4. Appareils à diviser

Généralités

En mécanique, on utilise les « appareils à diviser », ou « diviseurs », pour un grand nombre de pièces, notamment pour le traçage, pour le perçage de trous positionnés, pour le fraisage où des angles doivent être respectés, pour le taillage des électrodes utilisées en électro-érosion, pour la fabrication de roues dentées droites et hélicoïdales, etc.

Les diviseurs sont utilisés le plus souvent sur les fraiseuses, sur les machines à pointer, sur les tours d'outilleur et certaines machines spéciales.

Diviseurs

Parmi les genres de diviseurs que l'on rencontre actuellement, à part les plateaux diviseurs optiques (SIP), on trouve:

le **diviseur à encoches ou à trous**

le **diviseur à disques**

le **diviseur différentiel**

le **diviseur à train d'engrenages**

le **procédé pour le taillage hélicoïdal**

le **diviseur pour le taillage rectiligne**

le **procédé utilisé pour le taillage par génération**

le **diviseur pour le fraisage des spirales**

le **diviseur pour le fraisage de cames cloches**

4. 1. Diviseur à encoches ou à trous

(fig. 1 et 2)

Ce diviseur est simple et direct, mais avec possibilités limitées.
La division est appelée **division directe** parce que le disque à encoches ou à trous est fixé directement sur la broche.

$$e = \frac{t}{d}$$

e = nombre d'espaces

t = nombre de trous ou encoches

d = nombre de divisions à faire

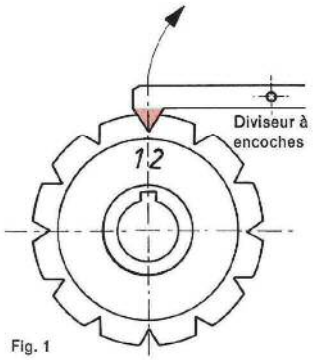


Fig. 1

Possibilité de divisions avec la rangée:

de 100 trous 2–4–5–10–20–25–50–100

de 60 trous 2–3–4–5–6–10–12–15–20 30–60

de 48 trous 2–3–4–6–8–12–16–24–48

Poupée diviseur à disques universelle inclinable

Exemple 1

Tailler une roue dentée de 15 dents sur un tour d'outilleur possédant une poulie avec trois rangées de 48–60–100 trous.

Solution

La rangée de trous du disque doit être un multiple de la pièce à fraiser, soit $t = 60$.

$$e = \frac{t}{d} = \frac{60}{15} = \mathbf{4\ espaces}$$

Poulie de tour Schäublin SV 102

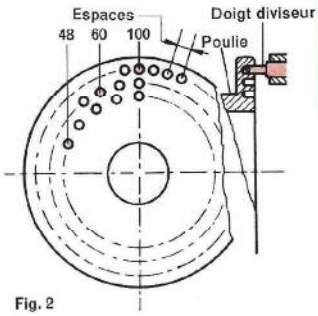


Fig. 2

Diviseur à trous

4

Fig. 3

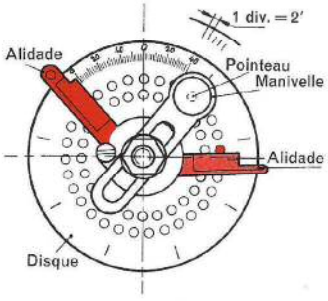


Fig. 4

Disque N°	Nombre de trous des rangées						
I	15	16	17	18	19	20	
II	21	23	25	27	29	31	33
III	37	39	41	43	47	49	

4. 2. Diviseur à disques ou division indirecte (fig. 3)

Ce diviseur permet d'effectuer un plus grand nombre de divisions que le diviseur à trous ou à encoches. Ce système est aussi appelé **division indirecte** parce que le disque diviseur n'est plus solidaire directement de la broche, mais du bâti, et que le système (vis–roue–tangente) donne une réduction généralement de i=40/1 ou quelquefois i=60/1 (fig. 3).

Description (fig. 3–4–5)

Ce diviseur est composé d'un bâti supportant une **broche** porte-pièces; sur l'arrière de cette dernière est fixée une **roue tangente** mue par une **vis sans fin**. La vis sans fin est mise en mouvement par une **manivelle** traversée d'un **pointeau** à ressort s'engageant dans un **disque** percé généralement de six rangées de trous. Ce disque est fixe pendant le travail; mais il peut être changé contre d'autres disques portant des rangées de trous d'un nombre différent.

Le rayon de la manivelle peut être changé afin d'utiliser une autre rangée de trous. Sur le disque pivotent deux branches semblables à un compas, appelées **alidades**, facilitant les réglages des fractions de tours de manivelle. Dans les exemples que nous effectuerons, nous disposons de trois disques.

(Voir tableau ci-contre.)

Le nombre de filets de la vis sans fin z_1 est égal à **1**, tandis que le nombre de dents de la roue tangente z_2 est généralement 40, sauf exception 60.

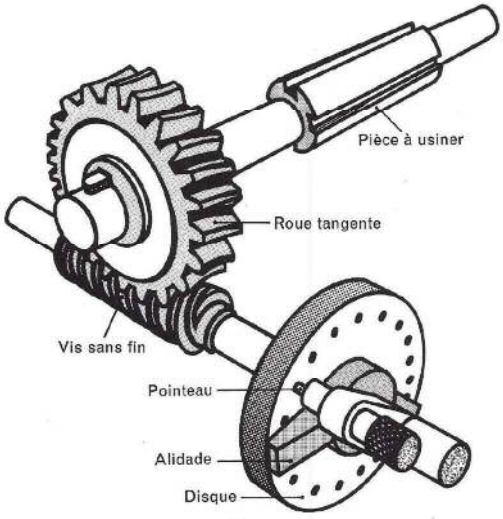


Fig. 5

4

Calcul du nombre de tours de la manivelle par division à réaliser

Comme il s'agit d'un rapport d'engrenages, on peut écrire:

n_1 nombre de tours de la manivelle pour une division

n_2 nombre de tours de la broche

z_1 vis sans fin à un filet

z_2 roue tangente

d nombre de divisions à réaliser

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} \qquad n_1 = \frac{n_2 \cdot z_2}{z_1}$$

Remplaçons n_2 par la division à réaliser:

$$n_2 = \frac{1}{d}$$

$$n_1 = \frac{\frac{1}{d} \cdot z_2}{z_1} = \frac{1 \cdot z_2}{d \cdot z_1}$$

Sachant que le rapport de transmission du diviseur

$$i = \frac{z_2}{z_1}$$

$$n_1 = \frac{1}{d} \cdot i = \frac{i}{d}$$

$$n_1 = \frac{i}{d}$$

Trois cas peuvent se présenter.

1. Le nombre de tours de manivelle n_1 est un nombre entier.

Exemple 2

Diviser une pièce en 8 parties, rapport $i = 40/1$

Solution

$n_1 = \frac{i}{d} = \frac{40}{8} =$ **5 tours** de manivelle

Exemple 3

Diviser une pièce en 5 parties sur un diviseur avec une vis sans fin à 1 filet et une roue tangente de 60 dents.

Solution

$n_1 = \frac{i}{d} = \frac{60}{5} =$ **12 tours** de manivelle

Le disque et l'écartement des alidades peuvent être quelconques. Le pointeau est engagé dans un trou de la rangée extérieure de préférence pour augmenter la précision de la division (fig. 6).

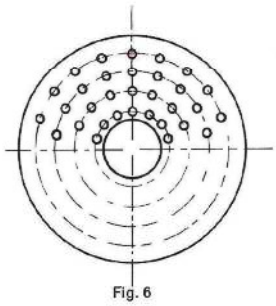


Fig. 6

2. Le nombre de tours de manivelle n_1 est plus petit que 1, donc fractionnaire.

Exemple 4

Diviser en 100 parties avec un rapport $i = 40/1$

Solution

$n_1 = \frac{i}{d} = \frac{40}{100} = \frac{4}{10}$ **de tour** de manivelle

Il faut transformer cette fraction de telle manière que le dénominateur corresponde à un nombre de trous d'un disque du diviseur (voir tableau des disques).

$\frac{4}{10} = \frac{8}{20}$ soit 0 tour 8 espaces du disque de la rangée de 20 trous,

que l'on abrège:

0 t 8 e du disque de 20 trous

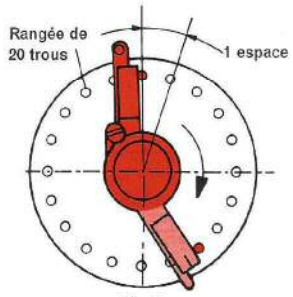


Fig. 7

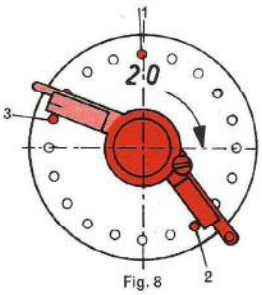


Fig. 8

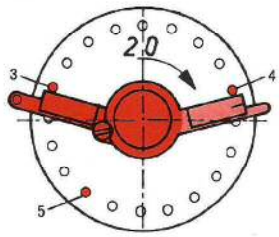


Fig. 9

La manivelle doit franchir 8 espaces sur la rangée de 20 trous, cela pour chaque division. L'écartement des alidades est réglé comme le montre la figure 7. Le premier fraisage se fait à la position 1, le deuxième à la position 2, puis **on tourne les alidades dans le même sens de rotation de la manivelle** (fig. 8 et 9), et ainsi de suite jusqu'à la 100e division où le pointeau doit se retrouver sur le trou de départ.

Exemple 5

Diviser en 72 parties sur un diviseur qui possède une roue tangente de 60 dents et une vis à 1 filet.

Solution

$n_1 = \frac{i}{d} = \frac{60}{72} = \frac{5}{6} = \frac{15}{18}$

0 t 15 e du disque de 18 trous

3. Le nombre de tours de manivelle n_1 est plus grand que 1.

Exemple 6

Diviser en 21 parties; $i = 40/1$.

Solution

$n_1 = \frac{i}{d} = \frac{40}{21} = 1 + \frac{19}{21}$

1 t 19 e du disque de 21 trous

L'angle formé par 19 espaces étant plus grand que l'ouverture maximale des alidades, le réglage de ces dernières s'exécute selon la figure 10. Après 1 tour et 19 espaces du disque de 21 trous, il suffit de tourner les **alidades** de 2 espaces, mais **en sens contraire** de la rotation de la manivelle.

Remarque

Le réglage des alidades est de 21—19 **= 2 espaces du disque de 21 trous.**

Exemple 7

Diviser en 7 parties; $i = 60/1$.

Solution

$n_1 = \frac{i}{d} = \frac{60}{7} = 8 + \frac{4}{7} = 8 + \frac{12}{21}$

8 t 12 e du disque de 21 trous

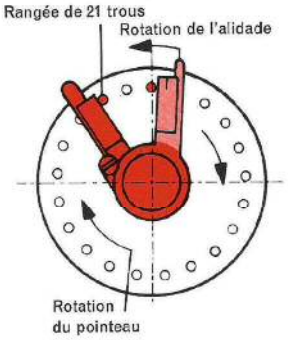


Fig. 10

Exemple 8

Quel est le nombre de dents de la roue à tailler, si le diviseur a un rapport $i = 40/1$? Le disque monté a 21 trous. On accomplit 1 tour de manivelle, plus 9 trous (fig. 11).

