

$$V_c = \frac{350 \cdot 1}{60^{0,2} \cdot 1,65^{0,15} \cdot 0,36^{0,35}} \cdot 1,1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,87 \cdot 1 \cdot 0,93 \cdot 1 = 146 \text{ m/min}$$

Segundo a fórmula (41) $n_c = 1000 \cdot 146 / (3,14 \cdot 67,3) = 688 \text{ rpm}$.

Pela máquina escolhemos $n_m = 688 \text{ rpm}$, então $V_r = 146 \text{ m/min}$ e $S_m = 0,36 \cdot 688 = 248 \text{ mm/min}$ que pode ser instalado na máquina. O coeficiente, expoentes e coeficientes de correcção da força de corte são mesmos que para tratamento anterior, por isso segundo a fórmula (43) temos:

$$P_z = 3000 \cdot 1,65^1 \cdot 0,36^{0,75} \cdot 146^{-0,15} \cdot 0,9 \cdot 1,6 \cdot 1 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 1 = 1408 \text{ N}$$

Segundo a fórmula (29) $N_c = 1408 \cdot 146 / 60000 = 3,4 \text{ kW}$ que é menor $N_m \cdot \eta = 4 \text{ kW}$ o que significa que cilindragem observada pode ser realizada no torno DM 3x00.

Segundo a fórmula (44) $\sigma_f = 1408 \cdot 30 / 800 = 53,5 \text{ MPa}$, o que é muito menor das tensões admissíveis para cabo do ferro cortante (veja pág. 45), i. é o ferro cortante suporta a carga.

O coeficiente de uso da máquina segundo a fórmula (30) $C_{um} = 3,4 / 4 = 0,85$ o que significa de a máquina utiliza-se pela potência muito bom. Segundo a fórmula (46) o coeficiente de uso da ferramenta $C_{uf} = 1$ o que significa que a ferramenta utiliza-se plenamente.

O tempo básico de tratamento para cilindragem calculamos pelas fórmulas (31) e (47), tomando em conta fig. 28:

$$T_{b2} = (20,4 + 2 + 1,65 \cdot \text{ctg } 45 + 2) / (0,36 \cdot 688) = 0,11 \text{ min}$$

As acções auxiliares desta passagem incluem: mudança da frequência de rotação; aproximação e afastamento do ferro cortante a superfície a trabalhar / trabalhada. Estimamos tempo da execução destas acções $T_{a2} = 0,1 \text{ min}$.

Abertura dos chanfros externos 5

Temos dois chanfros externos 5, esquerdo e direito. No fim de tratamento de toda peça estes chanfros devem ter o cateto de 1 mm. Depois deste tratamento das faces 3 ainda serão levantadas camadas de 0,2 mm de cada lado o que vai diminuir catetos em 0,2 mm. Por isso agora é necessário abrir chanfros externos 5 de $1,2 \pm 0,1 \times 45^\circ \pm 1^\circ$ e $R_z 40 \mu\text{m}$. Este tratamento será feito com ferro cortante anterior só que neste caso nenhum bico vai participar no corte e o ângulo ϕ_1 não tem sentido, pois no corte participa só aresta cortante principal.

Tomando tudo isso em conta e que as condições de tratamento neste caso são aproximadamente iguais as do tratamento anterior, o comprimento do deslocamento da ferramenta é pequeno, tomamos seguinte regimes de tratamento: $t = 1,2 \text{ mm}$; $S_v = 0,36 \text{ mm/v}$; $S_m = 337 \text{ mm/min}$; $n_m = 936 \text{ rpm}$. Daí, segundo a fórmula (42) vamos ter:

$$V_r = 3,14 \cdot 64 \cdot 936 / 1000 = 188 \text{ m/min}$$

O tempo básico de tratamento para chanfragem calculamos pela fórmula (31), tomando em conta fig. 29: $T_{b3} = T_{b4} = (1,2 + 2) / 337 = 0,01 \text{ min}$.

$T_{a3} = 0$, pois depois de cilindragem ferramenta fica na posição pretendida. As acções auxiliares da 4ª passagem afastamento e aproximação do ferro cortante de / a superfícies trabalhada / a trabalhar. Estimamos tempo da execução destas acções $T_{a4} = 0,1 \text{ min}$.

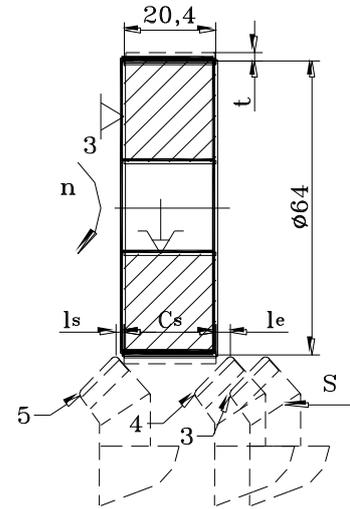


Figura 28. Trajectória de deslocamento do ferro cortante durante cilindragem

Abertura dum chanfro interno 6

As condições de tratamento deste chanfro são iguais as do tratamento do chanfro direito feito na fase anterior, por isso aqui tomamos mesma ferramenta, mesmos regimes e tempo de tratamento (veja pág. 50 e 51).

Determinação do tempo de execução da fase.

A preparação para execução da fase 40 inclui: recepção e estudo da tarefa segundo a cartão de fase; recepção duma caixa com 200÷ 210 peças brutas; recepção, afiação, instalação e calibração na máquina de ferros cortantes para facejar e para chanfrar interno; recepção dos medidores; procura e transferência do programa de controle do computador para controlador da máquina; verificação de funcionamento do programa de controle sem e com peça bruta instalada. Estimamos o tempo de preparação desta fase $T_{pr40} = 40$ min.

Para 5 passagens da 40ª fase temos:

$$\Sigma T_{b40} = 0,09 + 0,11 + 0,01 + 0,01 + 0,008 = 0,23 \text{ min}$$

$$\Sigma T_{a40} = 0,2 + 0,2 + 0,1 + 0 + 0,1 + 0,2 = 0,8 \text{ min}$$

Pois o equipamento e a fase 40 são bastante complexas tomamos a soma dos coeficientes $\alpha + \beta + \gamma = 15\%$. Dai, segundo a fórmula (33) temos:

$$T_{f40} = 40 / 200 + (0,23 + 0,8) \cdot 1,15 = 1,4 \text{ min.}$$

Pois o tratamento faz-se na máquina de comando programado a seguir determinam-se as coordenadas das trajectórias de deslocamento de todas as ferramentas, acções que devem ser executadas automaticamente e elabora-se o programa de controle.

Determinação das coordenadas das trajectórias de deslocamento das ferramentas e acções a executar na fase 40

Para determinação das coordenadas das trajectórias de deslocamento de todas as ferramentas utilizamos fig. 28, 29, 30 e 24. O sistema de coordenadas está tomada em conformidade com recomendações para máquina escolhida e está apresentada na fig. 28. As coordenadas dos pontos críticos das trajectórias determinam-se através de dimensões das superfícies a trabalhar e trabalhadas, tomando em conta que as coordenadas X são diamétrais e que a distância entre dois bicos do primeiro ferro cortante é igual a 8 mm. Assim temos:

