

SNCB

Enseignement Professionnel

TECHNOLOGIE GENERALE DES **ATELIERS**

Cours 1217 bis

I/III

Leçons 1 à 7

TECHNOLOGIE GÉNÉRALE DES ATELIERS.

1^{re} leçon.

1. Introduction.

Ce cours de Technologie Générale s'adresse en particulier aux candidats contre-maîtres des ateliers de réparation et de construction du matériel électrique.

Le lecteur est censé connaître la Technologie Générale telle qu'elle est enseignée dans les écoles professionnelles et industrielles et l'on se base sur ces connaissances pour lui donner une vue plus large sur les différentes questions touchant l'aménagement général, le fonctionnement et les possibilités des ateliers modernes.

En plus des chapitres traitant de la matière précitée, il consacre quelques leçons à des activités plus particulières qui ne sont généralement pas traitées en détail dans les cours généraux de Technologie mais qui, par leur caractère spécial, trouvent leur place dans ce cours.

Plusieurs leçons seront réservées à la matière se rapportant au matériel électrique et à ses questions annexes (Protection - isolation - imprégnation - bobinage, etc...)

Ces différents sujets seront traités dans l'ordre indiqué ci-après:

I. Fabrication.

Fonderie
forges
usinage
ajustage
travail de la tôle, des profilés et des tubes,
ferblanterie et travail du plomb.

II. Soudage.

soudage au gaz
soudage à l'arc
oxycoupages
procédés spéciaux.

III. Construction.

travail sur gabarit.

IV. Travail du bois.

généralités
collage, imprégnation
mise en oeuvre du bois massif et du contre-plaqué.

2.

V. Protection et décoration.

a) Protection des métaux:

- 1) antirouilles
- 2) peinture
- 3) galvanoplastie.

b) Protection du bois:

- 1) peinture
- 2) vernissage
- 3) procédés spéciaux.

VI. Travail et mise en oeuvre des matières isolantes;
marbre, verre, caoutchouc, matières synthétiques.

VII. Construction et réparation du matériel électrique.

Préparations;

fabrication des éléments d'enroulement sur gabarit;

fabrication des éléments d'enroulement d'après modèle;

exécution des bobinages;

imprégnation.

Ie PARTIE.

FABRICATION.

FONDERIE.

2. But.

Cette méthode de production consiste à fabriquer des pièces, soit par coulée libre, soit par introduction sous pression dans des moules appropriés de métal fondu ou à l'état pâteux.

La coulée permet d'obtenir directement et rapidement des pièces de forme compliquée.

L'opération en elle-même est économique; toutefois, la fabrication des modèles est onéreuse; il faut donc autant que possible travailler en série.

Moyennant quelques précautions, on obtient des pièces d'un aspect tel que tout usinage ultérieur est superflu.

La coulée sous pression permet, par exemple, de fabriquer des pièces filetées fines, même avec des pas très réduits.

3.

L'étude de la fonderie comprend:

- 1) la fabrication des modèles;
- 2) le moulage;

- 3) l'étude des métaux et alliages utilisés;
- 4) la fusion;
- 5) la coulée;
- 6) le nettoyage et l'ébarbage des pièces.

Nous terminerons cette leçon par quelques paragraphes consacrés à la coulée en coquille, la coulée sous pression, la coulée par centrifugation et par quelques notions sur l'équipement des fonderies modernes.

1. La fabrication des modèles.

4. Les modèles sont fabriqués en bois, en acier ou, de préférence, en métal léger, d'après les données des plans ou des fiches de fabrication. Exceptionnellement, c'est la pièce à reproduire ou à remplacer qui sert de modèle.

La forme du modèle diffère de celle de la pièce à obtenir:

- 1) par les surdimensions à donner au moule pour parer au retrait de solidification et de refroidissement;
- 2) par la présence des supports de noyaux (fig.1);
- 3) par le fait que la pièce doit pouvoir être moulée en plusieurs parties

5. *Les pièces volumineuses sont moulées éventuellement au trousseau (fig.2).*
Les plaques-modèles sont des parties de modèles fixées sur des tôles d'acier ou d'aluminium et utilisées sur les machines à mouler (voir plus loin).

B. Le moulage.

6. Au moyen du modèle, on fait un moule dans lequel le métal fondu sera coulé.

Le produit de moulage doit être bien pétrissable, avoir une bonne cohésion, être poreux et réfractaire. Il doit être homogène et être constitué de petits grains réguliers et rugueux.

On utilise à cet effet:

- a) des sables de moulage: ce sont des mélanges d'argile et de sable (pas les sables de mer ou de rivière qui sont trop lisses);
- b) la glaise: mélange de sable de moulage avec de la tourbe et des déchets de lin;
- c) sable synthétique: mélange de sable, noir minéral et de liants tels que la bentonite.

Le contact de l'argile avec le métal fondu lui fait perdre son eau d'hydratation; on dit que le sable est brûlé.

Pour le régénérer, le sable utilisé doit être mélangé à du sable neuf. De même, pour réemployer du sable synthétique, il faut lui adjoindre une nouvelle quantité de noir minéral et de liant.

Le sable régénéré est utilisé comme sable de contact (fig.3) alors que, pour le remplissage final du châssis, on utilise du vieux sable tamisé et aéré.

Préparation du sable de moulage.

7. Cette préparation comprend:

- 1) Eventuellement un triaiage magnétique (fig.4) pour en extraire les aiguilles de moulage et les gouttes de métal.
- 2) Tamisage (fig.5) pour évacuer les mottes de sable brûlé.
- 3) Apport de sable neuf (fig.6), malaxage et humidification. Ces opérations se font dans le broyeur. C'est une cuve ou un plateau tournant sur lequel le sable est broyé et frotté sous des rouleaux lourds. Le broyage donne la plasticité au sable.
- 4) Aéragé (fig.7). Le sable passe par une turbine (appelée diviseur) dans laquelle deux disques, munis de broches disposées en rangées concentriques et tournant en sens inverses, divisent le sable et lui donnent la porosité requise.

La figure 8 représente une sablerie moderne à grand débit. Ces installations se caractérisent par une automatisation quasi complète, l'alimentation des appareils et le transport du sable d'un appareil à l'autre se faisant par des moyens mécaniques tels que courroies, élévateurs, vis d'Archimède, etc...

Après tamisage et mélange intime avec du sable neuf dans une vis d'Archimède, le sable est broyé et expédié ensuite vers un aérateur, diviseur qui le déverse sur une courroie distributrice. Cette courroie le transporte jusqu'aux silos d'alimentation des machines à mouler.

Le sable qui déborde des moules tombe à travers des grilles disposées autour des machines à mouler et est repris par une courroie souterraine qui le réintroduit dans le cycle.

Contrôle du produit de moulage.

8. Les fonderies bien équipées disposent d'un laboratoire pour le contrôle du sable.

L'examen comprend:

- 1°) le contrôle de la teneur en eau, déterminée par la différence des poids d'un échantillon pris avant et après séchage à 105°;
- 2°) ^a contrôle de la granulation: le sable passe sur des tamis de mailles différentes.

On détermine le % de chaque grosseur de grain; ces chiffres portés en diagramme donnent des indications quant aux possibilités d'utilisation du sable examiné;

3^e)^{le} contrôle de la perméabilité. Un échantillon de sable est comprimé d'une façon déterminée en un cylindre de dimensions imposées. Ce cylindre placé dans une conduite de même diamètre intérieur constitue un élément résistant au passage d'un courant d'air comprimé. On mesure le temps t qu'un volume d'air V sous pression p met pour passer à travers l'échantillon.

On appelle perméabilité P le chiffre donné par la formule

$$P = \frac{V \cdot H}{p \cdot S \cdot t}$$

dans laquelle:

P = perméabilité recherchée

V = volume d'air en cm³

H = hauteur de l'échantillon

p = pression de l'air en cm d'eau

S = section de l'échantillon en cm²

t = temps en secondes;

4^e)^{le} détermination du % d'argile. Le sable est séparé par une série de décantations après qu'un échantillon a été mélangé et agité durant 10 minutes dans une quantité d'eau.

A part ces essais, qui sont considérés comme étant indispensables pour le contrôle d'un sable, on procède parfois encore à des essais de traction et de compression sur des échantillons de sable préparés dans des conditions déterminées.

Produits de noyautage.

9. Le noyau doit résister à la pression et à la température du métal fondu qui l'entoure. Après solidification de la pièce, le noyau doit pouvoir être enlevé facilement.

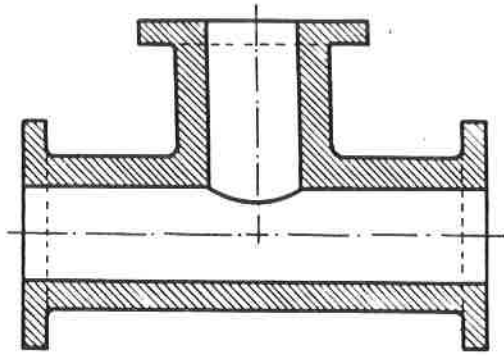
On utilise du sable de moulage ou du sable pur, mélangé à des liants comme la farine, la dextrine, la résine, la bentonite, l'huile de poisson, l'huile de lin, la mélasse, etc...

Les noyaux sont séchés et, éventuellement, cuits dans des fours spéciaux à température contrôlable et réglable. Les petits noyaux sont parfois séchés à l'infra-rouge.

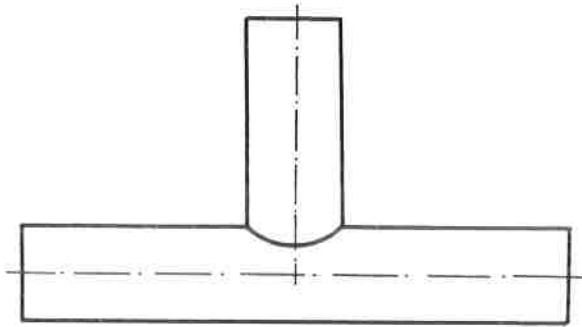
FORME DU MODELE - VORM VAN HET MODEL

Annexe: 1
Bylage: 1

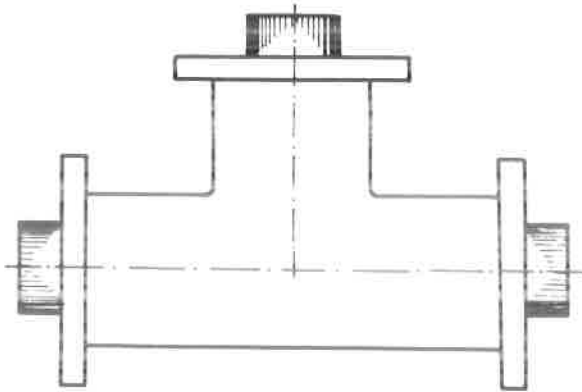
Pièce
Stuk



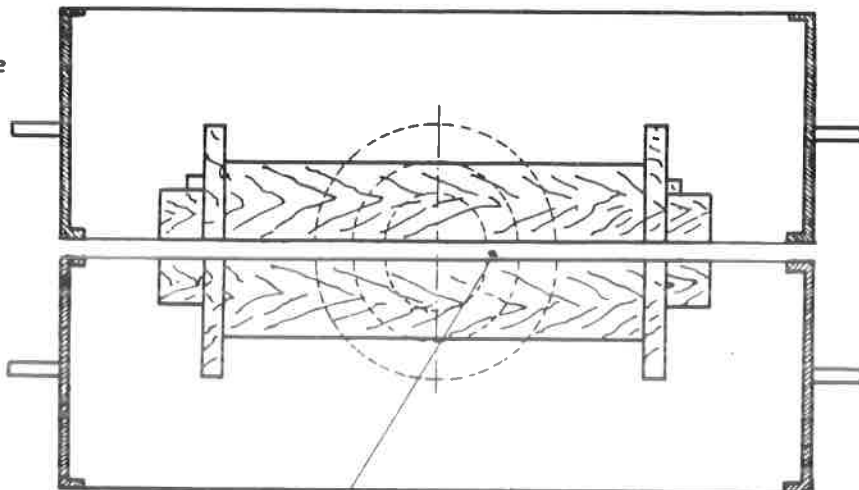
Noyau
Kern



Modèle
Model



Modèle dans
chassis double



Vorm in
dubbel raam

Fig. 1

Plan de séparation
Scheidingsvlak

C.1217^{Bis}/2217^{Bis}
1^{er} L.

MOULAGE AU TROUSSEAU VORMEN MET TREKPLANK

Annexe: 2
Bijlage:

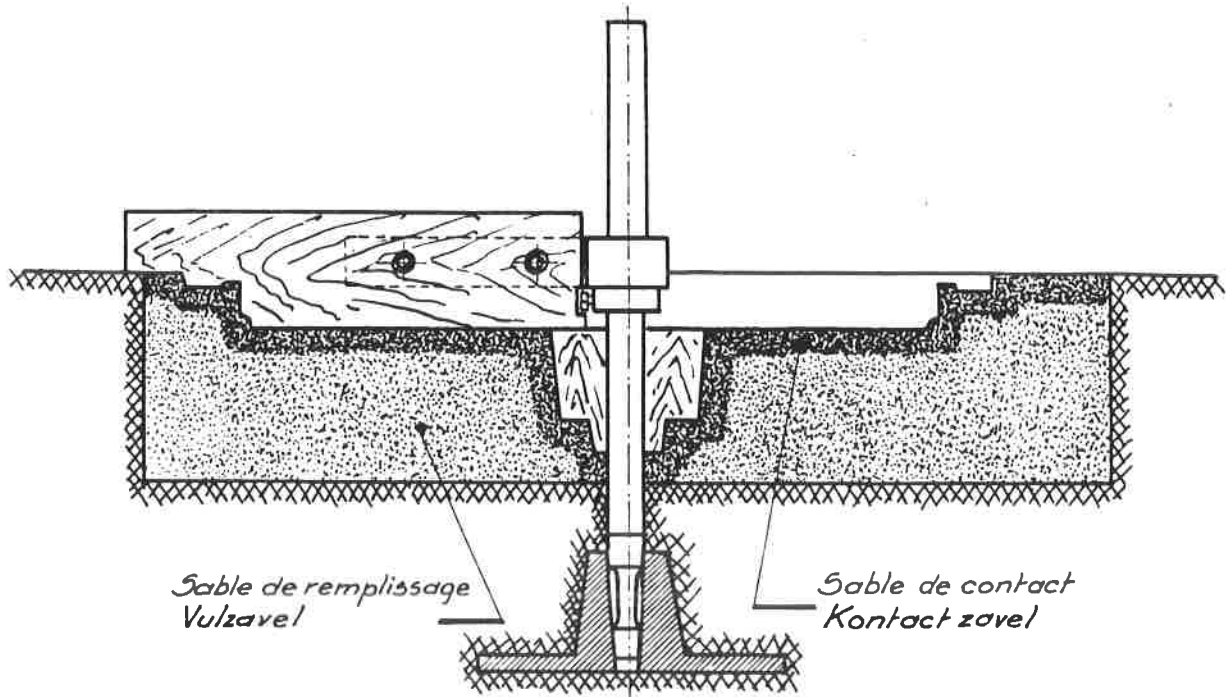
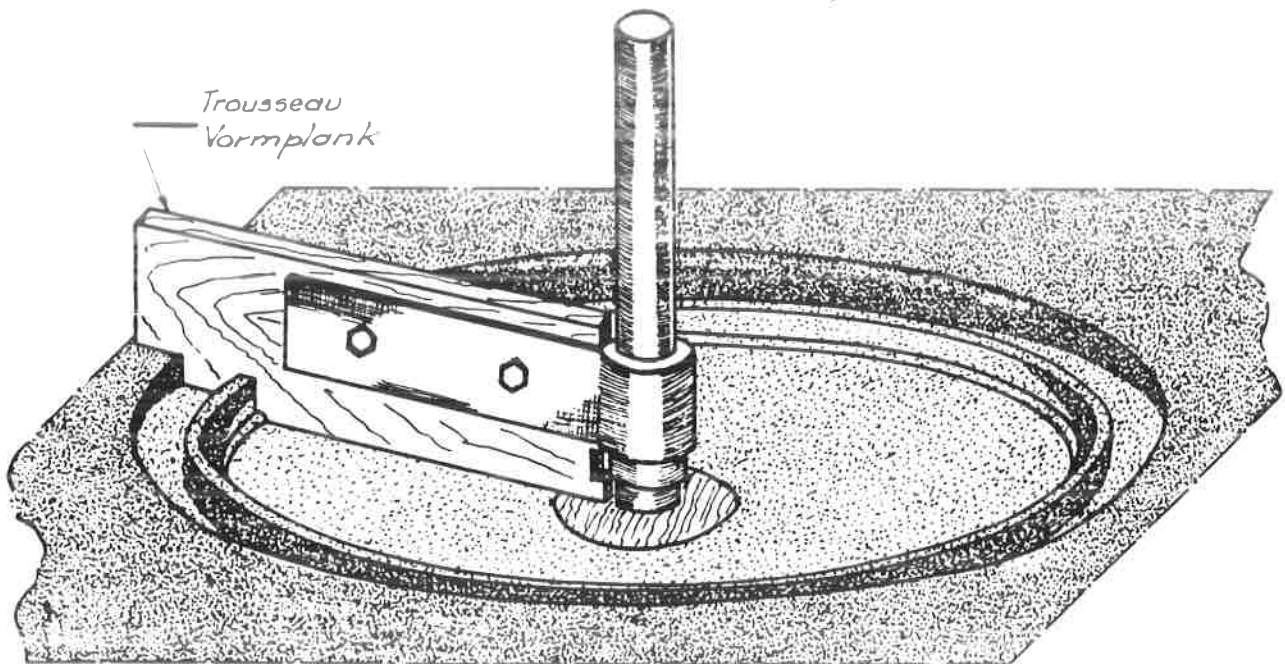


Fig. 2



C.1217^{bis}/2217^{bis}
1° L.

REPLISSAGE DES CHASSIS

VULLING VAN DE RAMEN

Annexe: 3
Bijlage:

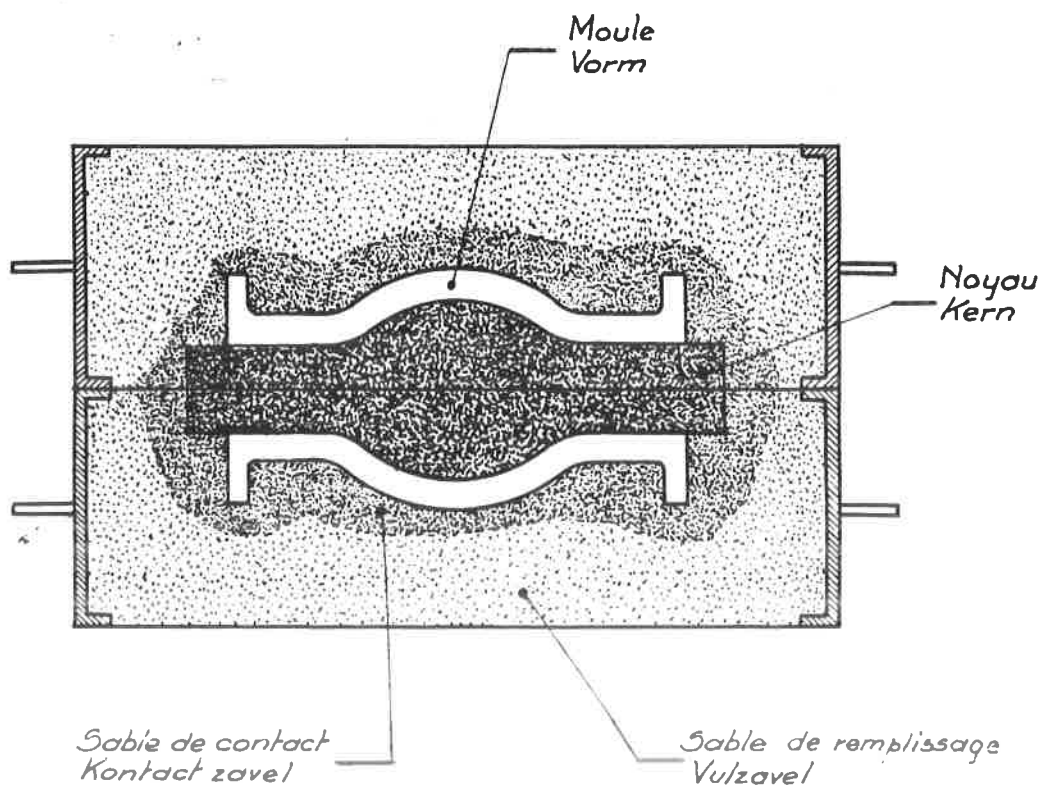


Fig.3

SEPARATEUR MAGNETIQUE MAGNETISCHE AFSCHEIDER

Annexe: 4
Bijlage:

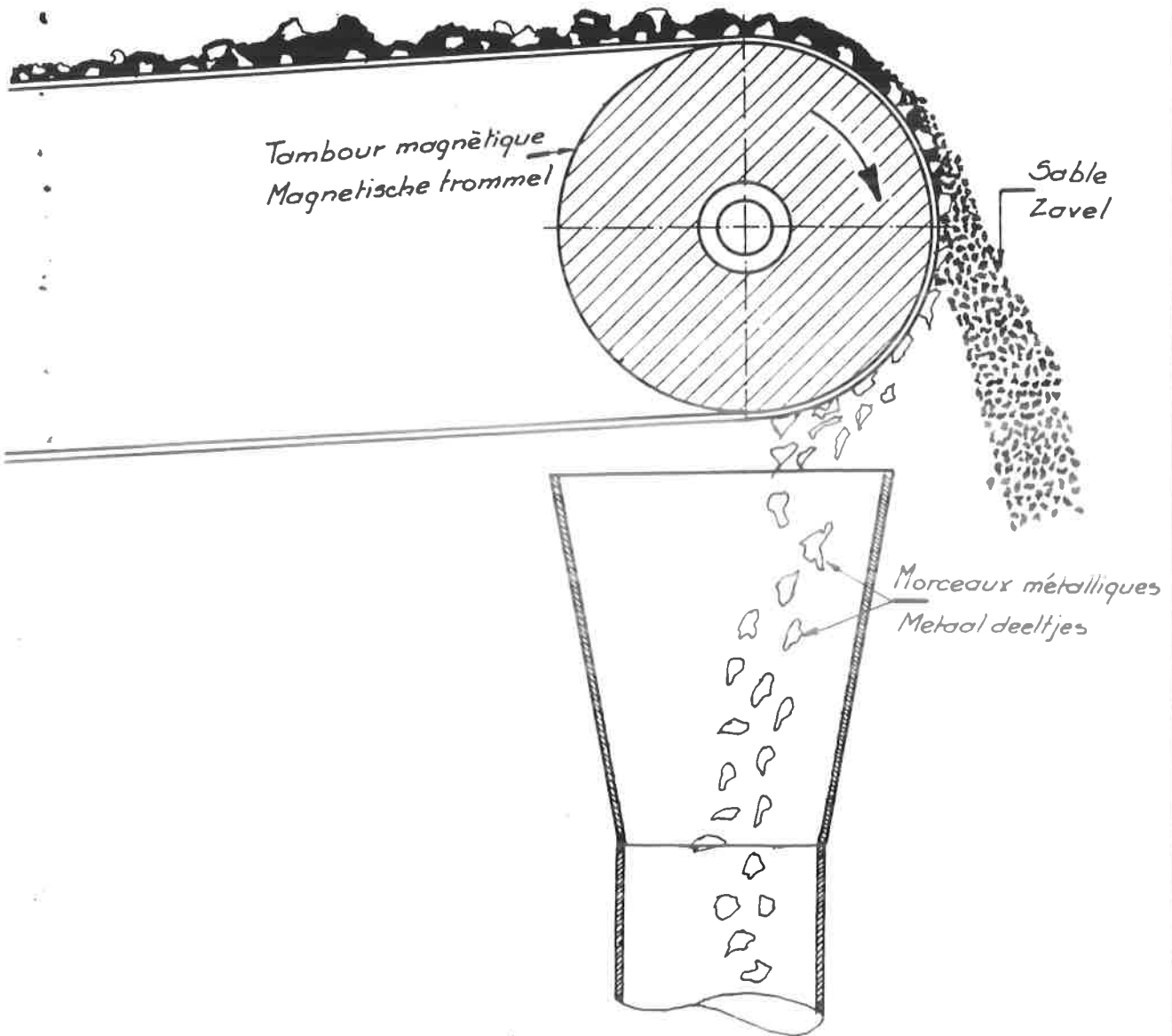


Fig. 4

C.1217^{bis}/2217^{bis}
1^o L.

TAMIS ROTATIF DRAAIENDE ZIEF

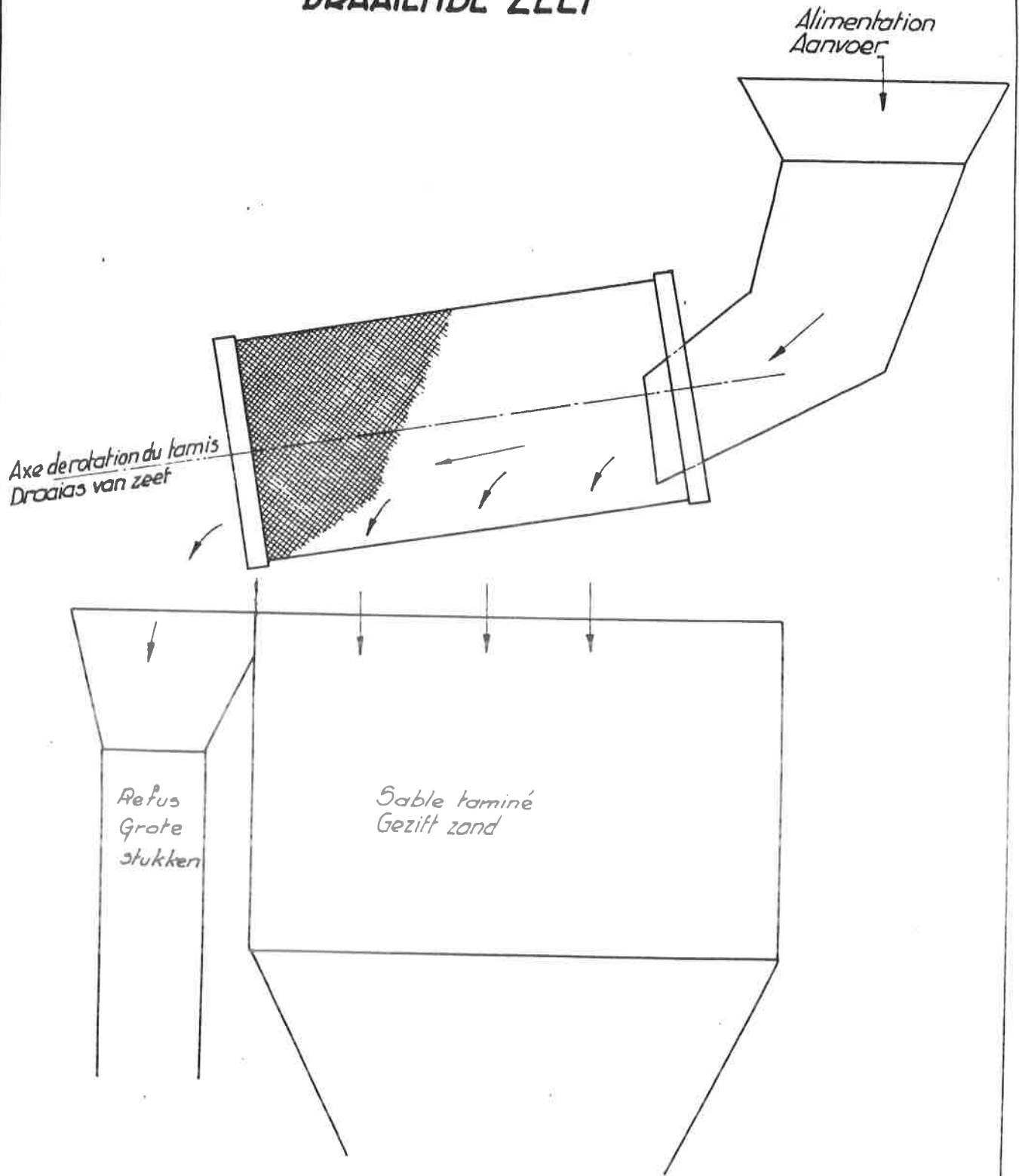


Fig. 5

ZAVELPLETMOLEN BOYEUR DE SABLE

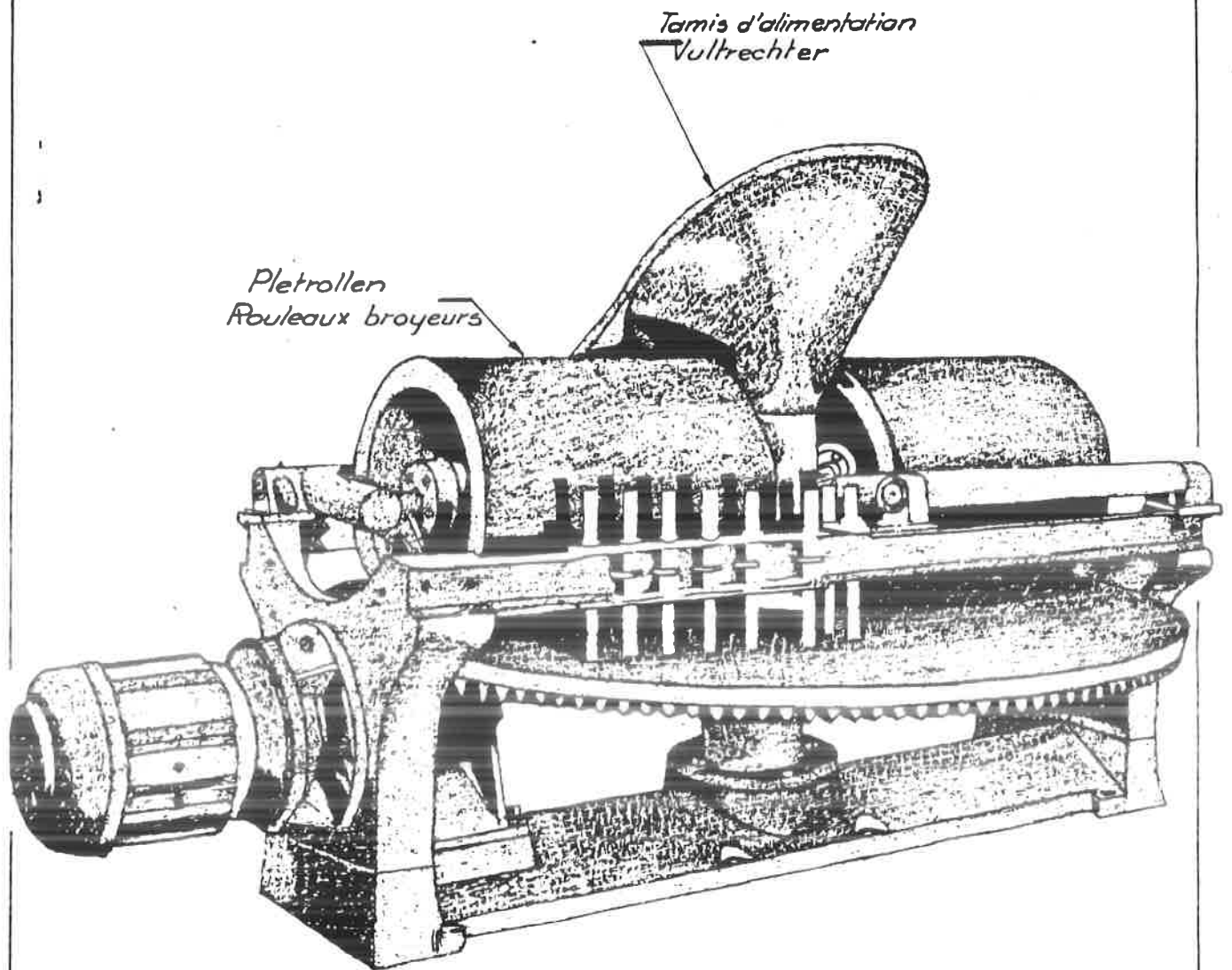


Fig.6

C.1217^{bis}/2217^{bis}
1/2 L.

**DIVISEUR DE SABLE
ZAVELVERDELER**

*Annexe: 7
Bylage: 7*

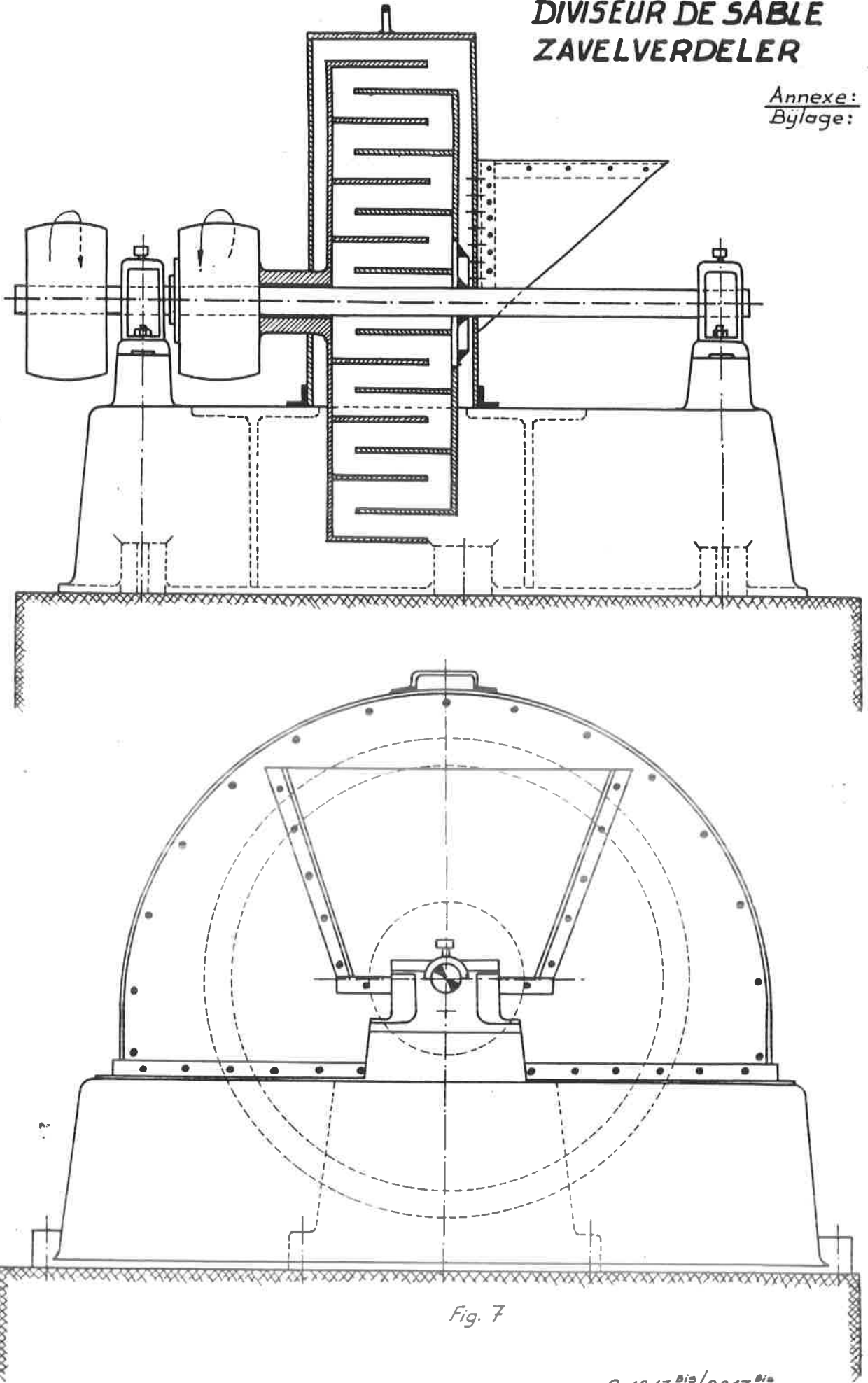


Fig. 7

*C.1217^{Bis}/2217^{Bis}
1^{er} L.*

Revised

Le moulage.