Solution

$n_1 = \frac{i}{d}$

$d = \frac{i}{n_1} = \frac{40}{1 + \frac{9}{21}} = \frac{40}{1 + \frac{3}{7}} = \frac{40}{\frac{10}{7}}$

$d = \frac{40 \times 7}{10} = 28$ La roue à tailler a 28 dents.

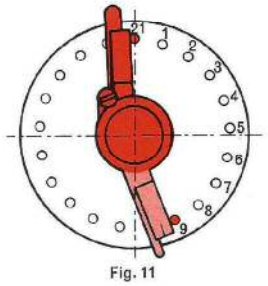


Fig. 11

4. 2. 1. La division est donnée par un angle

Très souvent, le mécanicien doit fraiser des pièces selon des angles déterminés, par exemple des plats, des gorges ou des encoches, etc.
Si un angle (α en degrés) est formé par deux divisions consécutives, le nombre de divisions à faire d est alors

$$d = \frac{360°}{\alpha°} \qquad n_1 = \frac{i}{d} = \frac{i}{\frac{360°}{\alpha°}} = \frac{i \cdot \alpha°}{360°}$$

pour un rapport $i = 40/1$:

$$n_1 = \frac{40 \cdot \alpha°}{360°} = \frac{\alpha°}{9°} \quad \text{d'où}$$

$$n_1 = \frac{\alpha°}{9°}$$

pour $i = 60/1$:

$$n_1 = \frac{60 \cdot \alpha°}{360°} = \frac{\alpha°}{6°} \quad \text{d'où}$$

$$n_1 = \frac{\alpha°}{6°}$$

n_1 = nombre de tours de manivelle par division
d = nombre de divisions à faire
i = rapport de transmission (vis – roue – tangente)
α = angle en degrés formé par deux divisions

Exemple 9

Fraiser deux encoches rectangulaires sur un cylindre selon figure 12; $i = 40/1$.

Solution

$$n_1 = \frac{\alpha°}{9°} = \frac{26°}{9°} = 2 + \frac{8}{9} = 2 + \frac{16}{18}$$

2 t 16 e du disque de 18 trous

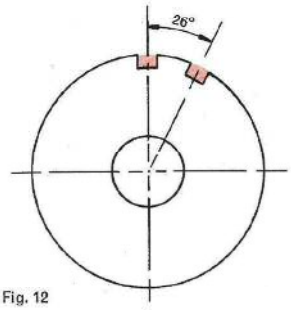


Fig. 12

Exemple 10

Fraiser deux plats selon figure 13; $i = 40/1$.

Solution

$$n_1 = \frac{\alpha°}{9°} = \frac{113°}{9°} = 12 + \frac{5}{9} = 12 + \frac{15}{27}$$

12 t 15 e du disque de 27 trous

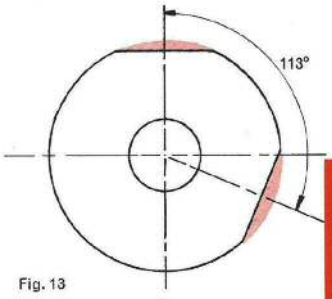


Fig. 13

Exemple 11

Fraiser deux encoches demi-circulaires disposées à 179° 40′, figure 14; $i = 40/1$.

Solution

Comme le nombre de degrés n'est pas un chiffre rond, il suffit de transformer les 40′ en fraction de degré, soit 2/3, puis les 179° en tiers.

$$n_1 = \frac{\alpha°}{9°} = \frac{179°\,40'}{9°} = \frac{179 + \frac{2}{3}}{9}$$

$$n_1 = \frac{\frac{539}{3}}{9} = \frac{539}{3 \times 9} = 19 + \frac{26}{27}$$

19 t 26 e du disque de 27 trous

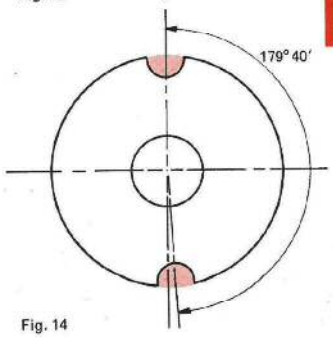


Fig. 14

4

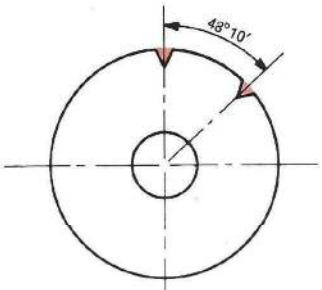


Fig. 15

Exemple 12

Fraiser deux encoches en V situées à 48° 10′; $i = 40/1$ (fig. 15).

Solution a

$$n_1 = \frac{\alpha°}{9°} = \frac{48°\,10'}{9°} = \frac{48 + \frac{1}{6}}{9} = \frac{\frac{289}{6}}{9}$$

$$n_1 = \frac{289}{6 \times 9} = \frac{289}{54} = 5 + \frac{19}{54}$$

5 t 19 e du disque de 54 trous

Il n'existe pas de disque avec une rangée de 54 trous.

Constatation

Tous les angles $\alpha°$ se terminant par 20′, 30′ et 40′ peuvent s'exécuter avec les disques normaux. Tous les angles $\alpha°$ se terminant par 10′ et 50′ nécessitent un **disque spécial de 54 trous.**

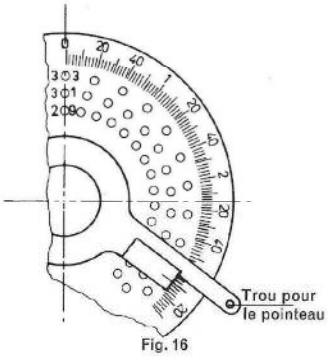


Fig. 16

Solution b

Sans le disque spécial de 54 trous, avec le disque à traits.
Certains diviseurs disposent d'un disque gravé toutes les deux minutes (fig. 16).
Pour un rapport $i = 40/1$:
40 tours de manivelle
= 1 tour de broche ou 360°
1 tour de manivelle

$$= \frac{360°}{40} = 9° \text{ à la broche}$$

$$n_1 = \frac{\alpha°}{9°} = \frac{48°\,10'}{9°} = \mathbf{5\ tours + 3°\ 10'}$$

Procédé

On remarque que l'extrémité d'une branche de l'alidade est percée d'un trou prêt à recevoir le pointeau pour entraîner l'alidade. Cette dernière est pourvue d'un repère.
Après avoir fait 5 tours avec la manivelle, il suffit d'avancer encore de 3° 10′.

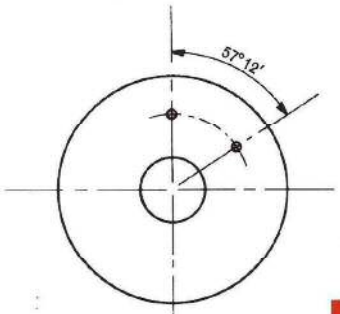


Fig. 17

Exemple 13

Percer 2 trous sur une plaque, selon la figure 17; $i = 60/1$.

Solution

$$n_1 = \frac{\alpha°}{6°} = \frac{57°\,12'}{6°} = \mathbf{9\ tours + 3°\ 12'}$$

4

4. 3. Diviseur différentiel

Le diviseur différentiel est utilisé pour diviser une pièce en nombres premiers au-dessus de 50, ou, lorsque la division indirecte simple, c'est-à-dire le diviseur à disques, ne permet pas de faire la division désirée (fig. 18).

Principe

Le principe de la division différentielle consiste à choisir une division quelconque d' **proche** de la division à faire d, qui de ce fait crée une erreur qui doit être corrigée par la mise en rotation du disque à trous dans un sens ou dans l'autre sens.

La division choisie d' peut être plus petite ou plus grande que la division à faire d.

Si la division choisie est plus grande que la division à faire $d' > d$, le disque tourne dans le même sens que la manivelle (on admet que la manivelle tourne toujours dans le sens des aiguilles d'une montre), **sens positif.**

Par contre, si la division choisie est plus petite que la division à faire, $d' < d$, le disque tourne dans le sens contraire de la manivelle, **sens négatif.**

Fonctionnement

La rotation de la manivelle est transmise à la broche par la vis sans fin et la roue tangente, comme dans la division classique indirecte. Ensuite, la broche entraîne le disque à trous par l'intermédiaire de 4 roues dentées interchangeables z_1 à z_4 (dans certains cas, avec une roue intermédiaire z' pour changer le sens de rotation) et du couple conique au rapport $i = 1/1$ (quelquefois $i = 2/1$ sur la fraiseuse Schäublin 53 où ce couple conique est remplacé par deux roues hélicoïdales avec arbres orthogonaux). Les roues z_1 à z_4 servent à corriger l'erreur prévue entre la division à faire et la division choisie d et d'.

Remarque

La dernière roue dentée conique est solidaire avec le disque et tourne folle sur l'axe de la vis sans fin. La division différentielle ne peut pas être montée en même temps que le taillage en hélice.

Problème

Dans chaque problème, trois points doivent être résolus:

1) Choisir une division d' réalisable avec le diviseur à disques; cette division sera le plus près possible de la division à faire d.

2) Déterminer le rapport des engrenages z_1 à z_4 entre la broche et le disque diviseur, afin de corriger l'erreur prévue.

3) Indiquer le sens de rotation du disque, positif ou négatif.

Disques

Les disques à disposition sont les mêmes que pour le diviseur à disques (tableau ci-contre).

Roues dentées

Les roues dentées disponibles sont données par le tableau ci-contre.

Dessin du diviseur différentiel

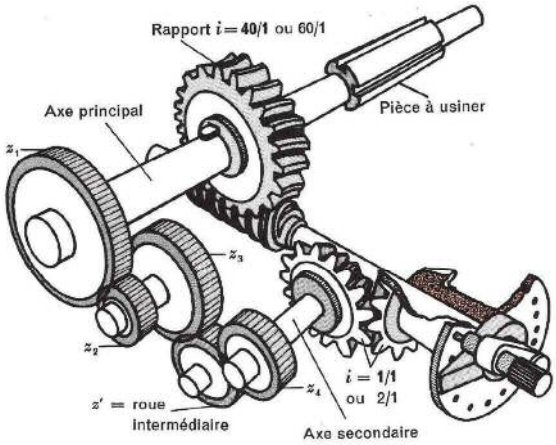


Fig. 18

Disque N°	Nombre de trous des rangées
I	15 16 17 18 19 20
II	21 23 25 27 29 31 33
III	37 39 41 43 47 49

Roues pour diviseur différentiel

24 – 24 – 28 – 32 – 36 – 40 – 44 – 48
56 – 64 – 72 – 86 – 100 – 120

Exemple 14

Avec recherche des formules

Tailler une roue dentée $d = 57$ dents.
Rapport $i = 40/1$.
Division choisie $d' = 56$.

Solution

1. Recherche du disque

On utilise la même formule que le diviseur à disques, mais avec d' (division choisie):

$$n'_1 = \frac{i}{d'}$$

n'_1 = nombre de tours relatif de manivelle
i = rapport vis sans fin – roue tangente
d' = division choisie
d = division à faire
n_d = nombre de tours du disque

$$n'_1 = \frac{i}{d'} = \frac{40}{56} = \frac{5}{7} = \frac{15}{21}$$

0 t 15 e du disque de 21 trous

2. Recherche des roues interchangeables

Après 57 dents, la broche doit avoir accompli exactement 1 tour et la manivelle 40 tours. Dans cet exemple, sans le système de correction, la manivelle accomplirait:

57 fois 0 t 15 e du disque 21 trous

$$57 \times \frac{15}{21} = \frac{855}{21} = 40 + \frac{15}{21} = 40 + \frac{5}{7}$$

soit $\frac{5}{7}$ **de tour en trop**

Mais, pendant que la broche accomplit 1 tour, cette dernière entraîne les engrenages z_1 à z_4 et le couple conique $i = 1/1$, ce qui modifie progressivement la position du disque à trous de 5/7 de tour.