- para facejamento temos (veja fig. 27):

$$X_1 = 67,3 + 2 \cdot (2 + 0,9 \cdot \text{tg}45^\circ) = 73,1 \text{ mm}; \quad Z_1 = 0;$$

$$X_2 = 19,9 - 2 \cdot 2 = 15,9 \text{ mm}; \quad Z_2 = 0;$$

- para cilindragem temos (veja fig. 28):

$$X_3 = 64 + 2 \cdot 8 = 80 \text{ mm}; \quad Z_3 = 2 \text{ mm};$$

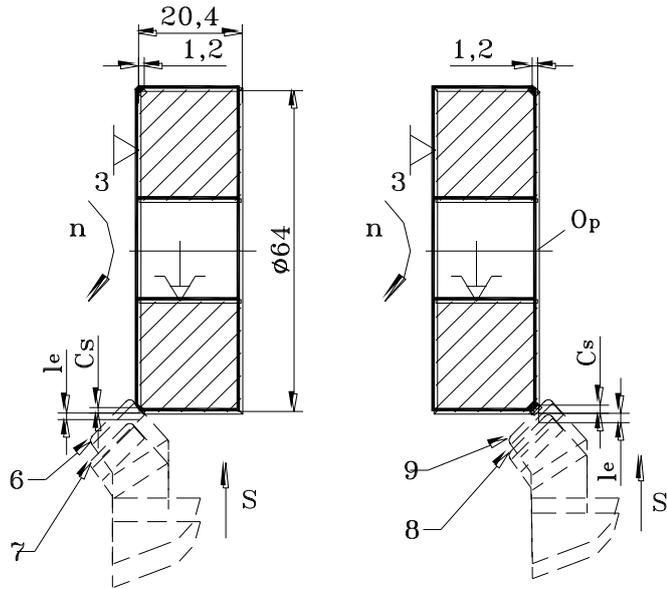


Figura 29. Trajectórias de deslocamento do ferro cortante durante chanfragem externa

$$X_4 = 80 \text{ mm}; \quad Z_4 = 2 + 1,65 \cdot \operatorname{tg}45^\circ - 8 = -4,35 \text{ mm};$$

$$X_5 = 80 \text{ mm}; \quad Z_5 = -20,4 - 2 - 8 = -30,4 \text{ mm}$$

- para: chanfragem externa esquerda temos (veja fig. 29)

$$X_6 = 64 - 2 \cdot 1,2 + 2 \cdot 8 = 77,6 \text{ mm}; \quad Z_6 = -30,4 \text{ mm};$$

$$X_7 = 64 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot 8 = 84 \text{ mm}; \quad Z_7 = -30,4 \text{ mm};$$

- para chanfragem externa direita temos (veja fig. 29):

$$X_8 = 64 + 2 \cdot 8 = 80 \text{ mm}; \quad Z_8 = 2 - 8 = -6 \text{ mm};$$

$$X_9 = 64 - 2 \cdot 1,2 + 2 \cdot 8 = 77,6 \text{ mm}; \quad Z_9 = -6 \text{ mm};$$

- para ferro cortante para chanfrar interno (veja fig. 24) tomamos a disposição diametral do bico 26 mm e daí: $X_1 = 26 \text{ mm}; \quad Z_1 = 2 + (26 - 19,9) / 2 = 5 \text{ mm}$

$$X_2 = 26 \text{ mm}; \quad Z_2 = (26 - 22,4) / 2 = 1,8 \text{ mm}$$

As coordenadas e acções a realizar estão apresentadas na tab. 12.

Tabela 12. Coordenadas dos pontos críticos das trajectórias de deslocamento das ferramentas e acções a realizar da fase 40

N_{feram}	N_{ponto}	X, mm	Z, mm	Acções a realizar
1	0	70	200	Disposição inicial do ferro cortante 1
	1	71,5	0	Aproximação rápida do ferro cortante 1 a face, ligação da rotação da árvore principal $n_m = 936 \text{ rpm}$, instalação avanço $S_m = 337 \text{ mm/min}$
	2	18	0	Facejamento
	3	72	2	Afastamento rápido do ferro cortante 1 da peça
	4	72	9	Aproximação rápida do ferro cortante 1 a peça, alteração $n_m = 668 \text{ rpm}$, $S_m = 248 \text{ mm/min}$
	5	72	-21,4	Cilindragem
	6	67,6	-21,4	Abertura do chanfro externo esquerdo
	7	73	-21,4	Afastamento rápido do ferro cortante 1 para O_f
	8	73	-6	Aproximação rápida do ferro cortante 1 a peça
	9	73	67,6	Abertura do chanfro externo direito
2	0	70	200	Afastamento rápido do ferro cortante 1 da peça, instalação do ferro cortante 2 para chanfrar interno na posição de trabalho
	1	16	0	Aproximação rápida do ferro cortante a peça, alteração $n_m = 1000 \text{ rpm}$, $S_m = 400 \text{ mm/min}$
	2	16	-3,2	Abertura do chanfro interno direito
1	0	70	200	Afastamento do ferro cortante 2 da peça, instalação do ferro cortante 1 na posição de trabalho, desligação da rotação da árvore principal, sinalização do fim de tratamento da peça, retirada da peça trabalhada, instalação da peça bruta nova, repetição de tratamento da peça nova

Elaboração do programa de controle da 40ª fase

O programa de controle está elaborada em língua Dynamyte para tornos [8] e corresponde as acções e as coordenadas apresentadas na tab. 12.

000 START MM 01	010 Z 2.000
001 TOOL 1	011 GOfZ- 4.300
002 SET UP >dczx	012 SPD SP= 688
003 SPINDLE ON	013 FR Z/M= 248
004 SPD SP= 936	014 GO Z- 30.400
005 GOfX 73.100	015 GO X 73.600
006 Z 0.000	016 GOfX 84.000
007 FR X /M= 337	017 GOfX 80.000
008 GO X 15.900	018 Z- 6.000
009 GOfX 80.000	019 GO X 73.600
020 Z>CLR Z	027 GO Z- 3.200
021 X>CLR X	028 Z>CLR Z
022 TOOL 2	029 X>CLR X
023 SPD SP= 1000	030 TOOL 1
024 FR Z/M= 400	031 SPINDLE OFF
025 GOfX 16.000	032 CONTROL 1
026 Z 0.000	033 END NEWPART

9.5. Fase 50. Brocheamento do escatel

Esta fase é simples, contem uma só passagem. Para brocheamento é necessário garantir um único movimento de deslocamento rectilíneo da brocha relativamente a peça a trabalhar. A oficina não tem brocheadoras mas o deslocamento rectilíneo da brocha pode ser realizado num torno, numa fresadora ou furadora, numa prensa manual ou excêntrica, num limador mecânico. Na pág. 24 foi feita proposta de fazer o brocheamento num torno. Escolhemos o torno de modelo 16K20 que permite realizar o deslocamento rápido do carro longitudinal sem rotação da árvore principal e é bastante rígido e potente.

A peça a trabalhar pode ser instalada na bucha de três grampos do torno (fig. 30). Para agarrar e guiar brocha será necessário projectar e fabricar os dispositivos especiais. A sequência de execução desta fase pode ser seguinte. No início no furo da peça instala-se uma bucha que vai guiar brocha. Depois disso, peça junto com guia instalam-se na parte de entrada da brocha e esta última fixa-se na bucha de agarro instalada no carro transversal. A seguir faz-se o deslocamento rápido do carro longitudinal para esquerda até brocha entrar no furo da árvore principal e peça na bucha de três grampos. Nesta posição faz-se o aperto da peça a trabalhar e depois disso liga-se o deslocamento rápido do carro longitudinal para direita até saída da brocha do furo da peça. Neste momento abre-se escatel. Depois disso desapertam-se e retiram-se brocha e peça e o processo repete-se com outra peça.

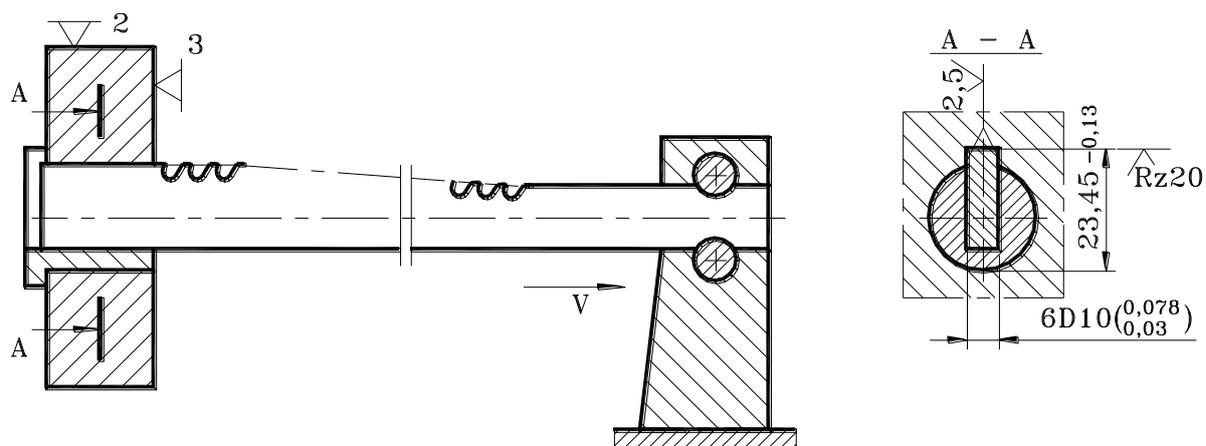


Figura 30. Esquema de brocheamento do escatel

Estimamos o tempo auxiliar ligado com deslocamento rápido do carro para esquerda, aperto e desaperto da peça e brocha $T_{ai} = 0,4$ min.