10. Pour les petites séries, le travail se fait à la main. Les grandes séries de moules se font sur des machines à mouler.

La machine à mouler comporte une table sur laquelle est placée une plaque-modèle.

Après remplissage du châssis, le démoulage se fait mécaniquement.

Pour comprimer le sable dans les châssis, on distingue les différentes solutions énumérées ci-après :

1°) dans les machines à mouler à main pour travail léger, le sable est comprimé à l'aide d'un sommier à levier ;

2°) dans les machines à secousses, le sable est comprimé par les secousses de la table commandée par un dispositif pneumatique. Il est souvent nécessaire de refouler encore le sable à la partie supérieure du châssis à l'aide d'un fouloir à main ou pneumatique (fig. 9) ;

3°) dans les machines à secousses et pression, le refoulement supérieur est effectué par un sommier que commande un cylindre pneumatique (fig. 10);

4°) les machines à projection projettent des "poignées" de sable dans les châssis avec une force telle que le sable est déjà suffisamment comprimé rien que par ce mode de remplissage (fig. 11) ;

Le démoulage se fait de deux façons différentes :

1°.- par peigne et chandelles : la plaque-modèle est recouverte d'une tôle découpée épousant le modèle qui, lors du démoulage, est soulevé avec le moule pour soutenir la masse de sable (fig. 12) ;

2°.- démoulage par retournement : ici, toute la machine se retourne de 180° avant que le modèle ne soit retiré verticalement du moule (fig. 13).

De dernier système s'applique de préférence aux châssis profonds où il y a danger d'arracher du sable par le démoulage à l'envers.

Les machines à mouler modernes, alimentées par sable tombant de silos disposés au-dessus d'elles, peuvent produire jusqu'à 50 châssis à l'heure (voir disposition fig. 8).

Contrôle du degré de compression du sable dans les moules :

Ce contrôle permet de s'assurer que les degrés de perméabilité et de résistance du sable soient atteints et maintenus constants durant la fabrication. Cours 1217bis.

Il se fait au moyen d'un appareil comportant une bille qui s'enfonce dans le sable.

L'enfoncement se lit sur un cadran à aiguille.

Séchage des moules.

11. Dans beaucoup de cas, il est nécessaire de sécher les moules à coeur. Ce séchage s'effectue dans des fours chauffés au coke ou chauffés au moyen d'un mélange de gaz chauds et d'air (fig. 14 et 15).

Le four (fig. 14c) comporte une cheminée placée sur la conduite de départ du ventilateur par laquelle est évacuée une partie des gaz saturés de vapeur.

Les fonderies organisées pour le travail à la chaîne disposent de fours tunnels continus dans lesquels les moules sont séchés suivant le principe du contre-courant (fig. 15).

Châssis.

12. Les anciens châssis étaient en fonte. Pour améliorer la résistance, on les construit actuellement en acier moulé ou, mieux encore, en tôles embouties (fig. 16).

Les petits châssis qui doivent être manipulés constamment sont fabriqués en alliages légers (aluminium-électron).

Moulage en mottes.

13. Pour éviter l'emploi d'un grand nombre de châssis, l'on peut utiliser un châssis ouvrant (fig. 17).

Après chaque moulage et assemblage des demi-moules, les châssis ouvrants sont enlevés; il reste alors une motte qui, par suite de la compacité du sable, peut encore facilement être transportée sur une tablette en bois.

Immédiatement avant la coulée, l'on place autour de cette motte une "chemise" en tôle pour éviter que la motte n'éclate sous l'effet de l'action mécanique du jet et de la pression hydrostatique du métal.

Après quelques moments de solidification, la chemise est enlevée et réutilisée.

14. Les noyaux sont moulés dans des boîtes à noyau de formes appropriées.

Le noyautage en série se fait sur des machines à souffler les noyaux.

Celles-ci comportent un réservoir à sable d'où ce dernier est soufflé (à l'air comprimé) dans une boîte spéciale conçue de telle façon que l'air entraîné puisse s'échapper par des petites ouvertures.

Le soufflage est une opération rapide à grand rendement. Les noyaux ont toujours la même texture : ce qui est propice à la régularité et à la qualité de la production.

Remarque.

Pour l'étude des métaux de fonderie, voir les traités de connaissance des métaux.

La fusion.

15. A. La fonte est fondue dans des cubilots (fig. 18).

Les matières premières sont chargées en couches alternant avec des couches de coke et de castine (fondant).

La combustion est entretenue et activée par insufflation d'air froid surpressé. Un plancher de chargement est placé à hauteur de l'ouverture d'alimentation.

Les matières sont transportées par ascenseur.

La fonte peut également être obtenue dans des fours à induction alimentés par courant de haute fréquence. Ces fours permettent même de traiter des mitrilles d'acier.

Les cubilots produisent de 1 à 5 tonnes de fonte par heure et de 6 à 30 tonnes par coulée.

16. B. L'acier moulé est fourni par les mêmes appareils que ceux utilisés dans la fabrication de l'acier.

Les petites fonderies utilisent des convertisseurs Bessemer à dimensions réduites (de 0,2 à 3 tonnes à l'heure) et des fours électriques (fig. 19 et 20).

17. C. Le bronze et les autres métaux non ferreux sont fondus dans des fours à creuset (fig. 21) chauffés au coke et au mazout ou pour le bronze en particulier, dans des fours rotatifs à chauffage direct au mazout (fig. 22).

Les fours à creuset produisent de 200 à 400 kg par fusion. Les fours rotatifs fournissent de 500 à 1.200 kg de métal fondu.

La coulée.

18. Le mode de coulée dépend de l'aménagement de la fonderie.

Tantôt, les châssis sont rangés sur l'aire de coulée de la fonderie. Le métal fondu est versé dans de grandes poches qui alimentent les louches transportées à la main (fig. 23a).

La coulée à la poche se fait au moyen du pont roulant (fig.23b).

Le basculement des grandes poches est commandé par un système à vis sans fin irréversible, permettant un réglage précis et empêchant le retournement rapide de la poche.

Les très grandes poches ne basculent pas ; un clapet dans le fond de la poche permet l'écoulement du métal.

Pour la coulée sur transporteur, la poche est suspendue à un endroit fixe, les châssis défilant devant elle.

Décochage.

19. Après solidification, il y a lieu d'enlever la pièce du moule.

Certaines fonderies disposent de machines à décocher; ce sont des fortes grilles à secousses sur lesquelles les châssis sont vidés de leur sable.

Celui-ci tombe à travers la grille pour être évacué par une courroie (fig. 24A et 24B).

Nettoyage et ébarbage des pièces.

20. Aux pièces décochées adhèrent des mottes de sable brûlé et parfois des croûtes métalliques. Celles-ci sont enlevées par traitement des pièces dans des trommels, par nettoyage au jet de sable, au jet de grenaille et au jet d'eau sous pression.

Les trommels sont chargés de petites pièces et éventuellement de billes en acier ou en fonte. Par rotation de l'engin, la charge est remuée et battue ; le sable et les croûtes tombent.

Le nettoyage au jet de sable ou de grenaille s'effectue dans des cabines ou sur des tables tournantes (fig.25a).

Le chargement et le déchargement des pièces sur les tables tournantes se fait de façon continue. Après deux ou trois tours, les pièces sont nettoyées. Dans la chambre de nettoyage, elles sont attaquées au sable ou à la grenaille projetés par l'air comprimé.

Certaines machines comportent des turbines à grande vitesse qui lancent des grenailles d'acier sur les pièces (fig.25b).

Pour le nettoyage à l'eau, on utilise soit l'eau ordinaire, soit l'eau mélangée au sable. Les pressions utilisées sont de l'ordre de 70 kg/cm^2 .

L'ébarbage se fait au burin à main, au burin pneumatique, à la meule portative et au bâti de meule.

Les faces planes peuvent être dressées d'emblée sur des machines genre "Discus" ou "Lumsden" (voir cours 1212).

L'enlèvement des noyaux peut se faire au moyen de machines pneumatiques munies de longues aiguilles (fig. 26).

Coulée en coquilles.

21. Les moules de sable ne peuvent s'utiliser qu'une seule fois; il faut les refaire pour chaque pièce.

Pour les métaux à basse température de fusion, pour la coulée des lingots d'acier, de la fonte dure et pour la fabrication des pièces à surfaces lisses, on utilise des moules métalliques appelées coquilles.

La fabrication de ces moules coûte cher, mais on peut les utiliser des milliers de fois.

Les coquilles sont parfois percées d'une multitude de petits canaux pour permettre l'échappement de l'air et des gaz lors de la coulée.

Les noyaux sont faits en sable ou en acier réfractaire.

Les noyaux en acier doivent pouvoir être enlevés des pièces ; leur usage reste donc limité aux seuls noyaux qui par leur forme permettent un enlèvement par translation rectiligne ou circulaire (fig. 27).

A chaque coulée, les coquilles sont enduites d'un produit qui, en contact avec le métal liquide, s'enflamme ou dégage des gaz qui chassent l'air.

La température des coquilles doit être tenue aussi constante que possible, soit en les réchauffant à l'aide de brûleurs à gaz, soit en les refroidissant.

La coulée sous pression.

22. Certaines coquilles sont très difficiles à remplir. On peut y remédier en y injectant le métal liquide ou pâteux sous pression.

La coulée en coquille présente de grands avantages. Les pièces obtenues sont propres et lisses, comme si elles étaient parachevées. Les pièces sont homogènes sans défauts. Il y a moyen de remplir les coquilles d'une façon telle que des épaisseurs de 2 mm et des parties filetées peuvent être obtenues.

Les machines modernes à couler sous pression atteignent des productions très élevées (fig. 28).

La coulée par centrifugation.

23. Des pièces cylindriques peuvent être coulées "sous pression" en les faisant tourner rapidement autour de leur axe, pendant la coulée (fig. 29).

La force centrifuge comprime le métal; la pression augmente vers la paroi extérieure et donne aux pièces une texture fermée.

Ce procédé s'applique beaucoup dans la fabrication des coussinets et des tubes.

Fonderies modernes.

24. Nous donnons ici, à titre d'exemple, une description sommaire d'une fonderie équipée pour produire en masse des robinets en laiton (fig. 30).

Les châssis sont transportés sur une table circulaire d'environ 15 mètres de diamètre. Cette table tourne lentement et d'une façon continue autour de son axe; la vitesse est réglable par variateur.

La coulée se fait "à vert".

Le stand "moulage" est équipé de 2 machines à mouler disposées de part et d'autre du transporteur. La figure 31 montre la disposition des poches qui, durant la coulée, sont momentanément entraînées dans le sens de rotation de la table.

Une cheminée centrale fixe comporte une partie tournante qui évacue vers le centre les gaz dégagés par la coulée.

La figure 32 donne l'exemple d'une installation pour la coulée dans des moules étuvés. Ces moules sont transportés sur des "transrouleurs" et passent dans une étuve en forme de tunnel montée entre les stands "moulage" et "remoulage".

La figure 33 enfin donne un schéma d'une fonderie équipée d'un transporteur à "convoyeurs". C'est une chaîne de petits chariots accouplés sur lesquels reposent les châssis. Les convoyeurs sont actionnés par moteurs électriques.

MACHINE A MOULER A TABLE A SECOURSSES VORMMACHINE MET SCHOKKENDE TAFEL

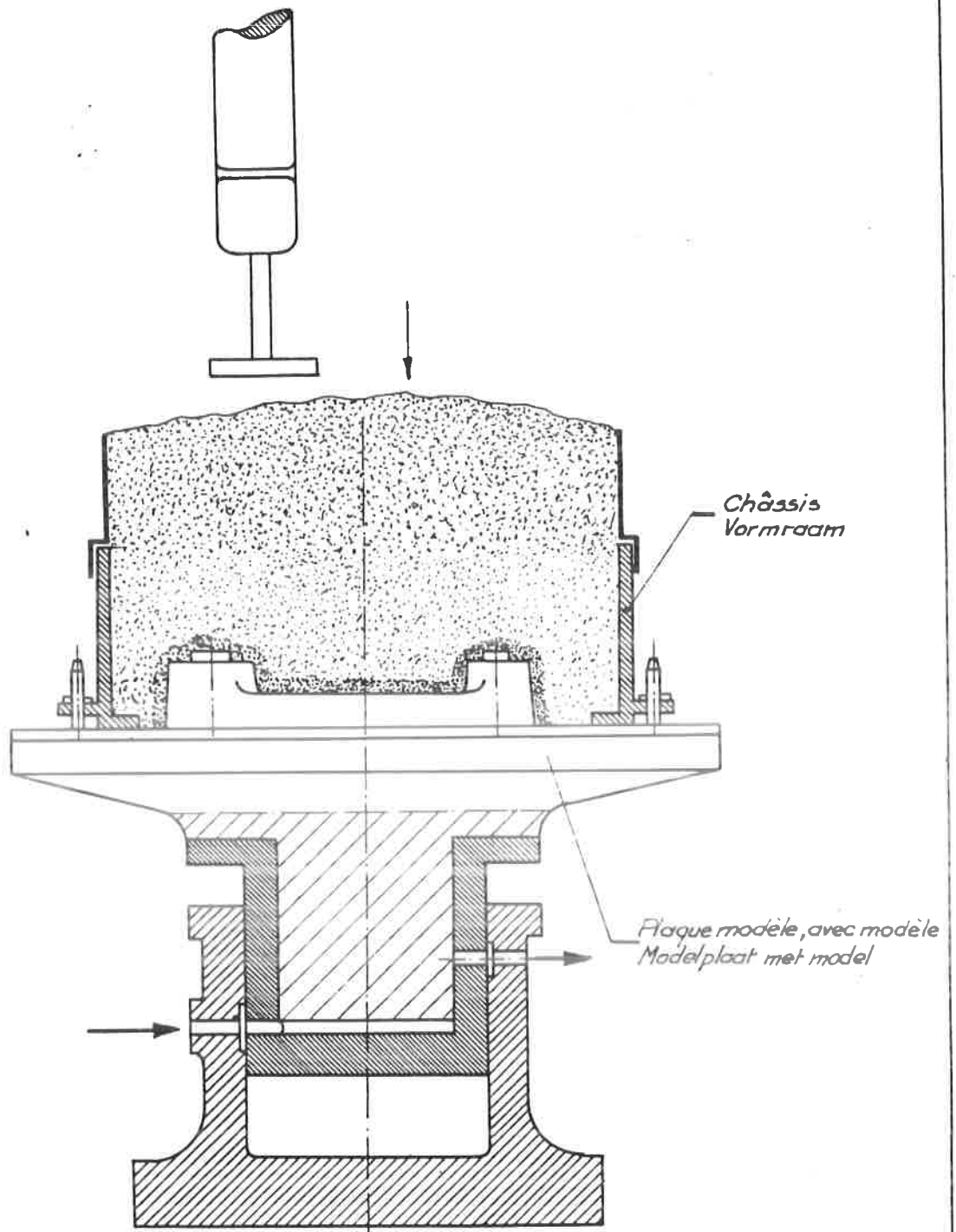


Fig.9

(B)-204784.2.61(75)

C.1217^{B/3}/2217^{B/3}
2¹L.

MACHINE A MOULER AVEC SOMMIER
VORMMACHINE MET DERSTEMPEL

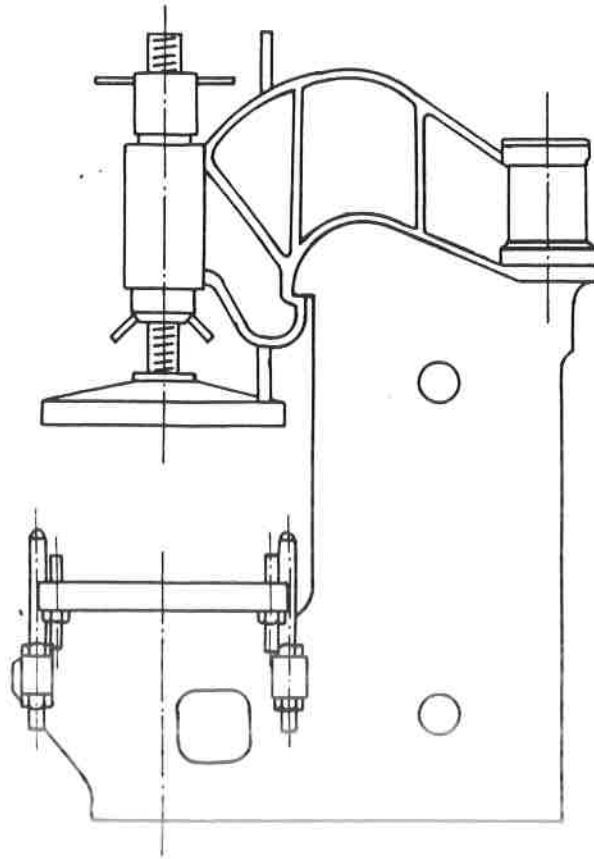
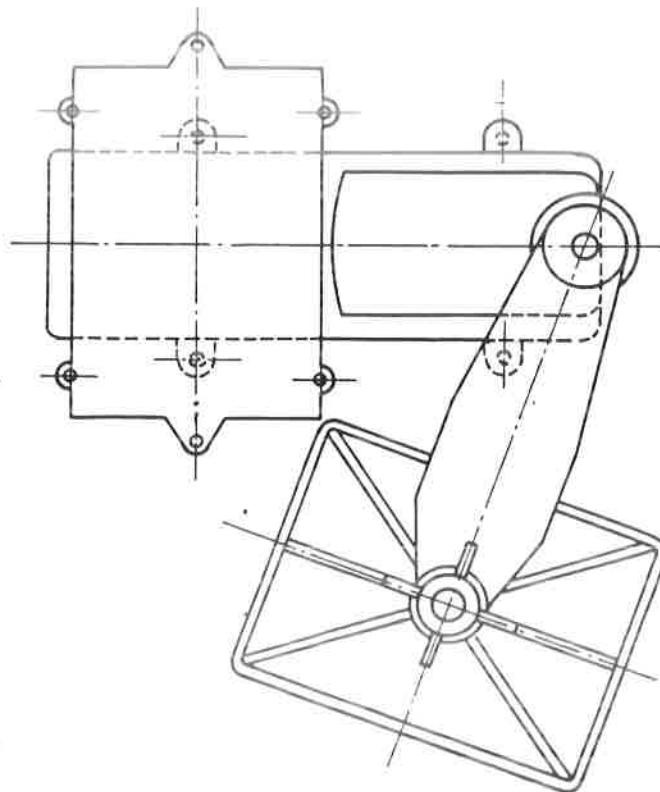


Fig. 10



MACHINE A PROJECTION DE SABLE ZANDSLINGERMACHINE

Annexe: 11
Bijlage: 11

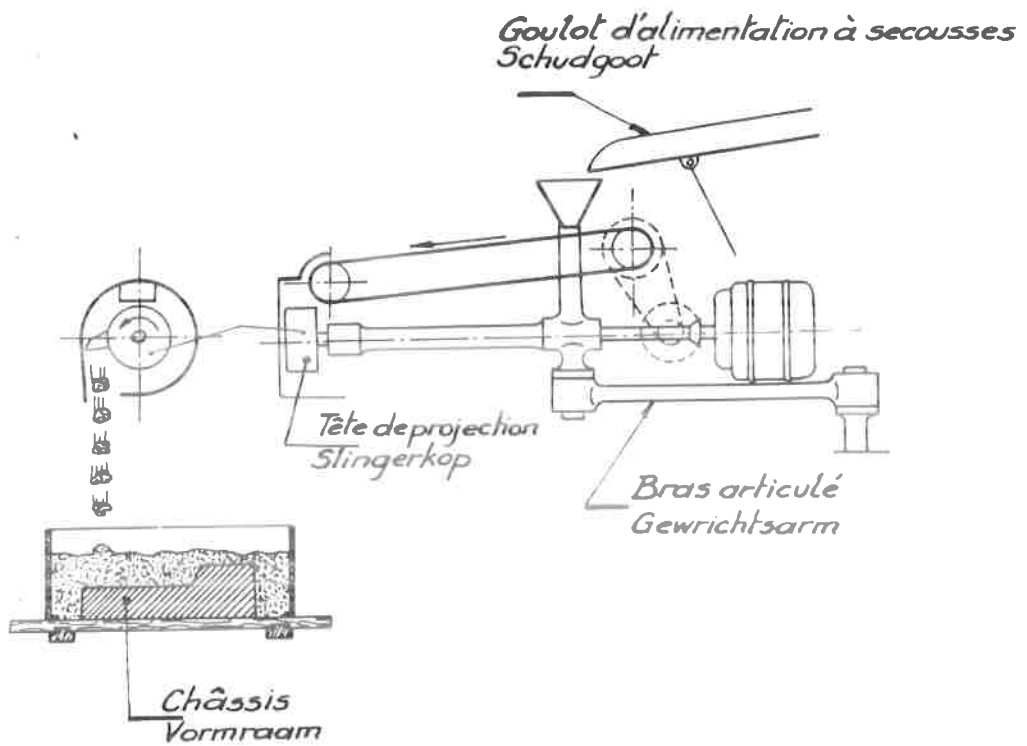


Fig. 11

C.1217^{bis} / 2217^{bis}
25L.

DEMOULAGE PAR CHANDELLES ET PEIGNE ONTVORMEN MET HEFSTEMPELS EN KAMPLAAT

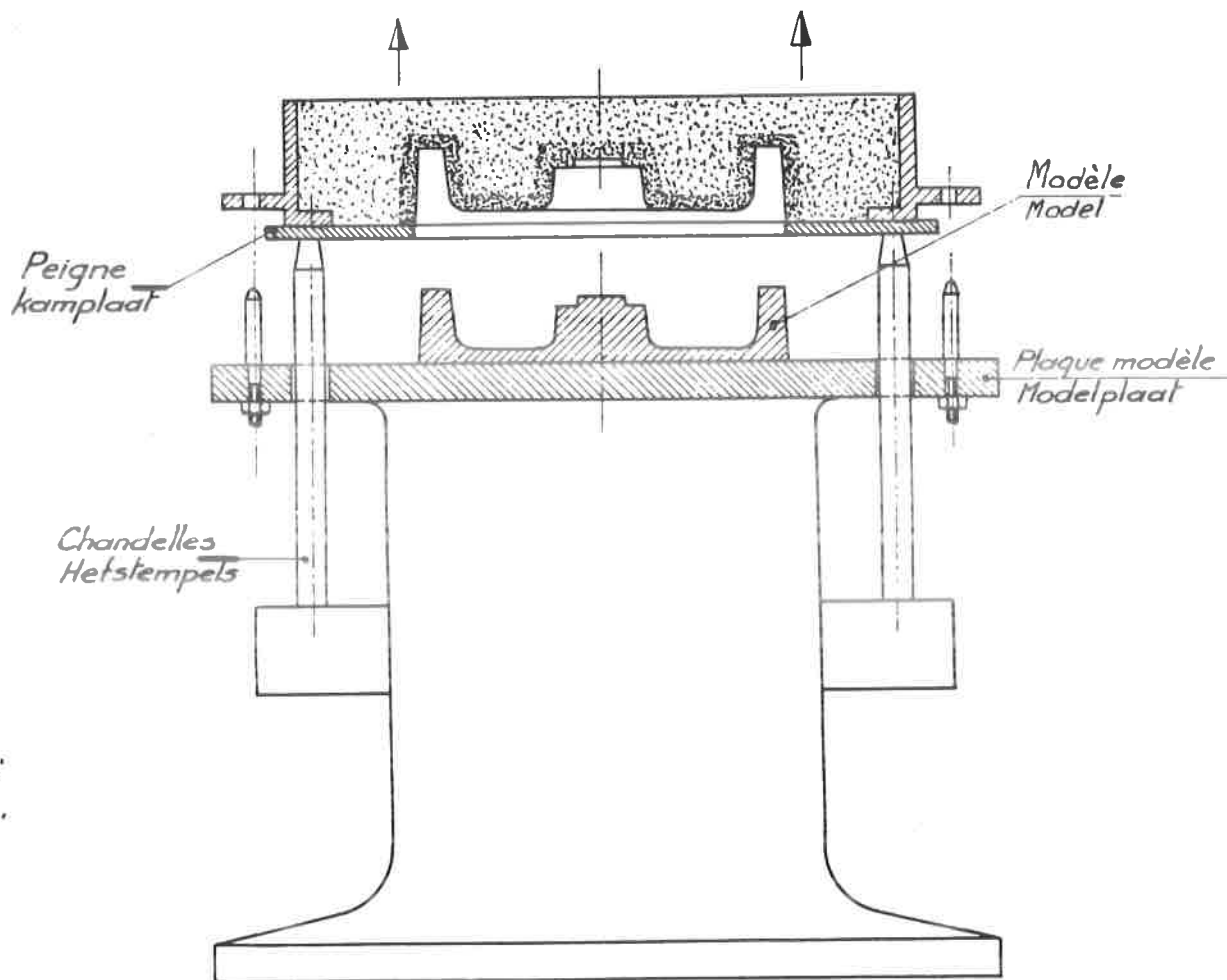


Fig. 12

MACHINE PNEUMATIQUE A SECOUSSES
Pression et démoulage par retournement
PNEUMATISCHE SCHOKMACHINE
met persstempel en onthvorming door omdraaien

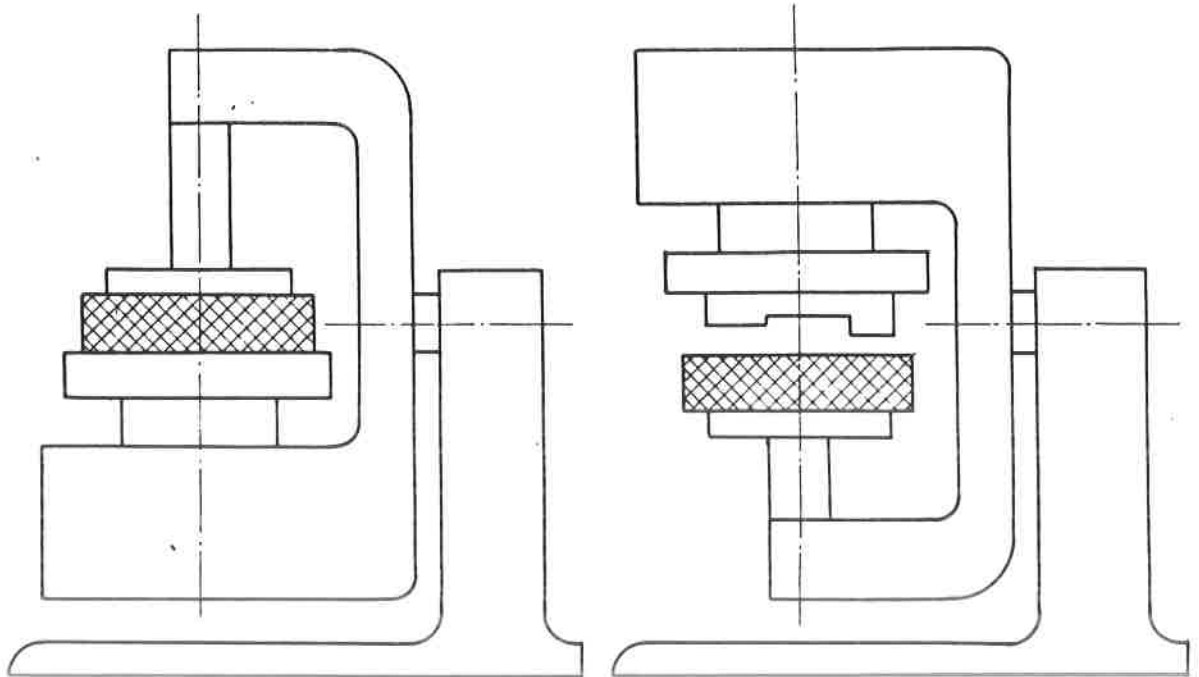
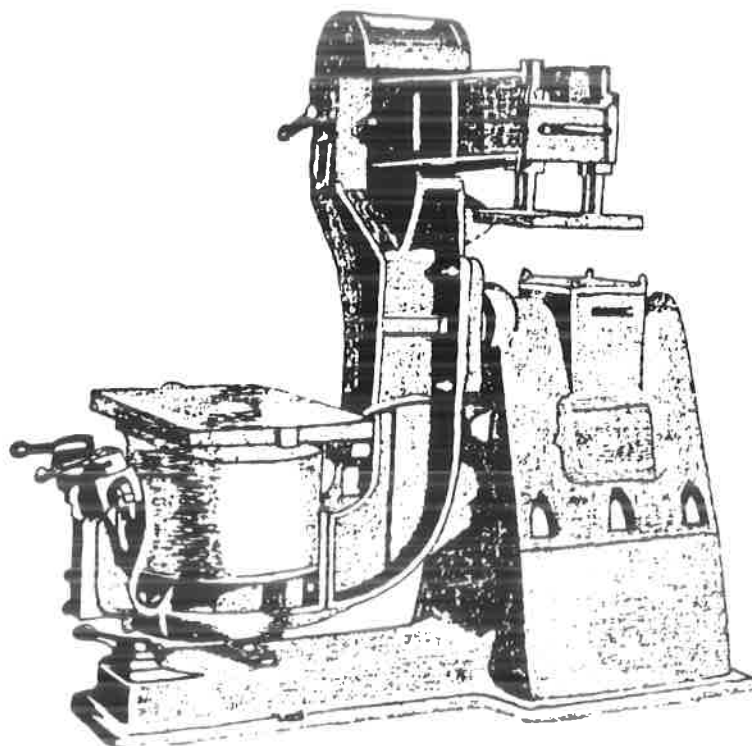


Fig. 13



C.1217^{bis}/2217^{bis}
Z&L.

FOUR A CYCLE OUVERT OVEN MET OPEN CYCLUS

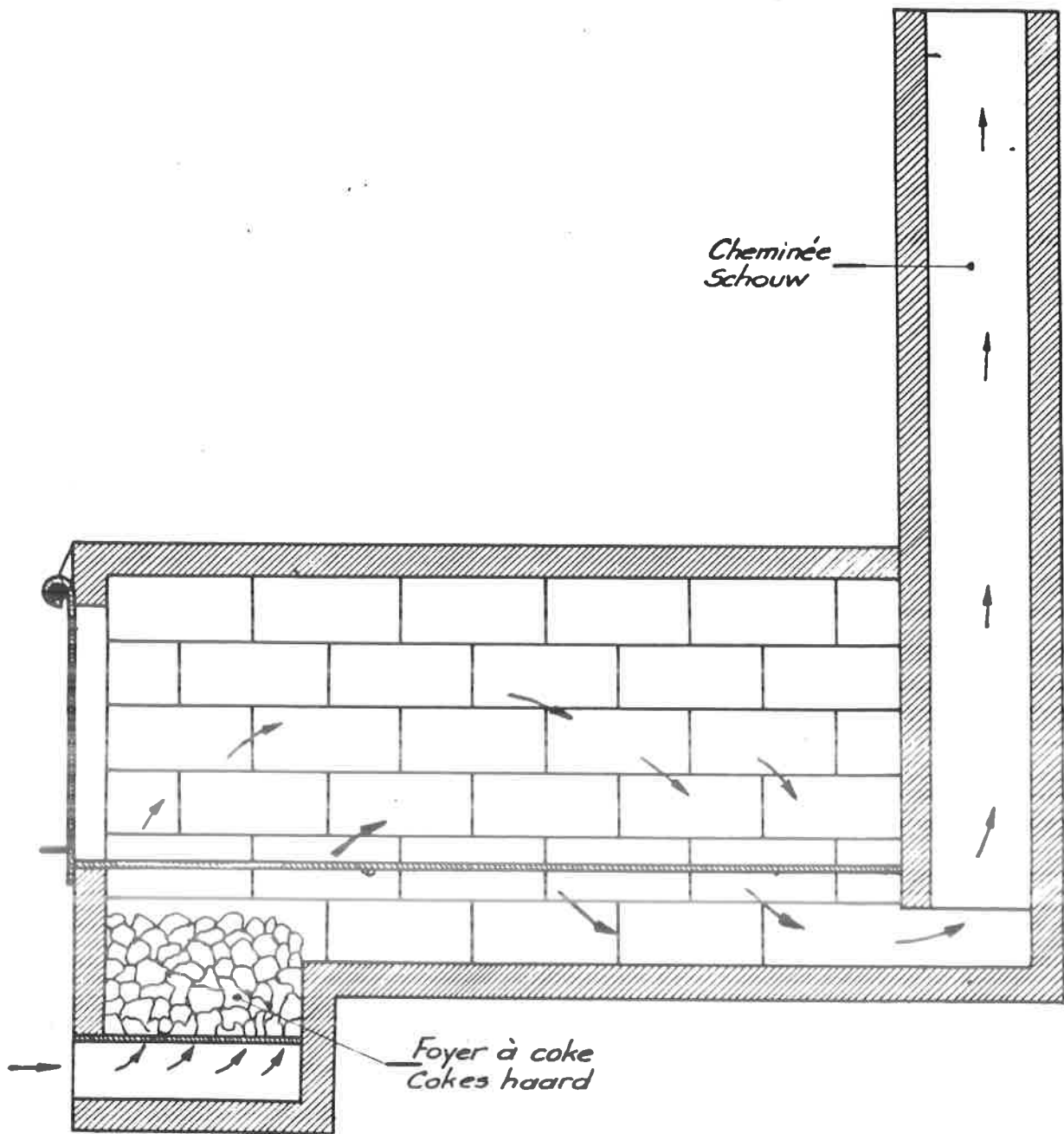


Fig. 14A

FOUR A CYCLE OUVERT OVEN MET OPEN CYCLUS

Annexe: 15
Bijlage:

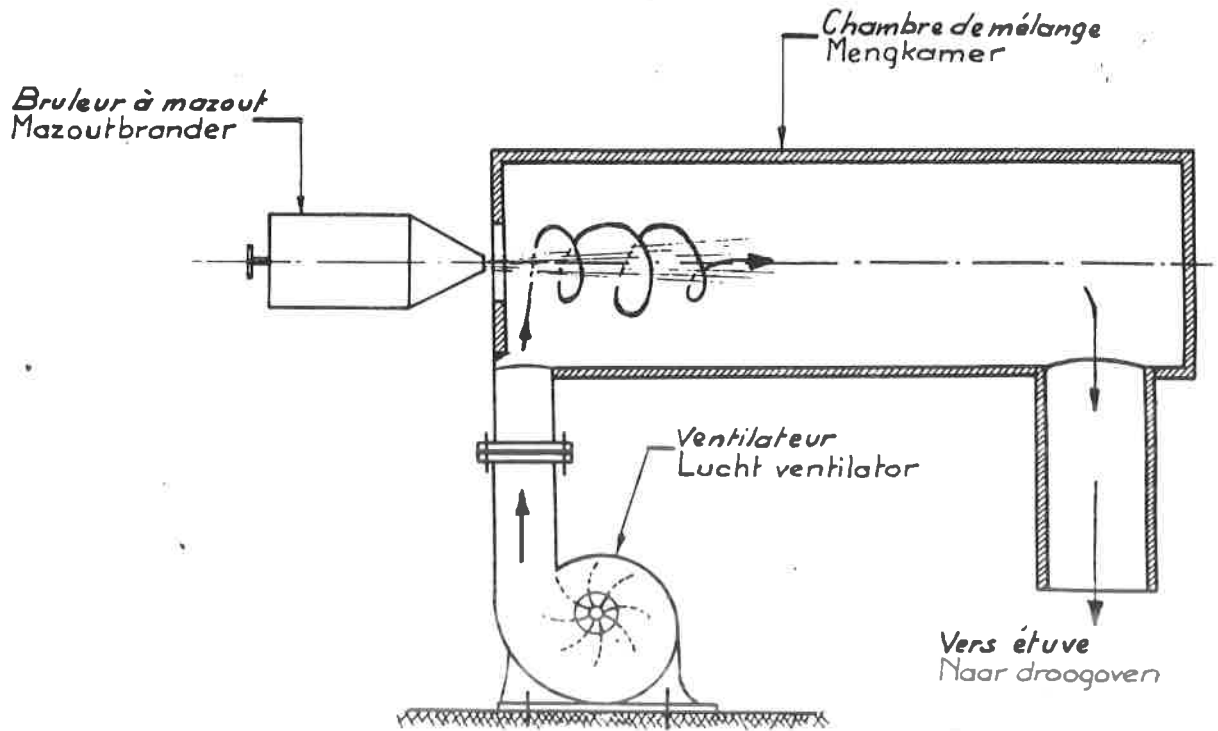
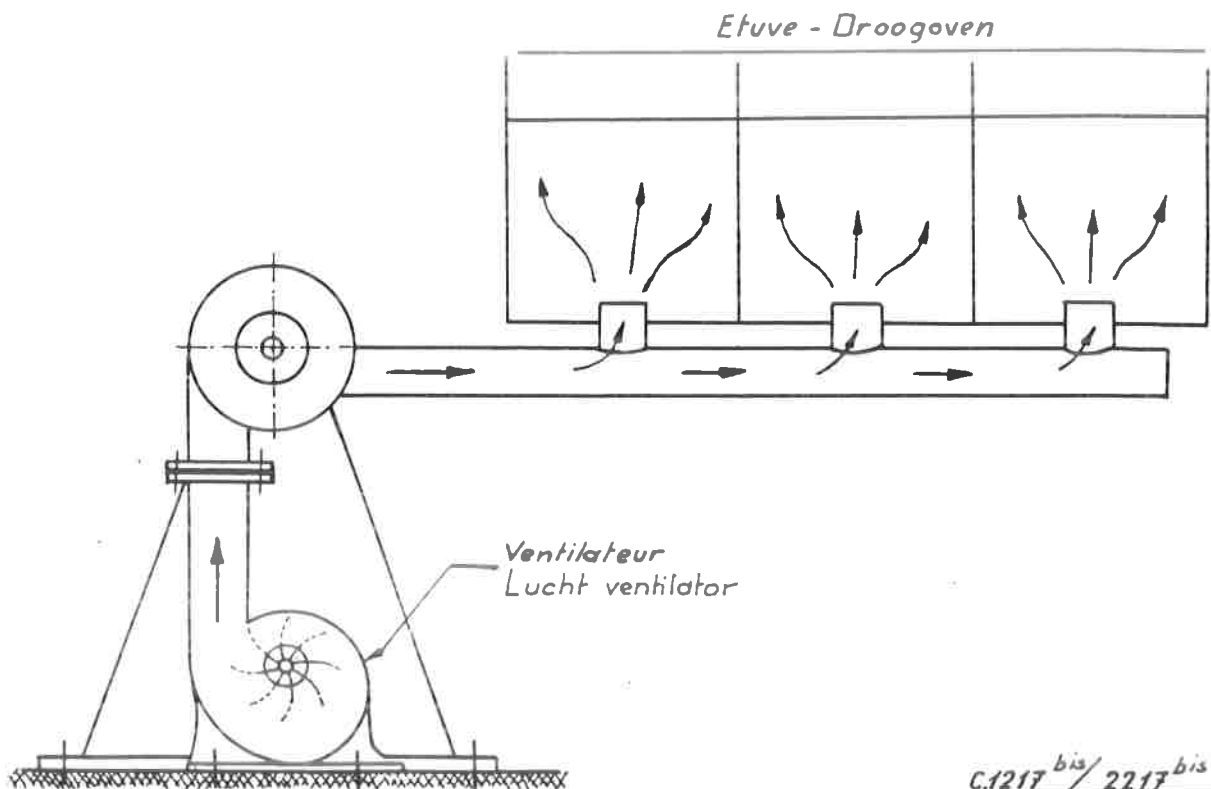


Fig. 14B



C.1217 bis / 2217 bis
2^e L.