Remarque

Pour faire tourner le disque en sens contraire (négatif), il faut ajouter une roue dentée z' intermédiaire entre z_1 et z_4.

Recherche de la formule de base

Lorsque la broche accomplit un tour, le disque tourne de:

$$n_d = i - d \cdot \frac{i}{d'} = i\left(1 - \frac{d}{d'}\right) = i\left(\frac{d' \to d}{d'}\right)$$

Si le nombre de tours de la broche nb est égal à 1, le rapport variable R_v

$$R_v = \frac{n_d}{nb} = \frac{i\left(\frac{d' \to d}{d'}\right)}{nb} = \frac{i\,(d' \to d)}{nb \cdot d'} = \frac{i\,(d' \to d)}{d'}$$

$$R_v = \frac{z_1}{z_2} \text{ ou } \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} = \frac{i\,(d' \to d)}{d'}$$

$$\frac{i\,(d' \to d)}{d'} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

nb = nombre de tours de la broche
R_v = rapport variable des roues z_1 à z_4

Application numérique

$$\frac{i\,(d' \to d)}{d'} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} = \frac{40\,(56 \to 57)}{56} = \frac{40 \times 1}{56}$$

$\frac{40}{56}$ ou $\frac{24 \times 40}{24 \times 56}$ et 1 roue intermédiaire quelconque pour obtenir la rotation du disque en sens contraire de la manivelle.

3. Recherche du sens de rotation

Du fait que la division choisie $d' = 56$ est plus petite que $d = 57$, $d' < d$ il faut que le disque tourne en sens contraire de la manivelle (sens négatif), ce qui nécessite une roue intermédiaire z' quelconque.

Preuve

L'addition ou la soustraction du nombre de tours relatif de la manivelle et de la rotation du disque à trous après le taillage des 57 dents doit être égale à $i = 40$.

La manivelle accomplit $d \cdot \frac{i}{d'}$ et le disque tourne selon le rapport prévu R_v

$$i = d \cdot \frac{i}{d'} \pm R_v \qquad \begin{array}{l} R_v + \text{ si } d' > d \\ R_v - \text{ si } d' < d \end{array}$$

ou

$$i = d \cdot \frac{i}{d'} \pm \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

$$i = 57 \times \frac{40}{56} - \frac{40}{56} = 40$$

Résumé

La division choisie sera proche de la division à faire. Elle doit être compatible avec les nombres de trous des disques diviseurs. Il faut parfois essayer plusieurs divisions choisies d' pour résoudre un problème.

Exemple 15

Diviser une pièce en 93 parties; $i = 40/1$.

Solution

1. Recherche du disque

Division choisie: $d' = 90$.

$$n' = \frac{i}{d'} = \frac{40}{90} = \frac{4}{9} = \frac{8}{18}$$

0 t 8 e du disque de 18 trous

2. Recherche des roues interchangeables

$$\frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} = \frac{i\,(d' \to d)}{d'}$$

$$\frac{40\,(90 \to 93)}{90} = \frac{40 \times 3}{90} = \frac{120}{90} = \frac{4}{3} = \frac{64}{48}$$

ou $\frac{24 \times 64}{48 \times 24}$

Dans les deux cas, il faut une roue intermédiaire z'.

3. Recherche du sens de rotation du disque

Vu que $d' < d$, le sens est **négatif.**

Preuve

$$i = d \cdot \frac{i}{d'} - \frac{z_1}{z_2}$$

$$i = 93 \times \frac{40}{90} - \frac{64}{48} = 93 \times \frac{4}{9} - \frac{12}{9} = \frac{372}{9} - \frac{12}{9} = 40$$

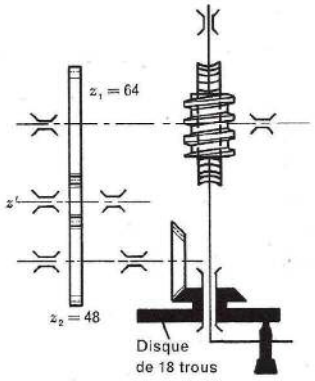


Fig. 19

Montage des roues

La figure 19 représente le montage à deux roues et une roue intermédiaire z' pour faire tourner le disque en sens contraire de la manivelle $d' < d$.

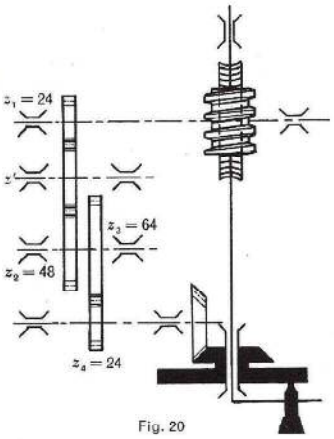


Fig. 20

La figure 20 représente un montage à quatre roues et une roue intermédiaire z'.

4. 4. Diviseur par train d'engrenages

Avec le diviseur à disques, on calcule le nombre de tours de la manivelle ainsi que la fraction de tour à régler sur le disque au moyen des alidades, ce qui peut être une cause d'erreur.
Par contre, avec le diviseur à train d'engrenages, on effectue les divisions en tournant la manivelle de 1 ou plusieurs tours complets.

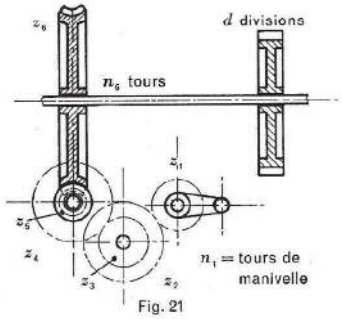


Fig. 21

Description (fig. 21)

Ce diviseur se compose d'une vis sans fin à 1 filet et d'une roue tangente de 40 dents (quelquefois 60 dents), le tout entraîné par des engrenages interchangeables. La manivelle est montée sur l'axe de la première roue menante.

Recherche de la formule de base

Rapport des vitesses:

$$\frac{n_6}{n_1} = \frac{z_1 \cdot z_3 \cdot z_5}{z_2 \cdot z_4 \cdot z_6}$$

Pour une division, on a:

$n_6 = \dfrac{1}{d}$ ce qui nous donne:

$$\frac{\frac{1}{d}}{n_1} = \frac{z_1 \cdot z_3 \cdot z_5}{z_2 \cdot z_4 \cdot z_6}$$

Les roues z_5 et z_6 (vis sans fin et roue tangente) étant fixes, nous avons:

$$\frac{1}{d \cdot n_1} \cdot \frac{z_5}{z_5} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

Vu que $z_5 = 1$

$$\frac{z_6}{d \cdot n_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

Roues du diviseur à train d'engrenages:
18 – 20 – 22 – 25 – 30 – 33 – 35 – 40
45 – 50 – 55 – 60 – 63 – 65 – 70 – 75
80 – 85 – 90 – 95 – 100 – 120 – 127

$z_1\ z_3$ = nb. de dents roues menantes
$z_2\ z_4$ = nb. de dents roues menées
z_5 = nombre de filets de la vis sans fin, soit 1
z_6 = nb. de dents à la roue tangente
n_1 = nb. de tours de la manivelle
n_6 = nb. de tours de la broche = 1
d = nb. de divisions à réaliser

Remarque

Si le nombre de divisions à réaliser est petit, on accomplit plusieurs tours de manivelle.

Preuve

Pour faire la preuve, on sort z_6 de la formule de base:

$$\frac{z_6}{d \cdot n_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} \text{ d'où } z_6 = d \cdot n_1 \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

$$z_6 = d \cdot n_1 \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

Exemple 16

Diviser une pièce en 42 parties; le diviseur a un rapport $i = 40/1$. La division s'effectue avec 1 tour de manivelle.

Solution

$$\frac{z_6}{d \cdot n_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} = \frac{40}{42 \times 1} = \frac{40}{42}$$

$$= \frac{4 \times 10}{6 \times 7} = \frac{40 \times 100}{60 \times 70}$$

Preuve

$$z_6 = d \cdot n_1 \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

$$z_6 = 42 \times 1 \frac{40 \times 100}{60 \times 70} = 40$$

Exemple 17

Calculer les roues pour tailler une roue dentée de 13 dents, rapport $i = 60/1$, le nombre de tours de la manivelle $n_1 = 3$.

Solution

$$\frac{z_6}{d \cdot n_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} = \frac{60}{13 \times 3} = \frac{20}{13} = \frac{100}{65}$$

Preuve

$$z_6 = d \cdot n_1 \cdot \frac{z_1}{z_2} = 13 \times 3 \frac{100}{65} = 60$$

4. 5. Taillage en hélice

(fig. 21 bis)

L'exécution des filetages avec pas rapide, le taillage de roues dentées hélicoïdales, ainsi que le fraisage de rainures hélicoïdales, s'effectuent sur la fraiseuse avec l'appareil à diviser.
Par son rapport de transmission indirecte $i = 40/1$ ou 60/1, le diviseur permet un **grand déplacement rectiligne** de la pièce, **combiné avec un déplacement rotatif** réduit.

Dans ce système, la vis p_2 de la table est l'organe menant, puisque c'est elle qui transmet le mouvement à la broche p_1 du diviseur au moyen d'un jeu d'engrenages interchangeables z_1 à z_4 et du couple conique où le disque est solidaire, puis entraîne la manivelle par le pointeau, ainsi que la vis sans fin z_5 et la roue tangente z_6 (fig. 22).

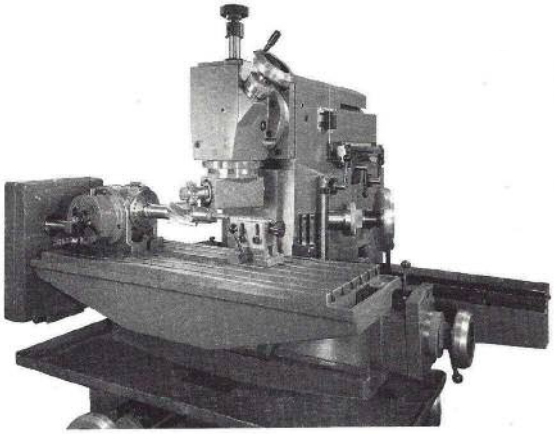


Fig. 21 bis

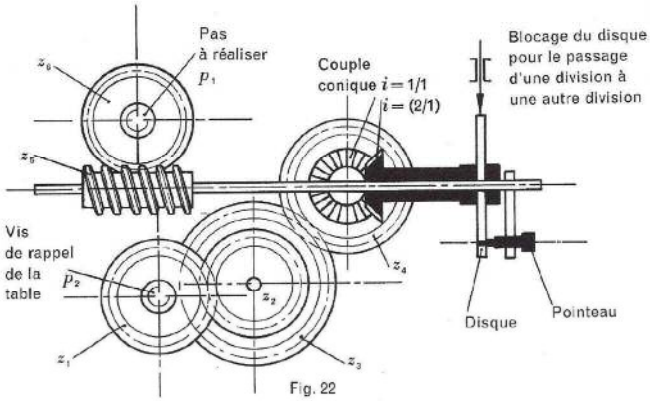


Fig. 22

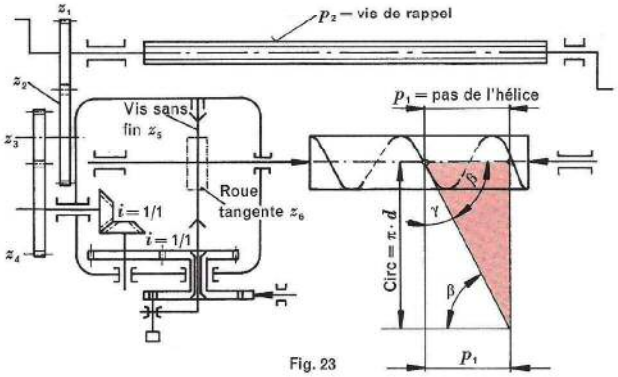


Fig. 23

La figure 23 représente un montage pour tailler une hélice sur la fraiseuse. Le diviseur possède encore deux roues dentées supplémentaires au rapport $i = 1/1$ situées après le couple conique.