A peça acabada tem que ter dimensão da geratriz do furo até fundo do escatel 23,5H11 mas no momento de tratamento do escatel o furo central ainda não está acabado. Falta fazer rectificação do furo e levantar camada de $(20 - 19,9) / 2 = 0,05$ mm o que vai aumentar a dimensão observada em 0,05 mm. Por isso depois de brocheamento há de receber dimensão menor em 0,05 mm, ou seja 23,45 mm. Outra dimensão que se recebe nesta fase é a largura do escatel 6D10. Para medir dimensão 23,45H11 e simetria do escatel será necessário projectar e fabricar os calibres machos. O calibre macho 6D10 é normalizado.

A brocha para escatel é uma ferramenta normalizada e por isso pode ser comprada. Pois não temos parâmetros da brocha normalizada e para fins didácticos, determinamos seus parâmetros principais e regimes de tratamento. Para tratamento dos aços de dureza reduzida utilizam-se brochas do aço rápido P6M5 (veja pág. 12 [6]).

O passo entre dentes da parte cortante da brocha determina-se pela fórmula [7]:

$$p_{cor} = (1,25 \div 1,5) \cdot \sqrt{L_p}, \quad (54)$$

onde L_p é o comprimento da superfície trabalhada em mm.

Para caso observado temos: $p_{cor} = (1,25 \div 1,5) \cdot \sqrt{20,4} = 5,6 \div 7$ mm, tomamos $p_{cor} = 6$ mm.

O passo entre dentes da parte calibradora $p_{cal} = (0,6 \div 0,7) \cdot p_{cor}$ (55)

Para caso observado temos: $p_{cal} = (0,6 \div 0,7) \cdot 6 = 3,6 \div 4,2$ mm, tomamos $p_{cal} = 4$ mm.

A altura dos dentes calcula-se pela fórmula [7]: $h = (0,35 \div 0,45) \cdot p_{cor}$ (56)

Para nosso caso temos: $h = (0,35 \div 0,45) \cdot 6 = 2,1 \div 2,7$ mm, tomamos $h = 2,5$ mm.

O comprimento do dorso calcula-se pela fórmula: $C = (0,3 \div 0,35) \cdot p_{cor}$ (57)

Para nosso caso temos: $C = (0,3 \div 0,35) \cdot 6 = 1,8 \div 2,1$ mm, tomamos $C = 2$ mm.

O raio do fundo entre os dentes calcula-se pela fórmula: $R_f = 0,5 \cdot h$ (58)

Para caso observado temos: $R_f = 0,5 \cdot 2,5 = 1,25$, tomamos valor normalizado $R_f = 1,2$ mm.

A profundidade de corte no brocheamento de perfil fica igual ao avanço e corresponde a diferença entre alturas dos dentes adjacentes. Para brocheamento de perfil toma-se $t = S_z = 0,01 \div 0,08$ mm/dente [7]. Pois trabalhamos aço de dureza reduzida no estado depois de forjadura a quente, tomamos $S_z = 0,05$ mm/dente.

Com brocha há de cortar camada $Z = 23,45 - 20 = 3,45$ mm (veja fig. 30).

O número dos dentes da parte cortante determina-se pela fórmula [7]: $n_{\text{cor}} = Z / S_z$ (59)

Para caso observado temos: $n_{\text{cor}} = 3,45 / 0,05 = 69$ dente.

O número dos dentes da parte calibradora toma-se de 2 a 4, tomamos $n_{\text{cal}} = 3$.

O comprimento da parte de trabalho da brocha determina-se pela fórmula:

$$L_{\text{pt}} = p_{\text{cor}} \cdot n_{\text{cor}} + p_{\text{cal}} \cdot n_{\text{cal}} \quad (60)$$

Para nosso caso temos: $L_{\text{pt}} = 6 \cdot 69 + 4 \cdot 3 = 426$ mm.

Tomamos o comprimento da parte de agarro e da guia de entrada $L_{\text{ae}} = 100$ mm e o comprimento da guia de saída $L_{\text{gs}} = 30$ mm. Neste caso recebemos o comprimento total da brocha: $L_{\text{brocha}} = 426 + 100 + 30 = 556$ mm.

Para trabalhar aços de dureza reduzida tomamos: $\gamma = 15^\circ$; para parte cortante $\alpha_{\text{cor}} = 3^\circ$; para parte calibradora $\alpha_{\text{cal}} = 0^\circ$; [7].

A velocidade de corte para brocheamento pode ser tomada das tab. 53 e 52 da pág. 52 [6]. Para trabalhar aços ao cromo e receber rugosidade $R_a 2,5$ com brocha para escatel (chaveta) a velocidade de corte pode atingir 8 m/min. No torno 16K20 a velocidade de deslocamento rápido do carro longitudinal é de 4 m/min e não há possibilidade de regula-la. Por isso o tratamento faz-se com esta velocidade, ou seja $V_r = 4$ m/min.

A força de corte no brocheamento pode ser determinada através força específica P_e tomada da tab. 54 [6]. Para avanço 0,05 mm e tratamento de aço com liga e $HB \leq 197$ toma-se por interpolação $P_e = (238 + 184) / 2 = 211$ N/mm. O comprimento da aresta cortante da brocha é igual a largura do escatel, ou seja 6 mm. Tomando em conta o coeficiente de correcção da força de corte por causa de desgaste da ferramenta $K_{\text{df}} = 1,6$ (veja pág. 37), recebemos força de corte $P_c = 211 \cdot 6 \cdot 1,6 = 2026$ N. Segundo a fórmula (29) a potência de corte $N_c = 2026 \cdot 4 / 60000 = 0,135$ kW. O motor eléctrico do accionamento de deslocamento rápido tem potência $N_m = 0,75$ kW. Disso, pode-se fazer conclusão que o torno 16K20 serve.

O tempo básico de tratamento calcula-se segundo a fórmula [7]:

$$T_b = (L_{\text{pt}} + L_{\text{guia}} + L_{\text{peça}} + L_{\text{adic}}) / (1000 \cdot V_c), \quad (61)$$

onde L_{pt} é o comprimento da parte de trabalho da brocha em mm; L_{guia} é o comprimento da guia traseira em mm; $L_{\text{peça}}$ é o comprimento da superfície trabalhada da peça em mm; L_{adic} é o comprimento adicional, toma-se de 30 a 50 mm.

Para caso observado recebemos: $T_b = (426 + 20 + 20 + 40) / 4000 = 0,13$ min.

A preparação para execução desta fase inclui: recepção e estudo da tarefa segundo a cartão de fase; recepção numa caixa com $200 \div 210$ peças brutas; recepção numa brocha, bucha de guia de brocha, dispositivo de agarro da brocha e medidores; instalação do dispositivo de agarro da brocha no carro transversal. Estimamos o tempo de preparação desta fase $T_{\text{pr50}} = 30$ min.

Pois o equipamento e a fase são de complexidade média, tomamos a soma dos coeficientes $\alpha + \beta + \gamma = 10\%$. Dai, segundo a fórmula (33) temos:

$$T_{f50} = 30 / 200 + (0,13 + 0,4) \cdot 1,1 = 0,8$$
 min.

9.6. Fase 60. Fresagem de desbastamento dos dentes

Para garantir alta produtividade de abertura dos dentes das engrenagens na produção em série e em massa utilizam-se máquinas especializadas para talhar dentes por método de envolvimento. Nestes casos as fases de tratamento dos dentes podem ser consideradas como simples, pois elas se realizam numa só passagem. Na oficina do DEMA não há máquinas especializadas para talhar dentes. O tratamento nas fresadoras universais comuns não garante elevada e alta precisão de tratamento e é muito lento, por isso propõe-se realizar este tratamento por encomenda noutra empresa.