FOUR A CYCLE FERMEE OVEN MET GESLOTEN CYCLUS

Annexe: 16
Bijlage: 16

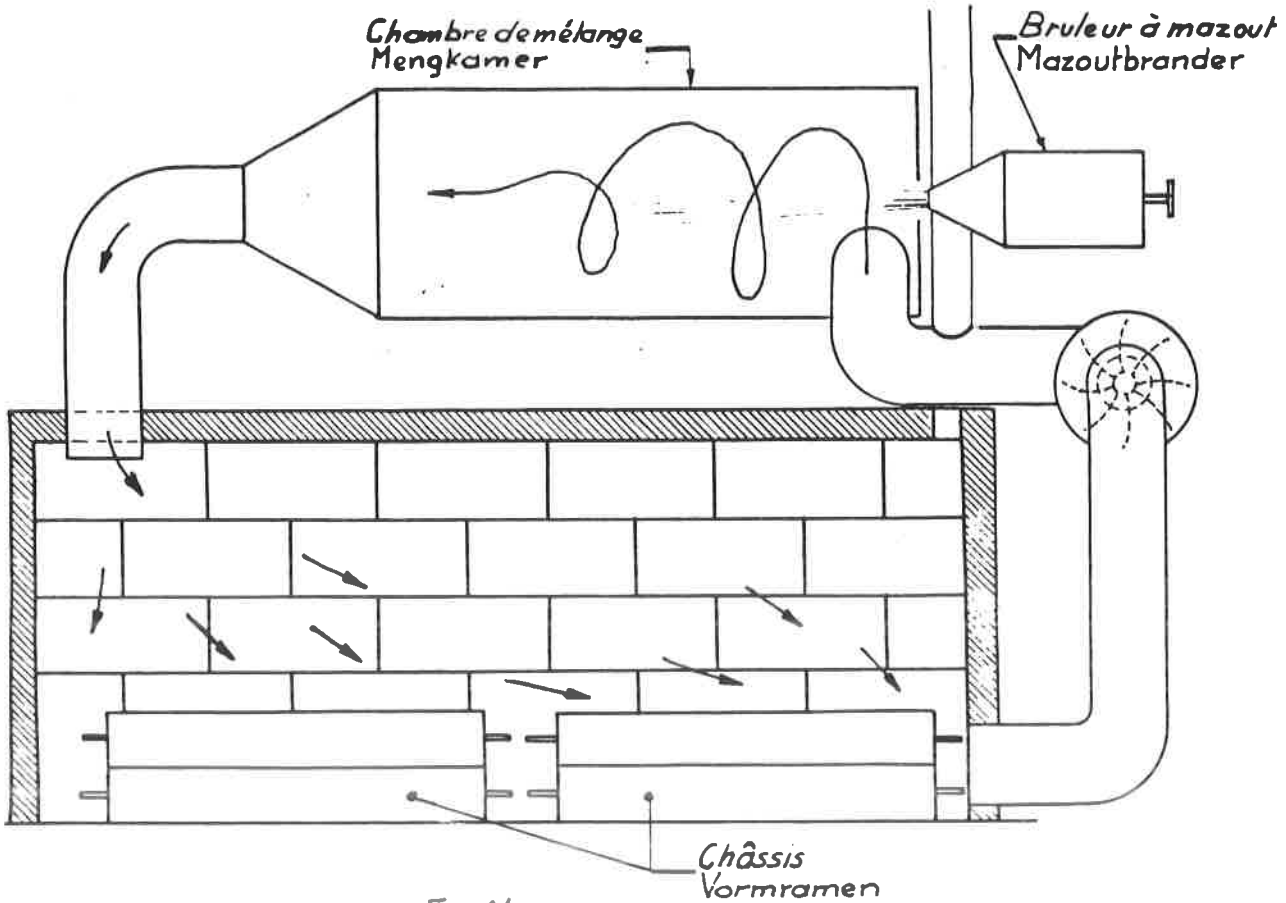
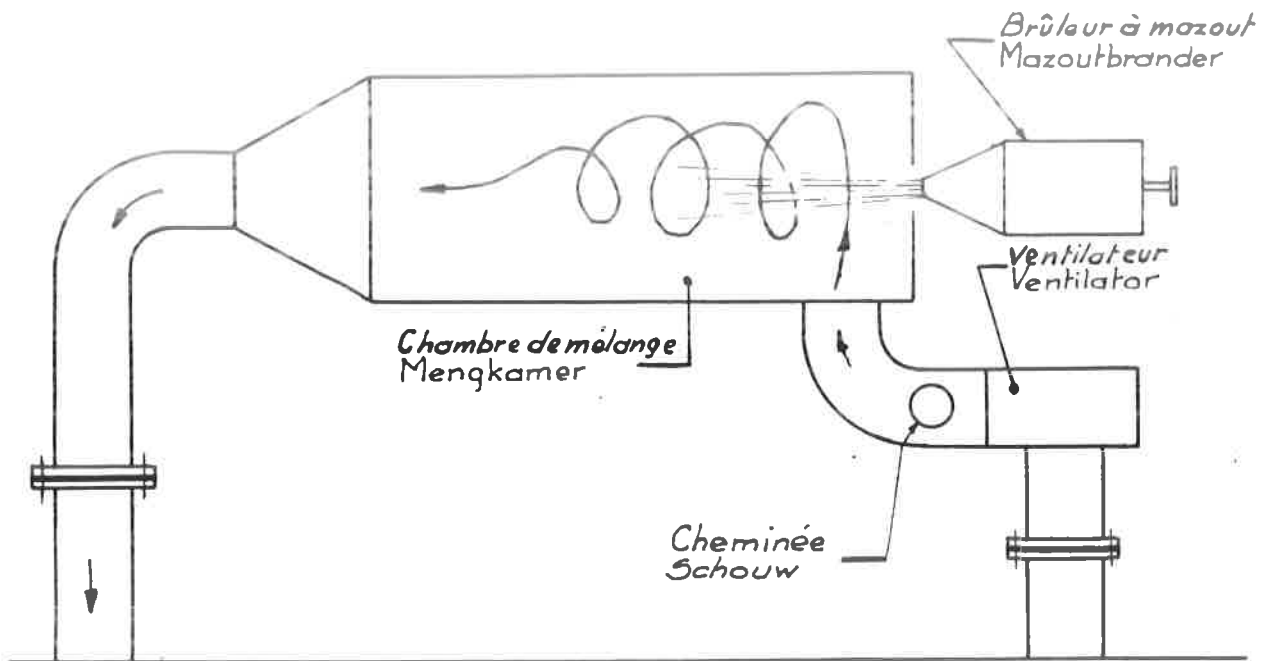


Fig. 14C



C1217^{bis} / 2217^{bis}
2^{de} L

ETUVE TUNNEL POUR LE SECHAGE CONTINU DES MOULES
TUNNEL OVEN VOOR DOORLOPENDE DROGING *Annexe: 17*
VAN VORMEN *Bylage: 17*

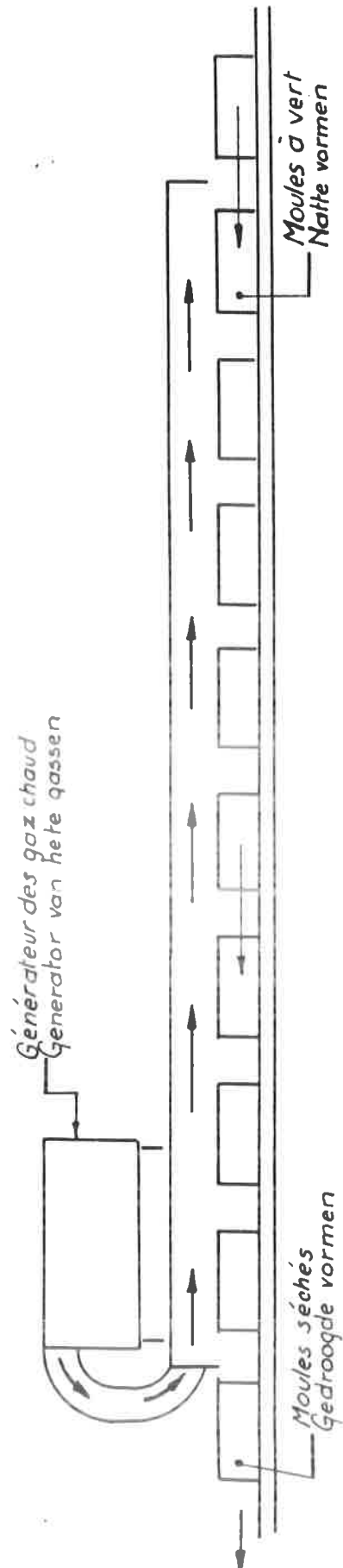


Fig. 15

CHASSIS VORMRAAM

Annexe: 18
Bylage: 18

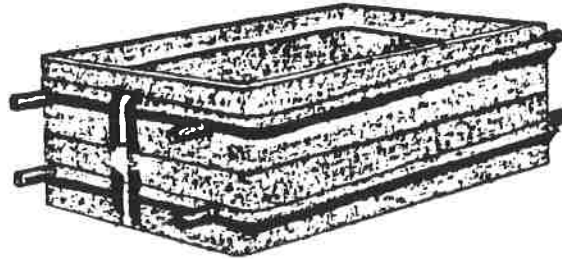
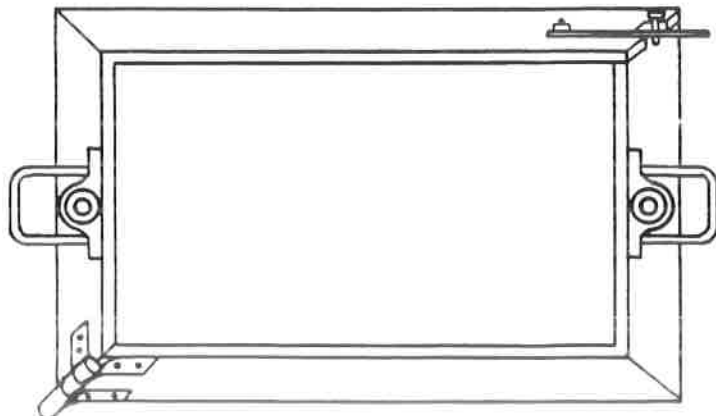
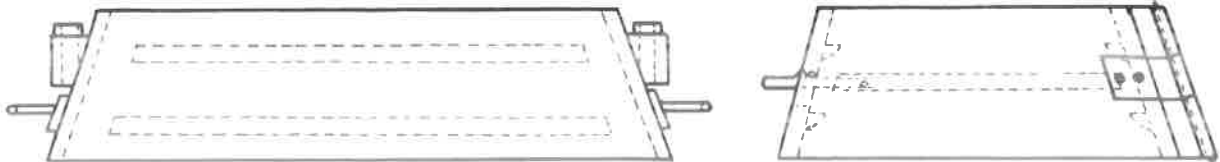


Fig. 16

CHASSIS OUVRANT OPEN KLAPPEND RAAM



Charnière
Scharnier

Fig. 17

C.1217 bis / 2217 bis
25 L.

10

CUBILOT SCHACHTOVEN

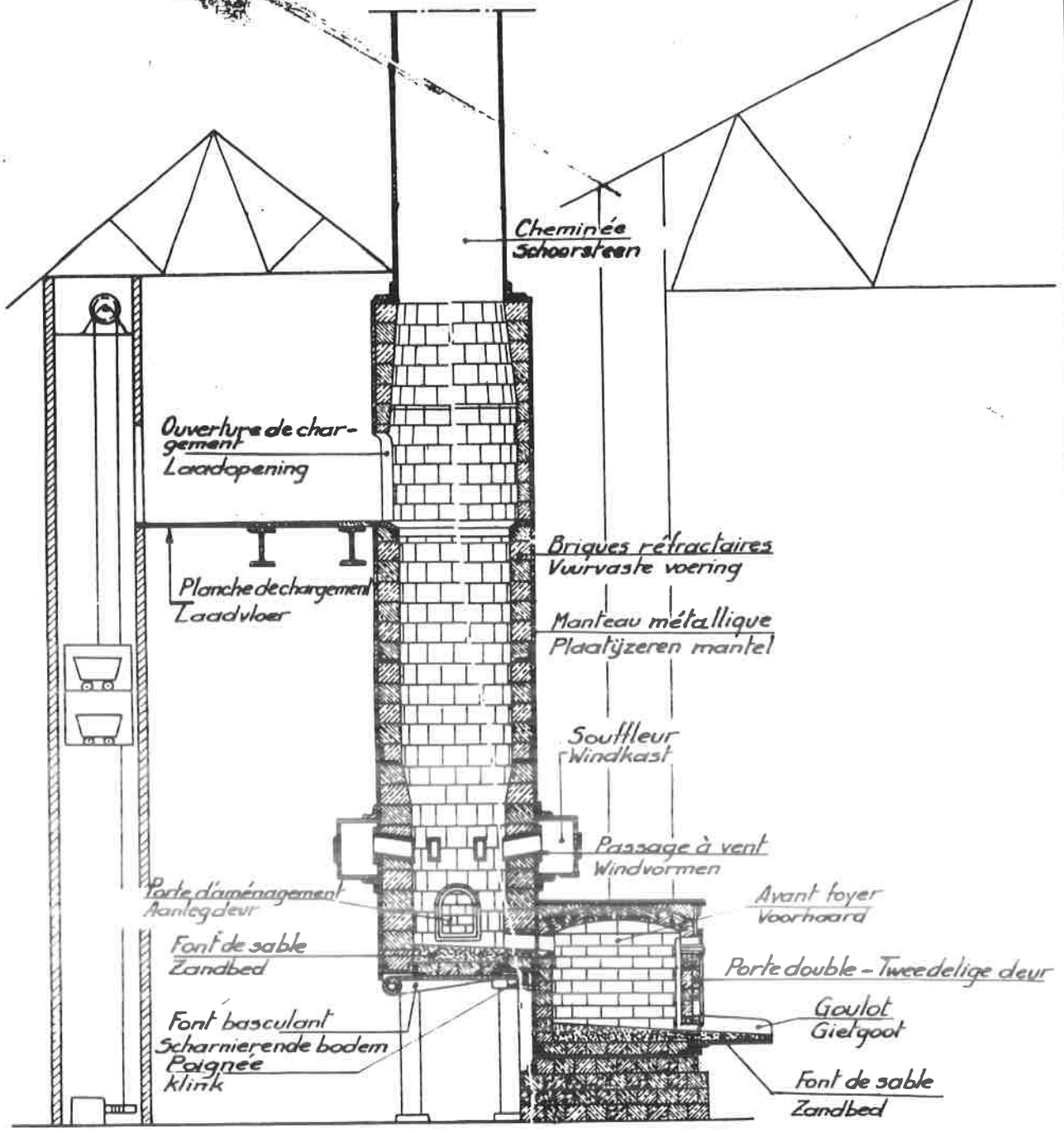


Fig. 18

CONVERTISSEUR BESSEMER BESSEMER PEER

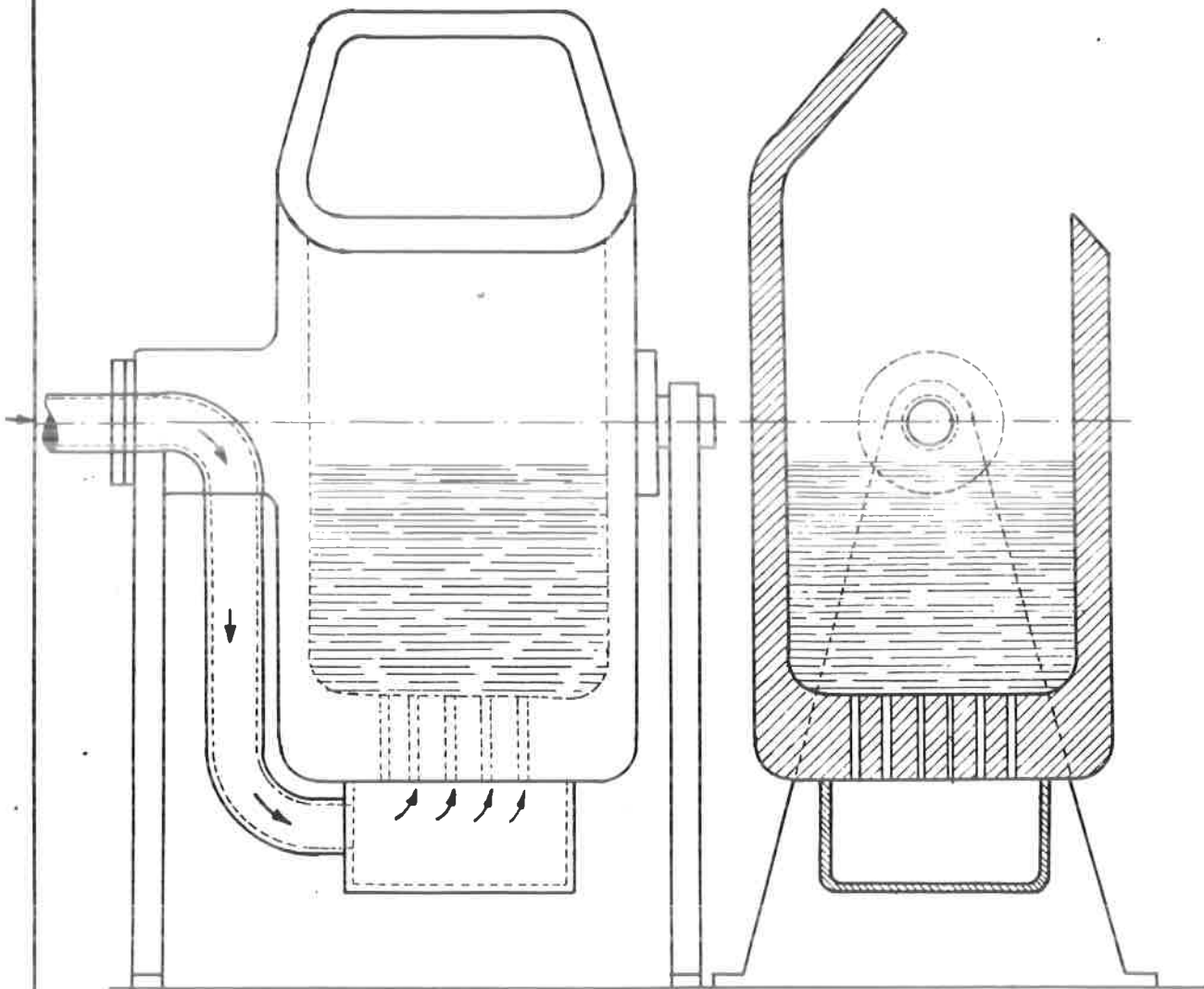


Fig. 19

C.1217bis/2217bis
2^e L.

FOUR ELECTRIQUE ELECTRISCHE OVEN

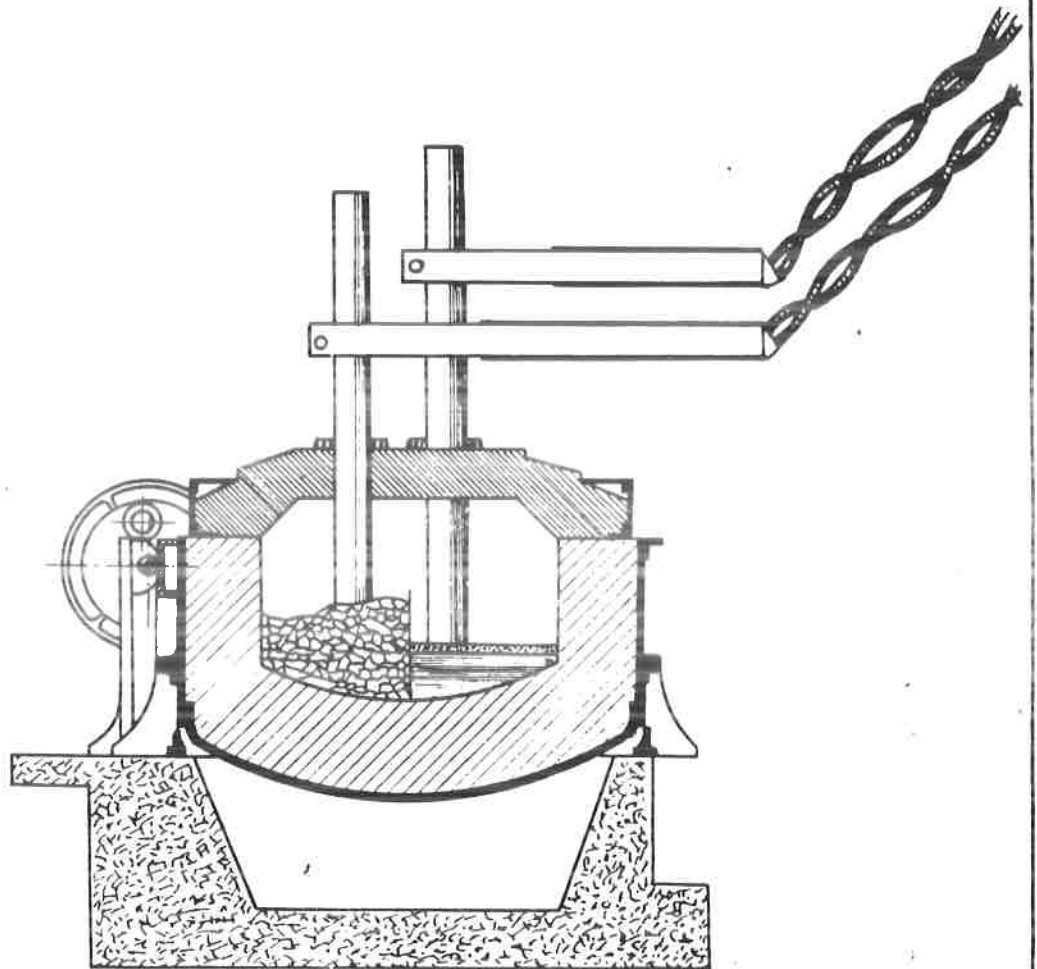


Fig. 20

C.1217bis / 2217bis
29L.

FOUR A CREUSET KROESOVEN

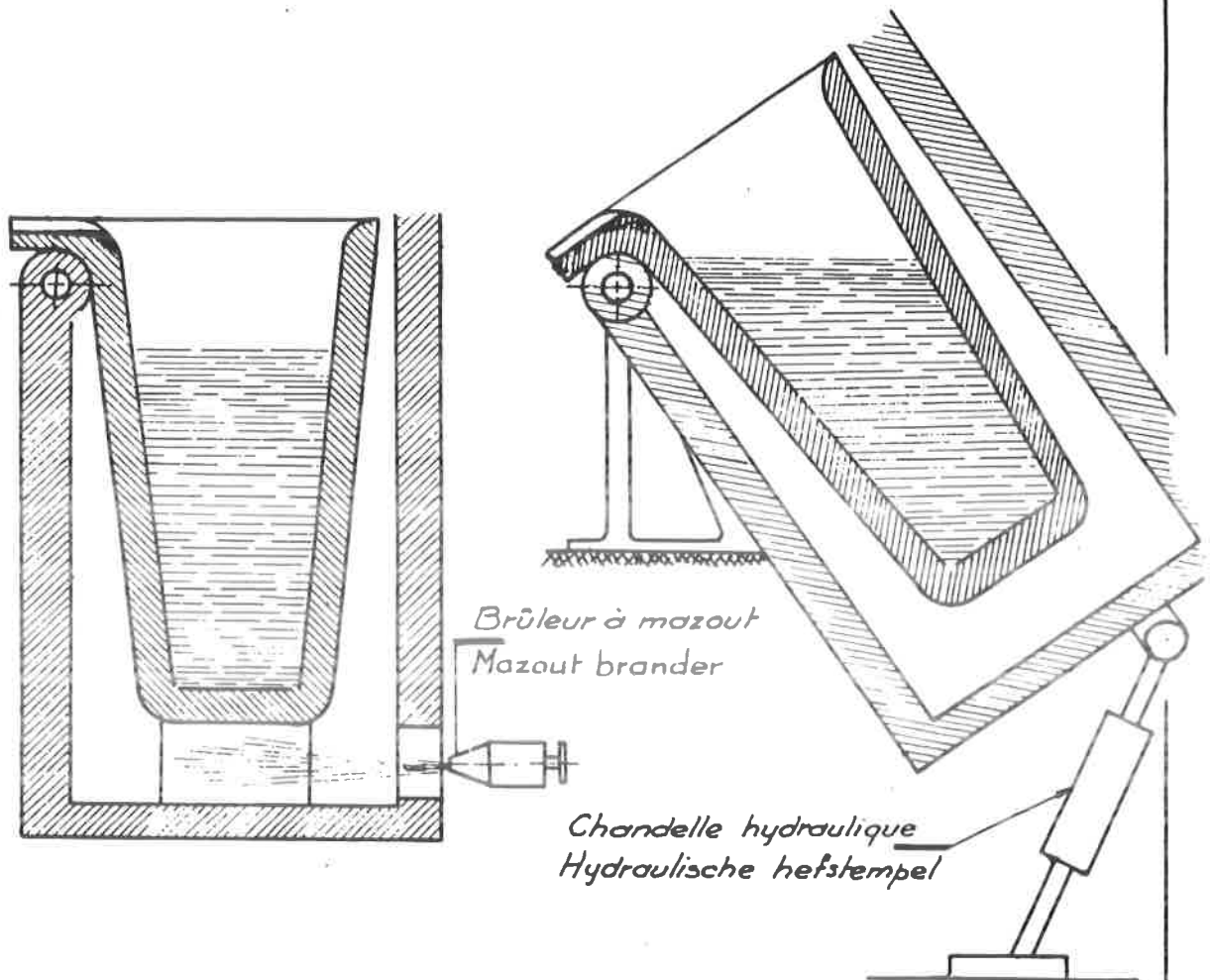


Fig.21

FOUR TOURNANT DRAAIENDE OVEN

Annexe: 23
Bijlage:

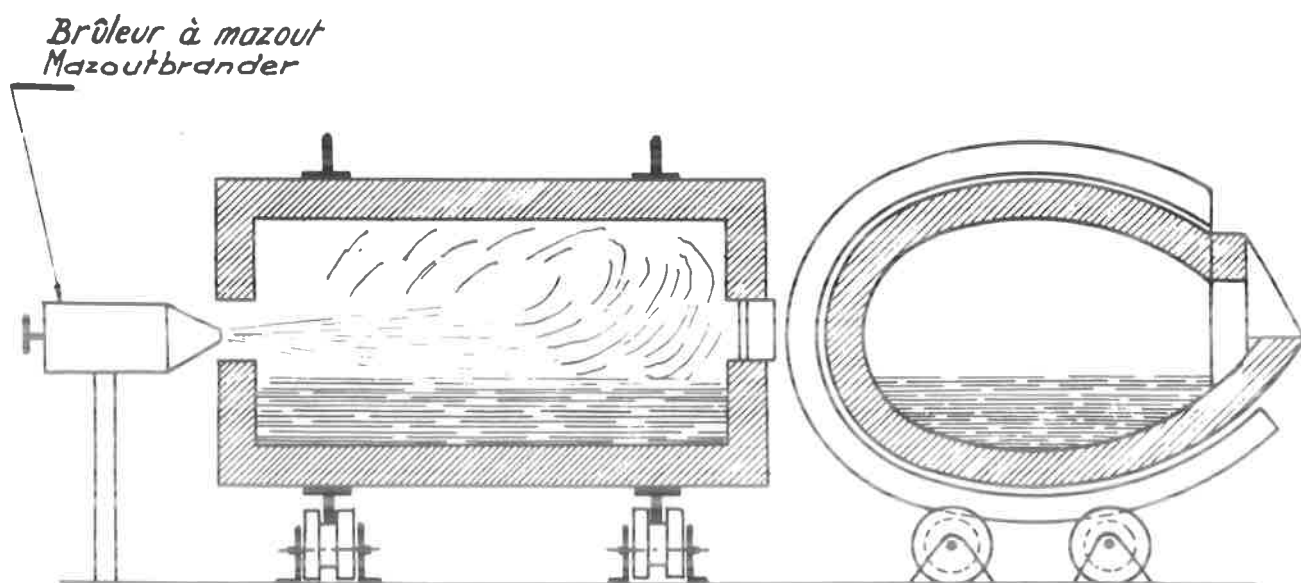


Fig. 22

C.1217bis / 2217bis
28 L.

POCHE POUR LA COULEE A LA MAIN
GIETLEPEL VOOR HET GIETEN MET DE HAND



Fig. 23 a

POCHE POUR LA COULEE AU PONT ROULANT
GIETLEPEL VOOR HET GIETEN MET ROLLENDE BRUG

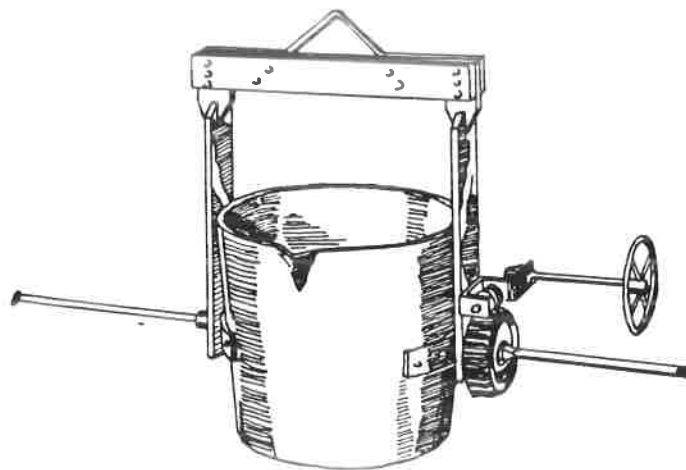


Fig. 23 b

MACHINE A DECOCHER UITBREEKMACHINE

Annexe: 25
Bylage:

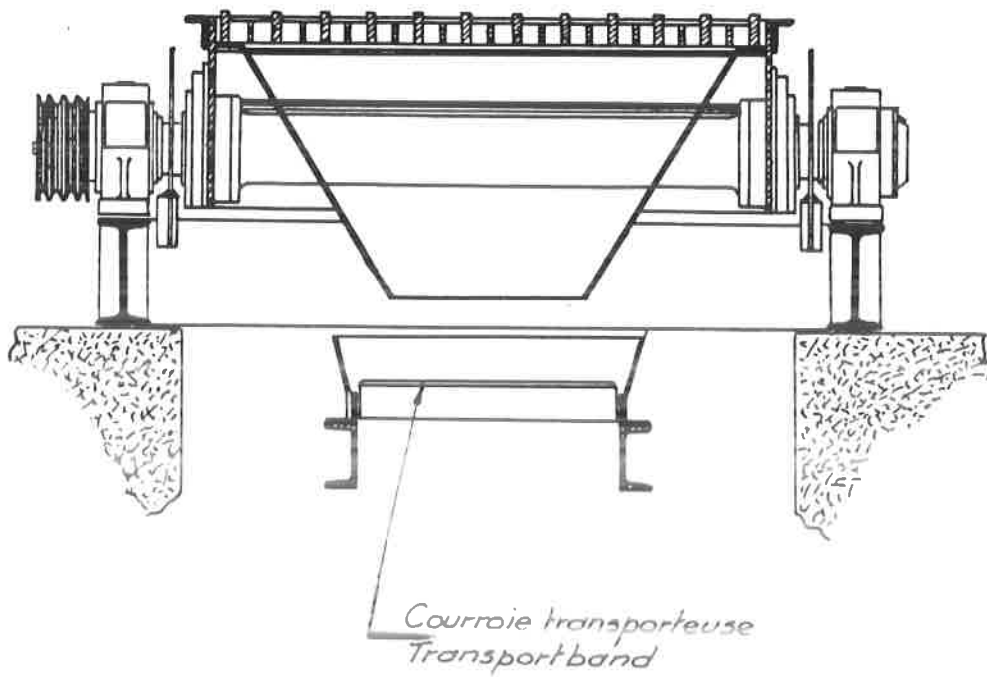


Fig.24 A

C.1217 bis/2217 bis
2^eL.