Recherche de la formule de base

Dans les problèmes de filetage, le rapport des **pas** est directement proportionnel au nombre de dents des roues dentées. **Pour le taillage en hélice, les indices des pas sont inversés**, puisque c'est la vis de rappel p_2 qui commande le pas de l'hélice à faire p_1 donc:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{z_1 \cdot z_3 \cdot z_5}{z_2 \cdot z_4 \cdot z_6}$$

Vu que la vis sans fin z_5 et la roue tangente z_6 sont toujours en prise, on peut écrire:

$$\frac{p_2 \cdot z_6}{p_1 \cdot z_5} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

Etant donné que z_5 est toujours 1, on a pour formule de base:

$$\frac{p_2 \cdot z_6}{p_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

p_1 = pas à réaliser
p_2 = pas de la vis de rappel de la table
z_6 = nb. de dents de la roue tangente
z_1 z_3 = roues menantes
z_2 z_4 = roues menées

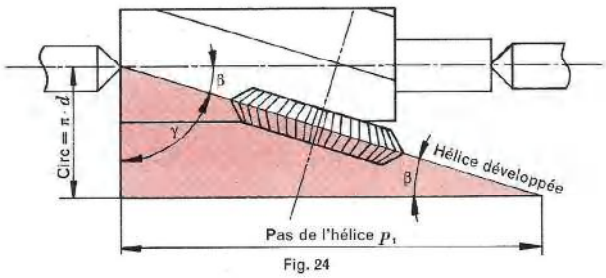


Fig. 24

Hélice

L'hélice est obtenue par l'enroulement sur un cylindre d'une droite oblique aux génératrices.

Dans la pratique, nous avons 2 cas:

1. Le pas est donné: vis sans fin, vis à filet multiple.

2. L'angle est donné: outils de coupe, alésoirs, mèches, roues hélicoïdales.

1. Le pas est donné

Lorsque le pas est donné, il faut calculer:

a) L'équipement du diviseur à disques

$$n_1 = \frac{i}{d}$$

b) Recherche des roues

$$\frac{p_2 \cdot z_6}{p_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} \quad \begin{matrix}\text{roues menantes}\\ \text{roues menées}\end{matrix}$$

c) L'inclinaison de la table ou de la fraise (fig. 24)

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\pi \cdot d}{p_1}$$

4

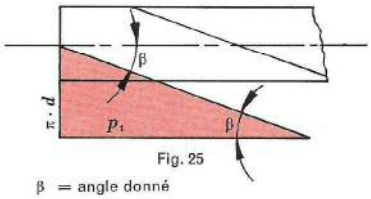


Fig. 25

β = angle donné
p_1 = pas de l'hélice
πd = circonférence

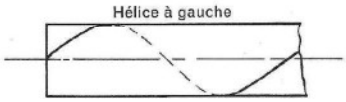


Fig. 26

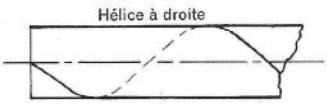


Fig. 27

Remarque

Si le fraisage de l'hélice est profond, afin d'éviter un talonnage de la fraise, il faut prendre pour d le diamètre moyen. Dans le cas d'un pignon, on prend le diamètre primitif, et pour un alésoir le diamètre extérieur.

2. L'angle est donné (fig. 25)

Pour les outils de coupe, c'est toujours l'angle qui est donné; il faut chercher le pas.

a) L'équipement du diviseur à disques

$$n_1 = \frac{i}{d}$$

b) Recherche du pas de l'hélice

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\pi \cdot d}{p_1} \text{ d'où } p_1 = \frac{\pi \cdot d}{\operatorname{tg} \beta} \text{ ou } \pi \cdot d \cdot \operatorname{ctg} \beta$$

c) Recherche des roues

$$\frac{p_2 \cdot z_6}{p_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

Remarques

Le pas de l'hélice est toujours un nombre décimal, vu l'intervention de π et de tg ou ctg dans la formule; il faut donc arrondir à un pas supérieur ou inférieur le plus proche, puis calculer à nouveau l'angle β'; la variation entre β et β' est minime.

Sens de l'hélice (fig. 26 et 27)

L'hélice peut être à gauche ou à droite; il suffit de monter une roue dentée intermédiaire pour changer le sens de rotation.

4. 5. 1. Taillage en hélice des pas fins

Lorsqu'il s'agit de tailler des pas fins sur une fraiseuse, le calcul est identique à celui du filetage sur un tour.
L'axe de la broche du tour est alors remplacé par l'axe principal du diviseur universel et la vis mère du tour par la vis de rappel de la table de la fraiseuse. En place du burin, on se sert d'une fraise de forme correspondant au filet à exécuter.

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} \quad \begin{matrix}\text{menantes}\\ \text{menées}\end{matrix}$$

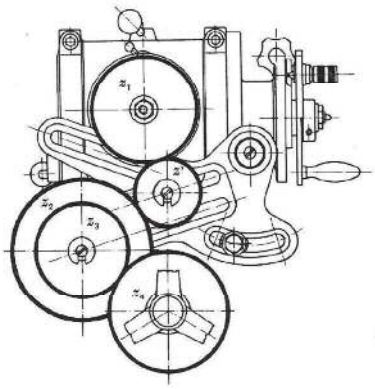


Fig. 27 a

Pour exécuter une hélice ou un filetage à 2, 3, 4... rainures ou filets, le diviseur ne pouvant plus être utilisé, il faut que la première roue z_1 montée sur l'axe principal possède un nombre de dents qui soit un multiple du nombre de rainures ou de filets à tailler.
Après le taillage du premier filet, il suffit d'enlever la roue z_1 et la tourner de 1/2, 1/3, 1/4... de tour pour tailler les filets suivants.

Exemple 17

Tailler sur une fraiseuse un pas de vis ISO à 2 filets.

Pas de l'hélice p_1 = 6 mm
Pas de la vis de rappel p_2 = 5 mm
Diamètre de la vis = 18 mm
Diamètre effectif d_2 = 16,05 mm
Diviseur i = 40/1

Solution (roues page 117)

a) Recherche des roues

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} = \frac{6}{5} = \frac{2 \times 3}{1 \times 5} = \frac{64 \times 72}{32 \times 100}$$

à disposer selon figure 27 a.

b) Inclinaison de la fraise
(Voir page 98)

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{p_1}{\pi \cdot d_2} = \frac{6}{\pi \cdot 16{,}05} = 0{,}1189$$

$\gamma = 6°47'$

Remarques

Tailler le premier filet, puis tourner la roue z_1 = 64 de 1/2 tour pour le second filet.

4

Exemple 18

Tailler 2 roues hélicoïdales $z_1 = 25$, $z_2 = 50$, pour axes parallèles, module réel 2. Inclinaison des hélices 20°. Calculer:

a) les cotes pour l'exécution de ces roues, soit d d_a d_f p_t pas apparent, h hauteur de la dent

b) comment équiper la fraiseuse $i = 60/1$, vis de la table 6 mm

c) le numéro de la fraise choisie

d) le sens des hélices

d = diamètre primitif

d_a = diamètre extérieur

d_f = diamètre intérieur

m_n = module normal (réel)

m_t = module apparent

p_t = pas apparent

h = hauteur de la dent

Solution

a) Dimensions de la roue $z_1 = 25$ dents

$$d_1 = \frac{m_n \cdot z_1}{\cos\beta} = \frac{2 \times 25}{\cos 20°}$$

$$d_1 = \frac{50}{0{,}9397} = \mathbf{53{,}20\ mm}$$

$$d_{a1} = d_1 + 2\,m_n = 53{,}20 + 2 \times 2 = \mathbf{57{,}20\ mm}$$

$$d_{f1} = d_1 - 2{,}5\,m_n = 53{,}20 - 2{,}5 \times 2$$

$$d_{f1} = 53{,}20 - 5 = \mathbf{48{,}20\ mm}$$

$$m_t = \frac{m_n}{\cos\beta} = \frac{2}{\cos 20°}$$

$$m_t = \frac{2}{0{,}9397} = \mathbf{2{,}128\ mm}$$

$$p_t = m_t \cdot \pi = 2{,}128 \times 3{,}14$$

$$p_t = \mathbf{6{,}68\ mm}$$

$$h = 2{,}25\,m_n = 2{,}25 \times 2 = \mathbf{4{,}50\ mm}$$

Solution

a) Dimensions de la roue $z_2 = 50$ dents

$$d_2 = \frac{m_n \cdot z_2}{\cos\beta} = \frac{2 \times 50}{\cos 20°}$$

$$d_2 = \frac{100}{0{,}9397} = \mathbf{106{,}41\ mm}$$

$$d_{a2} = d_2 + 2\,m_n = 106{,}41 + 4 = \mathbf{110{,}41\ mm}$$

$$d_{f2} = d_2 - 2{,}5\,m_n = 106{,}41 - 2{,}5 \times 2$$

$$d_{f2} = 106{,}41 - 5 = \mathbf{101{,}41\ mm}$$

$$m_t = \frac{m_n}{\cos\beta} = \frac{2}{\cos 20°}$$

$$m_t = \frac{2}{0{,}9397} = \mathbf{2{,}128\ mm}$$

$$p_t = \frac{d_2 \cdot \pi}{z_2} = \frac{106{,}41 \times 3{,}14}{50}$$

$$p_t = \mathbf{6{,}68\ mm}$$

$$h = 2{,}25\,m_n = 2{,}25 \times 2 = \mathbf{4{,}50\ mm}$$

b) Equipement du diviseur à disques pour $z_1 = 25$

$$n_1 = \frac{i}{d} = \frac{60}{25} = 2 + \frac{10}{25} = 2 + \frac{2}{5} = 2 + \frac{6}{15}$$

2 tours + 6 esp. du disque de 15 trous

Recherche du pas de l'hélice p_1

$$p_1 = \pi \cdot d_1 \cdot \mathrm{ctg}\,\beta = 3{,}14 \times 53{,}20 \times \mathrm{ctg}\,20°$$

$$p_1 = 3{,}14 \times 53{,}20 \times 2{,}7475 = \mathbf{458{,}96\ mm}$$

Recherche des roues (page 117)

Il faut arrondir le pas à 462 mm.

$$\frac{p_2 \cdot z_5}{p_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} = \frac{6 \times 60}{462} = \frac{6 \times 60}{2 \times 3 \times 7 \times 11} = \frac{6 \times 10}{7 \times 11} = \frac{48 \times 40}{56 \times 44}$$

Remarque

Selon le pas arrondi, calculer l'angle d'hélice β et contrôler si l'erreur est pratiquement admissible.