A abertura dos dentes das engrenagens cilíndricas externas pode ser feita numa fresadora ou numa escateladora para talhar dentes. As fresadoras garantem maior produtividade por isso escolhemos uma fresadora para talhar dentes. Pois temos desbastamento numa engrenagem cilíndrica externa com diâmetro $\phi 64$ mm, para fins didáticos escolhemos uma fresadora para talhar dentes do modelo 53A10, que permite trabalhar engrenagens com diâmetro até 125 mm e módulo até 2,5 mm e tem potência $N_m = 3,8$ kW (pág. 41 e 42 [1]).

A peça bruta pode ser instalada numa bucha especial pelo furo e face. O tratamento realiza-se com fresa de módulo sem fim que se instala no mandril e na árvore principal. O tratamento realiza-se de seguinte maneira: peça bruta instala-se e aperta-se numa bucha especial pelo furo central e face, que por sua vez instala-se na máquina entre os dois pontos; peça aproxima-se a ferramenta, liga-se máquina e realiza-se abertura de todos os dentes no regime automático; desaperta-se e retira-se peça trabalhada. O esquema de tratamento está apresentado na fig. 31.

Figura 31. Esquema de fresagem dos dentes.

Estimamos o tempo auxiliar para instalação e retirada da peça $T_{ai} = 0,2$ min.

Nesta fase recebem-se todas as dimensões intermediárias dos dentes. Para rectificação de acabamento dos dentes tomamos a sobresspessura de 0,4 mm no sentido diametral. Então, depois de tratamento será necessário receber: $m = 2$ mm; $z = 30$; $\alpha = 20^\circ \pm AT9/2$; $\beta = 10^\circ \pm AT9/2$; $d_p = 60,4h9$; $d_i = 55,4h12$; $h = 4,3 \pm IT12/2$, $r = 0,16 \pm IT14/2$ e $R_z 20 \mu\text{m}$.

Segundo às recomendações da literatura escolhemos os seguintes parâmetros da fresa de módulo sem fim (pág. 193 [1]): material P6M5; diâmetro externo $D_f = 63$ mm; diâmetro do furo $d_f = 27$ mm; comprimento da parte de trabalho $L_f = 50$ mm; número dos dentes $z_f = 12$ dentes; módulo $m = 2$ mm; ângulo de engrenamento $\alpha_p = 20^\circ$; tipo de afiação dos dentes é cerceado; ângulos de afiação: ângulo de folga $\alpha = 12^\circ$; ângulo de ataque $\gamma = 8^\circ$.

Tentamos levantar toda a camada igual a altura do dente por um passo. Neste caso profundidade de corte $t = 4,3$ mm. Fresa de módulo sem fim pode ser considerada como fresa perfilada. Daí, para fresas perfiladas com diâmetro $D_f = 63$ mm e profundidade de corte $t = 4,3$ mm, da tab. 36 pág. 44 [6] por interpolação escolhemos o avanço $S_z = 0,06$ mm/dente.

Determinamos a largura de fresagem pela fórmula: $B_f = 2 \cdot \pi \cdot m$ (62)

Para nosso caso temos: $B_f = 2 \cdot 3,14 \cdot 2 = 12,6$ mm.

Da tab. 39 pág. 46 [6] escolhemos coeficiente e expoentes para cálculo da velocidade de corte. Para tratamento do aço de construção com fresas perfiladas com perfil côncavo de aço rápido P6M5 escolhemos: $C_v = 44$; $q_v = 0,45$; $x_v = 0,3$; $y_v = 0,2$; $u_v = 0,1$; $p_v = 0,1$; $m = 0,33$

Da tab. 40 pág. 47 [6] escolhemos a duração da fresa $T = 120$ min, que serve para fresas perfiladas com diâmetro $\phi 63$ mm. Pois material a trabalhar é o aço com liga com propriedades

mecânicas diferentes de dados da tab. 39, determinamos o coeficiente de correcção K_{mv} pela fórmula (38). Para fresagem do aço ao cromo da tab. 2 pág. 29 [6] escolhemos $C_m = 0,85$; $n_v = 1,45$. Daí, $K_{mv} = 0,85 (750 / 650)^{1,45} = 1,05$. $K_{esv} = 1$, pois superfície não tem crosta, já foi trabalhada. $K_{mfv} = 1$, pois material escolhido coincide com material da tab. 39.

A velocidade de corte para fresagem calcula-se pela fórmula seguinte [6]:

$$V_c = \frac{C_v * D^{q_v}}{T^m * t^{x_v} * S_z^{y_v} * B^{u_v} * Z^{p_v}} * K_v, \quad \text{onde } K_v = K_{mv} * K_{esv} * K_{mfv}. \quad (63)$$

Para nosso caso temos: $V_c = \frac{44 \cdot 63^{0,45}}{120^{0,33} \cdot 4,3^{0,3} \cdot 0,06^{0,2} \cdot 12,6^{0,1} \cdot 12^{0,1}} \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 1 = 42 \text{ m/min.}$

Pela fórmula (41) $n_c = 1000 \cdot 42 / (3,14 \cdot 63) = 212 \text{ rpm}$. Tomamos pela máquina $n_m = 200 \text{ rpm}$. Daí, pela fórmula (42) $V_r = 3,14 \cdot 63 \cdot 200 / 1000 = 40 \text{ m/min}$.

Da tab. 41 pág. 47 [6] tomamos o coeficiente e expoentes para calcular força de corte. Para tratamento de aço de construção com fresa perfilada de aço rápido escolhemos: $C_p = 470$; $x_p = 0,86$; $y_p = 0,72$; $u_p = 1$; $q_p = 0,86$; $w_p = 0$. Para fresagem do aço 40X temos: $K_{mp} = (650/750)^{0,3} = 0,96$; $K_{df} = 1,6$ (veja pág. 37).

Pela fórmula (27) $P_z = \frac{470 \cdot 4,4^{0,86} \cdot 0,06^{0,72} \cdot 12,6^1 \cdot 12}{63^{0,86} \cdot 200^0} \cdot 0,96 \cdot 1,6 = 1573 \text{ N}$.

Pela fórmula (29) $N_c = 1573 \cdot 40 / 60000 = 1,04 \text{ kW}$, que é muito menor da potência da máquina ($N_m = 3,8 \text{ kW}$), por isso os regimes e a máquina escolhidos servem.

O comprimento de entrada da ferramenta calcula-se pela fórmula: $l_e = \sqrt{t \cdot (D_f - t)}$ (64)

Para nosso caso temos: $l_e = \sqrt{4,3 \cdot (63 - 4,3)} = 16,1 \text{ mm}$.

Para trabalhar 30 dentes pela fórmula (31) recebemos:

$$T_b = 30 (20,4 + 16,1 + 2) / (0,06 \cdot 12 \cdot 200) = 9,5 \text{ min.}$$

A preparação para execução desta fase inclui: recepção e estudo da tarefa segundo a cartão de fase; recepção numa caixa com $200 \div 210$ peças brutas, numa fresa de módulo sem fim, bucha especial de instalação da peça e medidores; instalação da fresa na máquina; regulação dos accionamentos de avanço, envolvimento e divisão. Estimamos o tempo de preparação desta fase $T_{pr60} = 40 \text{ min}$.

Pois o equipamento e a fase são de complexidade média, tomamos a soma dos coeficientes $\alpha + \beta + \gamma = 10\%$. Daí, segundo a fórmula (33) temos:

$$T_{f50} = 40 / 200 + (8,1 + 0,4) \cdot 1,1 = 9,6 \text{ min.}$$

9.7. Fase 70. Têmpera

Pois temos produção em série média e trabalhamos aços de construção com liga 40X (41Cr4), escolhemos a têmpera volumétrica em óleo. Esta fase é simples. No início do dia no forno carregam-se algumas peças frias. Depois de atingir a temperatura necessária para têmpera, no forno quente coloca-se uma peça nova fria, retira-se uma peça quente e mergulha-se em óleo frio até arrefecimento da peça.

O posto de trabalho desta fase deve ser equiparado com em forno, um banho com óleo e tenazes. Para realizar esta fase escolhemos forno eléctrico de modelo ___ e um barril com 20 l de óleo industrial.