MACHINE A DECOCHER UITBREEKMACHINE

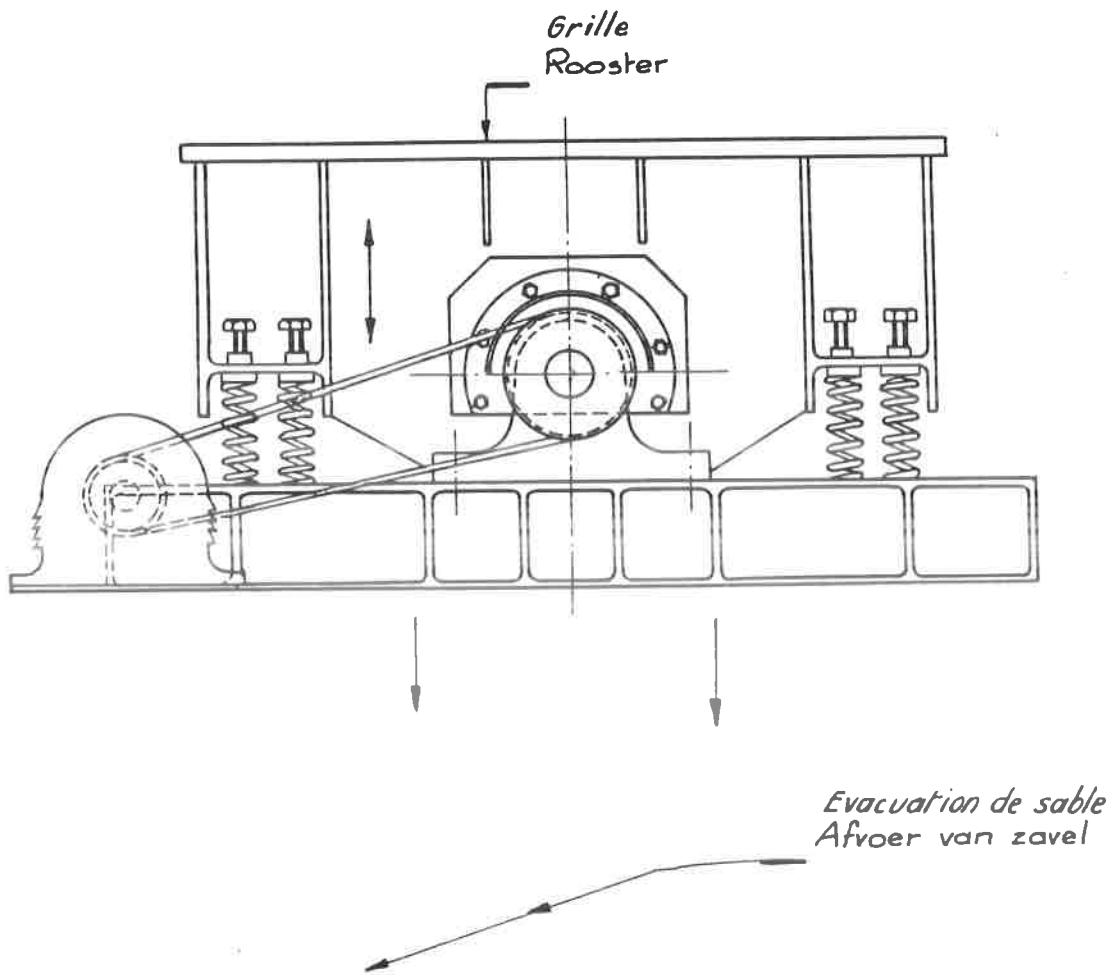


Fig. 24B

SABLEUSE A TABLE ROTATIVE
ZANDBLAASMACHINE MET DRAAIENDE TAFEL

Annexe: 27
Bijlage:

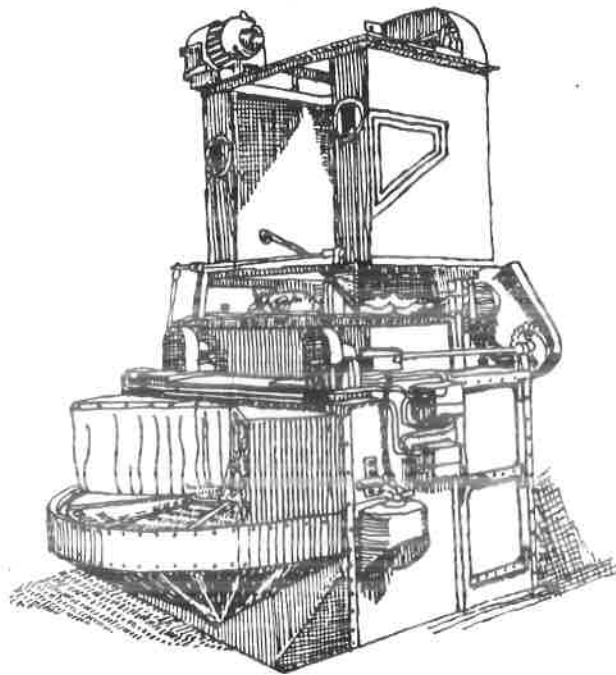


Fig. 25a

C.1217bis / 2217bis

2^e L.

TURBINE A GRENAILLE TURBINE VOOR STAALKORRELS

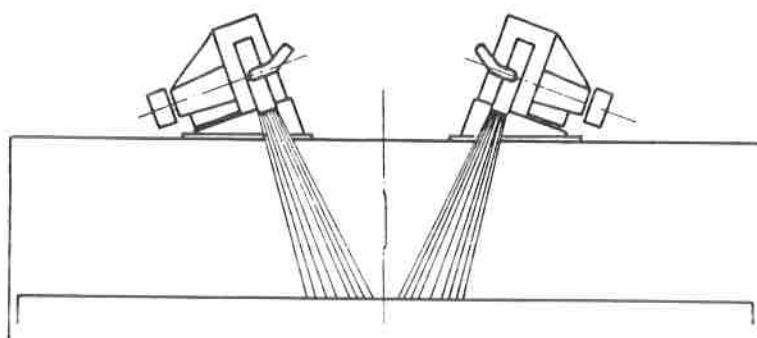
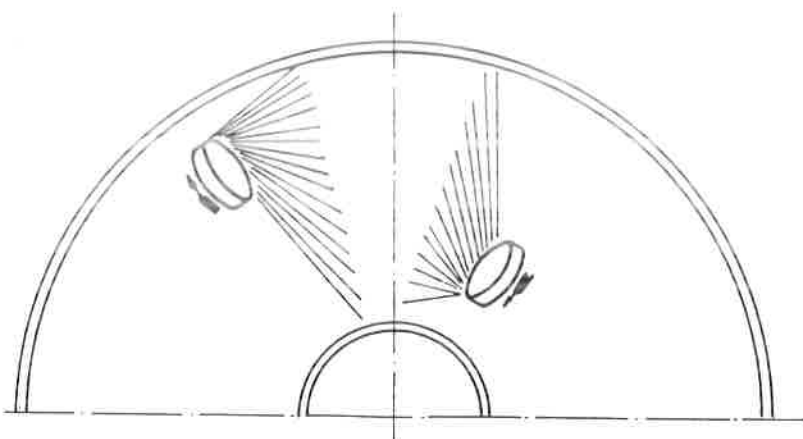


Fig. 25b



*Schéma montrant le principe de la disposition des turbines
au dessus des tables*

*Schema voorstellende het princip der opstelling van de
turbinen boven de tafels*

MARTEAU PNEUMATIQUE A SECOUSSE
PNEUMATISCHE TRILHAMER

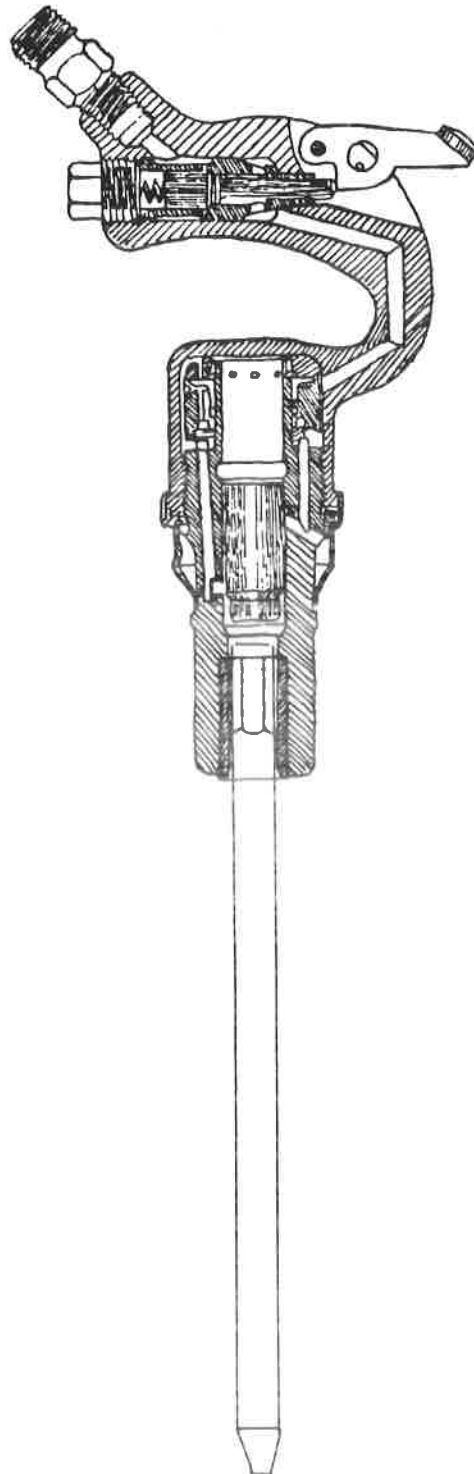


Fig. 26

C. 1217^{bis}/2217^{bis}
2^eL.

NOYAU EN ACIER STALEN KERN

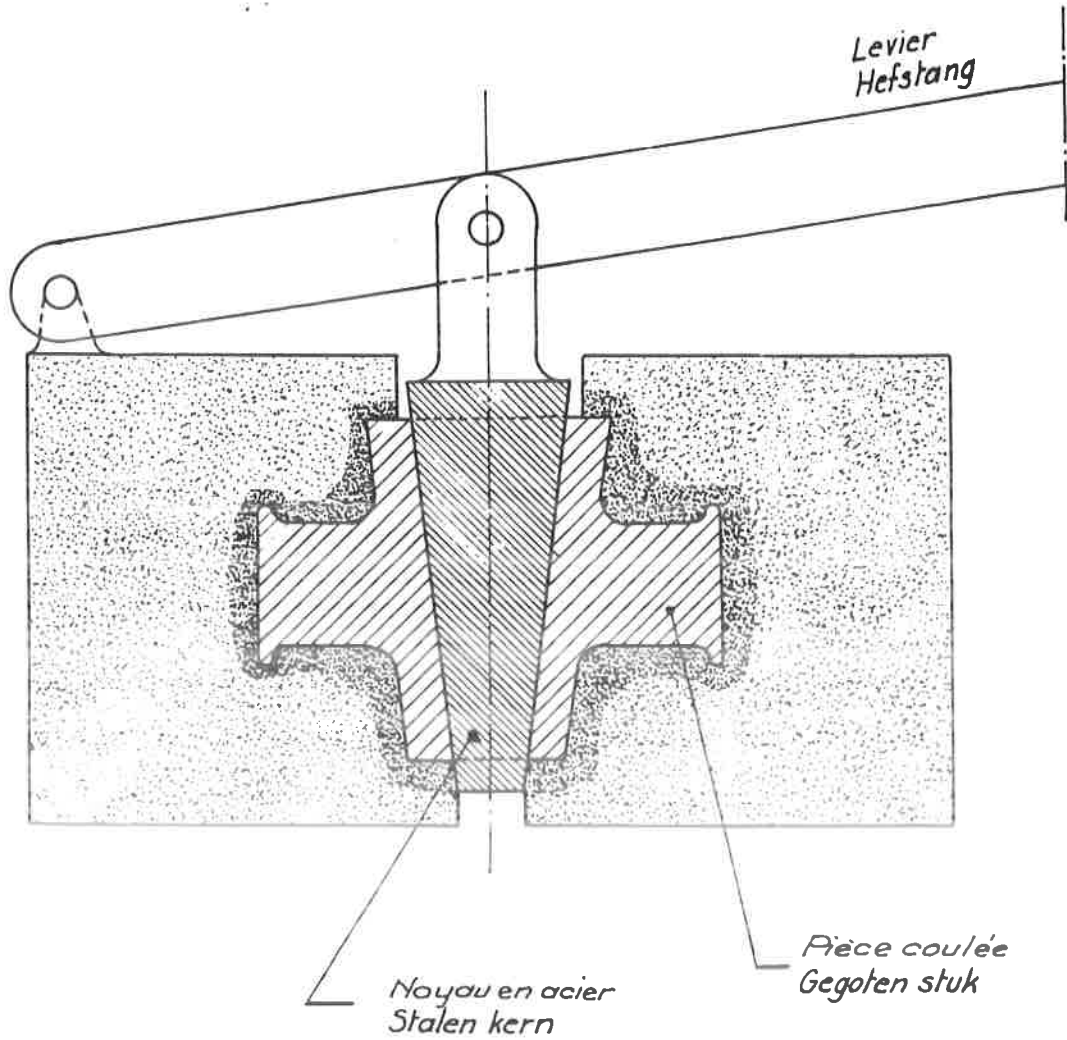


Fig. 27

COULEE SOUS PRESSION GIETEN ONDER DRUK

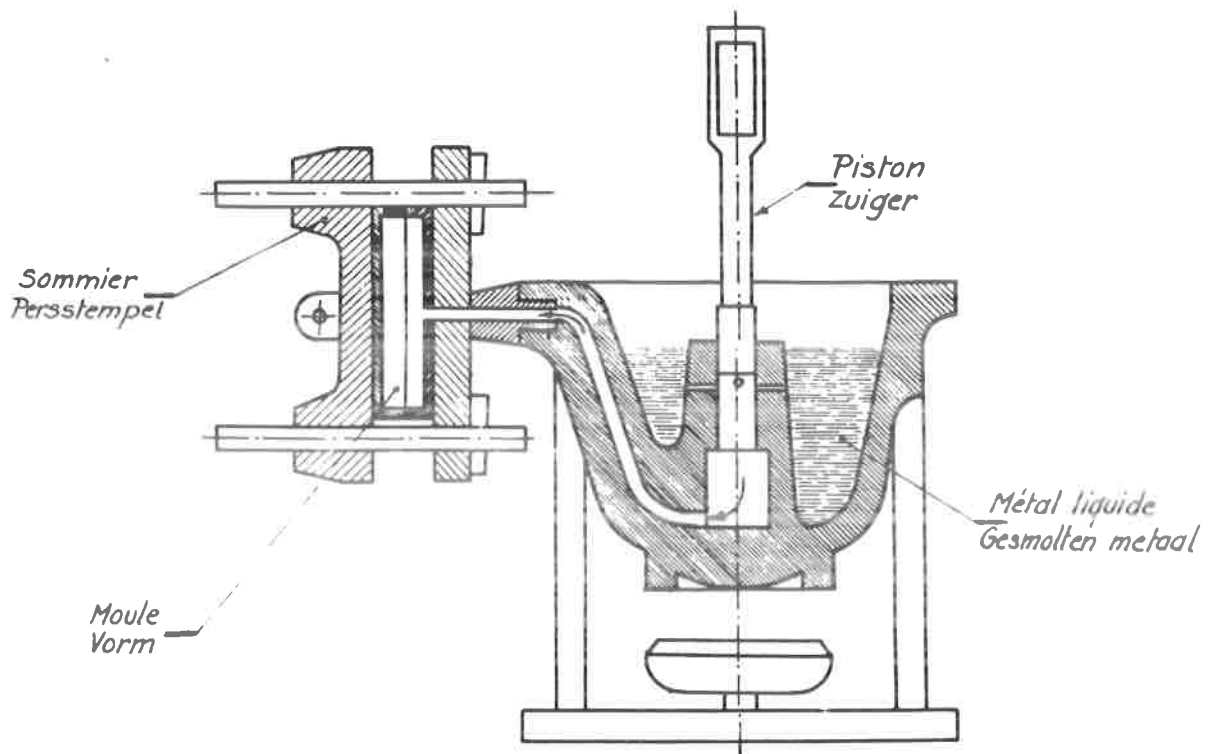


Fig. 28

**COULEE PAR CENTRIFUGATION
CENTRIFUGAAL GIETEN**

*Annexe: 32
Bijlage:*

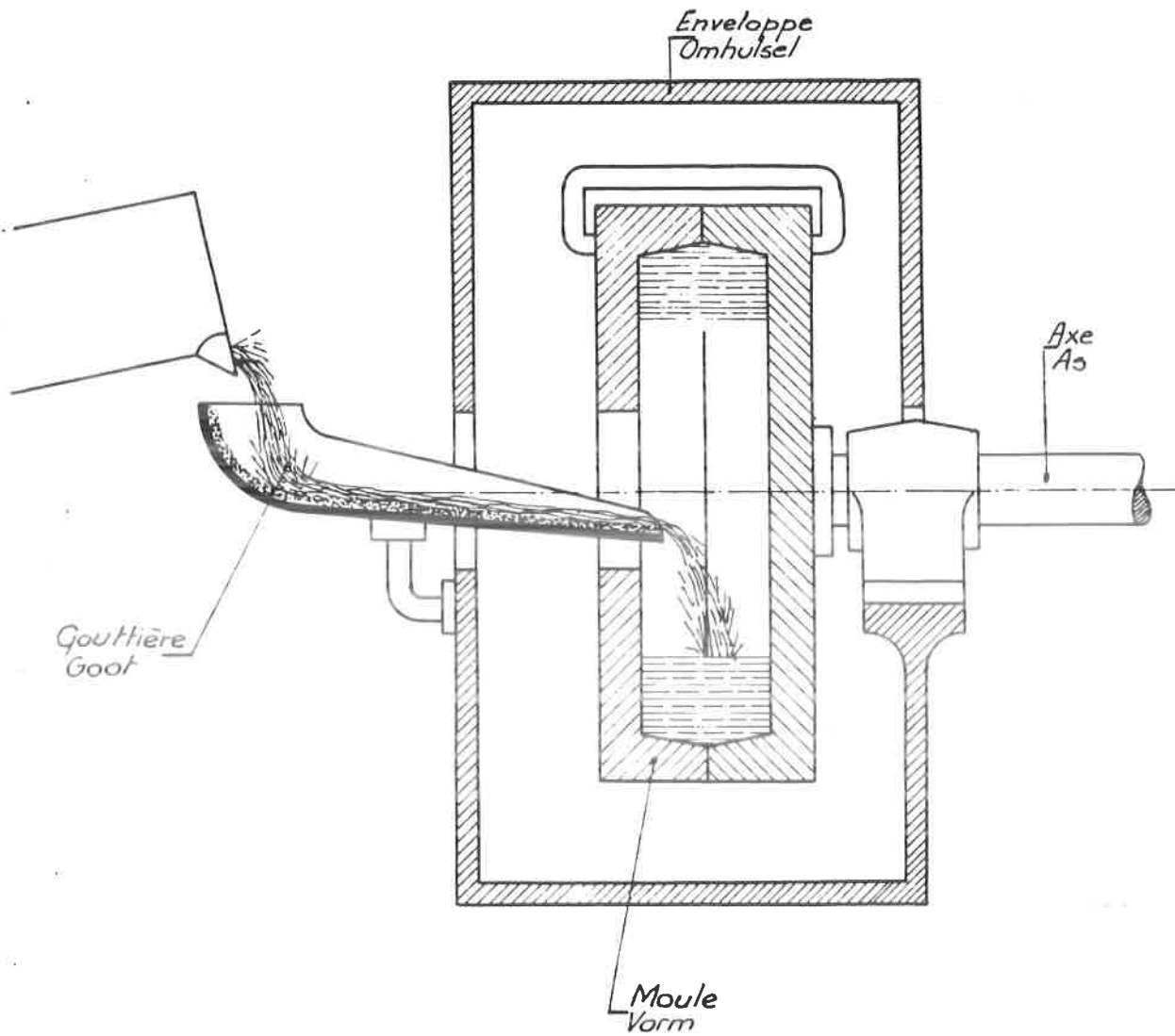


Fig. 29

FONDERIE MODERNE MODERNE GIETERIJ

Annexe: 33
Bijlage:

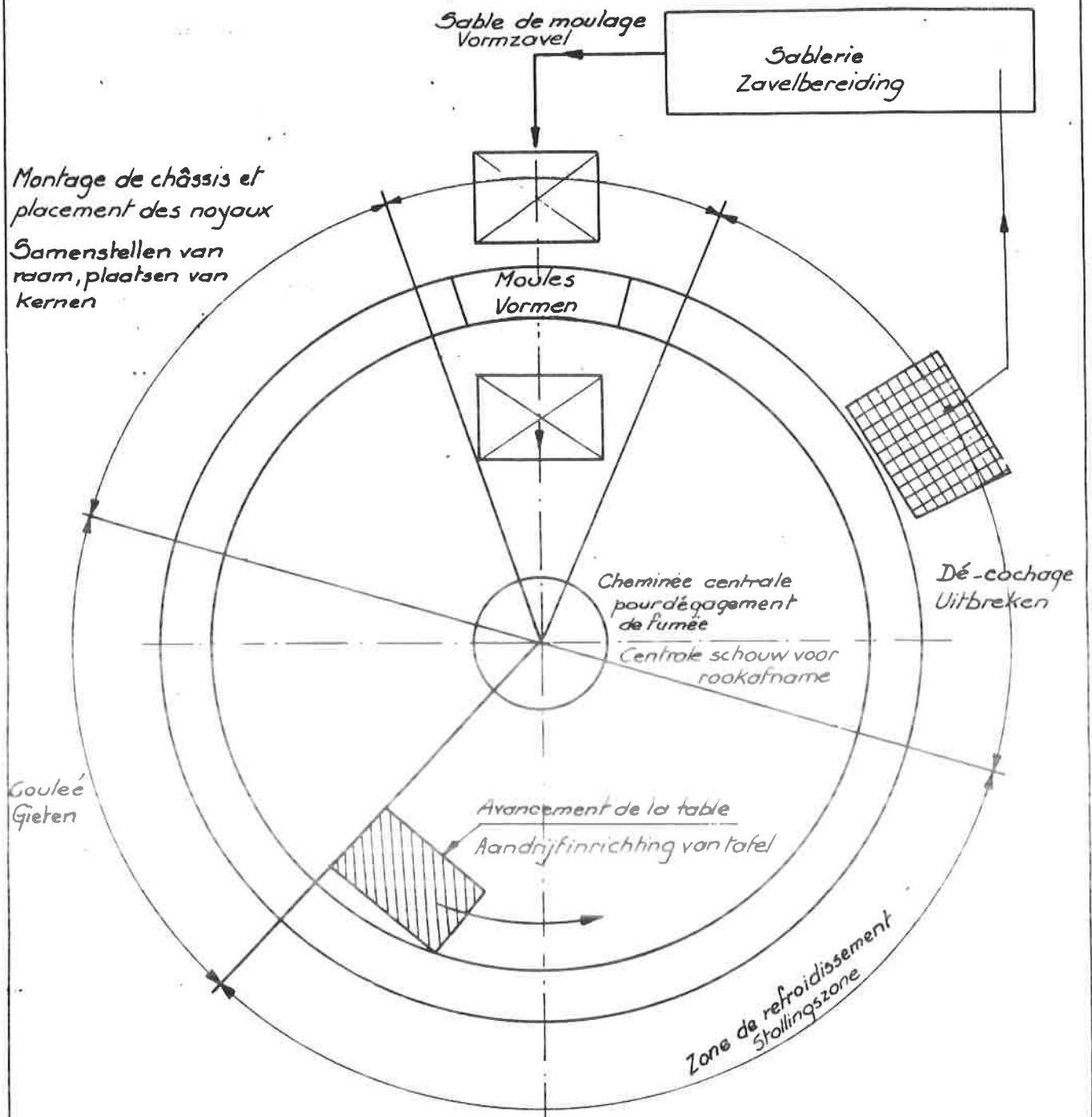


Fig. 30 A

FONDERIE MODERNE
MODERNE GIETERIJ

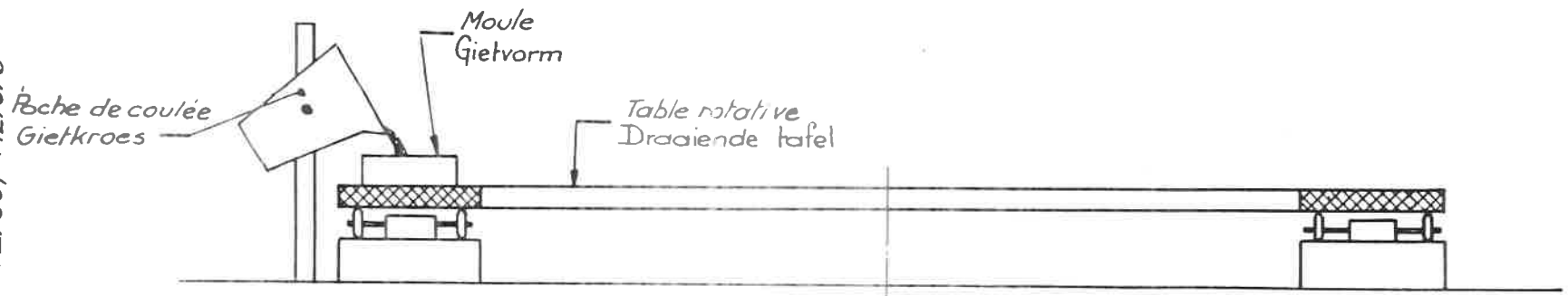
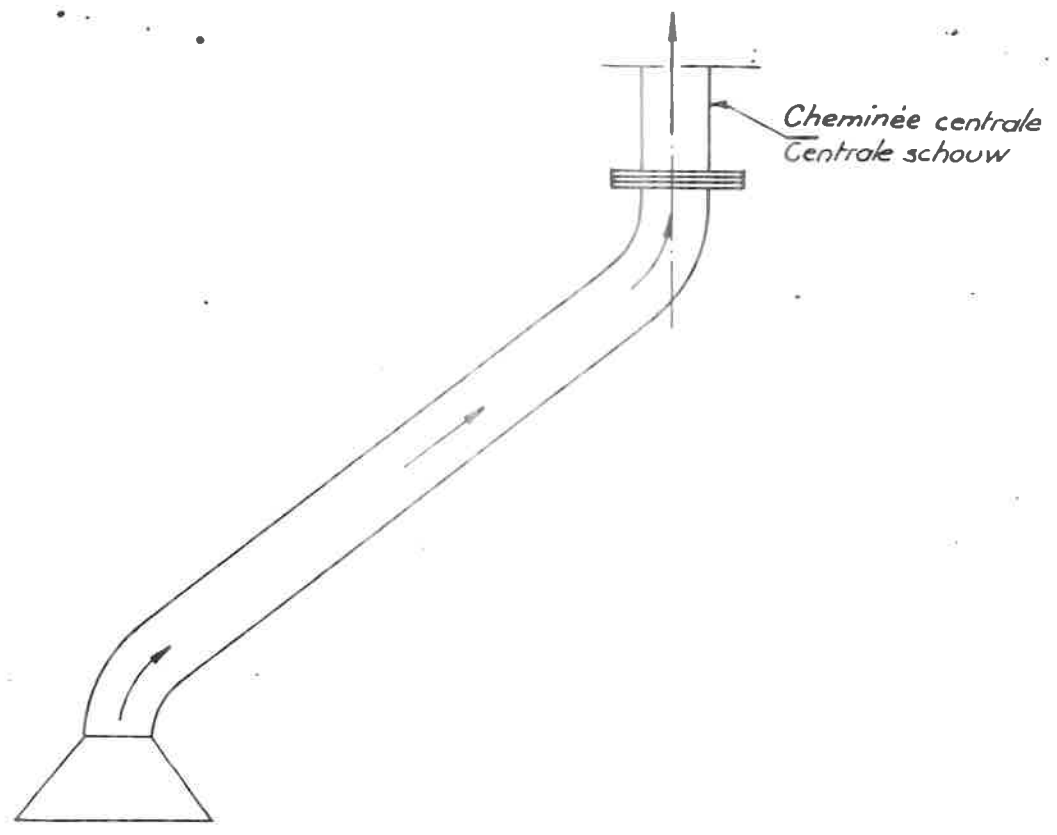


Fig. 30B

C1217bis/2217 bis
2^e L.

Annexe: 34
Bijlage: 34

**FONDERIE A TRANSPORTEURS A ROULEAUX
GIETERIJ MET ROLGELEIDBANDEN**

Annexe : 35
Bijlage:

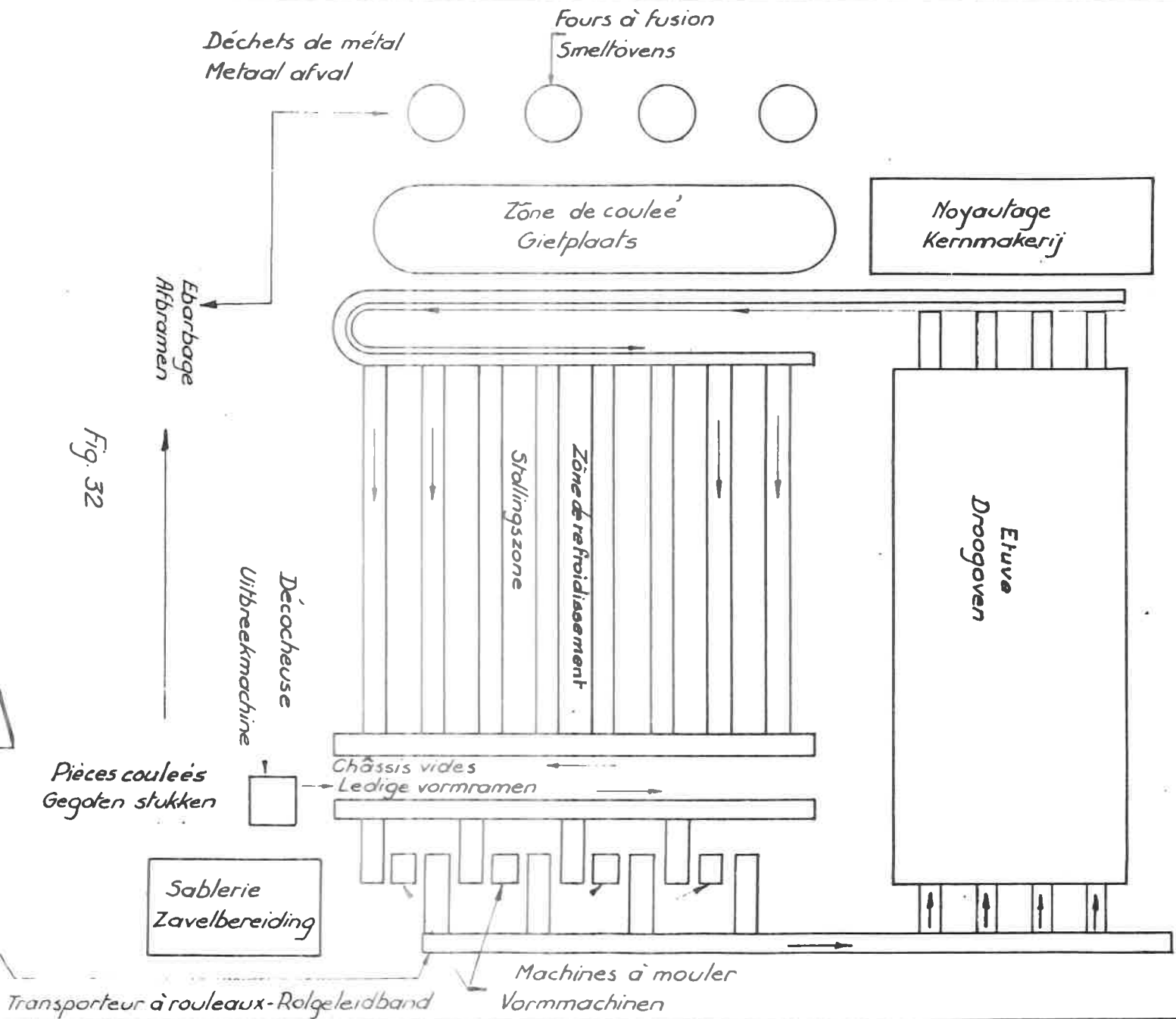
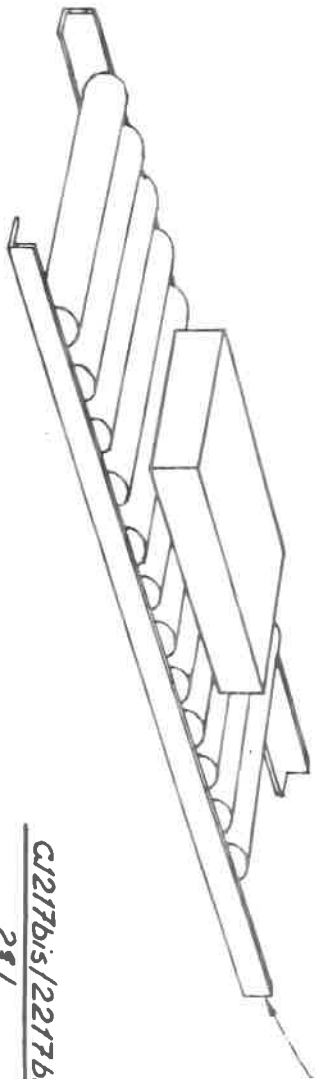


Fig. 32



C1217bis/2217bis
28 L.

FONDERIE A CONVOYEURS CONVEYOR GIETERIJ

Annexe: 36
Bijlage: 36

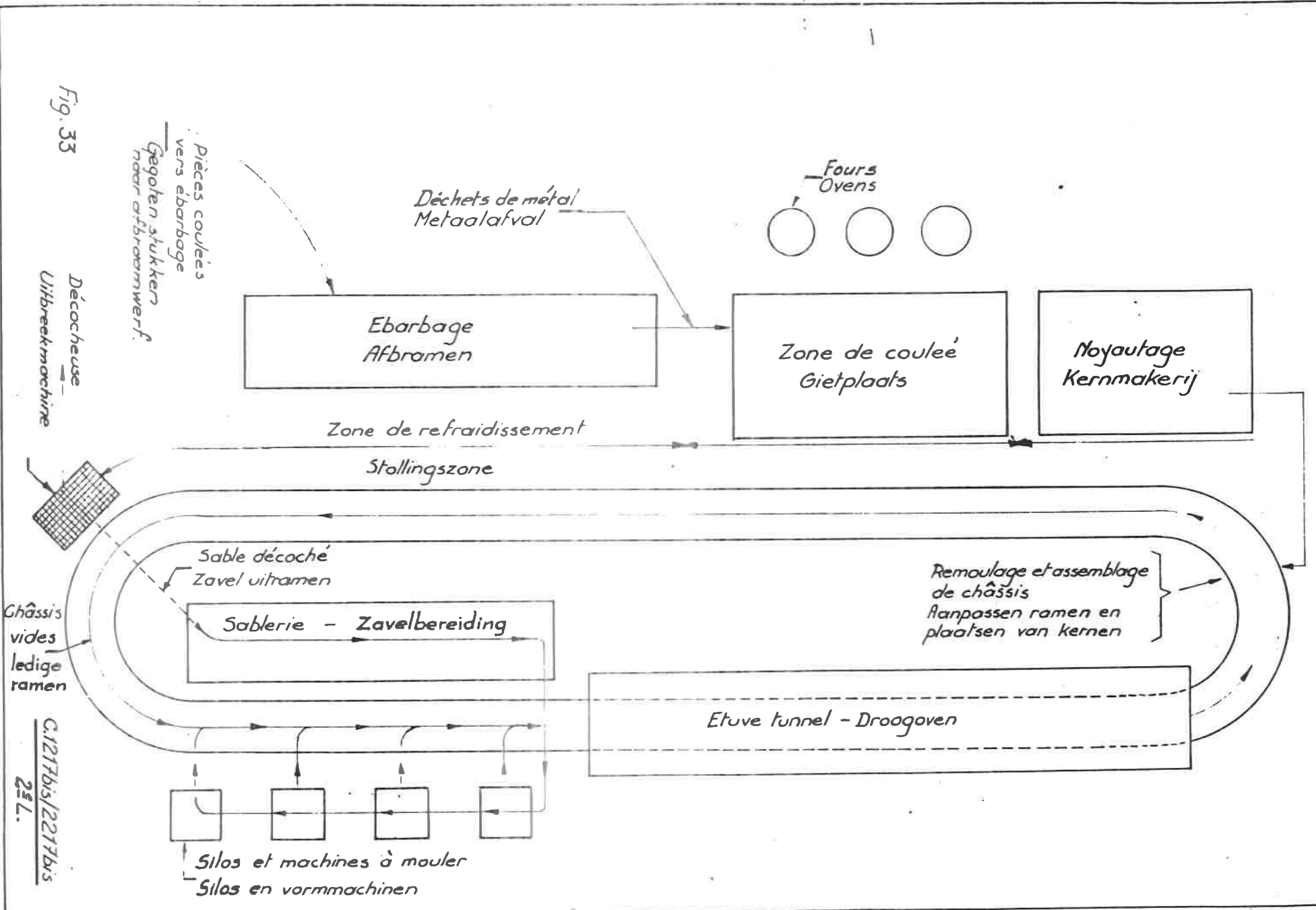


Fig. 33

Pièces coulées vers ébarbage
Gegoten stukken naar afbramenwerf.