$$\mathrm{ctg}\,\beta = \frac{p_1}{\pi \cdot d_1} = \frac{462}{\pi \times 53{,}2} = 2{,}7642$$

$$\beta = \mathbf{19°\,53'}$$

Dans ce cas, l'erreur est petite; dans le cas contraire, il faut chercher un autre pas arrondi plus près du pas p_1 458,96.

c) Recherche du numéro de la fraise

$$z_i = \frac{z_1}{\cos^3\beta} = \frac{25}{\cos^3 20°}$$

$$z_i = \frac{25}{0{,}9397^3} = 30{,}12$$

soit 30 dents, d'où **fraise N° 5**, qui permet de tailler de 26 à 34 dents.

b) Equipement du diviseur à disques pour $z_2 = 50$

$$n_1 = \frac{i}{d} = \frac{60}{50} = \frac{6}{5} = 1 + \frac{1}{5} = 1 + \frac{3}{15}$$

1 tour + 3 esp. du disque de 15 trous

Recherche du pas de l'hélice p_1

$$p_1 = \pi \cdot d_2 \cdot \mathrm{ctg}\,\beta = 3{,}14 \times 106{,}41 \times \mathrm{ctg}\,20°$$

$$p_1 = 3{,}14 \times 106{,}41 \times 2{,}7475 = \mathbf{918{,}01\ mm}$$

Recherche des roues

Il faut arrondir le pas à 924 mm.

$$\frac{p_2 \cdot z_6}{p_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} = \frac{6 \times 60}{924} = \frac{6 \times 60}{2 \times 2 \times 3 \times 7 \times 11} = \frac{60}{2 \times 7 \times 11} = \frac{5 \times 6}{7 \times 11} = \frac{24 \times 40}{56 \times 44}$$

Remarque

Selon le pas arrondi, calculer l'angle d'hélice β et contrôler si l'erreur est pratiquement admissible.

$$\mathrm{ctg}\,\beta = \frac{p_1}{\pi \cdot d_2} = \frac{924}{\pi \times 106{,}41} = 2{,}7640$$

$$\beta = \mathbf{19°\,53'}$$

Dans ce cas, l'erreur est petite; dans le cas contraire, il faut chercher un autre pas arrondi plus près du pas p_1 918,01.

c) Recherche du numéro de la fraise

$$z_i = \frac{z_2}{\cos^3\beta} = \frac{50}{\cos^3 20°}$$

$$z_i = \frac{50}{0{,}9397^3} = 60{,}25$$

soit 60 dents, d'où **fraise N° 7**, qui permet de tailler de 55 à 134 dents.

4

d) **Sens des hélices**

Les hélices doivent être de sens contraire, c'est-à-dire **une à gauche, l'autre à droite**. Avant de procéder au fraisage, il faut vérifier si l'hélice se développe dans le sens désiré; si cela n'est pas le cas, on intercale une roue intermédiaire d'un nombre de dents quelconque.

Procédé pratique de taillage en hélice pour $z_2 = 50$

Pendant le taillage de la première dent, **le pointeau est engagé** dans le disque et entraîne ce dernier, puis le train d'engrenages, soit vis sans fin-roue tangente et les roues interchangeables z_1 à z_4

Pour passer à la dent suivante, il faut **bloquer le disque** avec un dispositif ad hoc, **sortir le pointeau** du disque, tourner la manivelle de 1 tour + 3 espaces du disque de 15 trous; ainsi seule la vis sans fin et la roue tangente sont en prise pour procéder à la division suivante; ensuite, engager à nouveau le pointeau dans le disque, **sans oublier de débloquer** ce dernier, et ainsi de suite pour les dents suivantes.

Remarque

La division différentielle ne peut pas être appliquée en même temps que le taillage en hélice.

4. 6. Division rectiligne

Généralités

Ce procédé est utilisé lorsqu'il s'agit de diviser une pièce en parties égales entre elles sur une fraiseuse, indépendamment des machines spéciales. La division rectiligne des règles ou le taillage de crémaillères s'effectuent par le déplacement de la table.

Trois procédés sont à disposition:

a) par un train d'engrenages

b) par le diviseur à disques sans démultiplication

c) par le diviseur à disques avec démultiplication

4. 6. 1. Procédé par train d'engrenages

(fig. 28)

La pièce à diviser ou à tailler est fixée sur la table de la fraiseuse. Un train d'engrenages est monté dans un carter en bout de la table. La division s'effectue en faisant un nombre de tours entiers de manivelle n_1

Le problème consiste à chercher le rapport des roues dentées que l'on doit monter sur la tête de cheval.

Roues disponibles

Les mêmes roues que pour le diviseur différentiel.

Montage sur une fraiseuse pour tailler une crémaillère

Procédé par train d'engrenages

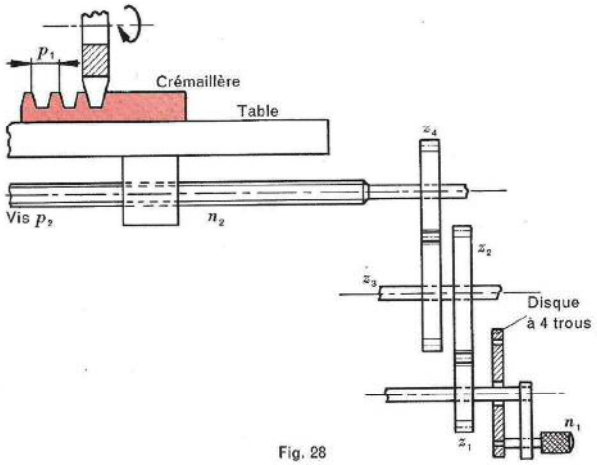


Fig. 28

Roues pour diviseur différentiel

24 – 24 – 28 – 32 – 36 – 40 – 44 – 48

56 – 64 – 72 – 86 – 100 – 120 – 127

Formule de base

$$\frac{p_1}{p_2 \cdot n_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

4

Recherche de la formule de base

Le rapport des nombres de tours est donné par:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

p_1 = longueur de 1 division à réaliser

p_2 = pas de la vis de la fraiseuse

Pour un tour de la vis de la fraiseuse, la division serait: $p_1 = p_2$. Pour n_2 tours de la vis, nous avons:

$$p_1 = p_2 \cdot n_2 \text{ d'où } n_2 = \frac{p_1}{p_2}$$

La formule précédente devient, en remplaçant n_2 par $\frac{p_1}{p_2}$

$$\frac{\frac{p_1}{p_2}}{n_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} \text{ d'où}$$

$$\frac{p_1}{p_2 \cdot n_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

Exemple 19

Diviser une pièce de 200 mm de longueur en 12 parties égales. La vis de la table a un pas de 8 mm. On choisit 2 tours de manivelle.

$n_1 = 2$

Utiliser les roues du diviseur différentiel.

Solution

$$\frac{p_1}{p_2 \cdot n_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} = \frac{\frac{200}{12}}{8 \times 2}$$

$$\frac{p_1}{p_2 \cdot n_1} = \frac{200}{2 \times 12 \times 8} = \frac{25}{2 \times 12}$$

$$= \frac{5 \times 5}{8 \times 3} = \frac{\mathbf{120 \times 40}}{\mathbf{64 \times 72}}$$

Exemple 20

Tailler une crémaillère au module 2 avec une vis de rappel au pas de 8 mm. On choisit pour $n_1 = 2$ tours de manivelle.

$$\pi = \frac{22}{7}$$

Solution

$$\frac{p_1}{p_2 \cdot n_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} = \frac{\pi \cdot m}{8 \times 2}$$

$$= \frac{\pi \times 2}{8 \times 2} = \frac{\pi}{8} \approx \frac{22}{7 \times 8}$$

$$= \frac{22}{56} = \frac{1 \times 44}{2 \times 56}$$

$$= \frac{\mathbf{24 \times 44}}{\mathbf{48 \times 56}}$$

Rappel

Le pas d'une crémaillère est le même que celui d'une roue dentée, soit: module fois π.

4. 6. 2. Procédé par le diviseur à disques sans démultiplication

(fig. 29)

Le procédé utilise une poupée diviseur montée sur la table de la fraiseuse. La rotation de la manivelle, avec pointeau engagé dans le disque solidaire du couple conique $i = 1/1$, entraîne les roues z_1 à z_4 cette dernière étant clavetée sur la vis de la table. La vis sans fin z_5 et la roue tangente z_6 tournent à vide, donc n'interviennent pas dans les calculs. **Ce système de diviseur linéaire ne peut être utilisé pour des petits pas.**

Formule de base

La formule est exactement la même que dans le premier cas, puisque le couple conique à un rapport $i = 1/1$

$$\frac{p_1}{p_2 \cdot n_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

Remarque

Pendant le fraisage, le disque à trous est verrouillé par un blocage solidaire du bâti diviseur. Le nombre de tours de n_1 est arbitraire et doit être souvent modifié pendant les calculs afin de trouver un rapport z_1 à z_4 réalisable.

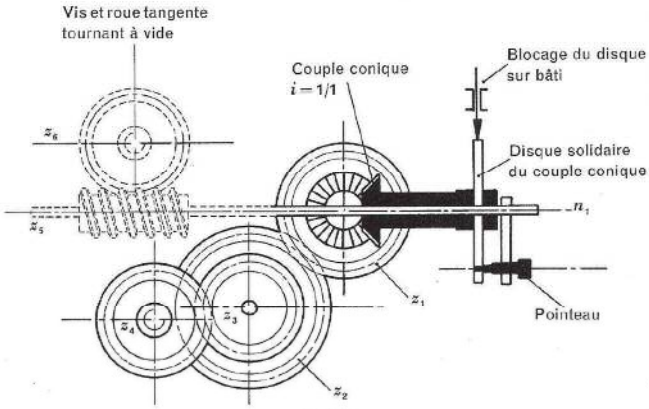


Fig. 29

Exemple 21

Pour une machine spéciale, il faut graduer une règle tous les ¼ de pouce. La vis de rappel de la table a un pas de 5 mm. Le nombre de tours choisi de la manivelle $n_1 = 1$

Solution

$$\frac{p_1}{p_2 \cdot n_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} = \frac{\frac{25{,}4}{4}}{5 \times 1}$$

$$= \frac{25{,}4 \times 1}{4 \times 5} = \frac{25{,}4 \times 1 \times 6{,}3}{4 \times 5 \times 6{,}3}$$

$$\approx \frac{160 \times 1}{20 \times 6{,}3} = \frac{160 \times 10}{20 \times 63}$$

$$= \frac{160 \times 10 \times 1}{20 \times 7 \times 9} = \frac{160 \times 10}{140 \times 9}$$

$$= \frac{\mathbf{32 \times 40}}{\mathbf{28 \times 36}}$$

Exemple 22

Fraiser des entrées dans une pièce tous les 7,5 mm. Vis de la table 5 mm. Le nombre de tours choisi de la manivelle $n_1 = 2$

Solution

$$\frac{p_1}{p_2 \cdot n_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} = \frac{7{,}5}{5 \times 2} = \frac{7{,}5}{10}$$

$$= \frac{3}{4} = \frac{\mathbf{24}}{\mathbf{32}}$$

4. 6. 3. Procédé par le diviseur à disques avec démultiplication

(fig. 30)

Dans cette méthode, la vis sans fin et la roue tangente ont un rapport de transmission $i = \mathbf{40/1}$ ou 60/1. La roue tangente est clavetée sur la broche de l'appareil à diviser et entraîne un jeu d'engrenages z_1 à z_4 ce dernier faisant corps avec la vis de rappel de la table de la fraiseuse.