Segundo as normas ISO 683-18, a têmpera do aço 41Cr4 (40X) pode ser feita da temperatura de 820 a 860°C. A temperatura de aquecimento para têmpera podemos determinar pela fórmula [9]:

$$t_t^{\circ} = A_{3L} + 30 \div 50^{\circ} \quad (65)$$

Tomando em conta temperatura A_{3L} , determinada na pág. 39, vamos ter:

$$t_t^{\circ} = 800 + 20 - 230 \cdot 0,05 + 30 \div 50 = 838,5 \div 858,5^{\circ}\text{C}$$

O valor determinado fica dentro dos limites recomendados nas normas ISO. Tomamos a temperatura do forno para têmpera $t_t^{\circ} = 850 \pm 10^{\circ}\text{C}$.

O tempo de aquecimento duma peça determinamos pela fórmula (36). A dimensão mínima da secção mais grossa da peça $D_{\min \max} = 20,4$ mm. Para aquecimento no forno quente com temperatura 850°C do diagrama [9] $K_{ia} = 0,09$. Para meio gasoso $K_{ma} = 2$. Para peças em forma do disco colocados num canto $K_{fp} = 2$. Para aquecimento das peças de todos os lados $K_{la} = 1$. Daí:

$$T_{aq} = 20,4 \cdot 0,09 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 1 = 7,4 \text{ min.}$$

Estimamos o tempo de colocação duma peça fria no forno, extracção duma peça quente do forno, seu deslocamento até barril com óleo, seu arrefecimento e colocação duma peça temperada numa caixa $T_b + T_a = 0,7$ min. O tempo de aquecimento é muito maior do tempo de arrefecimento. Para evitar perda do tempo na espera de aquecimento é necessário colocar no forno $T_{aq} / (T_b + T_a) = 7,4 / 0,7 = 11$ peças.

A preparação para execução desta fase inclui: recepção e estudo da tarefa segundo a cartão de fase; recepção duma caixa com 200 ÷ 210 peças; aquecimento do forno até temperatura 850°C, colocação no forno e aquecimento do primeiro jogo de 11 peças. Estimamos o tempo de preparação desta fase $T_{pr20} = 60$ min.

O tempo de execução da fase calculamos pela fórmula (33), tomando a soma dos coeficientes $\alpha + \beta + \gamma = 10\%$, pois o equipamento e a fase são de complexidade média [8].

Daí:
$$T_{f70} = 60 / 200 + 0,7 \cdot 1,1 = 1,1 \text{ min.}$$

9.8. Fase 80. Revenimento alto

Esta fase é simples. No forno quente carrega-se uma caixa com peças frias e faz-se uma exposição. Depois disso caixa com peças extrai-se do forno e coloca-se no chão para arrefecimento. O posto de trabalho desta fase deve ser equiparado com em forno, uma caixa para peças e tenazes. O número das peças que se colocam numa caixa depende dos volumes da câmara de trabalho do forno, da caixa e duma peça. Para realizar esta fase escolhemos forno eléctrico de modelo ___.

A temperatura do forno para revenimento alto dos aços de construção toma-se de 550 a 650°C. Tomamos $t_{aq}^{\circ} = 550^{\circ}\text{C}$ para receber maior resistência a ruptura. A exposição das peças no forno quente para revenimento alto dos aços de construção faz-se de 2 a 3 h. Pois peças são pequenas e uniformes, tomamos $T_{exp} = 2 \text{ h} = 120 \text{ min.}$

A preparação para execução desta fase inclui: recepção e estudo da tarefa segundo a cartão de fase; recepção duma caixa com 200 ÷ 210 peças; aquecimento do forno até temperatura

600°C, colocação das peças por filas na caixa metálica. Estimamos o tempo de preparação desta fase $T_{pr20} = 40$ min.

O tempo de execução da fase calculamos pela fórmula (33), tomando a soma dos coeficientes $\alpha + \beta + \gamma = 8\%$, pois o equipamento é de complexidade média e a fase é simples [8].

Dai: $T_{f80} = 1,08 \cdot (40 + 120) / 200 = 0,9$ min.

Determinação das propriedades mecânicas do material depois de tratamento térmico

As propriedades mecânicas mais exactas duma peça depois dum tratamento térmico podem ser determinadas por ensaio. As propriedades mecânicas de alguns materiais e depois de alguns métodos de tratamento térmico podem ser encontradas nas normas ISO, GOST, etc. Assim, para nosso caso, segundo a norma ISO 683-180 pág. 24, o aço 41Cr4 (40X) com espessura de 16 mm depois de têmpera e revenimento alto pode tem seguintes propriedades mecânicas: $\sigma_r = 1000 \div 1200$ MPa; $\sigma_{02} = 800$ MPa; $\delta_{min} = 11\%$; $KU_{min} = 20$ J

Se não encontrar as propriedades mecânicas para um aço e tratamento térmico pretendido, pode-se determinar as propriedades aproximadas de seguinte maneira. Depois de têmpera e revenimento determina-se a dureza HRC que o aço pode ter através da fórmula seguinte:

$$HRC_L = HRC_C^t + \Sigma \Delta HRC_L, \quad (66)$$

onde HRC_C^t é a dureza HRC dum aço ao carbono que se determina pelo diagrama de dependência da dureza HRC da temperatura de revenimento e do teor de carbono [9]; $\Sigma \Delta HRC_L$ é soma das parcelas que se determinam dos diagramas de dependência da dureza HRC do teor de cada um dos elementos de liga e da temperatura de revenimento [9].

Para caso observado temos seguinte. Para temperatura de revenimento 550°C e teor de carbono 0,4% do diagrama [9] $HRC_C^t = 27$. Para teor de cromo 1% e temperatura de revenimento 550°C do diagrama [9] $\Delta HRC_{Cr} = 4,5$. Daí: $HRC_L = 27 + 4,5 = 31,5$

A dureza HB determina-se pela fórmula: $HB = (9 \div 10) \cdot HRC$ (67)

Para caso observado temos: $HB = 9,5 \cdot 31,5 = 299$ kgf/mm².

O limite de ruptura determina-se pela fórmula: $\sigma_r = (3,3 \div 3,5) \cdot HB$ (68)

Para nosso caso temos: $\sigma_r = 3,4 \cdot 299 = 1017$ MPa.

O limite de escoamento determina-se pela fórmula: $\sigma_{02} = (0,5 \div 0,9) \cdot \sigma_r$ (69)

Para revenimento alto temos: $\sigma_{02} = 0,7 \cdot 1017 = 712$ MPa.

9.9. Fase 90. Torneamento de acabamento das faces

A fase é simples, está constituída de duas passagens (torneamento da face direita e depois esquerda) com uma única ferramenta, ferro cortante para facejar externo. Pois peça e camada a cortar são pequenas, o tratamento pode ser realizado num torno de modelo 1224B, pois peça e camada a cortar são pequenas. Segundo a escolha das bases tecnológicas, peça a trabalhar deve ser instalada numa bucha especial pelo furo central e uma face. O ferro cortante instala-se num porta-ferramenta da máquina. O esquema de tratamento da face está parecida a apresentada na fig. 25, só que depois de tratamento duma face aqui há de receber dimensão 20,2_{-0,21} e rugosidade $R_z 20$ e depois de tratamento doutra face – 20_{-0,21}. Pois temos produção em série média, para medição destas dimensões podem ser utilizados calibres fêmeas 20,2h12 e 20h12. Tomamos o tempo de instalação e reinstalação da peça numa bucha $T_{ai} = 0,3$ min.

Segundo a tab. 30 pág.23 [6], o ferro cortante para este tratamento pode ter mesmos parâmetros como os do ferro cortante para facejar externo para fase 40 (veja página 56). Segundo a tab. 14 pág. 34 [6], para garantir a rugosidade R_z 20 e raio de bico da ferramenta $R_b = 2$ mm recomenda-se: $S_{vt} = 0,55$ mm/v. Tomando em conta a nota, este valor há de multiplicar por coeficiente 1,25, pois temos $\sigma_r = 1000 \div 1200$ MPa.