Décocheuse
Uitbrekmachine

Ghâssis vides
ledige ramen

C1217bis/2217bis
29L.

2A

A. Débitage de la matière.

Avant de procéder à la déformation plastique (forgeage, estampage, déformation sous la presse), il faut débiter la matière.

Plusieurs procédés de débitage peuvent être appliqués le choix dépend de la nature, de la forme, de la quantité et des dimensions des pièces à fabriquer.

1° La coupe au tranchet: le travail se fait généralement à chaud (fig. 34).

Les faces des pièces coupées de cette façon sont toujours irrégulières et doivent être corrigées.

2° Le cisailage: le débitage à la cisaille s'applique pour la mise à dimensions des tôles, de pièces laminées ou embouties et des barres et profilés.

Les tôles et les larges plats sont coupés à la cisaille ordinaire (fig. 35a et 35b).

Pour les barres et les profilés, on utilise une cisaille à profilés (fig. 35 b) tandis que les découpages des tôles s'effectuent sur des cisailles à molettes.

L'enlèvement des coins, le découpage des ailes et le découpage en équerre des profilés se font sur des machines à gruger (fig. 37).

Dans les chaudronneries et les ateliers de construction, on utilise beaucoup la poinçonneuse (fig. 38) pour faire des trous dans les tôles. Le découpage à la presse est appliqué, soit pour profiler des tôles, soit pour débavurer des pièces matricées.

Le poinçonnage se fait à froid tandis que le débavurage se fait souvent à chaud.

3° Le sciage: le débitage à dimension des barres et profilés se fait à la scie alternative horizontale (fig. 40), à la scie à ruban horizontale ou à la scie circulaire (fig. 41).

Ces derniers temps, on utilise beaucoup la scie à ruban verticale pour le profilage et le découpage des tôles et pièces épaisses.

Les scies verticales à tables inclinables sont utilisées pour le sciage en oblique des matrices de découpage.

Les pièces massives sont coupées à la scie à chaud.

Le tronçonnage et le découpage des pièces et tôles minces (jusque maximum 25 mm) peut se faire par la méthode du sciage par friction (fig. 42).

Un disque ou un ruban sans dents et présentant uniquement sur le tranchant quelques encoches pour entraîner l'air tourne à très grande vitesse (5.000 m/minute) et enlève la matière par friction. Celle-ci se ramollit par suite de la concentration de la chaleur produite par le frottement et brûle littéralement dans le courant d'air entraîné par les encoches de la scie.

Cette méthode, étant basée sur la combustion de la matière, ne s'applique qu'aux métaux ferreux; elle permet une production très élevée la coupe avançant presque à la même allure que celle du bois. Elle présente l'inconvénient de laisser une bavure assez importante au lopin qui toutefois s'enlève facilement par un bref meulage.

4° L'oxy-coupage de l'acier: l'oxy-coupage de l'acier est basé sur la combustion du fer chauffé au rouge dans un courant d'oxygène sous pression.

L'oxy-coupage est décrit et commenté en détail dans une leçon suivante.

Le procédé est appliqué au tronçonnage et au découpage des pièces massives et des tôles.

Le découpage en série se fait sur des machines spécialement conçues pour le travail sur gabarit.

Ces machines comportent une tête à commande électromécanique sur laquelle sont fixés le ou les chalumeaux coupeurs travaillant en parallèle.

Le guidage sur le gabarit peut se faire de différentes manières:

- a) Le gabarit en multiplex est bordé de bandes en aluminium; la tête de la machine porte 2 molettes qui suivent le bord;
- b) Le gabarit en acier est "suivi" par une aiguille aimantée s'appuyant constamment sur son bord;
- c) Le gabarit est constitué par un dessin à vraie grandeur. Ce dessin est "lu" et suivi par un œil électronique (cellule photo-électrique) qui commande par relais le déplacement de la tête porte-chalumeaux.

Dans la course à la simplification du travail et à la réduction des frais de main-d'oeuvre, on s'efforce de remplacer autant que possible le travail de forgeage par le découpage oxy-acétylénique.

B. Le forgeage proprement dit.

1. L'étirage.

Il nous arrive souvent de devoir réduire la section d'une barre ou d'un bloom, soit pour des raisons technologiques (obtention d'un coefficient de corroyage imposé), soit pour des raisons d'opportunité (manque de matière première à dimensions exactes).

On appelle coefficient de corroyage le rapport $\frac{S}{s} =$ dans lequel:

S = section en cm² de la matière brute;
s = " " " " pièce forgée

Pour des organes devant subir des chocs ou des contraintes alternatives, on exige toujours un minimum de corroyage, l'étirage par forgeage d'un acier améliorant dans une mesure appréciable les caractéristiques mécaniques et surtout la résilience dans le sens de l'étirage.

La pièce à étirer est chauffée à 950° - 1100° dans un feu de forge ou dans un four à mazout. Elle subit l'étirage par plages et chauffes successives de 15 à 20 cm jusqu'à une dimension légèrement supérieure à celle que l'on doit atteindre (fig. 43).

Finalement, la barre ainsi ébauchée est réchauffée et calibrée à dimensions et à section définitive.

Ce calibrage se fait de préférence dans une matrice.

2. L'épaulement.

Si le changement de section ne doit s'opérer que dans une partie de la barre, on épaulement celle-ci, soit directement sur l'enclume (fig. 44), soit en amorçant le retrait au dégorgeoir (fig. 45).

Pour des pièces massives, cette dernière méthode sera appliquée par phases successives (fig. 46).

Si la partie à étirer est située au milieu de la pièce, on procédera comme indiqué dans la fig. 47; la partie ab sera alors façonnée à l'aide du marteau de devant et du tasseau (fig. 48).

Toutefois, dans ces cas, l'épaulement est plutôt exécuté au marteau-pilon.

En principe, le travail est le même, mais les outillages sont conditionnés pour les dimensions plus grandes des pièces et pour les contraintes plus importantes qu'ils ont à subir.

3. Le refoulement.

On procède au refoulement :

- a) Pour raccourcir une pièce trop longue;
- b) Pour augmenter la section d'une pièce à un endroit déterminé, en évitant ainsi l'étirage d'une barre plus forte.

On localise la chauffe à la partie à refouler et, dans le cas le plus simple, on se sert du poids propre de la barre que l'on soulève et qu'on laisse ensuite retomber verticalement sur l'enclume ou sur un tas pour obtenir la déformation désirée.

Dans le cas d'une barre laminée qui présente une structure fibreuse dans le sens longitudinal, le procédé sus-mentionné doit s'appliquer graduellement. Après chaque opération de renflement, une telle pièce sera martelée dans le sens transversal pour lui donner du corps.

Le refoulement d'une pièce préalablement forgée peut être poussé plus à fond sans crainte d'altérer la solidité du métal.

Un cas typique de refoulement se retrouve dans la fabrication des boulons (fig. 49).

Partant d'une barre ronde ayant le diamètre du corps de boulon, on forme la tête par refoulement du métal sur des machines spécialement conçues (voir cours 1212). L'opération se fait à froid ou à chaud.

C. Le matriçage.

Une matrice est une forme en fonte, acier moulé ou ^{ou}acier forgé, dans laquelle des pièces préalablement forgées (ou, dans certains cas, de la matière brute) sont pressées ou refoulées à chaud dans le but de les calibrer ou d'obtenir rapidement une pièce finie.

Le matriçage peut se faire au marteau-pilon, au marteau pneumatique, à la presse à friction, à la presse excentrique ou à la presse hydraulique (il faut toujours une course assez importante).

Etant donné les prix très élevés des matrices d'estampage, ce procédé reste toujours réservé à la fabrication en masse ou à la fabrication de pièces standardisées.

Les matrices comportent généralement deux parties qui doivent s'emboîter parfaitement, soit au moyen de broches, soit par tout autre guidage.

La matière excédente qui doit quitter le creux de la matrice pénètre, lors du forgeage, dans le joint des deux demi-matrices et écarte celles-ci. Il s'ensuit alors que les pièces n'ont pas les épaisseurs voulues (fig. 50).

Pour obvier à ce défaut, il y a lieu de prévoir une "chambre de bavure". Cette chambre est formée par un creux qui s'étend sur toute la périphérie du moule et qui permet la libre sortie de la matière excédente (fig. 51).

L'enlèvement de cette bavure se fait généralement par tranchage à froid ou par meulage. Pour la fabrication en série, on utilise la presse à débavurer sur laquelle les pièces sont poussées à travers une matrice épousant leur contour (fig. 52 a, b, c).

D. Le soudage.

Les soudures de forge s'exécutent de moins en moins devant les progrès de plus en plus grands enregistrés dans le domaine de la soudure à l'arc électrique.

Le forgeage lui-même est coûteux surtout lorsqu'il s'agit de fabriquer des pièces compliquées. Même, le matriçage demande souvent une préparation fastidieuse et onéreuse.

Il y a tendance générale à fabriquer les pièces par oxy-coupage hors de tôles et de profilés tout en les assemblant ensuite par soudage à l'arc ou soudage par résistance.

Prenons l'exemple d'une bielle qui n'est pas fortement sollicitée en service.

Naguère, cette pièce était complètement obtenue par forgeage (fig. 53 a, b).

Actuellement, on adopte une des méthodes plus économiques indiquées ci-après:

- a) Découpage des trois pièces hors d'une matière première ayant l'épaisseur appropriée et assemblage par soudure;
- b) Découpage du contour de la bielle dans une matière dont l'épaisseur correspond à celle du corps de la bielle et rapportage par soudure de deux rondelles d'épaisseur sur chaque tête de bielle;
- c) Découpage des cages dans les têtes de bielle (fig. 54 d).

E. Traitements thermiques.

1° Traitement N - recuit de normalisation.

Pour autant que les plans ne prévoient d'autres traitements, toutes les pièces forgées subissent le recuit de normalisation pour faire disparaître les tensions internes laissées par le forgeage.

On procède comme suit:

Après forgeage, on laisse refroidir les pièces jusqu'au-delà de 400°, puis on les réchauffe dans un four, d'abord lentement jusque 400° et puis plus rapidement jusqu'à la température indiquée ci-après:

Acier	Température de normalisation	Acier	Température de normalisation
B 37	875° - 900°	C 10	890° - 915°
B 42	860° - 880°	C 15	875° - 900°
B 50	840° - 860°	C 20	850° - 875°
		C 40	825° - 850°
		Mn 415	825° - 850°

Cette température est maintenue jusqu'à ce qu'elle ait atteint le coeur des pièces.

A la sortie du four, les pièces sont refroidies lentement à l'abri des courants d'air et à un endroit sec.

2° Traitement "V".

Ce traitement a pour but d'améliorer les caractéristiques mécaniques du métal.

Il comporte une trempe suivie d'un revenu.

Pour effectuer la trempe, on chauffe, comme pour le traitement N, jusqu'aux températures suivantes:

B 50 = 840° - 860°: Mn 415 = 825° - 850°

C 40 = 825° - 850°: Ni Cr 322 = 810° - 835°

Les pièces chauffées sont extraites rapidement du four et plongées dans:

- de l'eau à 30° pour B 50 - C 40 et Mn 415;

- de l'huile pour Ni Cr 322

Il est à conseiller de retirer les pièces du bain de refroidissement lorsque la surface du métal a atteint 150° à 300° suivant l'épaisseur de la pièce. Ensuite, les pièces sont réchauffées lentement jusqu'à 550° durant 20 minutes.

Les températures et le temps de chauffe à observer sont à prescrire par le fabricant d'après les caractéristiques à obtenir.

Le refroidissement après revenu se fait généralement à l'air libre. Pour l'acier Mn 415, il est prudent de refroidir dans l'eau ou dans l'huile.

Toutes les pièces ayant subi ce traitement doivent être marquées d'un V à un endroit bien visible.

x
x x

Les traitements décrits ci-dessus s'effectuent dans des fours qui peuvent se classer comme suit:

- 1° Fours à laboratoire ouvert chauffés au charbon, coke, gaz de ville, gaz de haut-fourneau ou combustible liquide (gasoil ou fuel-oil);
- 2° Fours à laboratoire fermé chauffés comme indiqué ci-dessus ou chauffés à l'aide de résistances électriques;
- 3° Fours à laboratoire fermé et atmosphère contrôlée (les pièces n'entrent pas en contact avec l'air atmosphérique, mais sont entourées de gaz n'ayant aucune action sur la matière);
- 4° Fours à bain de sel (voir cours 1212).

Cours 1217 bis
3e leçon

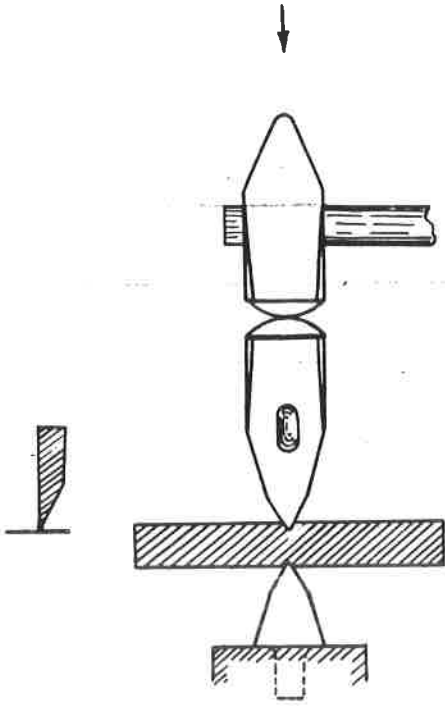


Fig. 34

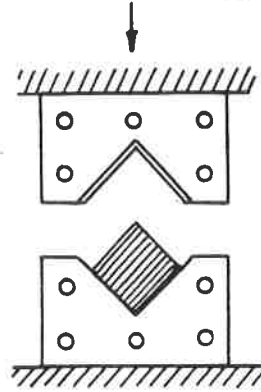


Fig. 35a

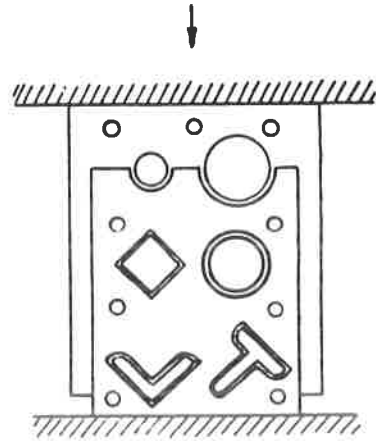


Fig. 35b

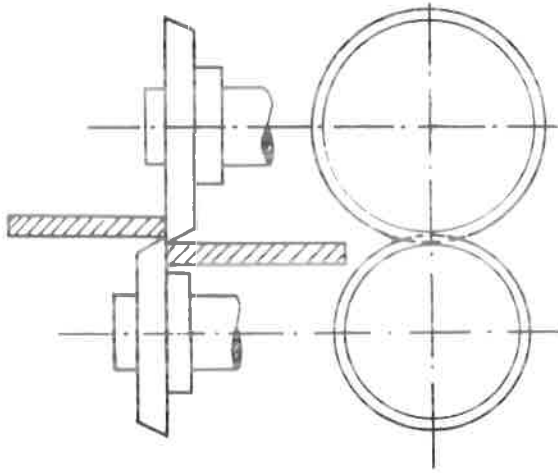


Fig. 36



Fig. 37

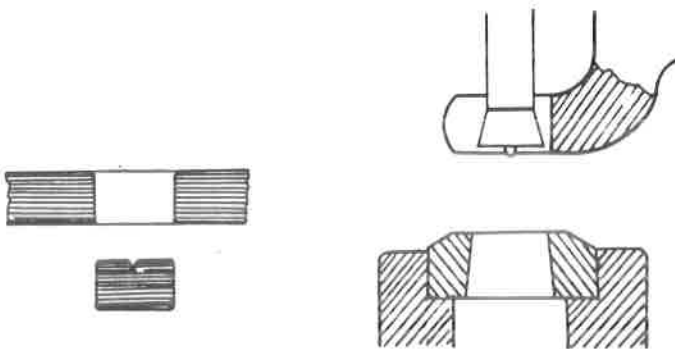


Fig. 38

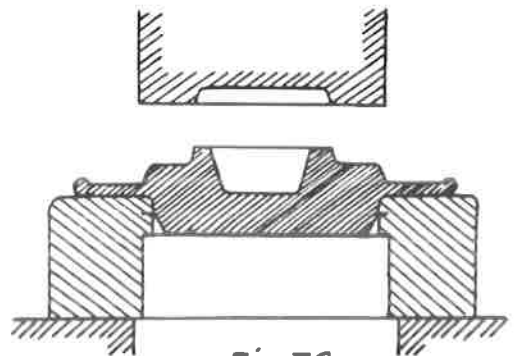


Fig. 39

C.1217^{bis} / 2217^{bis}
39L.

(C). 201105. 3. ca. (15)

Fig. 42

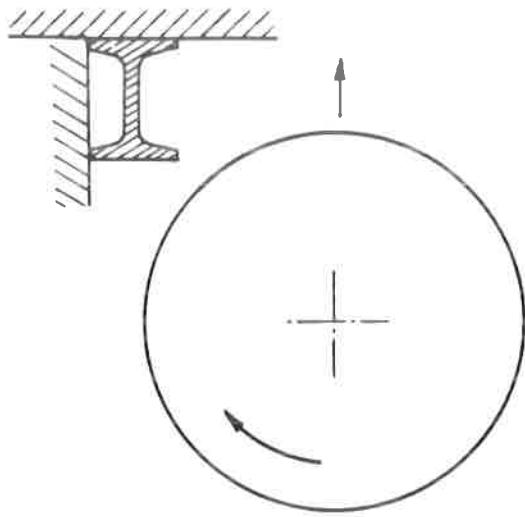


Fig. 41

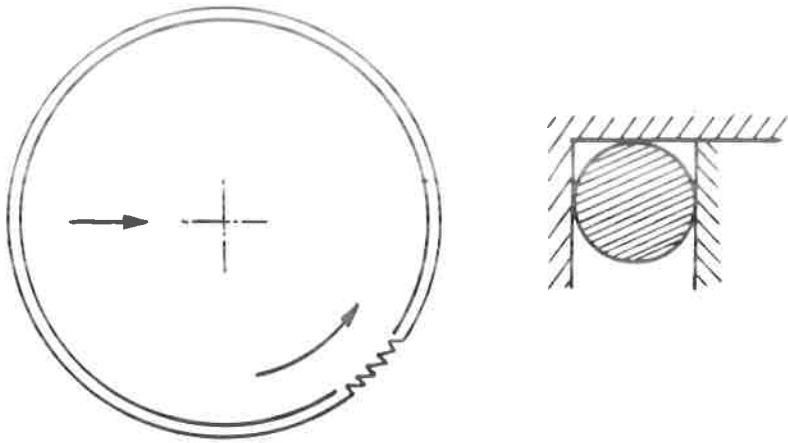
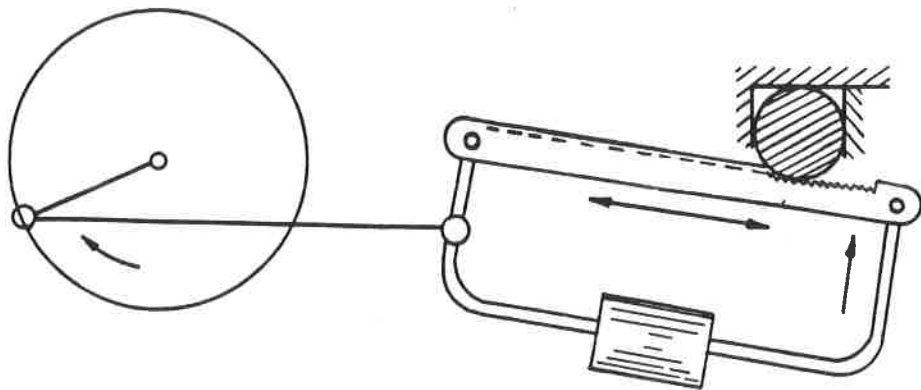


Fig. 40



39L.
C.1217/2217
bis

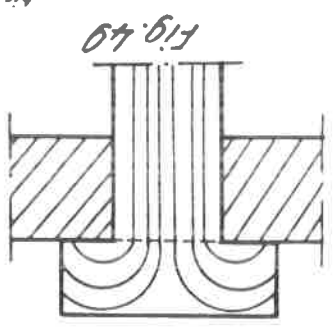


Fig. 49

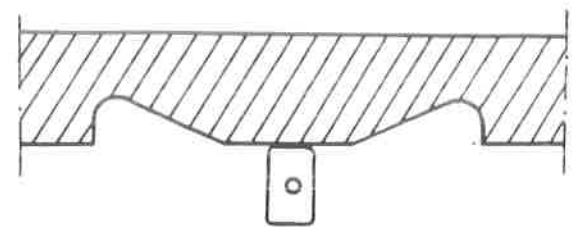


Fig. 48

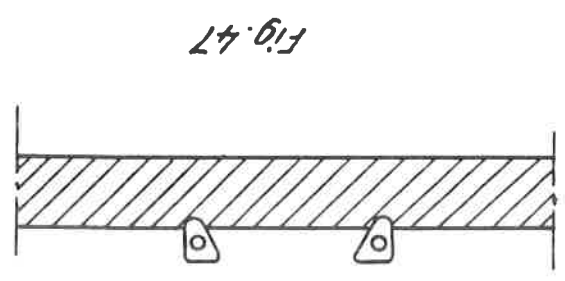


Fig. 47

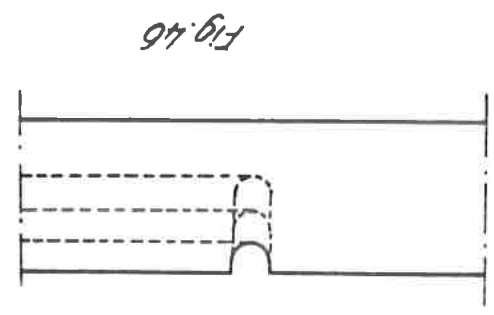


Fig. 46

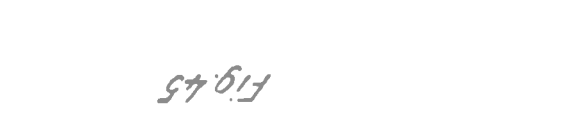


Fig. 45

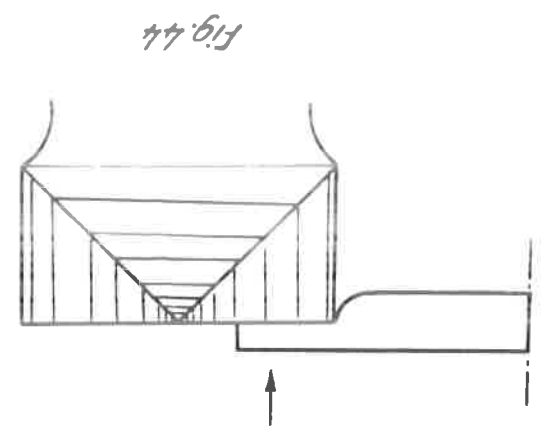


Fig. 44

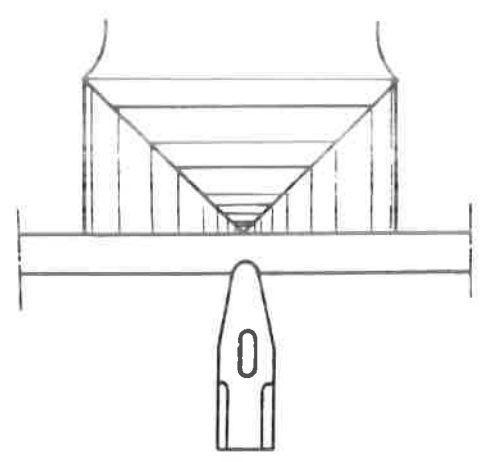
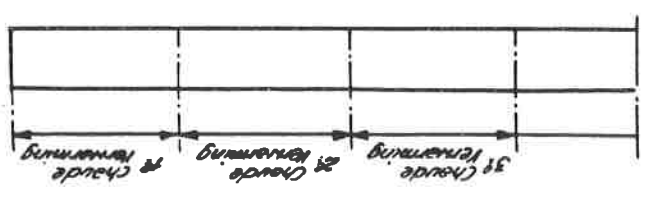
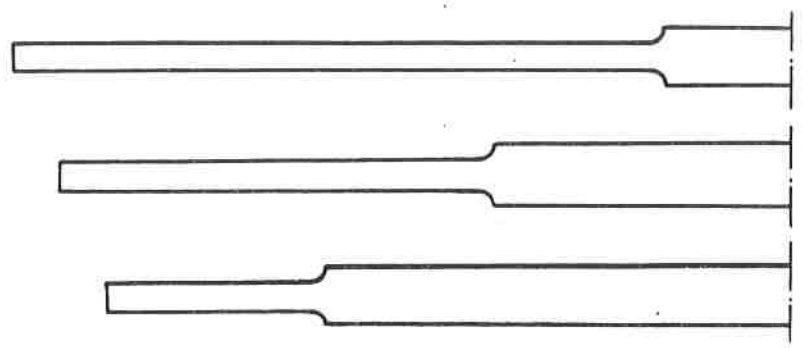


Fig. 43



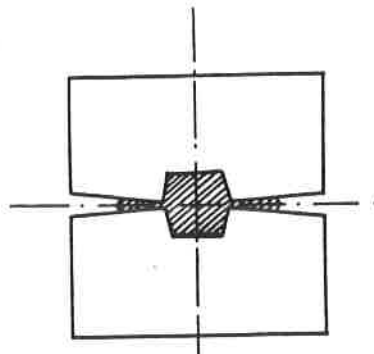


Fig. 50

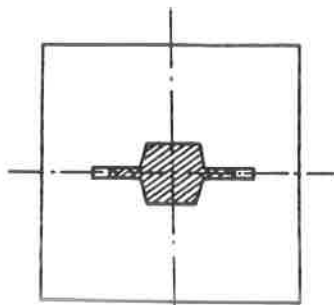


Fig. 51

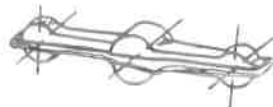


Fig. 52a

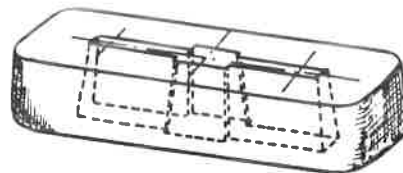


Fig. 52b



Fig. 52c

U -

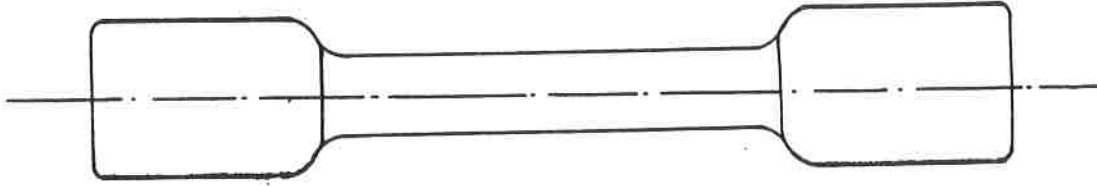


Fig. 53a

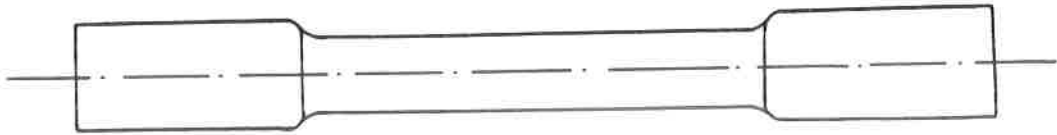


Fig. 53b

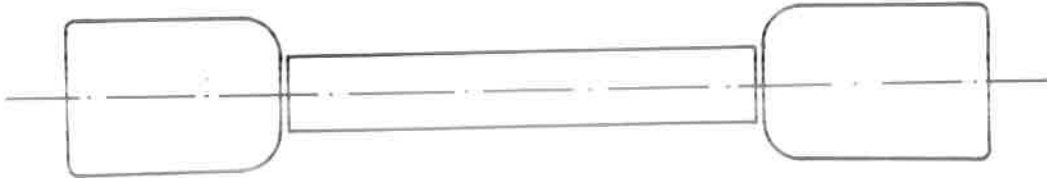


Fig. 54a

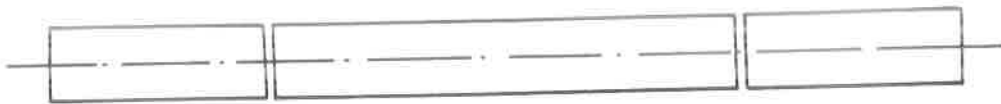


Fig. 54b

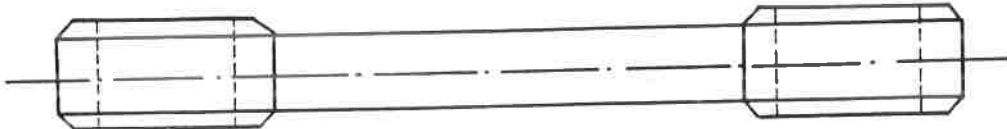


Fig. 54c

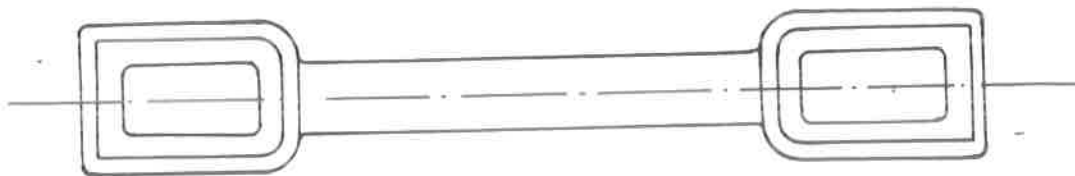


Fig. 54d

LA TOURNERIE.

Introduction.

Les différentes espèces de tours, leur équipement, ainsi que les outillages utilisés par le tourneur ont été décrits en détail dans le cours "Outillage et Machines-Outils". Nous nous bornerons ici à traiter de l'utilisation générale du tour et de décrire les opérations types effectuées sur ces machines.

A. - Utilisation générale du tour.

La détermination des possibilités d'un tour est basée sur la parfaite connaissance de toutes ses caractéristiques.

Il y a lieu d'établir pour chaque machine :

- a) La carte-machine des dimensions principales ;
- b) la carte-machine des vitesses de rotation, des avances de chariotage et de filetage ;
- c) la carte des temps de préparation "mains" et "machines" ;
- d) la carte des contrôles d'exactitude ;
- e) le schéma des combinaisons cinématiques ;
- f) l'inventaire des outillages normaux et spéciaux dont les dimensions sont inscrites sur la carte-machine et dont les dessins sont joints à cette dernière.

L'ensemble de ces documents constitue le "dossier-machine"; on s'en sert pour préparer le travail.

A part ces documents, le préparateur devra disposer d'un dossier réunissant, par groupe de tours analogues, tous les renseignements concernant les angles de coupe, les vitesses de coupe, les avances et les temps "opération - machine".

1°. Les formes géométriques des outils et les angles de coupe.

Les formes géométriques des outils dépendent de la nature du travail à exécuter tandis que les angles dépendent plutôt de la nuance de la matière à travailler et de l'acier de coupe utilisé (voir cours d'outillage).

2°. Réglage en hauteur de la pointe du crochet.

Ce réglage dépend de la nature de l'opération, du diamètre de la pièce et, en ordre principal, de la section du copeau à enlever.

On compense l'effet de la flexion et de l'élasticité du mâche en montant le crochet légèrement au-dessus de l'axe de rotation de la pièce.

Si les conditions de travail le permettent, le tourneur doit toujours, lors des passes d'ébauchage, régler son crochet au-dessus de l'axe du tour d'une quantité $n = \frac{1}{50}$ du diamètre parachevé.

La fig. 55 montre le montage de l'outil et donne, pour les différentes opérations, la valeur du relèvement à adopter.

3° Arrosage et graissage.

Le liquide qui doit refroidir la pointe de l'outil lors des ébauches et graisser le dégagement des copeaux afin d'obtenir des surfaces parachevées lisses, lors du finissage, doit être adapté à la nature de la matière travaillée et au genre d'opération.

Le tableau 56 nous renseigne sur le choix des liquides à utiliser.

4° Vitesses de coupe.

La détermination de la vitesse de coupe doit tenir compte du genre d'opération : ébauchage, finissage, filetage.

Il y a lieu de déterminer d'abord la section maximum du copeau que permettent les dimensions générales de la pièce, sa fixation et la profondeur de coupe.

Une fois la section du copeau connue, l'on peut déterminer la vitesse de coupe qui correspond à la puissance disponible à la broche de la machine.

Des tableaux permettent d'évaluer la pression de coupe en fonction de la matière travaillée et des conditions de coupe.

Certains tableaux donnent, par approximation, la vitesse de coupe à adopter pour une matière déterminée et un outil donné.

Le tableau (fig. 57) indique les vitesses de coupe pour quelques matériaux usuels.

En pratique, on admet que, lors de l'utilisation d'une matière de coupe autre que l'acier rapide, il y a lieu de multiplier les vitesses de coupes par :

- 0,3 à 0,5 pour la coupe à l'acier au carbone ;
- 1,3 pour l'acier rapide avec 10 % de cobalt ;
- 2 à 3 pour les carbures métalliques.

5. Valeurs pratiques pour les avances et les profondeurs de coupe :

La détermination de l'avance et de la profondeur de coupe tiendra compte :

de la rigidité de la pièce,
de la rigidité de sa fixation,
de l'état de surface à obtenir,
du degré de précision désiré.

Nous savons tous que, pour une même section de copeau $q = t \times s$, une plus grande profondeur t et une plus petite avance sont plus avantageuses que les valeurs inverses. En effet, avec une plus grande profondeur de coupe et pour une même section de copeau, la partie du tranchant engagée dans la matière est plus longue et moins sollicitée par unité de longueur. L'évacuation de la chaleur produite par la coupe sera plus rapide (fig. 58).

En pratique, on admet que, pour les ébauches, l'avance doit être de $1/5$ à $1/10$ de la profondeur de coupe.

En finissage, sans tolérances, on prend :

$t = 0,3$ à $0,5$ mm,
 $s = 0,1$ mm

et pour le finissage à tolérances :

$t = 0,2$,
 $s = 0,1$.

6. Calcul des temps "machine".

Les temps des opérations "machine" peuvent se calculer comme suit :

a) pour le cylindrage et le filetage :

$$T = \frac{L}{n \cdot a} \times i$$

dans laquelle :

L = longueur de la pièce, en mm,
 n = nombre de tours, par minute,
 a = l'avance, en mm par tour,
 i = le nombre de passes.

b) pour le dressage :

$$T = \frac{R - r}{n \cdot a} \times i$$

dans laquelle :

R = rayon maximum, en mm,
 r = rayon minimum, en mm.

31. B.- Applications sur les opérations type.1. Forage des centres.

Les centres permettent de prendre la pièce entre pointes.

Elles comportent une partie conique qui sert de surface d'appui, un trou cylindrique dans lequel passe la pointe du tour et un évidement cylindrique ou conique (fig. 59 a).