Recherche de la formule de base

$$\frac{p_1}{p_2 \cdot n_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} \cdot \frac{z_5}{z_6}$$

Vu que la vis sans fin z_5 et la roue tangente z_6 sont toujours en prise avec un rapport constant, on peut écrire:

$$\frac{p_1 \cdot z_6}{p_2 \cdot n_1 \cdot z_5} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

Vu que $z_5 = 1$, on a pour formule de base:

$$\frac{p_1 \cdot z_6}{p_2 \cdot n_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

Utilisation du diviseur pour des pas fins

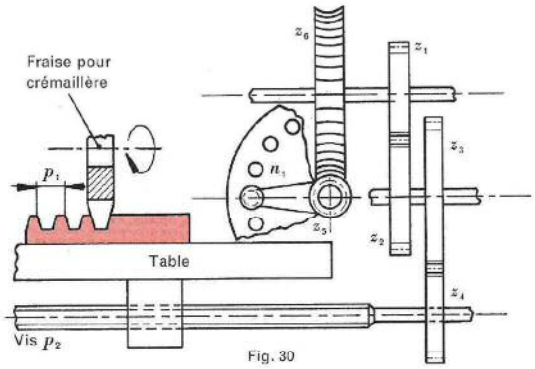


Fig. 30

Exemple 23

Diviser une règle tous les ½ millimètres. La vis de la table a un pas de 8 millimètres. Le nombre de tours de manivelle choisi $n_1 = 2$; $i = 40/1$

Solution

$$\frac{p_1 \cdot z_6}{p_2 \cdot n_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} = \frac{0{,}5 \times 40}{8 \times 2} = \frac{20}{16} = \frac{\mathbf{40}}{\mathbf{32}}$$

avec une ou deux roues intermédiaires.

Exemple 24

Graduer une règle dont les divisions sont espacées de 1/64" par la méthode avec démultiplication.

Vis de rappel $p_2 = 8$ mm

$n_1 = 2$ tours de manivelle

$i = 40/1$ vis sans fin – roue tangente

Roue de 127 disponible.

Solution

$$\frac{p_1 \cdot z_6}{p_2 \cdot n_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} = \frac{\frac{25{,}4}{64} \times 40}{8 \times 2}$$

$$= \frac{25{,}4 \times 40}{64 \times 8 \times 2} = \frac{25{,}4 \times 40 \times 5}{64 \times 8 \times 2 \times 5}$$

$$= \frac{127 \times 40}{64 \times 80} = \frac{127 \times 24}{64 \times 48}$$

$$= \frac{\mathbf{127 \times 24}}{\mathbf{48 \times 64}}$$

4. 7. Taillage par génération

(fig. 31)

Ce procédé est utilisé sur une machine spéciale, conçue pour tailler les engrenages plus rapidement que sur une fraiseuse ordinaire; l'outil de coupe se nomme **fraise mère** (voir fig.25, chap.2). Nous ne traitons dans ce chapitre que le taillage de roues à dentures droites. Lorsque la fraise fait un tour, la roue à tailler doit avancer progressivement d'une dent. Pour réaliser cette condition et avoir un taillage continu, il faut que l'arbre porte-fraise soit relié à la roue tangente z_6 qui entraîne la roue à tailler. Cette liaison s'effectue au moyen d'engrenages fixés à demeure sur les différents arbres de la machine et des roues interchangeables z_1 à z_4; ce qui nous permettra de réaliser les différents rapports de vitesse suivant le nombre de dents de la roue à tailler.

Suivant la chaîne cinématique de la machine z'_1 à z'_{10} le rapport de transmission des roues dentées non interchangeables en partant de la fraise mère à la première roue z_1 amovible est de:

$$i = \frac{n_1}{n_{10}} = \frac{z'_2 \cdot z'_4 \cdot z'_6 \cdot z'_8 \cdot z'_{10}}{z'_1 \cdot z'_3 \cdot z'_5 \cdot z'_7 \cdot z'_9}$$

$$i = \frac{n_1}{n_{10}} = \frac{24 \times 38 \times 42 \times 50 \times 36}{120 \times 38 \times 42 \times 40 \times 36}$$

Après simplification $i = \frac{1}{4}$

Ce rapport i varie suivant le type de machine.

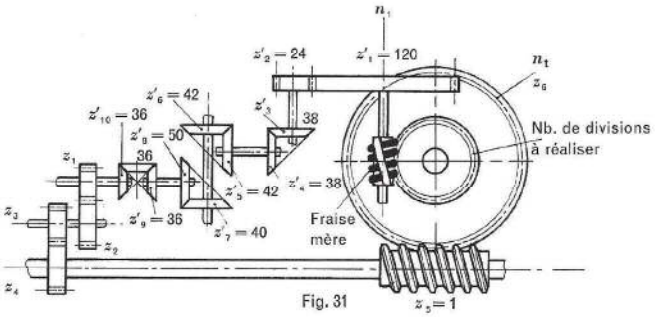


Fig. 31

Recherche de la formule de base

En tenant compte du rapport $i = 1/4$ et n_t = nombre de tours total à la fin du train d'engrenages

$$\frac{n_t \cdot 1}{n_1 \cdot 4} = \frac{z_1 \cdot z_3 \cdot z_5}{z_2 \cdot z_4 \cdot z_6}$$

Vu que la vis sans fin z_5 et la roue tangente z_6 sont toujours en prise avec un rapport constant, on peut écrire:

$$\frac{n_t \cdot 1 \cdot z_6}{n_1 \cdot 4 \cdot z_5} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

Pour un tour de la fraise mère

$n_1 = 1$ et $n_t = \frac{1}{d}$ la formule devient:

$$\frac{\frac{1}{d} \cdot z_6}{4} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

et finalement:

$$\frac{z_6}{4 \cdot d} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

Pour nos calculs, nous utilisons les roues interchangeables z_1 à z_4, mentionnées à la page 121.

Exemple 25

Calculer les roues à monter pour tailler une roue dentée de 44 dents. La roue tangente z_6 comporte 120 dents et le rapport constant de la machine $i = 1/4$.

Solution

$$\frac{z_6}{4 \cdot d} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} = \frac{120}{4 \times 44}$$

$$= \frac{30}{44} = \frac{6 \times 5}{4 \times 11}$$

$$= \frac{60 \times 25}{40 \times 55}$$

Exemple 26

Tailler une roue de 85 dents, la roue $z_6 = 180$, le rapport constant $i = 1/4$.

Solution

$$\frac{z_6}{4 \cdot d} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} = \frac{180}{4 \times 85}$$

$$= \frac{3 \times 60}{4 \times 85} = \frac{30 \times 60}{40 \times 85}$$

$$= \frac{60 \times 30}{40 \times 85}$$

4

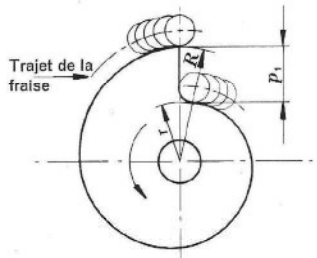


Fig. 32

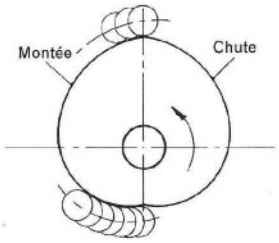


Fig. 33

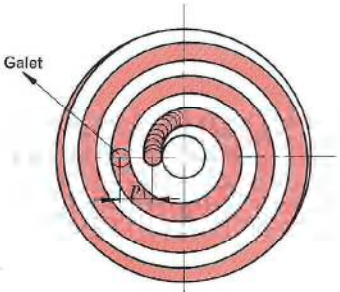


Fig. 34

4. 8. Fraisage des spirales

Sur les machines automatiques, décolleteuses par exemple, on utilise des cames pour le mouvement des coulisses. Ces cames transforment un mouvement de rotation en un mouvement de translation rectiligne. La spirale est montante si l'on s'éloigne du centre de la came, elle est descendante lorsque l'on s'en approche.

Spirale d'Archimède

La spirale est une courbe qui partant d'un point central s'en éloigne progressivement.

Came plate (fig. 32)

C'est un simple disque qui transmet le mouvement par son contour extérieur.

Came en cœur (fig. 33)

La came en cœur donne un mouvement de va-et-vient sur une coulisse de machine.

Rainure en forme de spirale (fig. 34)

Cette rainure entraîne un galet, contrairement aux cames des figures 32 et 33. Cette spirale se rencontre pour l'entraînement des mors dans un mandrin à serrage concentrique.

Fabrication d'une came

La première chose à connaître est le pas p_1 de la came ou de la spirale. Toutes ces cames peuvent se fraiser sur le diviseur universel.

Pas de la came p_1 (fig. 32)

Il est défini par la différence des deux rayons successifs pour un angle au centre de 360°.

$$p_1 = R - r$$

La plupart des cames n'ont pas qu'une seule spirale, mais plusieurs, reliées entre elles par des secteurs concentriques. On connaît la différence des rayons pour un angle α donné.

Recherche du pas p_1

Pour un angle au centre α en degrés inférieur à 360°:

$$p_1 = \frac{(R - r)\,360}{\alpha}$$

Si l'angle est donné en **grades** g:

$$p_1 = \frac{(R - r)\,400}{\alpha}$$

Fonctionnement du diviseur (fig. 35)

Lorsqu'on enclenche l'avance automatique de la fraiseuse, nous avons la combinaison des deux mouvements.

1) Déplacement longitudinal de la table de la fraiseuse.

2) Rotation de la came à fraiser.

Principe du fraisage

Le principe du taillage est identique au fraisage hélicoïdal, sauf que l'axe du diviseur porte-cames et l'axe de la fraise sont verticaux (fig. 35 et 36) ou inclinés (fig. 38 et 41).

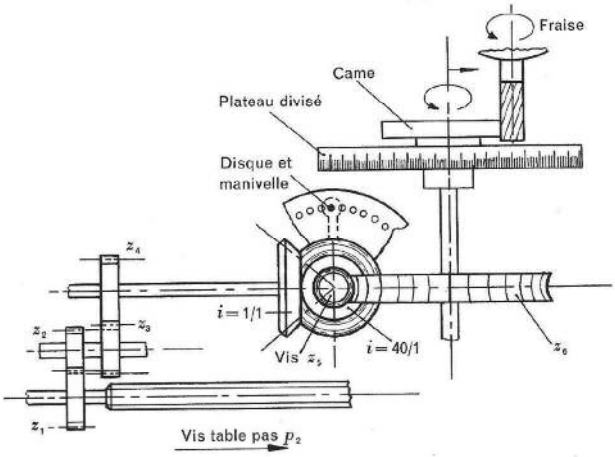


Fig. 35

4

4. 8. 1. Fraisage en position verticale

(fig. 35 et 36)

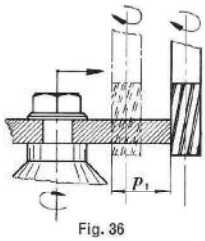


Fig. 36

Ce système est utilisé chaque fois que l'on dispose exactement des engrenages pour effectuer le pas p_1. Pour obtenir des spirales montantes ou descendantes, on inverse le sens de rotation de la came en intercalant sur la tête de cheval une roue intermédiaire. Le contrôle du déplacement rotatif de la came se fait au moyen du plateau divisé en degrés ou en grades. Pour fraiser les parties concentriques d'une came, seul le plateau doit tourner; il suffit de retirer le pointeau du disque et de tourner la manivelle; cette dernière entraîne la vis sans fin et la roue hélicoïdale.