Daí, $S_{vc} = 0,55 \cdot 1,25 = 0,69$ mm/v. Tomamos pela máquina (pág. 10 [6]) $S_{vm} = 0,642$ mm/v. A velocidade de corte para aço temperado determinamos pela tab. 20 pág. 37 [6]. Para avanço $S_{vm} = 0,642$ mm/v e dureza do material a trabalhar HRC 31,5 por extrapolação determinamos $V_{ct} = 125$ m/min. Segundo as notas este valor há de multiplicar por: 1,2, pois temos profundidade de corte $t = 0,2$ mm; 1, pois temos rugosidade R_z 20; 1, pois temos ferro cortante de liga dura T15K6; 1, pois temos $\phi = 45^\circ$; 0,9, pois tratamento realizamos sem líquido refrigerante. Então, temos: $V_{cc} = 125 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9 = 135$ m/min.

Segundo a fórmula (41) $n_c = 1000 \cdot 135 / (3,14 \cdot 64) = 671$ rpm. Pela máquina (pág. 10 [6]) escolhemos $n_m = 610$ rpm. Então, segundo a fórmula (42) recebemos:

$$V_r = 3,14 \cdot 64 \cdot 610 / 1000 = 123 \text{ m/min.}$$

Pois levanta-se pequena camada ($t = 0,2$ mm) não calculamos força e potência de corte.

Segundo a fórmula (31) $T_b = ((64-19,9) / 2 + 4) / (0,642 \cdot 610) = 0,07$ min para uma face. Estimamos o tempo auxiliar de aproximação e afastamento do ferro cortante $T_a = 0,2$ min.

A preparação para execução desta fase inclui: recepção e estudo da tarefa segundo a cartão de fase; recepção numa caixa com $200 \div 210$ peças, dos medidores; recepção, afiação, instalação e ajustamento dum ferro cortante para facejar; instalação do avanço e da frequência de rotação da árvore principal. Estimamos o tempo de preparação desta fase $T_{pr20} = 20$ min.

Daí, segundo a fórmula (33) e tomando a soma dos coeficientes $\alpha + \beta + \gamma = 8\%$, pois a máquina é de complexidade média e a fase é simples [8].

Daí: $T_{f90} = 20 / 200 + (0,07 \cdot 2 + 0,4 + 0,2 \cdot 2) \cdot 1,08 = 1,2$ min.

9.10. Fase 100. Rectificação do furo central

A fase é simples, está constituída de uma passagem. Nas oficinas do DEMA não há rectificadoras, por isso esta fase só pode ser realizada por encomenda noutra empresa. Segundo as dimensões da peça e da superfície a trabalhar, esta fase pode ser realizada numa rectificadora para cilindrar interna de modelo 3K225B. Segundo a escolha das bases tecnológicas a peça deve ser instalada numa bucha especial pelas ranhuras entre dentes e uma face. Tomamos o tempo auxiliar de instalação e extracção da peça $T_{ai} = 0,2$ min.

O tratamento realiza-se com um rebolo abrasivo que se instala no furo da árvore principal. Depois de rectificação há de receber furo com diâmetro $\phi 20H7(^{+0,021})$ e rugosidade R_a 1,25 μm . O diâmetro pode ser controlado com calibre macho 20H7.

O material do rebolo escolhemos da tab. 56 pág. 55 [6]. Para rectificar furo na peça de aço temperado recomenda-se usar rebolo do electrocoríndon branco EB40CM1K6. Da tab. 55 pág. 53 [6] escolhemos os regimes de rectificação de acabamento do furo no aço de construção: $V_c = 30$ m/s; $V_p = 30$ m/min; $t = 0,005$ mm;

$$S_1 = (0,25 \div 0,4) \cdot B; \quad S_1 = (0,25 \div 0,4) \cdot 16 = 4 \div 6,4 = 5 \text{ mm/v.}$$

Segundo a fórmula (41) determinamos as frequências de rotação do rebolo e da peça:

$$n_r = 1000 \cdot 30 \cdot 60 / (3,14 \cdot 16) = 35828 \text{ rpm, a máquina tem } n_{rm} = 20000 \div 100000 \text{ rpm;}$$

$n_p = 1000 \cdot 30 / (3,14 \cdot 20) = 477 \text{ rpm}$, a máquina tem $n_p = 280 \div 2000 \text{ rpm}$.

Calculamos potência de corte pela fórmula: $N_c = C_N \cdot V_p^{r_N} \cdot t^{x_N} \cdot S_l^{y_N} \cdot D_r^{q_N} \cdot K_N$ (70)

Da tab. 56 pág. 55 [6] temos: $C_n = 0,36$; $r_N = 0,35$; $x_N = 0,4$; $y_N = 0,4$; $q_N = 0,3$.

Tomamos o coeficiente de correcção da potência de corte em função do desgaste do rebolo $K_N = 1,4$. Então, recebemos: $N_c = 0,36 \cdot 30^{0,35} \cdot 0,005^{0,4} \cdot 5^{0,4} \cdot 16^{0,3} \cdot 1,4 = 0,87 \text{ kW}$ que é maior do produto $N_m \cdot \eta = 0,76 \cdot 0,9 = 0,68 \text{ kW}$. Para não perder produtividade seria melhor escolher outra rectificadora mais potente. Se quiser utilizar rectificadora 3K225B há de diminuir regimes de tratamento, perdendo assim produtividade. Por exemplo, se tomamos $V_p = 20 \text{ m/min}$; $t = 0,004 \text{ mm}$ e $S_l = 4 \text{ mm/v}$, recebemos: $n_p = 1000 \cdot 20 / (3,14 \cdot 20) = 318 \text{ rpm}$;

$N_c = 0,63 \text{ kW} < N_m \cdot \eta = 0,68 \text{ kW}$ e por isso o tratamento com estes regimes já pode ser realizado na rectificadora 3K225B.

Pois há de levantar camada $Z = 0,1 \text{ mm}$ no sentido radial e a profundidade de corte escolhida $t = 0,005 \text{ mm}$, o tratamento deve ser realizado em alguns passos. O número de passos de tratamento pode ser calculado pela fórmula: $i = Z / t$ (71)

Para nosso caso temos: $i = 0,1 / 0,005 = 20$ passos. Segundo a fórmula (31) e tomando em conta o número de passos recebemos: $T_b = (20 + 4 + 2 \cdot 16) \cdot 20 / (4 \cdot 318) = 0,9 \text{ min}$. Tomamos o tempo auxiliar de aproximação e afastamento do rebolo $T_a = 0,1 \text{ min}$.

A preparação para execução desta fase inclui: recepção e estudo da tarefa segundo a cartão de fase; recepção numa caixa com $200 \div 210$ peças, dum calibre macho; recepção, instalação e ajustamento dum rebolo; instalação do avanço e das frequências de rotação da árvore principal e da peça. Estimamos o tempo de preparação desta fase $T_{pr20} = 20 \text{ min}$.

Pois máquina é de complexidade média a fase é simples, tomamos $\alpha + \beta + \gamma = 8\%$.

Dai: $T_{f100} = 20 / 200 + (0,9 + 0,2 + 0,1) \cdot 1,08 = 1,4 \text{ min}$.

9.11. Fase 110. Rectificação dos dentes

Como já foi dito antes, as oficinas do DEMA não tem rectificadoras e não tem outras máquinas que podiam garantir a precisão pretendida dos dentes. Por isso esta fase só pode ser realizada por encomenda noutra empresa. Para esta fase pode ser utilizada uma rectificadora para talhar dentes das engrenagens cilíndricas externas. Segundo as dimensões da engrenagem a trabalhar, seu módulo pode ser utilizada rectificadora do modelo 3B832. Nesta máquina o rebolo representa o parafuso sem fim e tratamento realiza-se numa passagem de maneira parecida a fresagem com fresa de módulo sem fim (veja fig. 31). Segundo a escolha das bases tecnológicas, peça a trabalhar instala-se numa bucha especial pelo furo e uma face que por sua vez instala-se entre os pontos. O rebolo instala-se na árvore principal da máquina. O controle da qualidade dos dentes pode ser realizado por meio dum escantilhão e micrómetro especial.

Segundo a tab. 56 pág. 55 [6], o rebolo pode ser feito do electrocoríndon branco EB40CM1K6. Segundo as características da máquina, o rebolo pode ter diâmetro externo $\phi 400 \text{ mm}$ e largura 63 mm , frequência de rotação do rebolo $n_r = 1450 \text{ rpm}$. Segundo a fórmula (42) $V_r = 3,14 \cdot 400 \cdot 1450 / 1000 = 1821 \text{ m/min} = 30,4 \text{ m/s}$.