Le cône de la pointe doit porter exactement dans le cône femelle du centre pour que la pièce soit parfaitement soutenue et pour éviter que les centres et les pointes ne s'usent par grippage (fig. 59 b - c - d).

Les dimensions normalisées des trous de centre sont données par les figures 60 a et 60 b.

La profondeur du centre dépend du diamètre et du poids de la pièce. On admet que la charge par mm² de portée utile doit être comprise entre 4 et 8 K_s.

Les portées utiles S des différents centres normalisés sont mentionnées dans le tableau de la fig. 61.

Pour une pièce de 450 K_s dont chaque centre porte 225 K_s, la portée nécessaire pour une pression spécifique de 5 K_s/mm² doit être de :

$$S = \frac{225}{5} = 45 \text{ mm}.$$

Cette portée correspond à un centre de 5 mm.

Le dimensionnement des centres et leur entretien est d'une importance capitale pour la réussite des opérations de tournage de précision (exemple : tournage des collecteurs).

Pour forer les centres, on se sert de mèches à centrer dont les dimensions nominales sont données par la fig. 62.

Les centres peuvent être parachevés à l'aide de fraises coniques.

Le forage des centres se fait sur la foreuse sensitive, la machine à centrer, sur le tour ou sur une machine spéciale à centrer qui évite le traçage préliminaire.

On ne pourrait apporter trop de soin au forage des centres.

Le serrage entre pointes doit se faire judicieusement.

Les fig. 63 et 64 indiquent respectivement un montage exact et un montage défectueux.

2. Cylindrage d'une pièce.

Soit à faire la pièce représentée par la fig. 65.

Nous déterminerons successivement :

le mode de serrage,
les dimensions de la matière première,
la succession des opérations,
le contrôle des dimensions.

a) Le mode de serrage.

La pièce présente un collier vers le milieu; elle doit donc être cylindrée en deux phases en partant chaque fois de l'extrémité vers le milieu.

Les symboles d'usinage nous indiquent que les bouts de 40 mm de diamètre doivent être rectifiés.

Ces deux conditions nécessitent la prise entre pointes de la pièce, le serrage dans le mandrin universel ne donnant pas de garantie suffisante quant à la précision du centrage.

La longueur de la pièce est plus petite que 8 fois son diamètre, ce qui nous dispense d'utiliser la lunette fixe.

b) Dimensions de la matière première.

La pièce peut être tournée en partant d'une pièce forgée, d'une barre laminée ou d'une barre étirée.

On n'a aucun intérêt à forger la pièce parce que le prix du forgeage dépassera largement le travail supplémentaire de décolletage hors d'une barre cylindrique.

L'utilisation d'une barre étirée supprime le cylindrage du collier pour autant que les centres soient forés exactement. La largeur de ce collier est toutefois si peu importante que l'avantage de cette méthode devient insignifiante.

Il nous reste l'emploi de l'acier laminé qui coûte moins cher que l'acier étiré; son utilisation constitue la solution la plus économique.

On utilisera une barre de 73 mm ou la dimension standard du commerce immédiatement supérieure à 75 mm.

La surlongueur dépend de la précision avec laquelle la pièce brute peut être tronçonnée perpendiculairement sur l'axe de la barre; elle dépend donc nécessairement du diamètre. Pratiquement, on prendra 215 mm.

c) Opérations :

Après forage du centre et montage de la pièce sur le tour, on procédera comme suit :

- Cylindrage de la pièce jusqu'àuprès du toc au diamètre 70 mm.

On se sert du tambour gradué de la vis transversale pour régler la profondeur de coupe. Ensuite, on porte les dimensions longitudinales sur la pièce. Pour ce faire, on partira nécessairement d'une face dressée et, si la chose n'a pas été faite lors du forage des centres, on commencera par dresser les faces d'about.

- Le traçage des longueurs s'effectue comme l'indique la fig. 66.

Lorsqu'on travaille sur un tour à déclenchement automatique, le traçage est supprimé par l'utilisation des butées qui limitent les déplacements longitudinaux du chariot.

- La pièce est cylindrée sur 90 mm de longueur au diamètre 50 (ébauche et finition).

- A 40 mm, l'on trace une nouvelle circonférence et l'on ébauche avec la surdimension nécessaire à la rectification (voir tableau 67).

Après usinage d'un côté, la pièce est retournée et l'on parachève l'autre côté de la même façon.

Les différents diamètres sont contrôlés au pied à coulisse, au micromètre ou au calibre suivant la précision ou les tolérances imposées.

3. Le tournage d'une buselure (fig. 68).a) Mode de serrage.

La pièce est serrée dans un mandrin universel à serrage concentrique pour permettre le forage et l'alésage du trou, après quoi la douille obtenue est serrée sur une broche pour être cylindrée entre pointes.

b) Choix de la forme de la matière brute (voir n° 2).c) Opérations.Le forage.

On amorce le forage à l'aide d'une mèche à centrer. Le trou est ensuite foré avec une mèche hélicoïdale de 40 mm placée dans le canon de la poupée mobile.

L'alésage.

Les tours doivent être construits de façon telle que

l'axe de la broche s'incline vers le chariot porte-outil de 0,02 ou 0,03 pour compenser la déformation due à l'effort de coupe.

Cette disposition a pour effet qu'un outil d'alésage ne peut donner un alésage cylindrique que s'il est monté derrière l'axe de rotation de la pièce (fig. 69).

Cet outil doit être monté au-dessus ou en-dessous de l'axe du tour suivant qu'il se trouve devant ou derrière cet axe. L'angle de dépouille doit être suffisant pour empêcher que le talon de l'outil ne frotte contre la pièce.

L'alésage se fait alors avec une petite profondeur de coupe et une petite avance qui dépendent toutefois du diamètre et de la longueur de l'alésage.

Le contrôle.

L'alésage est contrôlé au pied à coulisse ou au calibre.

Le cylindrage.

Après alésage, la pièce est fixée sur un mandrin cylindrique avec un ajustage glissant et cylindrée extérieurement entre pointes.

4. L'alésage avec alésoir.

Le parachèvement des petits trous se fait, de préférence, avec un alésoir pour machine. Après forage, la pièce est alésée au moyen d'un alésoir fixé dans le canon de la poupée mobile.

Le choix de l'alésoir est influencé par les considérations suivantes :

- a) On utilise normalement un alésoir à rainures droites ;
- b) Les alésoirs à rainures hélicoïdales sont utilisés pour l'usinage des trous à encoches : trous transversaux ou rainures de clavette.

On préfère les dentures hélicoïdales à gauche parce que la réaction axiale de ces alésoirs est opposée à l'avance de l'outil, ce qui facilite la conduite de l'opération (fig. 70).

5. Le dressage d'une face.

Pour dresser la face d'une pièce, on la serre

8.

dans un mandrin et on l'usine avec un outil qui se déplace perpendiculairement à l'axe du tour.

Lorsque la face doit être perpendiculaire à l'axe d'un alésage, il est indispensable d'effectuer les deux opérations, alésage et dressage, en un seul montage pour éviter les erreurs dues aux remontages (fig. 71).

Cours 1217 bis
4e leçon

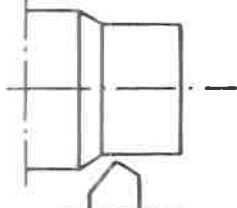
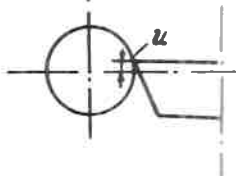
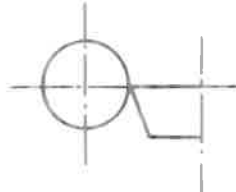
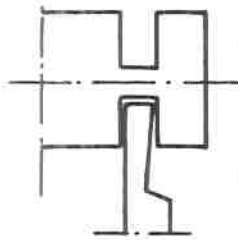
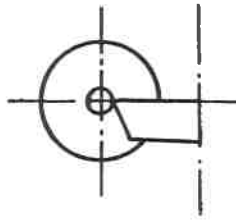
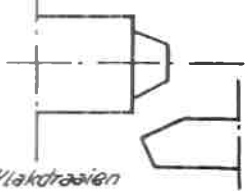
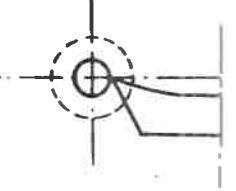
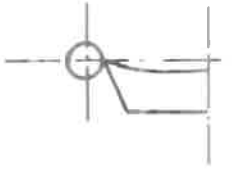
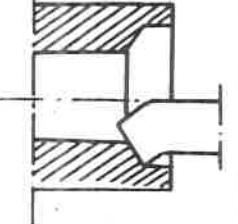
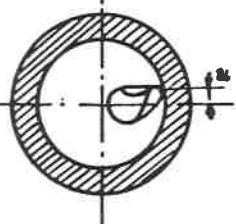
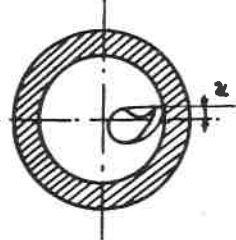
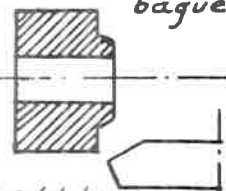
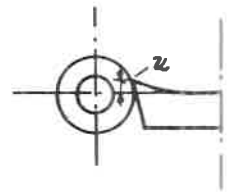
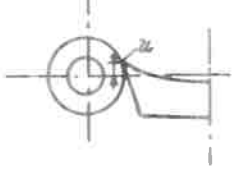
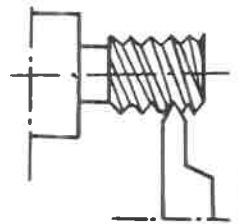
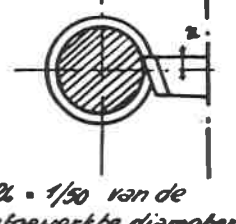
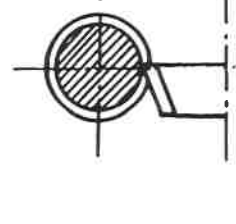

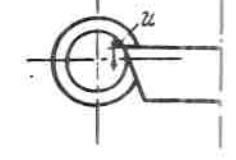
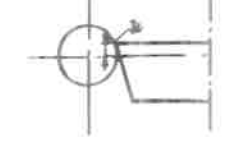
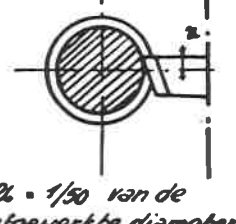
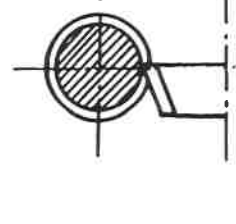
Montage des outils			Instellen van de hoogte van draaibestels		
Opération Bewerking	Ebauchage Ruwen	Finissage Nadraaien	Opération Bewerking	Ebauchage Ruwen	Finissage Nadraaien
<p>Charioter</p>  <p>Langsdraaien</p>			<p>Tronçonner Afsteken</p> 		
<p>Dresser</p>  <p>Vlakdraaien</p>			<p>Aléser Boordraaien</p> 		
<p>Dressage d'une bague</p>  <p>Ringvlakdraaien Salgner</p>			<p>Fileter Draadsniden</p> 		
<p>Uitsteken</p> 			<p>$u = \frac{1}{50}$ du diamètre parachevé</p> 		<p>$u = \frac{1}{50}$ van de afgewerkte diameter</p>

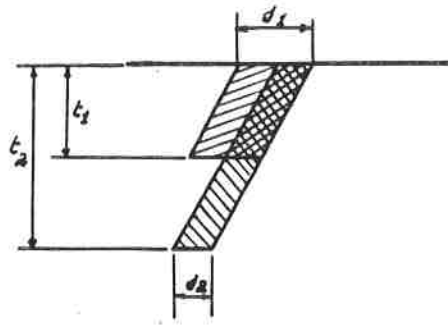
Fig. 55

Metal usiné Dewerkt Metaal	Ebauchage Ruw draaien	Finissage Nadraaien	Filetage Draadsnijden
Acier S.M. Staal S.M.	émulsion emulsie	émulsion emulsie	huile de navette ou de colza raap of koolzaadolie
Acier allié Gelegeerd staal	émulsion emulsie	huile de navette ou de colza raap of koolzaadolie	benzole - pétrole benzol-petroleum
Acier coulé Gietstaal	émulsion emulsie	sec droog	émulsion emulsie
Fonte Gietijzer	sec droog	sec droog	sec droog
Laiton Messing	émulsion emulsie	sec droog	sec ou huile de colza. droog of koolzaadolie
Bronze Brons	émulsion emulsie	sec droog	sec ou huile de colza. droog of koolzaadolie
Aluminium Aluminium	émulsion emulsie	Pétrole + 4% de fluoride de soude petroleum met 4% natriumfluoride	pétrole petroleum
Electron Electron	Solution aqueuse Wateroplossing		

Fig. 56

Materiaux à usiner Te bewerken materiaal	Vitesse de coupe en m/min. Snijsnelheid in m/min.								
	Qualité	Dégrossir - Afruwen Carbure métallique-Metaalcarbide				Finissage - Nadraaien Carbure métallique-Metaalcarbide			
		S ₁	S ₂	G ₁	H ₁	S ₁	S ₂	G ₁	H ₁
{ Acier à 50 kg/mm ² Staal " "		200	100	-	-	280	150	-	-
{ Fonte Gietijzer		-	-	-	55	-	-	-	85
{ Cuivre avec mica koper met mica (collecteurs)		-	-	280	-	-	-	310	-
Ebonite		-	-	250	-	-	-	330	-
{ Papier dur Hard papier		-	-	-	150	-	-	-	240
{ Verre Glas		-	-	-	50	-	-	-	80
Porcelaine		-	-	-	10	-	-	-	24
{ Marbre Marmer		-	-	-	35	-	-	-	45

Fig. 57



$$q = t_1 d_1 = t_2 d_2$$

Fig. 58

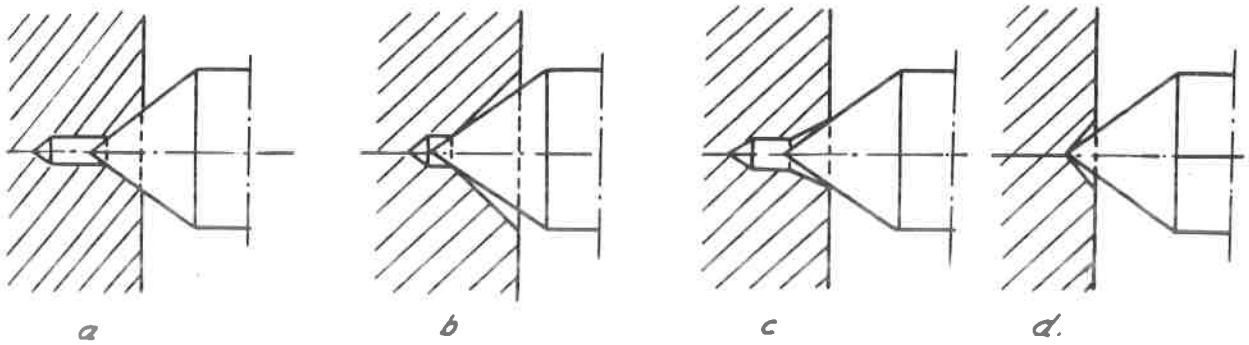
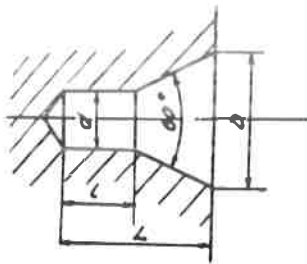


Fig. 59



$$D \approx 2,5d$$

$$L \approx 1,2d$$

Fig. 60a

m.m				
d	D	L ~	l	α ~
0,5	1,2	1,2	0,6	0,2
0,75	2	2	1	0,3
1	2,5	2,5	1,2	0,4
1,5	3,8	3,8	1,8	0,6

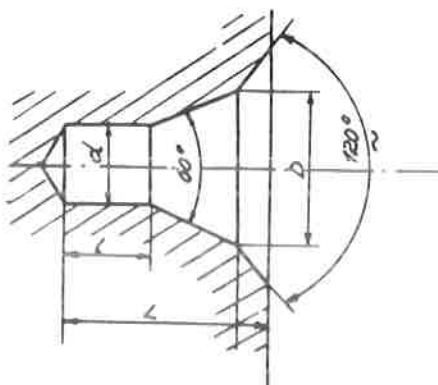
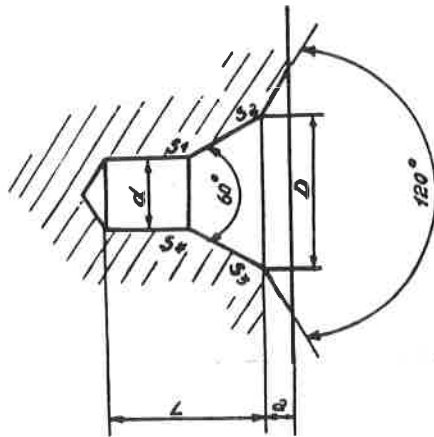


Fig. 60b

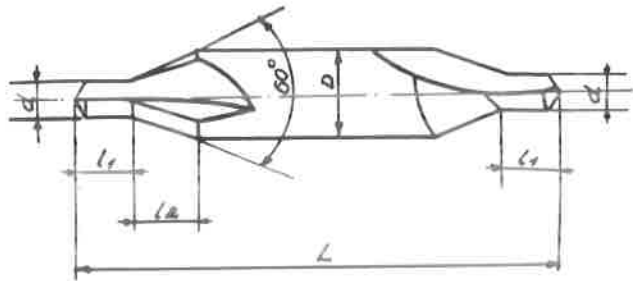
m.m				
d	D	L ~	l	α ~
2	5	5	2,4	0,8
2,5	6,3	6,3	3	0,9
3	7,5	7,5	3,6	1
4	10	10	4,8	1,2
5	12,5	12,5	6	1,5
6	15	15	7,2	1,8
8	20	20	9,6	2
12	30	30	14	2,5

C.1217 bis / 2217 bis
42L.



mm		mm ²
d. nom.	D ^{60°} L	S
1,5	3,8	5
2	5	9
2,5	6,3	14
3	7,5	20
4	10	36
5	12,5	56
6	15	82
8	20	145
10	25	225
12	30	330
14	35	445
16	40	580

Fig. 61



mm									
d	0,75	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6
D	3,5	4	5	6	8	10	12	14	18
L	35-	35-	40-	45-	50-	55-	66-	78	90
l ₁	1,5	1,8	2,6	3,4	4,2	5	6,4	7,8	9,2
l ₂	2,4	2,62	3,1	3,5	4,8	6,2	7	7,8	10,5

Fig. 62

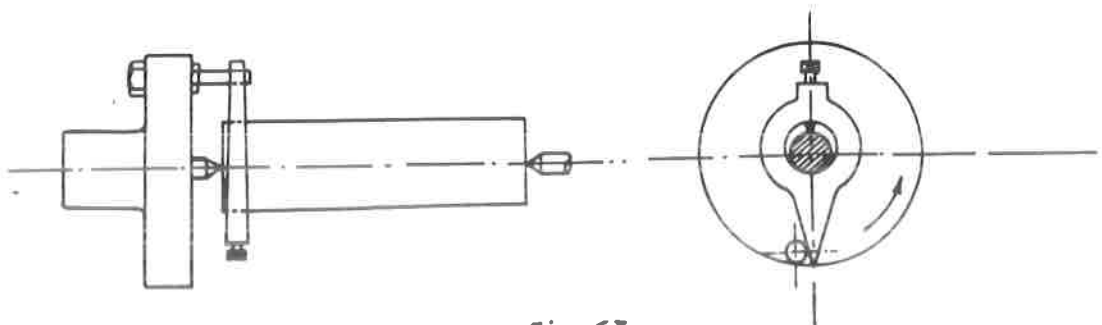


Fig. 63

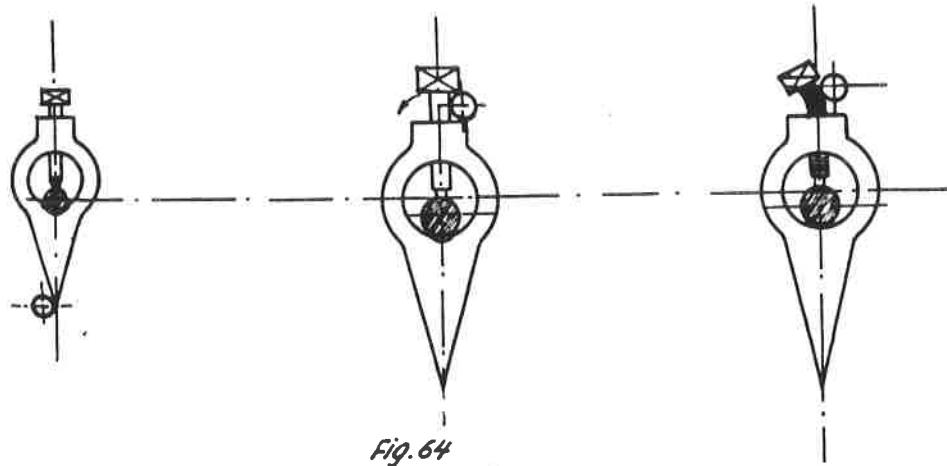


Fig. 64

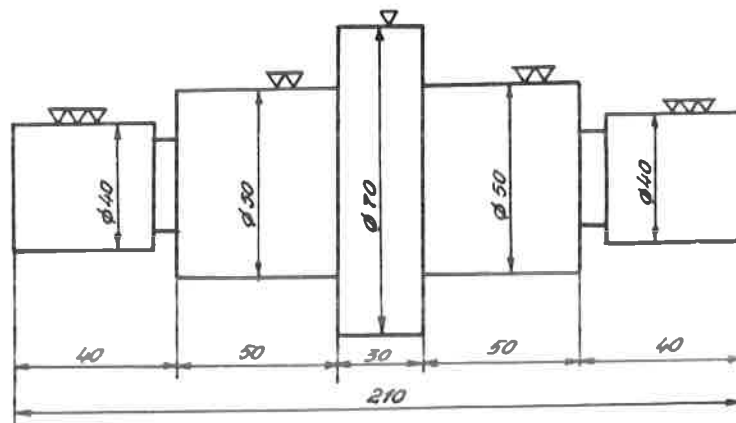


Fig. 65

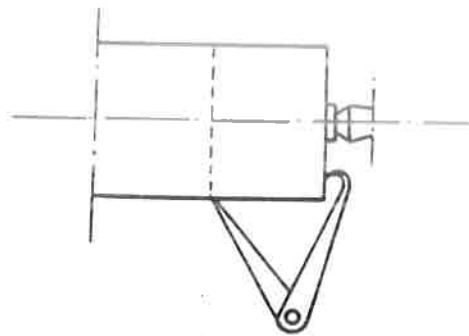


Fig. 66

ϕ de la pièce ϕ van het stuk	Surdimensions en mm		\pm Overmaten in mm	
	trempe - gehard $L \leq 300$	$L > 300$	non trempe - niet gehard $L \leq 750$	$L > 750$
10 - 30	0,55	0,55	0,25	0,4
31 - 60	0,4	0,60	0,30	0,4
61 - 90	0,45	0,65	0,30	0,4
90 et plus en meer	0,50	0,70	0,35	0,4

Fig. 67

C.1217 bis / 2217 bis
 4=L.

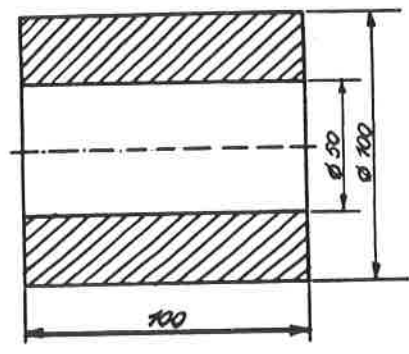


Fig. 68

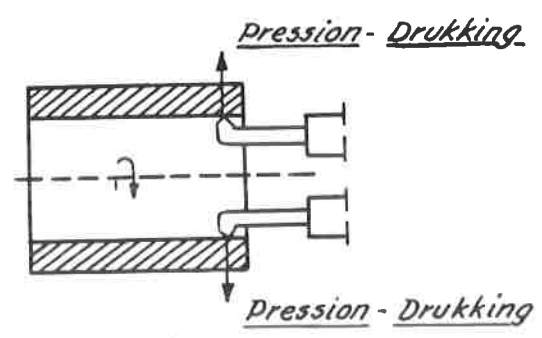


Fig. 69

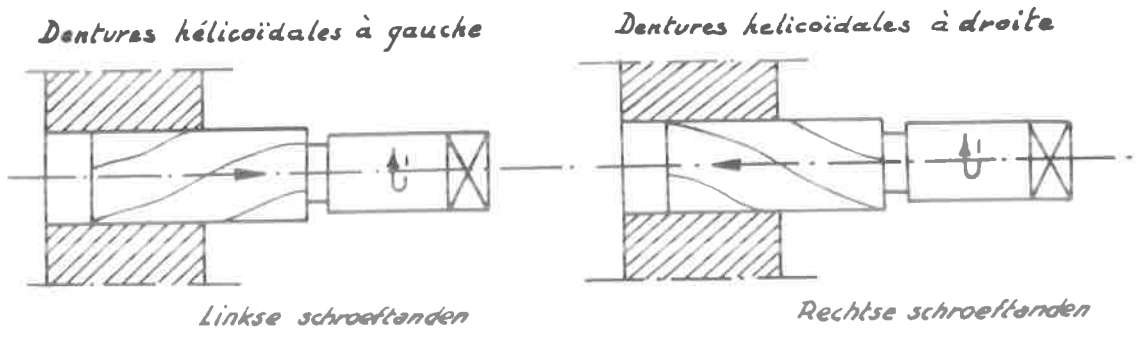


Fig. 70

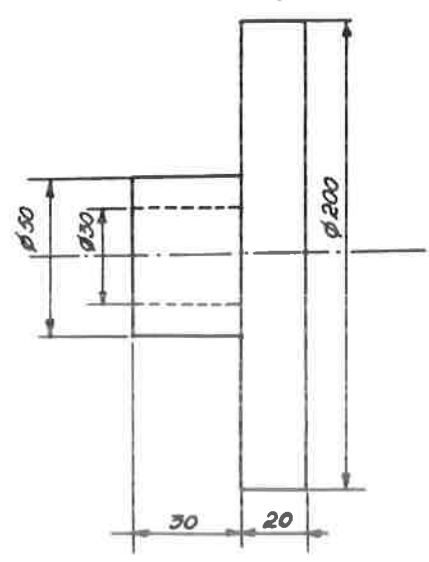


Fig. 71

6.- Tournage conique.Généralités.

Le cône de révolution est engendré par la rotation d'un triangle rectangulaire autour de l'un des côtés de l'angle droit pris comme axe de rotation, le deuxième côté de l'angle droit décrivant une circonférence. Pour obtenir un cône, il faut que l'outil se déplace suivant une droite qui forme avec l'axe de la pièce un angle donné.

La forme conique peut être réalisée en utilisant plusieurs méthodes suivant les dimensions de la pièce et selon l'équipement du tour :

- par l'excentrage de la poupée mobile
- par l'inclinaison du chariot porte-outil
- par l'utilisation du dispositif pour tournage conique
- par l'usage du dispositif "poulie et câble"
- par l'utilisation de l'outillage de forme.

a - Par l'excentrage de la poupée mobile.

La pièce est conique sur toute sa longueur (fig. 72).

L'excentrage de la poupée mobile est égale à

$$v = \frac{D - d}{2} \quad (\text{approximatif et pour des angles } < 10^\circ)$$

La pièce n'est conique que sur une partie de sa longueur (fig. 73).

L'excentrage de la poupée mobile est égale à

$$v = \left(\frac{D - d}{2} \right) \frac{L}{I}$$

Pour déplacer la contre-pointe de la poupée mobile, il faut lâcher l'écrou T (fig. 75). En lâchant l'une des vis de serrage O et en serrant l'autre O', la partie supérieure de la poupée mobile se déplace transversalement sur la semelle.

Le déplacement est lu sur la face arrière où se trouve gravée, sur la partie supérieure une échelle graduée et sur la semelle il y a un repère portant l'indice 0 (fig. 76).

Remarque : Le procédé d'excentrage de la poupée mobile présente l'avantage de pouvoir usiner la pièce automatiquement; par contre il présente l'inconvénient que la pointe est mal centrée et partant vite abîmée. Le toc se déplace constamment sur le pousse-toc, abîme les centres et laisse des empreintes sur la pièce.

b - Le tournage par inclinaison du chariot porte-outil.

On incline le chariot porte-outil de l'angle α calculé suivant la formule $\text{tg} \alpha = \frac{D - d}{2}$.

Connaissant $\text{tg } \alpha$ on trouve α dans les tables trigonométriques. Si celles-ci font défaut on peut déterminer α (pour des angles $< 10^\circ$) en appliquant les théorèmes de l'arithmétique (fig. 77).

$$\frac{\text{circonférence}}{360^\circ} = \frac{\text{arc}}{\alpha}$$

$$\text{d'où : } \frac{2 \pi l}{360^\circ} = \frac{\frac{D-d}{2}}{\alpha} \text{ ou } \alpha = \frac{360^\circ}{4 \pi} \frac{D-d}{l}$$

$$\alpha = 28^\circ 40' \times \frac{D-d}{l}$$

C - Le dispositif de tournage conique.

Certains tours sont équipés d'un dispositif spécial (fig. 78). Un support A coulisse sur le banc de tour par intermédiaire d'une bride B qu'on peut fixer sur le banc en toute position par le serrage d'écrous.

Une glissière C peut tourillonner sur ce support autour de l'axe D et peut prendre une direction faisant un angle α avec l'axe du tour, donné par le repère en E. Les deux écrous F et G permettent d'immobiliser la glissière dans cette position. La vis H permet d'obtenir le réglage exact de l'angle d'inclinaison. La tringle I est solidaire du chariot et relié au moyen de la coulisse J et du verrou K à la glissière C.

Emploi. Avant la mise en service du dispositif, il faut lâcher la vis L du chariot transversal pour libérer l'écrou de la tige de manoeuvre du chariot. En embrayant le mouvement d'avance automatique, le trainard s'avance sur le banc et la coulisse j se déplace sur la glissière inclinée C. Etant donné que la tringle I est solidaire de la coulisse et du trainard, celui-ci se déplacera suivant la direction de la coulisse. De cette façon, on engendre un cône donc l'angle au sommet sera égal à 2α .

d - Tournage conique au moyen du dispositif poulie-câble (fig. 79).

Cette méthode peut être utilisée pour les cônes longs et à forte conicité qui ne peuvent être usinés par l'excentrage de la contre-pointe en raison de l'excentrage trop considérable et la mauvaise porte des pointes dans le trou de centre. Après avoir enlevé le volant de manoeuvre, on place sur la tige filetée une poulie à câble. Ce câble est fixé à l'extrémité du tour à la même hauteur que la poulie. Après avoir fixé le câble à la poulie on l'enroule de quelques tours sur celle-ci et on le tend. On place le chariot porte-outil exactement à 90° et on met le tour en marche.

Lors du déplacement du chariot, le câble se déroule et fait tourner la poulie, ce qui provoque l'avancement transversal de l'outil.

Suivant le sens de l'enroulement du câble sur la poulie l'avance de l'outil peut se faire dans les deux sens. L'usinage du cône est basé sur le calcul du diamètre de la poulie.

Exemple : Les dimensions d'un cône (fig. 80) sont les suivantes : $D = 80 \text{ mm}$ $d = 60 \text{ mm}$ $l = 500 \text{ mm}$. Le pas de la tige filetée transversale est de 5 mm . Le diamètre du câble = 5 mm . Calculer le diamètre de la poulie.

Solution : Le rapport de conicité est de

$$\frac{\frac{D - d}{2}}{l} = \frac{\frac{80 - 60}{2}}{500} = \frac{10}{500} = \frac{1}{50}$$

50 mm d'avance longitudinale correspond à une avance transversale de 1 mm .

Pour un tour complet de la tige transversale et par conséquent également pour un tour de la poulie avec un pas de 5 mm , nous aurons $5 \times 50 = 250 \text{ mm}$ d'avance longitudinale. La poulie doit donc avoir une circonférence de 250 mm ou un \varnothing de $\underline{250} = 79,6 \text{ mm}$ ou $\underline{+ 80 \text{ mm}}$.

Si on tient compte du \varnothing du câble, nous aurons comme \varnothing de la poulie $80 - 5 = 75 \text{ mm}$.

E - Tournage conique à l'aide d'outillage de forme.

Souvent et surtout lorsqu'il s'agit de petites pièces en grande série, et pour lesquelles la forme conique ne demande une trop grande précision, on utilise d'outillage de forme (fig. 81).

On fait également usage de cet outillage lors du tournage des bandages de roues.

f - Le filetage.

a - Généralités.

Le filetage au tour est le résultat de deux mouvements distincts :

- 1 - d'un mouvement uniforme de rotation de la pièce à fileter.
- 2 - d'un mouvement uniforme rectiligne de l'outil avec une avance déterminée pour chaque tour de la pièce.

Le profil du filet est donné par la forme de l'outil.

Le pas est la longueur sur laquelle se déplace la pointe de l'outil pour un tour complet de la pièce dans le sens longitudinal de celle-ci. Ce déplacement axial est obtenu par la vis-mère qui à son tour commande le chariot et l'outil par l'intermédiaire de l'écrou du chariot.

4.

La vis-mère reçoit elle-même son mouvement du pignon de la broche, le changement de vitesse de rotation est obtenu par les roues dentées de la tête de cheval et de la boîte à engrenages.

b - Calculs des roues dentées.

Soit fig. 82 - -

ou N_u = nombre de tours de la broche de la pièce à fileter égal au nombre de tours de la lère roue menante.

N = " " " de la vis-mère

Z_u = nombre de dents de la lère roue menante montée sur la broche.

Z_1 = " " " lère " menée

Z_2 = " " " 2ème " menante

Z = " " " 2ème " menée " "

la vis-mère.

Le rapport de ces valeurs est de :

$$\frac{N}{N_u} = \frac{Z_u \times Z_2}{Z_1 \times Z} = \frac{\text{nombre de dents des roues menantes}}{\text{menées}}$$

On appelle S_u = le pas de la vis à tailler.
 S = le " " vis-mère.

Si la vis à tailler fait un tour, en appliquant la formule susmentionnée on trouvera que la vis-mère a fait un déplacement angulaire de $Z_u \times Z_2$ tours, et un déplacement

ment dans le sens longitudinal de $\frac{Z_u \times Z_2}{Z_1 \times Z} \times S$.

Mais ce déplacement correspond exactement au pas de la vis à construire, puisque elle n'a fait qu'un tour :

$$\text{Donc } S_u = \frac{Z_u \times Z_2}{Z_1 \times Z} \times S \text{ ou}$$

$$\frac{S_u}{S} = \frac{Z_u \times Z_2}{Z_1 \times Z}$$

On peut écrire en général :

$$\frac{S_u}{S} = \frac{N}{N_u} = \frac{Z_u \times Z_2}{Z_1 \times Z} = \text{Formule de base pour le calcul des roues.}$$

La vis-mère a un filet métrique, généralement aux pas de 3, 6 ou 12 mm, ou bien en filet anglais, généralement 2, 4, 6 ou 8 filets par pouce.

Quand une vis (sans fin) doit engrèner avec une roue dentée, le filet est donné par le module M ou le "Diametral Pitch" de la roue dentée.

$$\begin{aligned}\text{Le module} &= \frac{\text{diamètre primitif}}{\text{nombre de dents de la roue}} \\ &= \frac{\text{pas}}{\pi}\end{aligned}$$

Dans les pays anglo-saxons, le calcul des roues dentées se fait d'après le "Diamétral Pitch" en abrégé D_p .

Le D_p indique le nombre de dents par pouce de diamètre primitif.

$$D_p = \frac{\text{nombre de dents}}{\text{diamètre primitif en pouces.}}$$

Par exemple, une roue dont $D_p = 3$ et le \emptyset primitif = $10''$, aura 30 dents.