La formule pour le fraisage en spirale est la même que celle utilisée pour le fraisage en hélice.

$$\frac{p_2 \cdot z_6}{p_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

p_1 = pas de la spirale

p_2 = pas de la vis de la table

z_6 = nombre de dents de la roue tangente

Roues pour diviseur différentiel

24 – 24 – 28 – 32 – 36 – 40 – 44 – 48
56 – 64 – 72 – 86 – 100 – 120

Les roues disponibles sont les roues du diviseur différentiel.

Le rapport vis – roue tangente est en général $i = 40/1$.

Exemple 27

Fraiser une spirale de 28 millimètres de pas, la vis de la table de la fraiseuse ayant un pas de 5 millimètres. Le rapport vis – roue tangente $i = 40/1$.

Solution

$$\frac{p_2 \cdot z_6}{p_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} = \frac{5 \times 40}{28} = \frac{5 \times 10}{7}$$

$$= \frac{5 \times 10}{1 \times 7} = \frac{120 \times 40}{24 \times 28}$$

Exemple 28

Fraiser une came en cœur avec une montée et une descente $R = 80$, $r = 62{,}5$ millimètres sur 180°. Vis de la table 6 millimètres. Le rapport $i = 40/1$ (fig. 37).

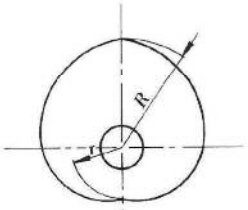


Fig. 37

Solution

Recherche du pas p_1:

$$p_1 = \frac{(R-r)\,360}{\alpha} = \frac{(80-62{,}5)\,360}{180}$$

p_1 = **35 mm**

Recherche des roues:

$$\frac{p_2 \cdot z_6}{p_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} = \frac{6 \times 40}{35} = \frac{6 \times 40}{5 \times 7}$$

$$= \frac{6 \times 8}{1 \times 7} = \frac{3 \times 16}{1 \times 7} = \frac{72 \times 64}{24 \times 28}$$

4. 8. 2. Fraisage en position inclinée

Si l'on ne dispose pas des engrenages pour effectuer exactement le pas p_1 on peut trouver une solution en inclinant la broche du diviseur et l'arbre porte-fraise (fig. 38).

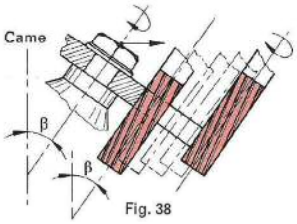


Fig. 38

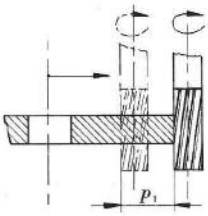


Fig. 39

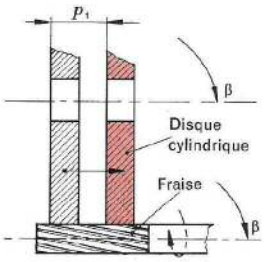


Fig. 40

Principe

Quand le fraisage s'opère en position axes verticaux, on obtient sur la came le pas embrayé p_1 (fig. 39). Supposons un instant que les deux axes soient horizontaux (fig. 40), toujours avec le même pas embrayé, on n'obtient plus une came, mais un disque rond et concentrique; donc toutes les positions intermédiaires permettent d'usiner n'importe quel pas p_1 mais plus petit que le pas embrayé p'.

En résumé, dans la position inclinée β (fig. 41), la fraise commence à travailler en position a et finit en b après un tour de came, d'où un glissement le long de la génératrice g. Cette longueur g additionnée à l'épaisseur de la came donne la longueur de la taille de la fraise; il suffit d'ajouter environ 5 millimètres de sécurité.

Pour des raisons pratiques de montage et de longueur de fraise, il est préférable de ne pas incliner les axes porte-fraise et porte-came au-delà de 45° pour l'angle β; donc **il faut embrayer un pas p'** réalisable avec les roues du diviseur différentiel **légèrement plus grand que le pas de la came p_1.**

Formule de base

La formule est sensiblement la même que pour le fraisage à axes verticaux, sauf que p_1 le pas de la came, est remplacé par p' le pas embrayé.

$$\frac{p_2 \cdot z_6}{p'} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

Formule pour l'angle d'inclinaison β des axes porte-came et porte-fraise

$$\cos \beta = \frac{p_1}{p'}$$

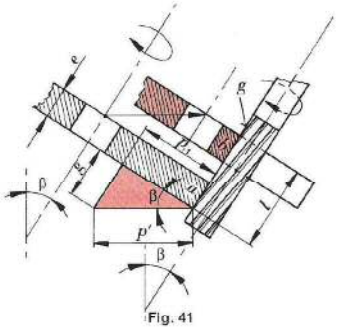


Fig. 41

Formule pour la longueur l de la taille de la fraise sur une spirale complète, soit 360°:

$$l = \operatorname{tg} \beta \cdot p_1 + e$$

Formule pour une spirale partielle pour un angle α sur la came exprimé en degrés:

$$l = \frac{\operatorname{tg} \beta \cdot p_1 \cdot \alpha}{360} + e$$

p_1 = pas de la came pour 360°

p_2 = pas de la vis de la table

p' = pas embrayé de la table

g = glissement

β = angles de réglage

l = longueur minimale de taille de la fraise $(g + e)$

e = épaisseur de la came

z_6 = nombre de dents de la roue tangente

z_1 et z_3 = roues menantes

z_2 et z_4 = roues menées

Exemple 29

Fraiser une portion de spirale sur une came plate ayant les caractéristiques suivantes: diamètre maximal 100 millimètres, diamètre minimal 72 millimètres pour un angle au centre $\alpha = 85°$; pas de la vis de la table $p_2 = 6$ millimètres, rapport vis-roue tangente $i = 40/1$; épaisseur de la came 10 millimètres. Roues disponibles du diviseur différentiel. Calculer:

a) le pas p_1 de la came

b) choisir le pas réalisable p' embrayé

c) les roues interchangeables z_1 à z_4

d) l'angle de réglage β du diviseur et de la tête verticale

e) la longueur l de la taille de la fraise

Solution

a) Calculer le pas p_1 de la came pour un angle au centre de 360°:

$$p_1 = \frac{(R-r)\,360}{\alpha} = \frac{(50-36)\,360}{85}$$

$$p_1 = \frac{14\times 360}{85} = \mathbf{59{,}294\ mm}$$

b) Choisir le pas réalisable, mais toujours plus grand, soit: $p' = \mathbf{60\ mm}$.

c) Recherche des roues interchangeables parmi les roues du diviseur différentiel:

$$\frac{p_2\cdot z_6}{p'} = \frac{z_1\cdot z_3}{z_2\cdot z_4}$$

$$= \frac{6\times 40}{60} = \frac{6\times 40}{3\times 20} = \mathbf{\frac{48\times 56}{24\times 28}}$$

d) Recherche de l'angle de réglage β:

$$\cos\beta = \frac{p_1}{p'} = \frac{59{,}294}{60}$$

$$\cos\beta = 0{,}98823$$

$$\beta = \mathbf{8°\,48'}$$

e) Recherche de la longueur de taille de la fraise:

$$l = \frac{\operatorname{tg}\beta\cdot p_1\cdot\alpha}{360} + e$$

$$l = \frac{\operatorname{tg} 8°\,48'\times 59{,}294\times 85}{360} + 10$$

$$l = \frac{0{,}1548\times 59{,}294\times 85}{360} + 10$$

$$l = \mathbf{12{,}16\ mm}$$

Pratiquement $l = \mathbf{15\ mm}$

Exemple 30

Calculer les roues et l'angle de réglage β pour fraiser les deux spirales A et B (fig. 42). La vis de la table a un pas p_2 de 5 millimètres, le rapport du diviseur $i = 40/1$. La came est divisée en 100 parties et mesure 8 millimètres d'épaisseur. On demande également la longueur minimale du taillage de la fraise.

Solution

Spirale A

Recherche du pas d'une spirale complète pour un angle au centre de 360°, soit 100% de la circonférence. ∢ α en % du lobe 24 — 4 = 20%.

a) Pas de la spirale p_1:

$$p_1 = \frac{(R-r)\,100}{20} = \frac{(80-67)\,100}{20}$$

$$p_1 = \frac{13\times 100}{20} = \mathbf{65\ mm}$$

b) Recherche des roues interchangeables pour le pas de 65 mm. Essais de fraisage avec tête verticale, angle β 0° ou 90° suivant le genre de fraiseuse:

$$\frac{p_2\cdot z_6}{p_1} = \frac{z_1\cdot z_3}{z_2\cdot z_4} = \frac{5\times 40}{65} = \frac{40}{13}$$

Vu que l'on ne peut pas décomposer le chiffre 13 pour trouver les roues nécessaires, nous adoptons 14 et travaillons en **position inclinée.**

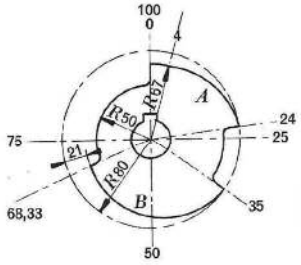


Fig. 42

Remarque

Dans d'autres cas, on peut également diminuer le numérateur pour que p' **soit toujours plus grand que** p_1 ($p' > p_1$).

$$\frac{p_2\cdot z_6}{p'} = \frac{z_1\cdot z_3}{z_2\cdot z_4} = \frac{40}{14} = \frac{10\times 4}{7\times 2}$$

$$= \mathbf{\frac{64\times 40}{28\times 32}}$$

c) Recherche du pas embrayé p':

$$p' = p_2\cdot z_6\,\frac{z_2\cdot z_4}{z_1\cdot z_3}$$

$$p' = 5\times 40\,\frac{28\times 32}{64\times 40}$$

$$p' = \mathbf{70\ mm}$$

d) Recherche de l'angle de réglage β:

$$\cos\beta = \frac{p_1}{p'} = \frac{65}{70} = 0{,}92857$$

$$\beta = \mathbf{21°\,47'}$$

e) Recherche de la longueur de taille de la fraise:

$$l = \frac{\operatorname{tg}\beta\cdot p_1\cdot\alpha}{100} + e$$

$$l = \frac{\operatorname{tg} 21°\,47'\times 65\times 20}{100} + 8$$

$$l = \frac{0{,}3996\times 65\times 20}{100} + 8$$

$$l = \mathbf{13{,}1948\ mm}$$

Rappel

L'angle α sur la came est donné en %.

Spirale B

Recherche du pas pour un angle au centre de 360°, soit 100%.