A frequência de rotação da engrenagem pode ser determinada pela fórmula:

$$n_p = (1 + \text{tg } \beta) \cdot n_r \cdot / z \quad (72)$$

Se tomar que dentes do rebolo tem uma entrada, recebemos:

$$n_p = (1 + \operatorname{tg} 10^\circ) \cdot 1450 / 30 = 56,856 \text{ rpm.}$$

Esta frequência de rotação da peça deve ser bem garantida por ajustamento dos accionamentos do movimento de envolvimento e diferencial para receber engrenagem com número de dentes e ângulo de inclinação pretendidos. Para tal há de escolher engrenagens das guitarras respectivas.

9.12. Fase 120. Boleamento dos bordos agudos

9.13. Fase 130. Controle final dos parâmetros da peça

Avaliação da qualidade do produto

Avaliação técnico-económica das decisões tomadas

Projectação do equipamento especial

Projectação do dispositivo de pinça para o aperto da engrenagem pelo furo

Projectação da bucha para guiar brocha

Projectação do calibre macho para dimensão 23,5H11

Projectação do medidor de simetria de disposição do escatel para chaveta

LITERATURA

Prontuário de tecnólogo de construção de máquinas. Em 2 volumes / Sob revisão A.G. Kosilova e R.K. Mesheriakov. – Moscovo, Mashinostroenie, 1985. Em russo.

R.I Gjirov. Prontuário de construtor. – Leningrad, Mashinostroenie, 1984. Em russo.

A.K. Goroshkin. Dispositivos para máquinas-ferramentas. Prontuário. Moscovo, Mashinostroenie, 1971. Em russo.

A.P. Guláev. Metais e suas ligas. em 2 volumes. - Moscovo, Mir, 1981. Em português.

A.P. Kourbatov. Guia de oficinas gerais. 4 edição, corrigida e adicionada. – Maputo, UEM, 2004.

A.P. Kourbatov. Escolha da ferramenta, da máquina e do regime de corte. Dados tabelados. Guia. – Maputo, UEM, 2004.

A.P. Kourbatov. Apontamentos da disciplina “Corte e máquinas-ferramentas” ou de “Processos de fabricação II”. Maputo, UEM, 1985-2005.

A.P. Kourbatov. Apontamentos da disciplina “Complementos da tecnologia mecânica” ou do “Projecto de corte e máquinas-ferramentas”. Maputo, UEM, 1985-2004.

A.P. Kourbatov. Apontamentos da disciplina “materiais I e II”. Maputo, UEM, 2003-2005

P. Denejni e outros. Manual de torneiro. - Moscovo, Mir, 1981.

F. Barbachov. Manual de fresador. – Moscovo, Mir, 1982.

N. Makienko. Manual de serralheiro. – Moscovo, Mir, 1983.

A. P. Gulaev. Metais e suas ligas. Dois volumes. – Moscovo, Mir, 1981.

Osmar de Brito. Estampos de corte. - São-Paulo, Brasil, Hemus, 1987.

Mario Rossi. Estampado en frio de la chapa. – Barcelona, Espanha, 1971.

Minha proposta de Negócio na Internet!

Eu procuro os parceiros com quem vamos fazer o Negócio na Internet. Precisa o acesso a internet, 3-4 h/dia e um investimento financeiro.

Vou ensinar tudo o que seja necessário. O negócio na Internet tem grande perspectiva, permite ficar financeiramente independente dentro dum tempo.

Vejam o clipe <http://b21v.ru/pt/?p=39> e contactam comigo pelo Skype alexandre.kourbatov

ANEXOS

Desenho da peça acabada

Desenho da peça bruta

Cartões da rota de tratamento

Cartões das fases de tratamento

Esquemas de tratamento

Desenho de montagem do dispositivo de aperto

Desenho do calibre macho 23,5H11

Desenho da bucha para guiar brocha

Descricao da peça a trabalhar

Nome da peça:

Material:

Roda dentada cilíndrica externa m=2, z=30
Aço 41Cr4

N ref.	Nome da superfície	Destino da superfície	Quant.	Dimensoes e precisao	Rugos. Rz/Ra	Serie normal Ra
1	Cilindro externo $\phi 64h12$	Limite da peça, superfície livre	1	$\phi 64h12$	40	Calcul.
2	Furo central $\phi 20H7$	Instalacapo no veio, base construtiva	1	$\phi 20H7$ /o/ - 0,02	Ra1,25	10
3	Faces esq. e dir.	Limites da peça, superfícies de encoste, base construtiva	2	L=20h12 axial 0,02 A	Ra2,5	5
4	Dentes da roda cil. ext. m=2, z=30, CP7	Transmissao de movimento, superfícies principal de trabalho	100	m=2 Dp=60h7 De=64h11 Di=55h11 H=4,5+/-IT11/2 P=6,28+/-IT7/2 $\alpha=20^\circ$ $\beta=0^\circ$ coax. 0,02 A	Ra1,25	10 10 Calcul. 20 Calcul. 1 1
5	Chanfros circ. ext. 1x45°	Eliminar arestas agudas na cabeça dos dentes	2	C=1+/-IT14 $\phi=45^\circ$ +/-AT14	Rz40	5 1
6	Chanfros circ. int. 1x45°	Facilitar instalacao no veio, eliminar arestas agudas no furo central	2	C=1+/-IT14 $\phi=45^\circ$ +/-AT14	Rz40	5 1
7	Escatel	Instalar chaveta prismatica	1	B=6D10 H=23,5H11 R0,16+/-IT14 ? 0,05 A	Ra2,5	5 Calcul. 5
8	Chanfros rectilin. 1x45°	Facilitar instalacao no veio, eliminar arestas agudas no escatel	6	C=1+/-IT14 $\phi=45^\circ$ +/-AT14	Rz40	5 1
9	Superfícies de boleamento	Eliminar arestas agudas nas extremidades dos dentes	200	R0,25+/-IT14	Rz40	5

Sequencia de tratamento das superficies

Nº ref.	Nome e parametros do grupo das superficies	Nº p/o	Metodo de tratamento	Grau toler.	Rugos. Rz μm	Nº grupo tratam.
1	Cilindro ext. $\phi 64h12$, Rz40	1	Forjadura a quente	16	300	1
		2	Torneamento de semiacabamento	12	40	2
2	Furo $\phi 20H7$, /o/0,02, Ra1,25	1	Brocagem	12	80	2
		2	Brocheamento de desbastamento	8	10	3
		3	Rectificacao de acabamento	7	5	4
3	Faces L=20h12, $\alpha 0,02$, Ra2,5	1	Forjadura a quente	16	300	1
		2	Torneamento de semiacabamento	12	50	2
		3	Torneamento de acabamento	12	10	5
4	Dentes da roda cil. externa m=2, z=30, CP7, Ra1,25	1	Fresagem de desbastamento	9	20	6
		2	Rectificacao de acabamento	7	5	7
5	Chanfros circ. ext. 1x45°, Rz40	1	Torneamento unitario	14	40	2
6	Chanfros circ. int. 1x45°, Rz40	1	Torneamento unitario	14	40	2
7	Escatel B=6D10, 23,5H11, Ra2,5	1	Brocheamento de desbastamento	10	10	3
8	Chanfros retilineos 1*45, Rz40	1	Limagem	14	40	8
9	Superfícies boleam. R0,25, Rz40	1	Limagem	14	40	8
	Peça inteira	1	Tempera	-	-	9
	Peça inteira	1	Revenimento alto	-	-	10

Parametros de tecnologibilidade

1. Coeficiente de normalizacao	$K_n =$	1
2. Coeficiente de unificacao	$K_u =$	0,99
3. Coeficiente de superficies usinadas	$K_{su} =$	1
4. Grau de tolerancia media	$IT_m =$	11,7
4. Coeficiente de precisao	$K_p =$	0,91
5. Rugosidade media	$R_{zm} =$	28,49
6. Coeficiente de rugosidade	$K_r =$	0,2
7. Coeficiente de uso do material	$K_{um} =$	0,57
8. Programa anual	$N_a =$	1200
9. Tempo de escape, min	$t_e =$	101,5
10. Tempo medio da fase	$t_{fm} =$	2,1
11. Coeficiente de ocupacao da maquina	$K_{om} =$	48,3
12. Tipo de producao - producao unitaria		