Le rapport du "Diamétral Pitch" et le module est de

$$M = \frac{25,4}{D_p}$$

$$\text{puisque } M = \frac{D \text{ (mm)}}{Z}$$

$$D_p = \frac{Z}{D \text{ (pouces)}} \quad \frac{1}{D_p} = \frac{D \text{ (pouces)}}{Z}$$

$$\frac{1 \times 25,4}{D_p} = \frac{D \text{ (pouces)} \times 25,4}{(D \text{ (pouces)} \times Z)} = \frac{D \text{ (mm)}}{Z} = M$$

$$M = \frac{25,4}{D_p}$$

Premier cas :

La vis mère est au pas anglais et possède g filets par pouce.

la) Vis à réaliser de g_u filets par pouce.

$$\frac{S_u}{S} = \frac{Z_u \times Z_2}{Z_1 \times Z}$$

$$\text{mais } \frac{S_u}{S} = \frac{\frac{1''}{g_u}}{\frac{1''}{g}} = \frac{g}{g_u} = \frac{Z_u \times Z_2}{Z_1 \times Z}$$

Exemple : $g_u = 4$ filets / " $g = 10$ filets/"

$$\frac{g}{g_u} = \frac{10}{4} = \frac{100}{40} = \frac{2}{1} = \frac{50}{40} = \frac{90}{45} \times \frac{50}{40}$$

lb) Vis à réaliser au pas métrique = S_u mm.

$$\frac{S_u}{S} = \frac{S_u}{25,4 \text{ mm}} = \frac{S_u \times g}{25,4} = \frac{Z_u \times Z_2}{Z_1 \times Z}$$

Le deuxième membre du dénominateur doit être un multiple de 25,4. En général, on prend $Z = 127$.

6.

Exemple : $S_u = 2 \text{ mm}$. $g = 4 \text{ filets /"}$.

$$\frac{S_u}{S} = \frac{S_{ug}}{25,4} = \frac{2 \times 4}{25,4} = \frac{2 \times 4}{25,4}$$

$$\frac{2 \times 4}{25,4} = \frac{10 \times 4}{5 \times 25,4} = \frac{40}{127} = \frac{40 \times 25}{25 \times 127} = \frac{80 \times 25}{50 \times 127}$$

Si l'on ne dispose pas d'une roue de 127 dents la valeur d'un pouce sera exprimée comme suit :

$$63 \times 25,4 \text{ mm} = 1600,2 \text{ mm}$$

$$\text{ou } 1 \text{ pouce} = \frac{1600}{63}$$

Un pas de $1/2''$ peut donc s'exprimer par $\frac{800}{63} \text{ mm}$
 $1/4''$ " " " $\frac{400}{63} \text{ mm}$

Une vis ayant 5 filets par pouce a donc un pas =

$$\frac{25,4}{5} = \frac{1600}{63 \times 5} = \frac{320}{63} \text{ mm}$$

Exemple : $S_u = 8 \text{ mm}$. $S = 1/4''$

$$\frac{S_u}{S} = \frac{8}{400} = \frac{8 \times 63}{400} = \frac{63}{50} = \frac{70 \times 90}{50 \times 100} \text{ ou } \frac{35 \times 45}{25 \times 50}$$

1c) A tailler une vis sans fin "module".

$$\frac{S_u}{S} = \frac{\pi \times M}{25,4} = \frac{\pi}{25,4} \times M \times g$$

Le tableau fig. 83 donne les valeurs de M

Exemple : $M = 2$ $g = 4 \text{ filets/"}.$

$$\frac{S_u}{S} = \frac{\pi}{25,4} \times 2 \times 4 = \frac{8 \pi}{25,4} = 8 \times \frac{22}{7} \times \frac{1}{25,4}$$

$$= \frac{22}{7} \times \frac{10}{25,4} \times 8 = \frac{22}{7} \times \frac{5}{127} \times 8 = \frac{22}{7} \times \frac{40}{127}$$

$$= \frac{110 \times 40}{37 \times 127} \quad \text{Pour les valeurs de } \frac{\pi}{25,4} \text{ voir tableau fig. 84.}$$

1d) A construire vis sans fin, "Diamétral Pitch (Dp)".

Nous savons que $S_u = \pi \times \text{Module}$.

$$\text{mais le module} = \frac{25,4}{D_p} \text{ donc } S_u = \frac{\pi \times 25,4}{D_p}$$

$$\text{tandis-que } S = \frac{25,4}{g}$$

$$\frac{S_u}{S_g} = \frac{\pi \times 25,4}{D_p} = \frac{\pi g}{D_p}$$

Pour les valeurs de π voir tableau fig. 85.

Exemple : $D_p = 8$ $g = 4$ filets

$$\frac{S_u}{S_g} = \frac{\pi g}{D_p} = \frac{22}{7} \times \frac{4}{8} = \frac{22 \times 4}{7 \times 8} = \frac{110 \times 40}{35 \times 80}$$

Deuxième cas :

La vis-mère est au pas métrique (en mm).

2a) La vis à réaliser est au pas métrique également .

Le solution est simple : $\frac{S_u}{S} = \frac{Z_u \times Z_2 \text{ (menantes)}}{Z_1 \times Z \text{ (menées)}}$

2b) Vis à réaliser gu filets par pouce

$$S_u = \frac{1''}{g_u} = \frac{25,4}{g_u}$$

$$\frac{S_u}{S} = \frac{Z_u \times Z_2}{Z_1 \times Z} = \frac{25,4}{S \times g_u}$$

Pour la valeur approximative de 25,4 voir le tableau fig. 86.

2c) A construire une vis sans fin "module"

Puisque $S_u = \pi M$ on peut écrire :

$$\frac{S_u}{S} = \frac{\pi M}{S} = \frac{Z_w \times Z_2}{Z_1 \times Z}$$

2d) A construire vis sans fin "Diametral Pitsch".

$$S_w = \frac{\pi \times 25,4}{D_p}$$

$$\frac{S_w}{S} = \frac{\pi \times 25,4}{D_p \times S} = \frac{Z_w \times Z_2}{Z_1 \times Z}$$

Pour la valeur de $M \times 25,4$ voir le tableau fig. 87.

Pour les filets Whitworth et métriques, les fournisseurs de machines-outils donnent en général les renseignements nécessaires concernant le choix des engrenages, parfois les tous ont été construits de telle façon qu'une proportion de transmission se réalise facilement.

Il est possible que le rapport $\frac{S_u}{S}$ est égal à une fraction dont le nombre de dents des engrenages n'est pas facile à déterminer.

$$\text{Par exemple : } \frac{S_u}{S} = \frac{197}{254}$$

Nous pouvons décomposer cette fraction suivant la méthode des fractions en chaîne (par d'approchement).

$$\frac{197}{254} = \frac{1}{1 + \frac{1}{3 + \frac{1}{2 + \frac{1}{5 + \frac{1}{5}}}}}$$

On obtient les fractions d'approchement suivantes :

$$\frac{3}{4} (-3,29 \%) ; \frac{7}{9} (-0,28 \%) \text{ ou } \frac{38}{48} (-0,01 \%).$$

Suivent le degré d'approximation désirée on prend un de ces chiffres.

C. Méthode de travail.

Le filet carré.

Ce filet s'obtient très facilement. Il suffit de donner une avance transversale à l'outil en vue de l'obtenir. La forme et les dimensions de l'outil dépendent cependant du pas, du sens de filetage et de l'exécution.

Afin d'obtenir un travail impeccable il faut d'abord dégrossir, puis enlever le métal résiduel à l'aide d'un outil de finition affûté à la largeur exacte du filet à obtenir. Dans le cas du filet simple, la largeur du tranchant sera égale à la moitié du pas de la vis à reproduire; dans le cas du filet à double entrée il aura une largeur égale à $\frac{1}{4}$ du pas.

Sur la figure 88, nous remarquons que l'outil présente une dépouille de 2° vers l'arrière.

Etant donné que les sillons se développent en forme d'hélice, il est nécessaire de prendre l'angle de dégagement auxiliaire proportionnel à l'inclinaison du filet. On le déduit du pas et du diamètre du noyau (fig. 89). Etant donné que l'outil ne peut pas toucher les flancs du filet (en forme d'hélice) on augmente l'angle de dégagement de 3 à 4° .

A cause de la différence de l'angle de dégagement (fig. 90) l'outil a tendance à se déplacer vers la gauche ce qui nuit au bon parachèvement de la pièce.

Pour cette raison, il est préférable de prendre des angles de dégagements égaux et de monter l'outillage comme présenté à la fig. 91.

Les outils à fileter à section circulaire sont très utiles à cet effet; lors du filetage, ils sont montés sur des blocs en forme de V ce qui permet de réaliser un montage rapide et exact de l'outil fig. 92. Dans ce cas, la largeur du tranchant de l'outil est inférieure à la moitié du pas ce qui est visible à la fig. 91.

Les mêmes règles sont de rigueur pour le filet carré intérieur. Le montage de l'outil se fait suivant fig. 93.

Le filet triangulaire.

Le filet extérieur.

Le profil de l'outil dépend du système de filetage que

l'on veut réaliser. L'angle de dépouille dépendra de l'inclinaison des sillons (fig. 94). Le filet triangulaire peut être obtenu par différents procédés.

1er procédé : Le filet est obtenu en donnant à l'outil un serrage transversal perpendiculairement à l'axe de la pièce

- a) pour des filets peu profonds
- b) pour les métaux à copeaux non cohérents (bronze laiton, fonte)

2ème procédé : Le filet est obtenu en donnant à l'outil un serrage longitudinal (fig. 94). Les premiers copeaux sont enlevés par un serrage transversal (1, 6 et 9) les suivants en donnant à l'outil un serrage longitudinal.

Inconvénient.

Cette méthode exige un réglage précis et un contrôle de la profondeur de l'outil; opérations qui prennent beaucoup de temps de sorte que cette méthode n'est plus utilisée que pour l'exécution de quelques pièces.

3ème procédé : Pour l'exécution d'un filet métrique ou Whitworth on place le support respectivement sous un angle de 60 à 55° ce qui correspond à un déplacement de 30 à $27,5$ par rapport à la tige filetée transversale (fig. 95). On place un arrêt contre lequel vient buter le chariot transversal.

Après chaque passe on donne le serrage avec le chariot porte-outil.

Etant donné que l'outil ne coupe que sur un tranchant, l'évacuation des copeaux se fera régulièrement et l'angle de dégagement pourra être pris plus grand.

Montage de l'outil.

La pointe de l'outil se meut à la hauteur des centres. Une différence de hauteur donne une erreur dans les angles de flanc. La position de l'outil est contrôlée au moyen d'un calibre (fig. 96 et 97).

Filet intérieur.

Pour le filet intérieur, les mêmes règles que ci-dessus sont de rigueur. Le montage de l'outil se fait comme pour le filet carré inférieur.

Exécution d'autres types de filets.

a) Le filet trapézoïdal droit. Il est obtenu en deux opérations. La première opération est identique à celle pour l'obtention du filet droit, la deuxième se fait à l'aide d'un outil affûté à 45° (fig. 98).

b) Le filet trapézoïdal isocèle.

Il est obtenu à l'aide d'un outil droit et un outil de

10.

forme. Les deux flancs peuvent être obtenus séparément ou simultanément (fig. 99).

c) Le filet rond . Il est également obtenu en 2 opérations. La première opération consiste à creuser le filet jusqu'au diamètre du noyau à l'aide de l'outil n° 1, ensuite on fait l'arrondi à l'aide de l'outil 2. (fig. 100).

Remarque.

1°) Le filetage se fait également sur des machines spéciales à fileter.

2°) Les filets peuvent être obtenus en roulant le boulon entre deux matrices (fig. 101).

Cours 1217 bis
5e leçon

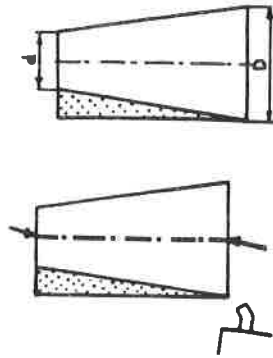


Fig. 72

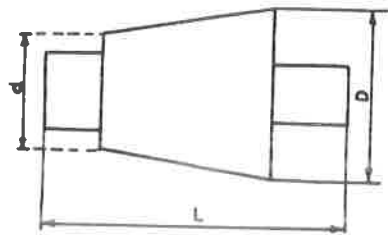


Fig. 73

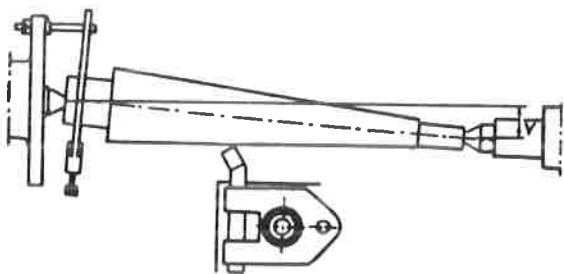


Fig. 74

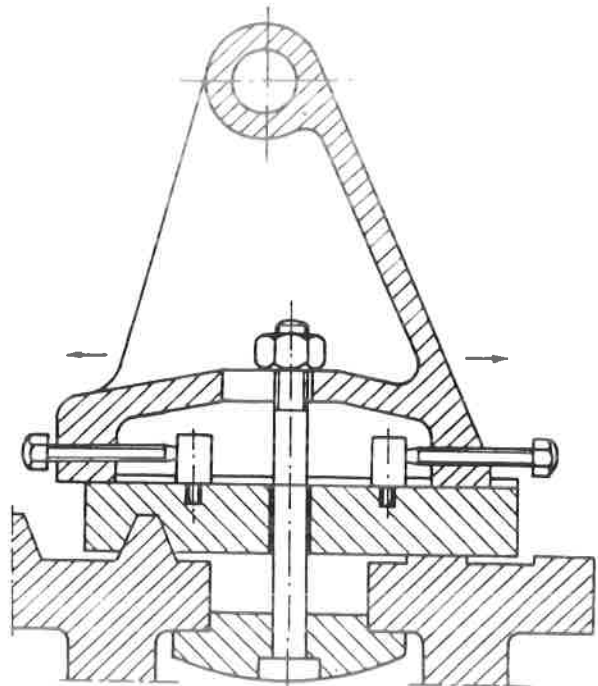


Fig. 75

102.8/410. 00. 051 (75)

C. 1217^{bis}/2217^{bis}
5^eL.

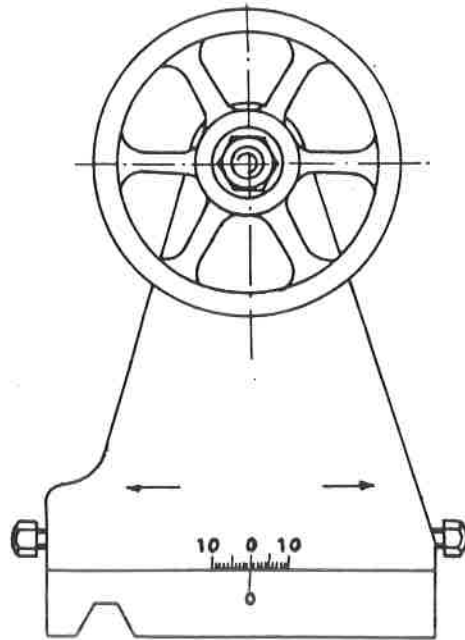


Fig. 76

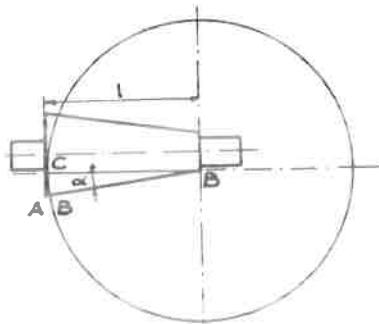


Fig. 77

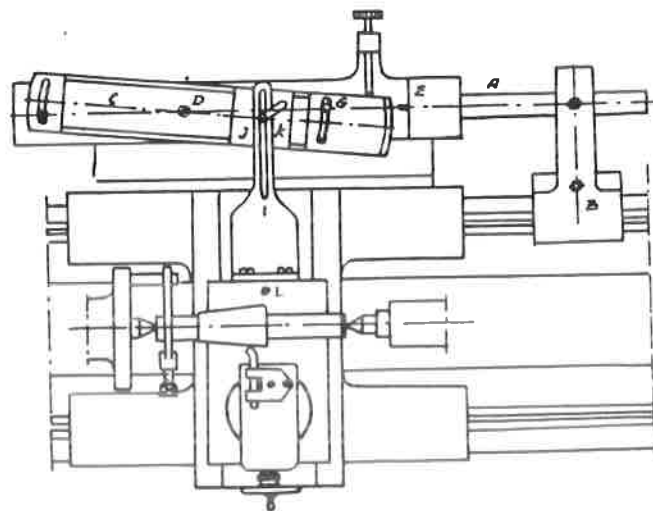


Fig. 78

C.1217^{bis}/2217^{bis}
5°L.

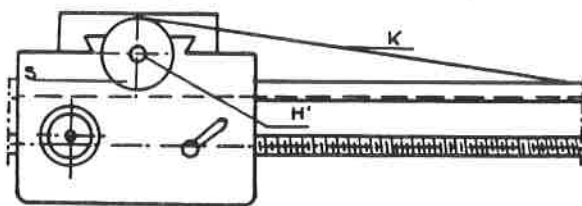


Fig. 79

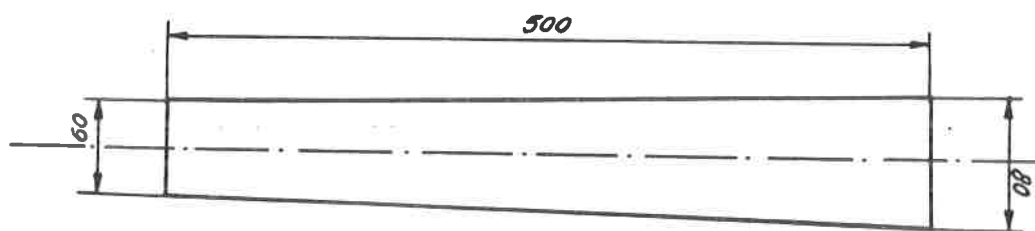


Fig. 80

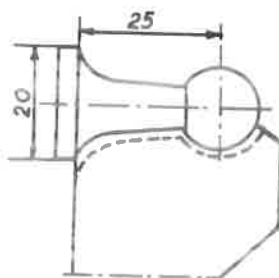


Fig. 81

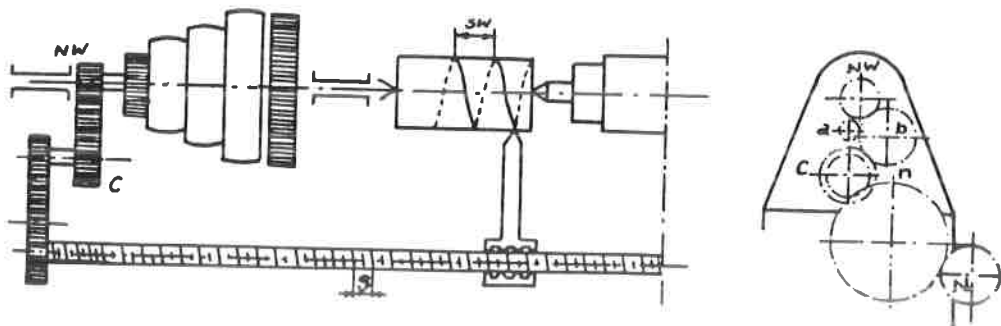


Fig. 82

M	πM	M	πM
0.3	0,942.477,8	3	9,424.778,1
0.4	1,256.637,1	3,25	10,210.176,3
0.5	1,570.796,4	3,5	10,995.574,5
0.6	1,884.955,6	3,75	11,780.972,6
0.7	2,199.114,9	4	12,566.370,8
0.8	2,513.274,2	4,5	14,137.167,2
0.9	2,827.433,4	6	15,707.963,5
1	3,141.592,7	5,5	17,278.759,9
1.25	3,926.990,9	6	18,849.556,2
1.5	4,712.389,1	6,5	20,421.352,6
1.75	5,497.787,2	7	21,991.148,9
2	6,283.185,4	8	25,132.741,6
2.25	7,068.583,6	9	28,274.334,3
2.5	7,853.981,8	10	31,415.927,0
2.75	8,639.379,9	11	34,557.519,7

Fig. 83

Proportions	Verwezelikte waarden van $\frac{\pi}{254}$ = 0,123.684,8	Approximation
5 x 9 <u>86 x 14</u> 23 <u>6 x 31</u> 47 <u>4 x 95</u> 5 x 19 <u>32 x 24</u> 12 <u>97</u> 28 x 5 <u>7 x 127</u> 13 <u>7 x 15</u>	0,123.626,4 0,123.655,9 0,123.684,2 0,123.697,9 0,123.711,3 0,123.734,5 0,123.809,5	- 0,472 - 0,234 - 0,005 + 0,106 + 0,214 + 0,402 + 1,008
Verhoudingen	Valeurs realisees de	Benedering

Fig. 84

PROPORTIONS QUI REALISENT APPROXIMATIVEMENT LE NOMBRE π
VERHOUDINGEN DIE HET GETAL π BIJ BENADERING VERWEZELÛKEN

Proportions Verhoudingen	Valeurs réalisées de Verwezelijkte waarden $\pi = 3,141,592,7$	Approximation 0/100 Benadering 0/100
$\frac{22}{7}$	3,142.857.1	+ 0,402
$\frac{32 \times 27}{25 \times 11}$	3,141.818.1	+ 0,072
$\frac{19 \times 21}{127}$	3,141.732.2	+ 0,044
$\frac{25 \times 47}{22 \times 17}$	3,141.711.2	+ 0,038
$\frac{8 \times 97}{13 \times 19}$	3,141.700.4	+ 0,034
$\frac{13 \times 29}{4 \times 30}$	3,141.666.6	+ 0,024
$\frac{5 \times 71}{113}$	3,141.592.9	+ 0,000
$\frac{5 \times 49}{6 \times 13}$	3,141.025.6	- 0,181
$\frac{157}{50}$	3,140.000.0	- 0,507

Fig. 85

Proportions Verhoudingen	Valeurs réalisées d'un pouce = 25,4 Verwezelijkte waarden van duim = 25,4	Approximation 0/100 Benadering 0/100
$\frac{127}{5}$	25,400.000.0	0,000
$\frac{18 \times 24}{17}$	25,411.754.7	+ 0,463
$\frac{40 \times 40}{7 \times 9}$	25,396.825.4	- 0,125
$\frac{11 \times 30}{13}$	25,384.615.4	- 0,606
$\frac{89 \times 125}{73 \times 6}$	25,399.543.0	- 0,018

Fig. 86

VALEURS APPROXIMATIVES DE 25,4T
BENADERENDE WARDEN VAN 25,4 T

<p>Proportions</p> <p>Verhoudingen</p>	<p>22 x 127</p> <hr/> <p>7 x 5</p> <hr/> <p>21 x 49</p> <hr/> <p>5</p> <hr/> <p>10 x 17 x 23</p> <hr/> <p>7 x 7</p> <hr/> <p>48 x 128</p> <hr/> <p>7 x 11</p> <hr/> <p>30 x 125</p> <hr/> <p>47</p> <hr/> <p>22 x 330</p> <hr/> <p>7 x 15</p> <hr/> <p>27 x 65</p> <hr/> <p>2 x 11</p>	<p>79,828.571.4</p> <p>79,800.000.0</p> <p>79,705.918.4</p> <p>79,792.207.8</p> <p>79,787.234.0</p> <p>79,780.219.8</p> <p>79,772.727.3</p>	<p>25,4T = 79,706,454,6</p> <p>Verzamelikte waarden</p> <p>25,4T = 79,796,454,6</p>	<p>Approximation olo</p> <p>Benadering Olo</p>	<p>+ 0,402</p> <p>+ 0,014</p> <p>- 0,007</p> <p>- 0,053</p> <p>- 0,116</p> <p>- 0,203</p> <p>- 0,297</p>
--	--	---	---	--	--

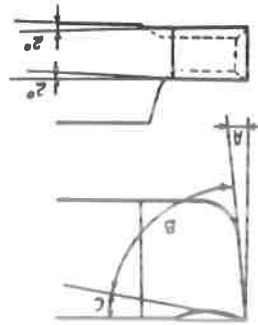


Fig. 87

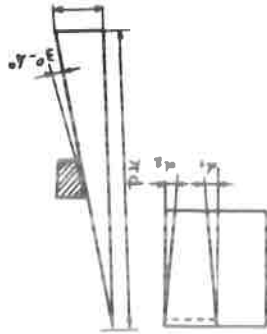


Fig. 88

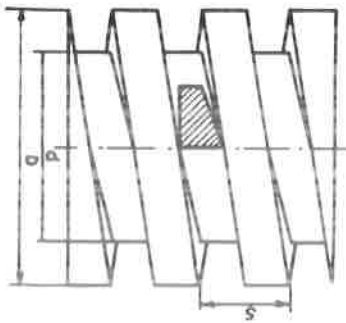


Fig. 89

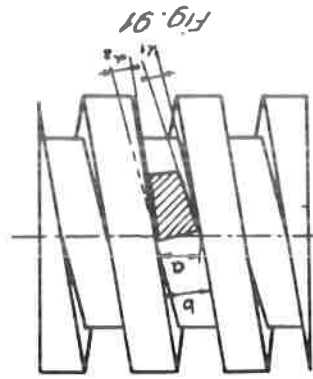


Fig. 90



Fig. 91

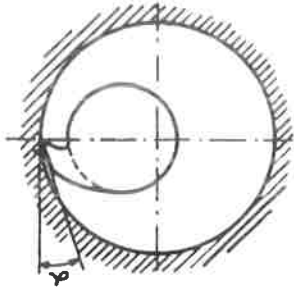


Fig. 92

Fig. 101

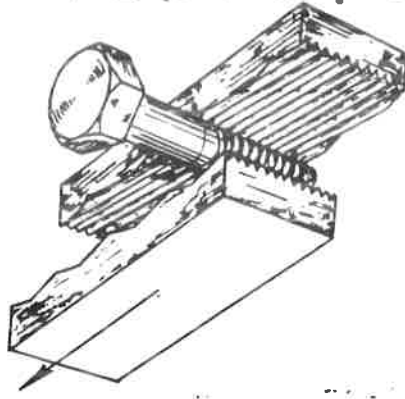


Fig. 100

Fig. 99

Fig. 98

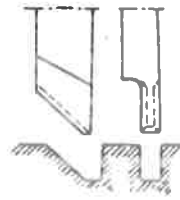
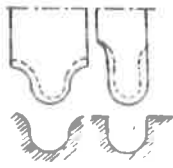


Fig. 97

Fig. 96

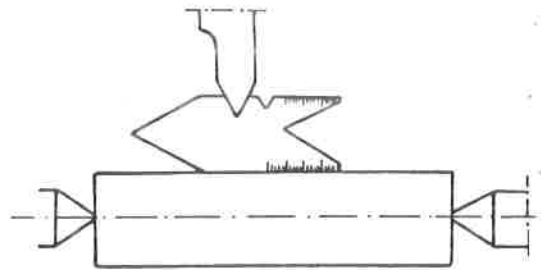
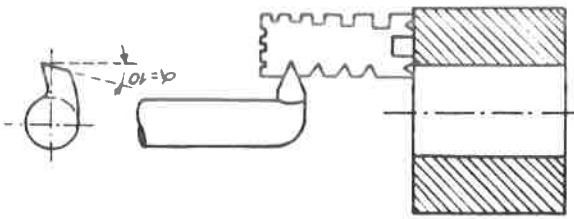
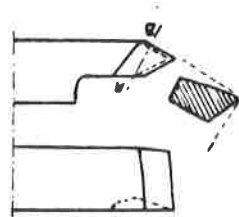
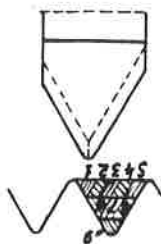
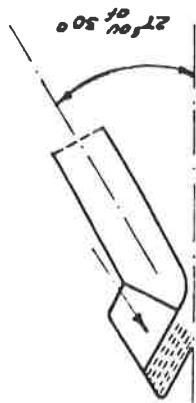


Fig. 95

Fig. 94



§ 4. Ajustage.

Introduction.

La forte concurrence sur le marché mondial et l'aspiration à l'amélioration du standing de vie par une production toujours accrue, incitent les industriels à réduire au strict minimum les travaux d'ajustage qui sont pour la plupart des travaux manuels.

Ces réductions doivent être envisagées dans le sens le plus large :

- 1°. par l'examen de la nécessité d'une opération - voir si elle est absolument nécessaire et si elle ne peut être simplement supprimée ;
- 2° par diminution de l'importance des opérations en modifiant la forme des pièces ;
- 3° par la recherche des modes d'exécution les plus directs et les plus rapides.

Il faut le plus possible éviter le travail manuel et le mécaniser.

A. - Traçage.

Le traçage doit être supprimé au maximum :

- a) par l'emploi de repères fixes sur les machines-outils qui assurent l'usinage précis et identique des pièces;
Exemple : utilisation des jauges et butées sur les scies, les cisailles et les machines à plier.
- b) l'usinage sur calibres (calibres de forage par ex.) les calibres de forage peuvent eux-mêmes être usinés sans traçage préalable sur les machines à pointer ;
- c) l'usinage direct sur calibre ou modèle (machines à conier).

Lorsque par suite de la forme spéciale des pièces ou la moindre importance de la série, un traçage reste nécessaire, on doit le plus possible avoir recours à l'emploi de calibres de traçage (voir cours d'outillage).

Tel est le cas pour des tôles, des profilés et des constructions métalliques courantes.

Le traçage des pièces forgées et coulées nécessite l'application de règles bien déterminées.

1°. Préparation au traçage.

Les trous et cavités importants doivent être surplombés de lattes en bois dur solidement fixées.

Les centres devant servir au traçage de plusieurs circonférences et arcs de cercle seront apportés sur des petites appliques en zinc fixées sur le bois.

Les pièces seront au préalable enduites de chaux ou de blanc d'Espagne.

2°. Montage des pièces.

Les pièces sont généralement placées sur un marbre de traçage et supportées par des engins appropriés - crics, coins fixes et réglables (parfois sur des plateaux diviseurs).

Il y a lieu de prendre en considération les points suivants :

- a) Le plan doit être lu avec attention; noter les parties qui doivent être tracées en premier lieu;
- b) déterminer le premier montage et le moyen de contrôle;
- c) placer la pièce de telle façon qu'elle soit accessible de tous côtés ;
- d) prévoir un montage réglable; de préférence soutenir la pièce en 3 points ;
- e) choisir comme plan de référence un plan parallèle ou perpendiculaire au marbre ;
- f) tracer, en premier montage, tous les axes et plans parallèles à usiner. Ne rien oublier.
- g) ne pas interrompre un montage avant d'avoir déterminé le montage suivant ;
- h) on trouve les centres après traçage des plans d'axes et des parties à usiner ;
- i) le poinçonnage des centres n'est effectué qu'après un dernier contrôle des entre-axes.

Même dans ces cas le traçage complet n'est plus nécessaire. On peut se borner à tracer les axes indispensables au montage de la pièce dans des appareils de montage spécialement conçus pour le travail en série.

B. - Le forage.

Il y a lieu de réduire les opérations de forage en

remplaçant les modes d'assemblage anciens (rivetage, boulonnage) par des assemblages modernes (soudure - sertissage).

Si le forage est nécessaire, il faut utiliser les ca- libres de forage pour les grandes séries ou pour les pièces dont la fabrication se répète régulièrement.

On utilisera suivant la nature des pièces :

- les foreuses sur colonnes,
- les foreuses radiales,
- les foreuses portatives électriques et pneumatiques.

Dans le cas des machines fixes, on se servira de préférence de supports appropriés aux pièces à usiner.

L'emploi des foreuses à main sera évité.

Forage d'un trou.

Les mauvais forages peuvent avoir généralement 3 causes différentes :

- a) travail mal soigné;
- b) manque d'homogénéité de la matière;
- c) outillage défectueux, mal entretenu.

1. Manque de soin au forage même.

Sont à considérer en premier lieu : le mauvais tra- çage et le mauvais pointage du trou.

a) Le traçage doit être fait soigneusement au moyen de traits fins. Le pointeau doit être affûté bien concentri- quement; lors du pointage, il doit être tenu bien droit et à l'endroit exact.

Le point doit être suffisamment profond et large, compte tenu de la mèche à utiliser, pour que celle-ci soit bien guidée au début de l'opération.

L'idéal serait d'utiliser toujours des machines à pointer. Ces machines sont toutefois trop coûteuses et le travail est trop lent pour que leur emploi se justifie aux travaux courants. Tous les ateliers ne disposent d'ailleurs pas d'une telle machine.

b) Tout le monde sait que la pointe d'une mèche montée sur la machine ne tourne pas toujours bien rond.

Les trépidations de la machine, le jeu sur la bro- che, les défauts du mandrin et les légères défor- mations de la mèche en sont les causes.

Il y a lieu de supprimer ces défauts si l'on ne veut pas forer des trous mal axés ou trop grands et si l'on veut éviter de casser des mèches.

c) Le plan de la pièce doit être perpendiculaire à l'axe du trou à forer. Sinon on procédera au dressage de ce plan par burinage ou meulage.

Les figures 102 et 103 montrent respectivement une mauvaise et une bonne préparation.

d) durant le forage, la pièce doit être fixée rigidement.

2. Manque d'homogénéité du métal à usiner.

Il arrive que nonobstant toutes les précautions prises, la mèche dévie de l'axe du trou à forer.

Cela se produit plus fréquemment lors du forage de la fonte, parfois aussi dans l'acier lorsque celui-ci présente des points durs.

La meilleure méthode pour atténuer ce phénomène consiste à faire tourner la mèche plus vite et à diminuer l'avance par tour.

3. Outillage défectueux.

La mèche doit être affûtée le plus correctement possible (voir cours d'outillage : emploi des machines à affûter). Il y a lieu de veiller à un bon arrosage pour éviter la perte de dureté. Le maintien en bon état des mandrins porte-mèches, de leurs griffes et des cônes est d'une importance capitale pour la bonne qualité des forages.

Il suffit d'une petite déformation d'une griffe pour que la mèche soit excentrée. Ces déformations proviennent souvent d'un serrage trop fort avant que la mèche ne soit exactement en place (fig. 105).

Les cônes ne peuvent être placés sur des objets durs ni cogner contre ceux-ci.

Les vitesses de coupe et avances correctes doivent toujours être rigoureusement observées.

C. - Le limage.

Cette opération doit autant que possible être supprimée et remplacée par usinage mécanique :

- 1) parce que le limage est difficile et fatigant ;
- 2) parce qu'il fait perdre du temps.

Le progrès de la technique, de la construction et de l'utilisation des machines-outils a permis à l'heure actuelle d'obtenir, par usinage, des précisions allant jusqu'à 0,001 mm.

La tâche de l'ajusteur a donc été sérieusement allégée puisqu'il ne doit plus guère faire autre chose qu'assembler les pièces usinées mécaniquement. Dans certains cas il devra donner un coup de lime ou faire une retouche au grattoir pour exécuter un ajustage précis.

Les réparations pour lesquelles il a été prouvé que le remplacement d'une pièce usée par une pièce neuve est plus onéreux et l'obtention de formes difficilement réalisables par usinage justifient parfois l'utilisation de la lime. Il est toutefois nécessaire dans ces cas, de réduire le nombre de coups de lime au strict minimum en préfabriquant la pièce à la machine jusqu'aux dimensions limites réalisables.

Les moyens mis à notre disposition sont très nombreux et très variés : nous pouvons exploiter toutes les possibilités d'application des machines-outils classiques, des machines spéciales et des outillages portatifs.

Il y a lieu de s'inspirer des considérations générales suivantes :

1) Les machines à raboter et étaux limeurs permettent l'usinage de formes variées avec une précision parfois très poussée.

Ces machines ont toutefois des "portées" et des capacités moins importantes que les fraiseuses, il y a donc lieu de donner une préférence à l'emploi de ces dernières.