∢ en % du lobe α, 68,33 — 35 = 33,33%.

a) Pas de la spirale p_1:

$r = 80 - 21 = 59$ mm

$$p_1 = \frac{(R-r)\,100}{\alpha} = \frac{(80-59)\,100}{33{,}33}$$

$$= \mathbf{63\ mm}$$

b) On peut travailler avec les **mêmes roues,** mais en changeant l'angle de réglage β.

c) Recherche de l'angle de réglage β:

$$\cos\beta = \frac{p_1}{p'} = \frac{63}{70} = 0{,}90$$

$$\beta = \mathbf{25°\,50'}$$

d) Recherche de la longueur de taille de la fraise:

$$l = \frac{\operatorname{tg}\beta\cdot p_1\cdot\alpha}{100} + e$$

$$l = \frac{\operatorname{tg} 25°\,50'\times 63\times 33.33}{100} + 8$$

$$l = \frac{0{,}4841\times 63\times 33{,}33}{100} + 8$$

$$l = \mathbf{18{,}16\ mm}$$

Remarque

Sur les fraiseuses Schäublin 53, le rapport du diviseur universel

$i = 80/1$

provient de:

$i = 40/1$ vis-roue tangente

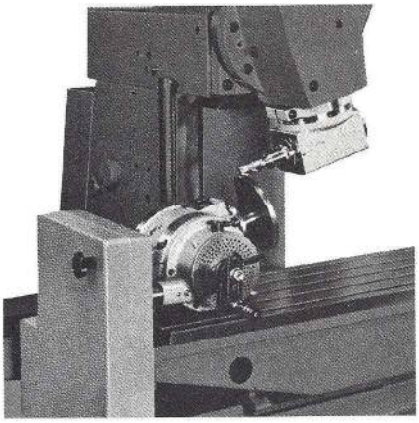
$i = 2/1$ 2 roues dentées

de 13 et 26 dents montées dans le diviseur, d'où:

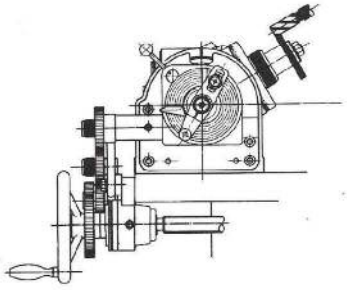
$$i = \frac{40}{1}\times\frac{2}{1} = \frac{80}{1}$$

Fraisage d'une came plate sur une fraiseuse Aciera F4

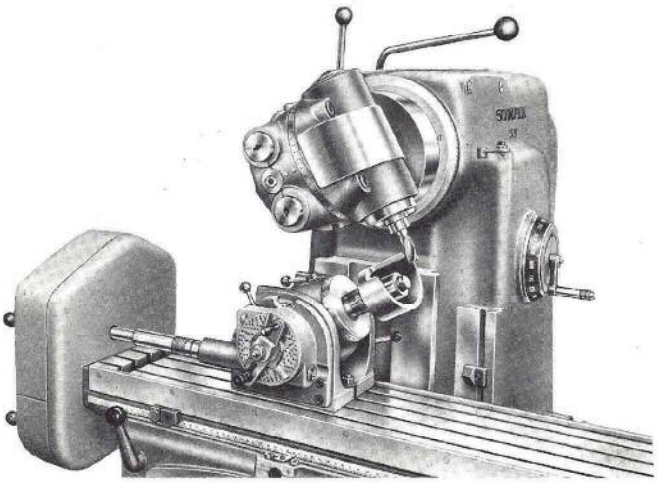
Procédé par fraisage en position inclinée



Montage sur la fraiseuse Schäublin 53



Fraisage d'une came cloche en position inclinée sur une fraiseuse Schäublin 53



Formule de base
seulement pour fraiseuse Schäublin 53:

Avec tête de fraisage verticale

$$\frac{p_2 \times 80}{p_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

Avec tête de fraisage inclinée

$$\frac{p_2 \times 80}{p'} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

p' = pas embrayé de la table
p_1 = pas de la spirale
p_2 = pas de la vis de la table

4. 9. Fraisage de cames cloches

Le fraisage de cames cloches est identique au fraisage hélicoïdal (chap. 4. 5). Deux cas peuvent se présenter:

a) Usinage **avec tête de fraisage verticale** pour un pas de came pouvant être réalisé avec les roues du diviseur (fig. 43).

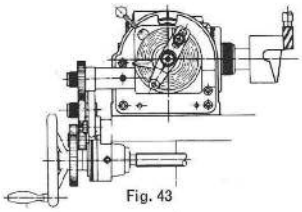


Fig. 43

b) Fraisage **avec la tête et le diviseur inclinés** pour les pas de cames ne pouvant pas être réalisés directement avec les roues à disposition (fig. 44).

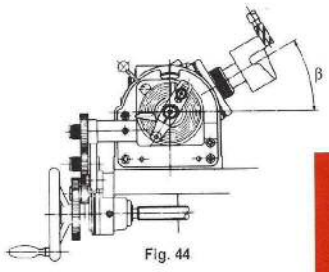


Fig. 44

Formule de base

Recherche du pas de l'hélice p_1 ou pas de la came pour un angle au centre α (en degrés) inférieur à 360° (fig. 45):

$$p_1 = \frac{(H-h)\,360}{\alpha}$$

H = hauteur maximale de l'hélice
h = hauteur minimale de l'hélice
α = angle limitant la portion de l'hélice

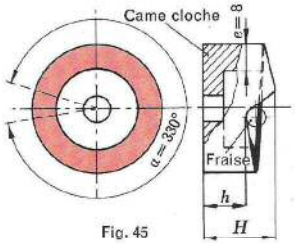


Fig. 45

4. 9. 1. Tête de fraisage verticale

Formule pour les roues interchangeables z_1 à z_4 comme pour le fraisage en hélice:

$$\frac{p_2 \cdot z_6}{p_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

p_1 = pas de la spirale
p_2 = pas de la vis de table
z_6 = nombre de dents de la roue tangente

4. 9. 2. Tête de fraisage inclinée

Lorsque le pas de la came p_1 n'est pas réalisable avec les engrenages à disposition, il est possible de fraiser ces pas en inclinant la tête et le diviseur de la même quantité, soit l'angle β (fig. 46). La fraise commence son travail sur la génératrice en position a et le termine en g, pendant que la came subit une révolution, d'où un glissement g le long de cette génératrice.
La formule reste la même que pour le taillage de cames plates en position inclinée, soit:

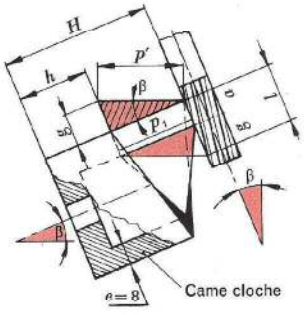


Fig. 46

$$\frac{p_2 \cdot z_6}{p'} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

p' = pas embrayé de la table
p_2 = pas de la vis de la table
z_6 = nombre de dents de la roue tangente
z_1 z_3 = roues menantes
z_2 z_4 = roues menées

Formule pour l'angle β de la tête verticale et du diviseur (fig. 47)

$$\cos \beta = \frac{p_1}{p'}$$

Pour des raisons pratiques de montage et de longueur de fraise, l'angle β ne dépassera pas 45°.

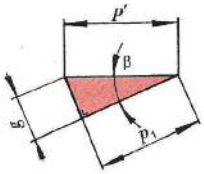


Fig. 47

Formule pour la longueur l minimale de la taille de la fraise sur une spirale complète, soit 360°:
$l = g + e$

$$l = \operatorname{tg} \beta \cdot p_1 + e$$

l = longueur minimale de taille de la fraise
g = glissement
e = épaisseur de la came

Formule pour la longueur l minimale de la taille de la fraise pour une spirale partielle limitant un angle α exprimé en degrés sur la came:

$$l = \frac{\operatorname{tg} \beta \cdot p_1 \cdot \alpha}{360} + e$$

Rappel

a) Concernant le calcul pour les roues dentées avec **tête et diviseur inclinés, le pas embrayé p' de la table est toujours plus grand que le pas de la came p_1:**
$p' > p_1$

b) Pour usiner une hélice ou une spirale montante ou descendante, il suffit d'ajouter ou de soustraire une roue dentée intermédiaire. Les diviseurs modernes sont pourvus d'un inverseur de sens de marche.

Exemple 31

Fraiser une came cloche ayant les données suivantes:

H = hauteur maximale 97,4 mm

h = hauteur minimale 60 mm

α = angle limitant le lobe de l'hélice 220°

p_2 = pas de vis de la table 5 mm

e = épaisseur de la came 10 mm

z_6 = nombre de dents de la roue tangente du diviseur 40 ou $i = 40/1$

Solution

a) Recherche du pas p_1 pour une hélice complète pour un angle au centre α 360°:

$$p_1 = \frac{(H-h)\,360}{\alpha} = \frac{(97{,}4-60)\,360}{220}$$

$$p_1 = \frac{37{,}4 \times 360}{220} = \mathbf{61{,}2\ mm}$$

b) Choisir un pas p' réalisable avec les roues disponibles:

p' est toujours plus grand que le pas de la came p_1

$p' > p_1$

mais le plus près possible de p_1.

$p' = 62$ ne convient pas

$p' = 63$ mm

c) Recherche des roues interchangeables parmi les roues du diviseur différentiel:

$$\frac{p_2 \cdot z_6}{p'} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} = \frac{5 \times 40}{63} = \frac{5 \times 5 \times 8}{7 \times 9} = \frac{25 \times 8}{7 \times 9} = \frac{\mathbf{100 \times 32}}{\mathbf{28 \times 36}}$$

d) Recherche de l'angle de réglage β:

$$\cos\beta = \frac{p_1}{p'} = \frac{61{,}2}{63} = 0{,}9714$$

$$\beta = \mathbf{13°44'}$$

e) Recherche de la longueur l de la taille de la fraise:

$$l = \frac{\operatorname{tg}\beta \cdot p_1 \cdot \alpha}{360} + e$$

$$l = \frac{0{,}237 \times 61{,}2 \times 220}{360} + 10$$

$$l = 8{,}86 + 10 = \mathbf{18{,}86\ mm}$$

Longueur utile de la fraise, environ 20 à 25 mm.

Exemple 32

Fraiser une came cloche ayant les caractéristiques suivantes:

H = hauteur maximale 84,37 mm

h = hauteur minimale 50 mm

α = angle du lobe de l'hélice 282° 20'

p_2 = pas de la vis de la table 4 mm

e = épaisseur de la came 8 mm

z_6 = nombre de dents de la roue tangente du diviseur 40 ou $i = 40/1$

Solution

a) Recherche du pas p_1 pour une hélice complète, soit α 360°:

$$p_1 = \frac{(H-h)\,360}{\alpha} = \frac{(84{,}37-50)\,360}{282°\,20'}$$

L'angle α 282° 20' peut s'écrire en nombre décimal, soit 282,33°

$$p_1 = \frac{34{,}37 \times 360}{282{,}33} = \mathbf{43{,}83\ mm}$$

b) Choisir un pas p' réalisable plus grand que le pas de la came p_1, soit **$p' = 44$ mm.**

c) Recherche des roues interchangeables:

$$\frac{p_2 \cdot z_6}{p'} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} = \frac{4 \times 40}{44} = \frac{4 \times 40}{4 \times 11} = \frac{5 \times 8}{1 \times 11} = \frac{\mathbf{120 \times 32}}{\mathbf{24 \times 44}}$$

d) Recherche de l'angle de réglage β:

$$\cos\beta = \frac{p_1}{p'} = \frac{43{,}83}{44} = 0{,}99613$$

$$\beta = \mathbf{5°02'}$$

e) Recherche de la longueur l de la taille de la fraise, qui est proche de l'épaisseur de la came; vu que l'angle de réglage β est faible, ce qui est très favorable:

$$l = \frac{\operatorname{tg}\beta \cdot p_1 \cdot \alpha}{360} + e$$

$$l = \frac{\operatorname{tg} 5°02' \times 43{,}83 \times 282{,}33°}{360} + 8$$

$$l = \frac{0{,}08836 \times 43{,}83 \times 282{,}33°}{360} + 8$$

$$l = 3{,}037 + 8 = \mathbf{11{,}037\ mm}$$

Il faut utiliser une fraise avec une longueur de taille de 15 mm environ.

4