Ofic.	Secc	Fase	Nome e conteudo de fase	Designacoes de documento													
				Tf	Data	Chefe	Assinatura	Data	Operario	Assinatura	Data	Controlador	Assinatura				
		50	Brocheamento do furo														
			Brocheadora; dispositivo para apertar brocha														
			Brocha para furo, P6M5; calibre macho 19,9H8														
		60	Brocheamento do escatel														
			Brocheadora; dispositivo para apertar brocha														
			Brocha para escatel, P6M5; calibres machos 6D10, 23,5H11 e para medir simetria do escatel														
		70	Fresagem de desbastamento dos dentes														
			Fresadora para talhar dentes														
			Suporte especial para instalar pelo furo e face; fresa de modulo sem fim m=2, P6M5; escantilhao para ranhura entre dentes														
		80	Tempera														
			Forno electrico														
		90	Revenimento alto														
			Forno electrico														
		100	Torneamento de acabamento das faces														
			Torno paralelo 16K20P; suporte especial para instalar pelo furo e face														
			Ferro cortante para facejar, T15K6; calibre femea 20h12														
		110	Rectificacao do furo central														
			Rectificadora para cilindrar interna														
			Bucha especial para instalar pelas ranhurae entre dentes e face; relodo para furo $\phi 19$, EB40CM1K6; calibre macho $\phi 20H7$														
		120	Rectificacao de acabamento dos dentes														
			Rectificadora para talhar dentes externos														
			Suporte especial para instalar pelo furo e face; rebolo para talhar dentes, EB40CM1K6; escantilhao para ranhura entre dentes														
		130	Boleamento dos bordos agudos nas extremidades dos dentes e abertura dos chanfros no escatel														
			Bancada de serelitaria; lima chata mursa pequena														

Ofic.	Secc	Fase	Pass	Nome e conteudo de fase	Designacoes de documento										
					t	i	S	V	n	GT	Tb	Ta	Tpr	Tf	
		30		Torneamento de s/acabamemto da face dir., abertura do furo central e de um chanfro 6							2			30	1,8
				Torno paralelo 16K20											
		A		Instalar peca na bucha de 3 grampos pelo cilindro externo e face esq. e tirar Bucha de 3 grampos para instalar pelo cilindro externo $\phi=67,4$ e face											0,2
		1		Tornear face dir. ate 21,4h12(-0,21), Rz50 Ferro cortante para facejar, T15K6; paquimetro 0,1; L=180;	2,1	1	0,3	170	800			0,2		0,2	
		2		Abrir furo $\phi 19H12^{(+0,21)}$, Rz80 Broca helicoidal $\phi 19$, P6M5; calibre macho 19H12	9,5	1	0,35	18,8	315			0,4		0,2	
		3		Abrir chanfro int. 1,7+/-0,1x45° +/-1° Ferro cortante para chanfrar interno, T15K6: escantilhao 45°	1,7	1		170	800			0,1		0,2	
		40		Torneamento de s/acabamento do cilindro externo, da face esq. e dos chanfros 5 e 6							2			30	2,1
				Torno paralelo 16K20											
		A		Instalar peca no suporte de 3 grampos pelo furo e face dir. e tirar Suporte especial de 3 grampos para instalacao pelo furo $\phi 19$ e face											0,2
		1		Tornear face esq. ate 20,4h12(-0,21), Rz50 Ferro cortante para cilindrar acotovelado, $j=j1=45^\circ$, T15K6; calibre femea 20,4h12	2,1	1	0,5	170	800			0,2		0,2	
		2		Tornear cilindro ext. $\phi 64h12_{(-0,3)}$, Rz40 Calibres femeas 64h12	1,7	1	0,5	170	800			0,1		0,2	
		3		Abrir chanfros externos 1+/-0,1x45° =/-1° de dois lados Escantilhao 45°	1	1	-	170	800			0,2		0,3	
		4		Abrir chanfro interno 1,7+/-0,1x45° +/-1° no furo Ferro cortante para chanfrar interno, T15K6	1	1	-	55	800			0,1		0,3	

Ofic.	Secc	Fase	Pass	Nome e conteudo de fase	Designacoes de documento										
					t	i	S	V	n	GT	Tb	Ta	Tpr	Tf	
		50		Brocheamento de desbast. do furo central							2			10	0,4
				Brocheadora horizontal											
		A		Instalar brocha para furo no dispositivo e tirar											0,2
				Dispositivo para apertar brocha											
		1		Brochar furo $\phi 19,9^{+0,033}$, Ra2,5	0,45	1	0,05	7						0,1	
				Brocha para furo, P6M5; calibre macho 19,9H8											
		60		Brocheamento do escatel							2			10	0,4
				Brocheadora horizontal											
		A		Instalar brocha para escatel no dispositivo e tirar											0,2
				Dispositivo para apertar brocha											
		1		Brochar escatel B=6D10($^{+0,078}$ _{+0,03}), H=23,5H11($^{+0,13}$), 0,05 Ra2,5	3,5	1	0,05	8						0,1	
				Brocha para escatel, P6M5; calebres machos 6D10, 23,5H11 e para medir simetria do escatel											
		70		Fresagem de desbastamento dos dentes							3			30	1,9
				Fresadora para talhar dentes											
		A		Instalar peça no suporte pelo furo e face e tirar											0,2
				Suporte especial para instalacao pelo furo $\phi 19,9H8$ e face											
		1		Fresar dentes m=2, z=30, D _p =60,2h9($_{-0,074}$), H=4,4h12($_{-0,12}$), $\alpha=20^\circ$, $\beta=0^\circ$, Rz20	4,4	1	190	62	490				1,2	0,2	
				Fresa de modulo sem fim m=2, P6M5; escantilhao para ranhura entre dentes; paquimetro 0,02, L=180											
		80		Tempera							2			30	1
				Forno electrico											
		A		Colocar 100 peças no forno quente de 820°C											0,2
		1		Fazer exposicao de 30 min											0,3
		2		Arrefecer peças em oleo											0,2

Ofic.	Secc	Fase	Pass	Nome e conteudo de fase	Designacoes de documento									
					t	i	S	V	n	GT	Tb	Ta	Tpr	Tf
		90		Revenimento alto						2			30	1,8
				Forno electrico										
		A		Colocar 100 pecas no forno quente de 600°C									0,2	
		1		Fazer exposicao de 2 h									1,2	
		2		Arrefecer pecas no ar livre									0,1	
		100		Torneamento de acabamento das faces										
				Torno paralelo 16K20P						3			20	1,2
		A		Instalar peca no suporte pelo furo e face										
				Suporte especial para instalacao pelo furo $\phi 19,9H8$ e face										
		1		Tornear face dir. ate 20,2h12 _(-0,21) , Ra2,5, $\phi 0,02$	0,2	1	0,15	320	1600			0,2	0,2	
				Ferro cortante para facejar, T15K6										
		B		Virar peca									0,2	
		2		Tornear face esq. ate 20h12 _(-0,21) , Ra2,5, $\phi 0,02$	0,2	1	0,15	320	1600			0,2	0,2	
				Calibre fema 20h12										
		110		Rectificacao do furo central						4			30	0,7
				Rectificadora para cilindrar interna										
		A		Instalar peca pelas ranhuras entre dentes e face									0,2	
				Bucha especial para instalacao pelas ranhuras entre dentes e face										
		1		Rectificar furo com avanco longitudinal ate $\phi 20H7^{(+0,021)}$, Ra1,25, /o/0,02	0,01	5	4	30	500			0,1	0,1	
				Relolo para furo $\phi 20$, EB40CM1K6; calibre macho f20H7										
		120		Rectificacao de acabamento dos dentes						4			30	11
				Rectificadora para talhar dentes externos										
		A		Instalar peca no suporte pelo furo e face									0,2	
				Suporte especial para instalacao pelo furo $\phi 20H7$ e face										
		1		Rectificar dentes m=2, z=30, Dp=60h7 _(-0,03) , H=4,5 \pm 0,0375,	0,01	5	4	30				7,5	3	
				$\alpha=20^\circ$, $\beta=0^\circ$, coaxilidade 0,02 A, Ra1,25										
				Rebolo para talhar dentes, EB40CM1K6; escantilhao para ranhura entre dentes										