2) Les fraiseuses et les aléseuses ont de grandes possibilités, elles permettent l'exécution de travaux précis et des degrés de parachèvement poussés. Elles se prêtent bien à l'utilisation d'outillage en aciers spéciaux et des carbures métalliques qui permettent une production accrue.

3) Les scies verticales à découper les métaux et les machines à limer peuvent rendre de grands services au matricier.

Ces scies (fig. 106) permettent l'ébauchage intérieur et extérieur de matrices compliquées (matrices de découpage par ex.).

Le découpage intérieur exige le sectionnement de la lame de scie. Celle-ci est introduite dans un trou préalablement foré; elle est ensuite resoudée bout à bout sur une petite machine à souder par résistance et la soudure est meulée sur une petite meule émeri (les deux équipements sont montés sur le bâti de la scie verticale). La lime est remontée en position correcte et le contour de la matrice est scié le plus exactement possible.

Le parachèvement ultérieur peut être exécuté sur des machines à limer tandis que l'ajustage final se fait à la lime ordinaire.

Lors de la fabrication des matrices de forme (matrice de forgeage p. ex.) l'évidement peut être ébauché sur les fraiseuses verticales et horizontales. Le parachèvement, qui est parfois très difficile, peut être facilité par l'emploi de petites fraiseuses et meuleuses électriques portatives (fig. 107) sur lesquelles sont fixées des petites fraises et meules de formes appropriées.

4) Dans les ateliers de constructions, on utilise beaucoup les meuleuses portatives électriques ou pneumatiques. Ces machines suppriment l'ajustage ou le réduisent dans une forte mesure.

5) Le sciage à la main ne se justifie plus que dans des cas exceptionnels. Différents types de machines à scier sont à la disposition de l'ouvrier; la scie verticale à ruban fig. 106 est une machine universelle présentant des possibilités très variées.

D.- Le taraudage et le filetage.

a) Le taraudage à la main doit être évité. Cette opération se justifie encore en réparation.

Le diamètre du trou avant taraudage sera légèrement plus grand que le diamètre intérieur du filet à tailler; ceci pour tenir compte du "gonflement" du métal.

On utilise une des formules suivantes :

$$d = D - S \text{ pour taraudage ordinaire}$$

$$d = D - 1,25 S \text{ pour taraudage précis}$$

dans lesquelles :

$$d = \text{diamètre du trou préforé}$$

$$D = \text{diamètre théorique du fond de filet}$$

$$S = \text{pas de filet.}$$

Quelques règles à observer :

1) Le taraudage à la main s'effectue à l'aide des tarauds suivants :

- N° 1 taraud ébaucheur,
- N° 2 taraud intermédiaire,
- N° 3 taraud finisseur.

2) Pour le taraudage à la machine, on utilise des tarauds pour machine à dents détalonnées ;

- 3) Les tarauds doivent être graissés avant l'opération ;
- 4) Lors du taraudage à la main on aura soin de tourner le taraud alternativement dans les deux sens avec de plus petites rotations rétrogrades pour casser les copeaux et faciliter ainsi leur évacuation ;
- 5) Les tarauds détalonnés doivent toujours tourner dans le sens du taraudage ;
- 6) Le taraudage des trous bornes se fait à l'aide d'un appareil genre "PEARNS" (voir cours d'outillage).

b) Le filetage.

Cette opération doit se faire de préférence :

- sur les machines à fileter pour tous les travaux en série ou peu précis ;
- sur le tour pour les travaux précis ;
- à la main pour les travaux peu précis lorsque l'une des méthodes précédentes ne peut être appliquée. (montage difficile - série trop petite, etc.).

Le filetage sur machine s'effectue à l'aide de têtes automatiques (Acme ou Landis) (voir cours d'outillage).

Lors du filetage à la main, il y a lieu de veiller aux points suivants :

- 1°. Partir d'une tige ou d'un cylindre dont le diamètre est de 1/20 inférieur au diamètre extérieur nominal du filet à tailler. L'extrémité par où commence le filetage sera légèrement conique sur 10 mm de longueur pour faciliter l'engagement de la filière.
- 2°. Prendre une filière fixe (fig. 111) si l'on veut former le filet en une seule passe (travail plus rapide mais moins précis).
- 3°. Utiliser une filière réglable (fig. 112) pour travail plus précis. Ces filières permettent l'obtention d'un filet dont le diamètre extérieur est légèrement plus grand ou plus petit que le diamètre extérieur nominal.

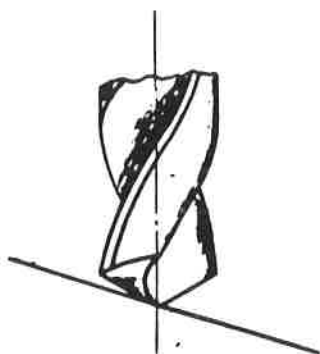


Fig. 102
Slecht
Mauvais

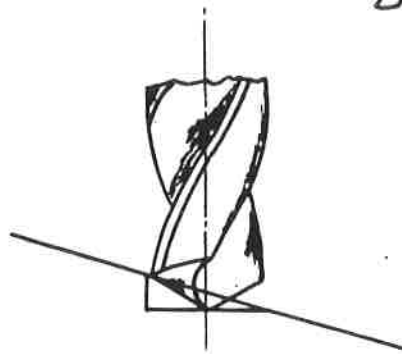


Fig. 103
Goed
Bon



Fig. 104



Fig. 105

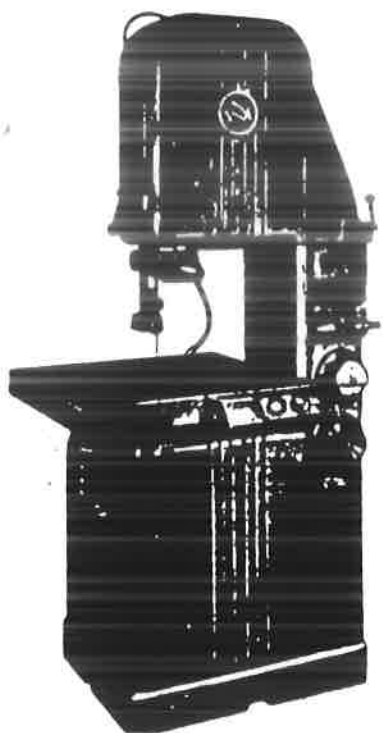


Fig. 106

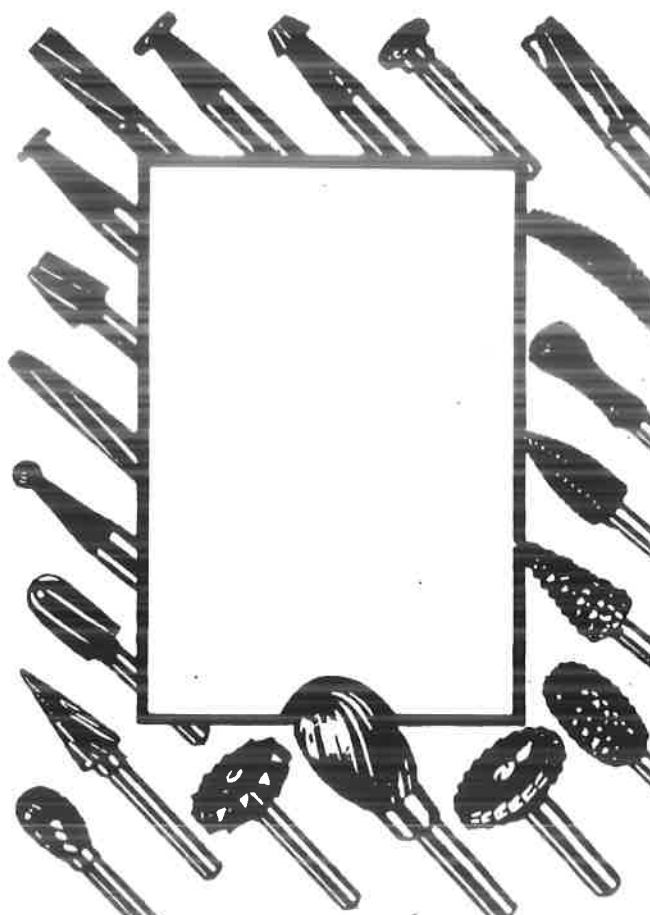


Fig. 108

INDUSTRIE. 0. 61. (75)

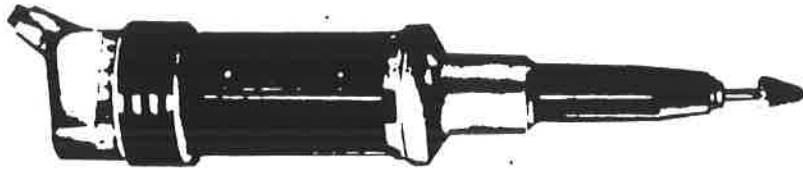


Fig. 107

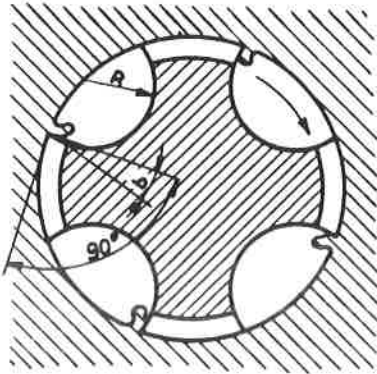


Fig. 109

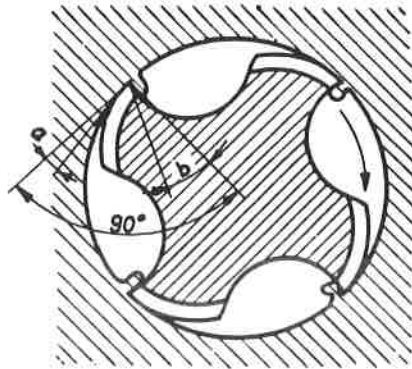


Fig. 110

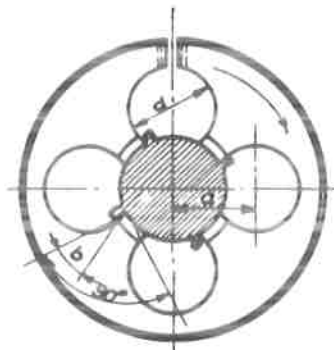


Fig. 111

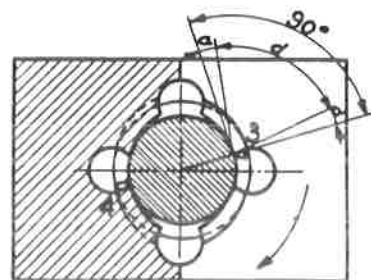
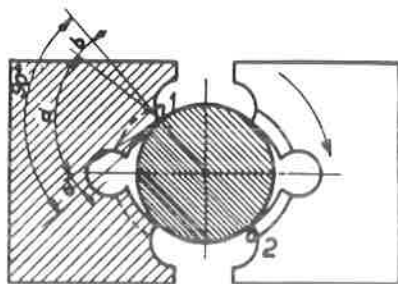


Fig. 112

Begin van het draadtrekken
 Au début du filetage

Einde van de bewerking
 En fin de filetage

7ème leçon.

Paragraphe 5. - TRAVAIL DE LA TOLE, DES PROFILES ET DES TUBES.

Travail de la tôle.

Généralités.

L'ouvrier tôleur travaille la tôle métallique d'une épaisseur jusqu'à 3mm. Le travail de la tôle plus forte se fait à la chaudronnerie.

A. Différentes sortes de tôles.

1) La tôle d'acier : elle est fournie sous forme de ce qu'on appelle "la tôle noire", c'est-à-dire telle qu'elle est fabriquée par les laminoirs ordinaires. "La tôle blanche" est une tôle décapée à l'acide et laminée à froid.

On les utilise comme suit :

a) Tôle étamée (fer-blanc).

La tôle noire, d'une épaisseur maximum de 0,5mm., est débarrassée de ses couches de calamine, trempée dans un bain d'étain et laminée à froid pour obtenir une surface lisse et luisante.

b) Tôle étamée ordinaire.

Cette tôle a au moins 0,5mm. d'épaisseur; elle n'est plus laminée après étamage.

c) Tôle plombée.

Même processus que ci-dessus; toutefois, ici, les couches d'étain sont remplacées par des couches de plomb (en total + 0,5 kgr. par m² sur les deux faces). La tôle plombée étant moins chère que la tôle étamée, trouve des applications industrielles plus nombreuses.

d) Tôle galvanisée.

Dans ce cas la couche protectrice est formée par le zinc.

La tôle galvanisée par voie électrolytique est plus lisse que la tôle galvanisée à chaud. Elle laisse des traces blanches lorsqu'on y passe la main.

Cours 1217bis.

La galvanisation ordinaire comporte 0,500 Kg. par m².

La tôle galvanisée à raison de minimum 900 gr. par m² est dite "galvanisée riche à chaud".

e) Tôle d'acier pour travail de poinçonnage, d'emboutissage et d'estampage.

Pour ces travaux, on utilise souvent l'acier Siemens Martin et parfois l'acier Thomas, moins cher.

Ces tôles se vendent dans le commerce en différentes qualités correspondant au travail à effectuer.

La qualité "poinçonnage" est une tôle hors de laquelle l'on poinçonne des objets plats qui ne subissent aucun étirage, ni pliage. C'est une tôle moins chère n'ayant que peu d'allongement et étant plus dure.

La qualité "estampage - emboutissage" est une tôle homogène douce et tenace avec une résistance de 40 - 42 kg/mm² et un allongement de 32 - 34 %.

La tôle acquiert ces qualités par recuit en vase clos.

Après laminage, ces tôles sont coupées à dimensions commerciales et empilées jusqu'au bord dans de grandes caisses en acier moulé.

Ces caisses sont fermées par des couvercles métalliques et les joints sont colmatés par de l'argile.

La caisse remplie (+ 2,5 m. x 1,5 m. x 1 m.) est roulée dans le four sur des rouleaux en acier et chauffée à 700°. Elle est maintenue à cette température durant 16 à 20 heures. Ensuite, on la retire du four et on laisse revenir lentement à la température ordinaire sans l'ouvrir.

Quand on a pris soin de bien fermer les joints, il ne se forme aucune batture.

Lorsque la fabrication nécessite des emboutissages répétés, il est parfois nécessaire de procéder à des recuits intermédiaires à 700° pour remettre le métal dans son état initial de douceur et de tenacité.

Pour la construction du matériel de chemin de fer qui doit résister à la formation de la rouille, on utilise souvent de l'acier faiblement allié au cuivre et au chrome. Nous citons ici l'acier Bel-cor-ten qui est un acier à résistance accrue (voir tableau fig. 113).

2) Tôle de cuivre.

Ces tôles se vendent dans le commerce avec deux faces mates - une face ou deux faces polies.

On les trouve en quatre qualités :

- extra-doux pour joints;
- doux pour travaux de repoussage;
- mi-dur pour construction courante et pliage ordinaire;
- laminé dur pour constructions rivées qui doivent présenter une certaine rigidité.

3) Tôle de zinc.

L'épaisseur de ces tôles est exprimée en chiffres et non pas en mm. (voir tableau fig. 114). Le zinc pur est moyennement dur à la température ordinaire et est assez fragile.

Chauffé à 100 - 160°, il se laisse facilement déformer.

Pour obtenir des objets exempts de crics ou fissures, on préchauffera toujours les feuilles avant de les soumettre à l'emboutissage.

On notera que la résistance à la rupture du zinc est supérieure dans le sens perpendiculairement au laminage que dans ce sens (25 kgr/mm² contre 19 kg/mm²).

4) Tôles en alliages divers.

On trouve dans le commerce des tôles de différents alliages : laiton - zinc - nickel - etc. qui sont utilisées à des fins bien déterminées.

5) Tôles en aluminium et en alliages d'aluminium.

La résistance à la traction diminue avec l'augmentation du degré de pureté de l'aluminium - l'allongement au contraire augmente avec la pureté.

Ces propriétés changent beaucoup en ajoutant du Mg - Si et Cu.

Les alliages d'Al les plus utilisés à la S.N.C.B. sont énumérés, avec leurs caractéristiques principales, dans le tableau fig. 115.

Cours 1217bis
7ème leçon

B. Le cisailage et le poinçonnage.

1) Calcul de l'effort.

La force nécessaire pour cisailier ou poinçonner dépend de la résistance au cisaillement du métal mis en oeuvre, de la section à couper en un seul coup, et de l'angle de coupe de l'outil.

Lorsqu'on coupe une tôle avec des couteaux parallèles (fig.116), la force à appliquer est de :

$$P = k.S. R_s$$

dans laquelle P = la force

k = paramètre dépendant de l'angle de coupe des lames

S = section coupée en un coup

R_s = résistance au cisaillement de la tôle (voir tableau 117 qui donne la résistance au cisaillement de quelques métaux).

Prenons comme exemple (fig.116).

$$R_s = 50 \text{ kg/mm}^2$$

$$e = 3\text{mm.}$$

$$L = 200\text{mm.}$$

$$P = k \times 200 \times 3 \times 50 = 30.000 \text{ Kg (pour } k = 1)$$

Si l'on coupe la tôle sur une machine dans laquelle la lame supérieure est inclinée sur l'horizontale (généralement de 5 à 12°), l'effort nécessaire diminue sensiblement; ce qui permet d'utiliser des machines de construction moins lourde.

Prenons l'exemple de la fig. 118 (même tôle que dans le cas précédent).

$$P = k S R_s = k l \frac{e}{2} R_s$$

$$= k \frac{e}{\tan 8^\circ} \times \frac{e}{2} \times R_s = 1575 \text{ kg (pour } k = 1)$$

Le poinçonnage de trous exige un effort P tel que (fig.119).

$$P = D \times \pi \times e \times R_s$$

dans laquelle D = diamètre du trou

e = épaisseur de la tôle

R_s = résistance au cisaillement.

Pour réduire au minimum l'effort de poinçonnage, il y a lieu de prendre certaines précautions :

- utiliser le moins possible la forme de la fig.116 (angle de coupe = 90°).

La lame inférieure coupe normalement sous 90° tandis que la lame supérieure est affûtée sous un angle de 75 à 80° (fig.120), ce qui évite la déformation de la tôle coupée.

- il faut laisser un jeu entre les lames qui, d'après l'épaisseur des tôles, varie entre 0,2 et 0,5mm.

Ce réglage de jeu est indispensable sur les machines dont les lames sont animées d'un mouvement de translation simple.

Certaines machines coupent suivant un arc de cercle; dans ce cas, il ne peut y avoir que le jeu strictement nécessaire au passage des lames et, cela, pour n'importe quelle épaisseur de tôle.

- les lames doivent avoir un bon tranchant; on aura soin de les graisser.

Lors du poinçonnage, il y a lieu de maintenir un jeu entre le poinçon et la matrice ou le support.

Ce jeu dépend de l'épaisseur de la tôle à poinçonner; il est de 0,1 + 0,045 e pour le travail ordinaire.

e (épaisseur à poinçonner)

Le poinçonnage d'un trou de 20mm. dans une tôle de 10mm, exige un poinçon de 20 et une matrice de

$$20 + 0,1 + (0,045 \times 10) = 20,55\text{mm.}$$

Pour les dimensions de l'outillage : voir les standards fig.121 et tableau 122.

Le trou poinçonné est toujours plus petit que le poinçon. Ceci est dû au fait que le poinçon ne coupe pas parfaitement et qu'il refoule le métal lors de son passage. Ce refoulement étant élastique - le métal revient après poinçonnage.

Ce phénomène est d'autant plus prononcé que le métal est plus épais, la vitesse de poinçonnage plus élevée et le poinçon ^{vif.}
_{moins}

Pour dégager la tôle, il faut utiliser le dispositif 123.

2) Machines utilisées.

Le découpage de petites quantités de tôle de dimensions réduites se fait sur des cisailles à main, des petites cisailles mécaniques ou à l'aide de cisailles électriques portatives.

Les petites cisailles permettent aussi bien le coupage des tôles que celui des larges plats. Les lames sont montées dans le prolongement du bâti de telle sorte que les parties cisailées de la tôle se dégagent de part et d'autre du bâti. D'un côté, la tôle se dégage horizontalement tandis que de l'autre côté le morceau cisailé fléchit vers le bas (fig.124).

De cette façon la machine peut couper des tôles de toutes longueurs et de toute largeur.

On utilise souvent des machines qui réunissent sur un seul bâti la poinçonneuse, la cisaille à tôles et la cisaille à profilés.

Pour découper rapidement des tôles en série, la meilleure machine qu'on peut utiliser est la cisaille guillotine. C'est une machine qui coupe la tôle sur toute sa longueur en un seul coup. La lame de cette machine est donc nécessairement plus longue que la tôle à couper.

La cisaille guillotine se caractérise par la rapidité et la précision du travail fourni. Elle est conçue spécialement pour la grande production. La desserte est facilitée par une conception soignée des appareils de commande.

Le bâti est extrêmement rigide. Dans la disposition classique, il est flanqué de 2 colonnes sur lesquelles est guidé le poinçon porte-lame.

Ces colonnes comportent un col de cygne d'une profondeur réduite qui permet de couper des tôles dont la longueur excède celle des lames.

La fig. 125 représente une cisaille dont la capacité de coupe atteint 2.000mm. pour tôles de 3mm.

Le poinçon très rigidement construit, se meut dans des guidages réglables, il est actionné par un arbre coudé et deux bielles. La commande se fait par électro-moteur, courroies trapézoïdales et train d'engrenage.

L'embrayage se fait par un accouplement à friction qui protège en même temps la machine contre toute surcharge.

La table de la cisaille guillotine peut être pourvue de rallonges. On munit la machine d'une butée placée derrière les lames par laquelle on règle la largeur de coupe, cette butée peut être réglée en position parallèle ou inclinée par rapport aux lames.

Pour faire couper la cisaille, on pousse sur une pédale qui embraye l'accouplement, la machine s'arrête automatiquement après un cycle complet (descente et remontée de la lame).

La sécurité du travail exige le montage d'un garde-mains devant la lame.

Les machines modernes sont munies d'une cellule photoélectrique qui coupe le courant et freine la machine, dès que l'on pose la main ou un objet quelconque dans la zone dangereuse délimitée par le faisceau lumineux qui commande la cellule.

ACIER "Bel-cor-ten" STAAL.

I. Composition chimique - Chemische samenstelling.

C = 0,12 %	Ph = 0,007 - 0,15 %
Mn = 0,2 - 0,5 %	Cu = 0,25 - 0,55 %
Cr = 0,3 - 1,25 %	Si = 0,25 - 0,75 %
S = 0,05 maximum	

II. Caractéristiques mécaniques - Mechanische eigenschappen.

Résistance à la traction ; Treksterkte :	49 Kgr/mm ²
Limite d'élasticité ; Elasticiteitsgr.:	35 "
Allongement ; Verlenging :	22 %

III. Rayons de pliage - Plooistralen.

Tôles jusqu'à 1,5mm.	: une fois l'épaisseur.
Platen tot 1,5mm.	: éénmaal de dikte.
Tôles de 1,6 à 6mm.	: deux fois l'épaisseur.
Platen van 1,6 tot 6 mm.	: tweemaal de dikte.
Tôles de 6 à 12 mm.	: trois fois l'épaisseur.
Platen van 6 tot 12mm.	: driemaal de dikte.

IV. Soudure des tôles - Lassen van de platen.

a) Mêmes électrodes que pour l'acier A 37.	: a) Zelfde electrode als voor staal A 37.
b) Ni le préchauffage avant la soudure, ni un traitement thermique après soudure ne sont nécessaires.	: b) Noch de voorverwarming vóór het lassen, noch een thermische behandeling na het lassen zijn noodzakelijk.
c) Le Bel-cor-ten se soude par points jusqu'aux épaisseurs de 3mm.	: c) Bel-cor-ten kan tot plaatdikten van 3mm. gepuntlast worden.
d) La résistance à la corrosion est 4 à 6 fois celle de l'acier doux	: d) Is 4 tot 6 maal beter bestand tegen corrosie dan gewoon zacht staal.

Tableau (fig.113
Tabel)

C. 1217bis/2217bis

7° L.

(B). 1217bis. 10.61 (75)

N° et épaisseur de tôles en zinc.
Nr en dikte van zinkplaten.

N° Nr	Epaisseur en mm. Dikte in mm.	N° Nr	Epaisseur en mm. Dikte in mm.	N° Nr	Epaisseur en mm. Dikte in mm.	N° Nr	Epaisseur en mm. Dikte in mm.
1	0,10	7	0,35	13	0,74	19	1,47
2	0,143	8	0,40	14	0,82	20	1,60
3	0,186	9	0,45	15	0,95	21	1,78
4	0,228	10	0,50	16	1,08	22	1,96
5	0,25	11	0,58	17	1,21	23	2,14
6	0,30	12	0,66	18	1,34	24	2,32

Tableau)
Tabel) fig.114

Tableau)
Tabel) fig.117

Nature du métal Metaal - soort	Rs		Nature du métal Metaal - soort	Rs	
	Recuit ge- gloeid	Non recuit Onge- gloeid		Recuit Ge- gloeid	Non recuit Onge- gloeid
Acier doux Zacht Staal	50	70	Zinc Zink	9	15
Cuivre Koper	25	40	Aluminium	6	18
Laiton Messing	22	30	Nickel Nikkel	40	55
Plomb Lood	9	12	Etain Tin	2,75	4

C. 1217bis/2217bis
7e L.

Diam. C en mm.	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Diam. C ₁	2,9	3,85	4,85	5,8	6,8	7,8	8,8	9,8	10,7	11,7	12,7	13,7
Diam. D ₁	7,2	8,2	9,2	10,2	11,2	12,2	13,2	14,2	15,2	16,2	17,2	18,2
Diam. D	<p>A calculer suivant la formule</p> <p>Te berekenen volgens de form.</p> $\left\{ \begin{array}{l} D = 0,1 + 0,045 e \\ e = \text{épaisseur de la tôle} \\ \text{plaatdikte} \end{array} \right.$											

Tableau (fig. 122
Tabel (

Aluminium et ses alliages.

Aluminium en zijn legeringen.

Désignation abrégée Benaming	Mg %	Si %	Etat structural Structuurtoestand	Résistance à la rupture Weerstand Kg/mm ²	Limite d'allongement de 0,2 % Blijven verlen- ging van 0,2 %
Al 99,5			recuit-gegloeid	7	2,5
			1/2 dur - 1/2hard	9	8
			dur - hard	13	12
Al Mg I	I		recuit-gegloeid	13	6
			1/2dur - 1/2hard	15	11
			dur - hard	18	16
Al Mg 3	3		recuit-gegloeid	20	8
			1/2dur - 1/2hard	22	15
			dur - hard	28	25
Al Mg 5	5		recuit- gegloeid	26	12
			dur - hard	34	29
Al Mg Si	I	I	trempe et mûri	22	12
			gehard en gerijpt		
			trempe et revenu gehard en ontlaten	30	24
G. Al Mg 3	3		produit de fonde- rie gietproduct	14	6
G. Al Mg 5	5		produit de fonde- rie gietproduct	15	8

Tableau : fig. 115
Tabel

C. 1217^{bis} / 2217^{bis}

J.L.

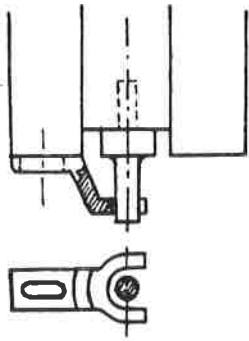


Fig 123.

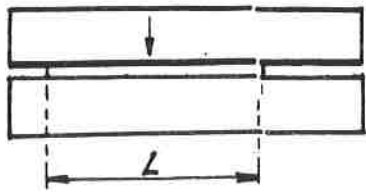


Fig 116.

Fig 110.

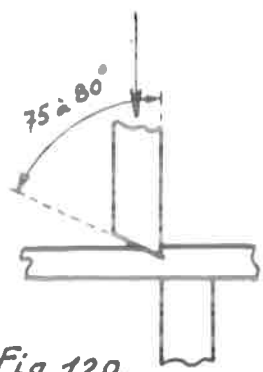
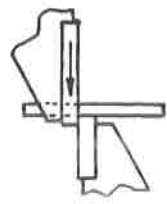


Fig 120.

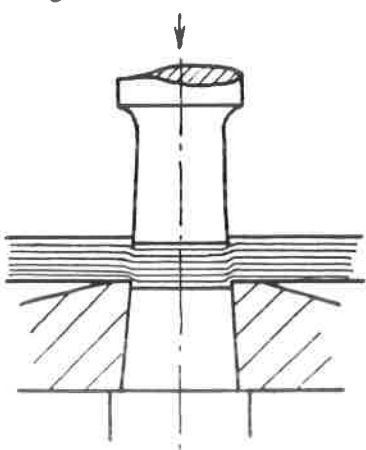


Fig 119.

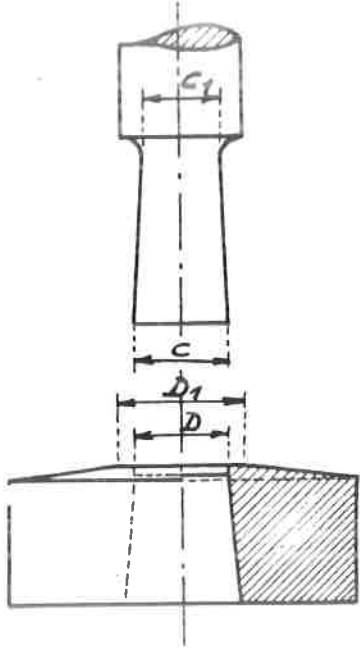


Fig 121.

Annexe 58^{bis}
Bijlage

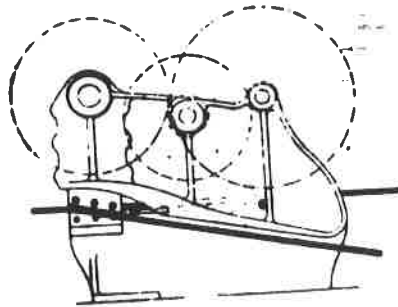


Fig 124.

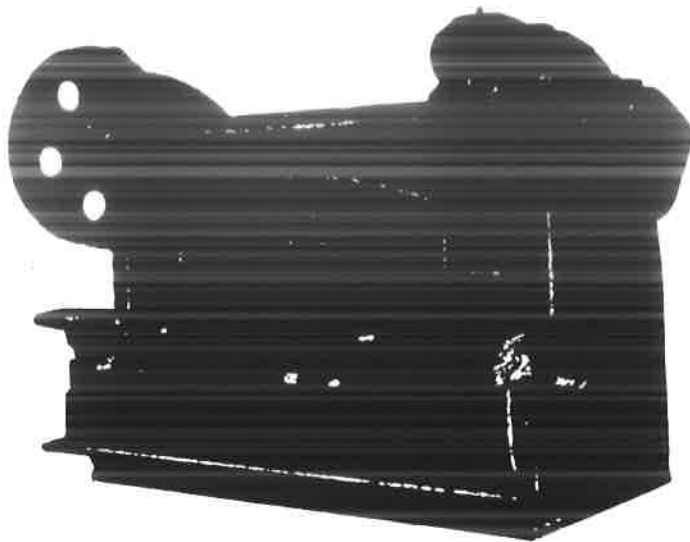


Fig 125.

C. 1217^{bis} / 2217^{bis}
F^cL.

SNCB

Enseignement Professionnel

TECHNOLOGIE GENERALE DES
ATELIERS

Cours 1217 bis

II/III

Leçons 11 à 15

(B)

DEUXIEME PARTIE.

SOUDEGE.

Introduction.

1. On appelle soudage par fusion, toute opération par laquelle des métaux ou alliages de même nature ou de nature différente sont assemblés ou rechargés à l'aide d'un métal ou d'un alliage porté à fusion (ce dernier prend le nom de métal d'apport, le métal de base étant celui des pièces à réunir).

Dans le cas du soudo-brasage, la nature des métaux à assembler diffère de celle du métal d'apport et seul ce dernier est liquéfié.

Dans le soudage autogène par fusion, le métal d'apport et les métaux à réunir sont de la même famille. L'assemblage s'effectue en mélangeant intimement le métal d'apport liquide avec le métal en fusion des bords des pièces à assembler.

Ce soudage s'effectue suivant plusieurs procédés :

- le soudage au gaz;
- le soudage à l'arc libre :
 - l'arc métallique,
 - l'arc au charbon,
 - l'arc sous gaz protecteur;
- le soudage par coulée;
- les procédés spéciaux (arc submergé).

Nous décrivons les procédés au gaz et à l'arc en réservant une leçon aux autres procédés qui en découlent.

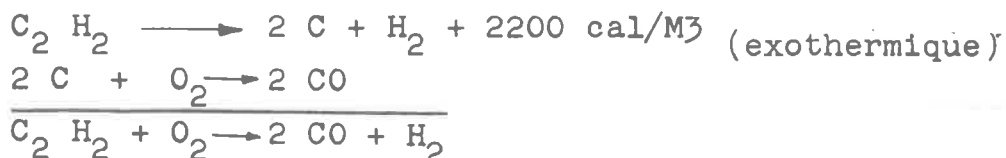
2. Soudage autogène au gaz.

Le mélange gazeux le plus utilisé est le mélange oxy-acétylénique.

Acétylène : $C_2 H_2$

Propriétés physiques : densité = 0,91 à 0°C (donc plus léger que l'air) soluble dans l'acétone (voir acétylène dissous).

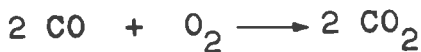
Propriétés chimiques : le gaz brûle dans l'air et dans l'oxygène; avec l'oxygène pur, il donne :



(01.240399.8.65(100))

2.

et avec l'oxygène de l'air entourant la flamme :



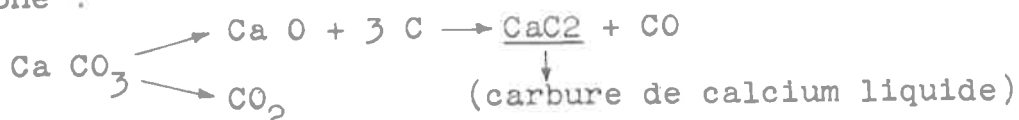
le pouvoir calorifique de l'acétylène = 14000 cal./m³
à 0° et 760 mm Hg.

Le mélange $\text{O}_2 + \text{C}_2\text{H}_2$ est combustible ^{et explosif} entre 3 % et 93 % de C_2H_2 , tandis que le mélange air + C_2H_2 est explosif entre 3 % et 60 % de C_2H_2 . Pour cette raison le stockage du carbure et la production du C_2H_2 sont soumis à des prescriptions légales.

Le C_2H_2 se décompose à la pression ordinaire, à partir de 635°. Cette température décroît rapidement, lorsque la pression augmente (540° pour 1 kg/cm² pression effective), d'où le danger de comprimer le C_2H_2 .

3. Production du C_2H_2 .

Dans le four électrique on réduit le CaCO_3 par le carbone :

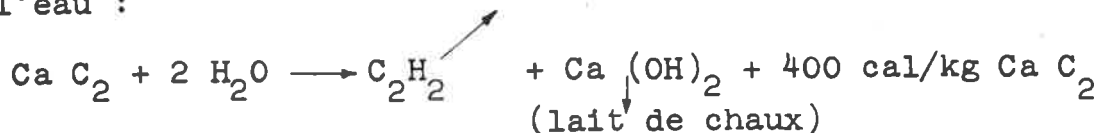


la réaction se produit à $\pm 1.800^\circ$. Le CaC_2 se solidifie en blocs qui sont concassés et triés en :

gros calibre - 25 à 80 mm
calibre moyen - 7 à 25 mm
granulé - 2 à 7 mm

et emmagasinés en fûts métalliques de 50 ou 100 kg.

Dans les générateurs d'acétylène, le CaC_2 est traité par l'eau :



La réaction étant exothermique, il y a lieu de limiter la vitesse de décomposition du CaC_2 en choisissant le calibre suivant le type de générateur. La température de l'eau des générateurs ne peut jamais dépasser 80° (danger d'explosion).

Rendement : en pratique on obtient 250 L de C_2H_2 par kg de CaC_2 .

Epuration de C_2H_2 .

4. Le CaC_2 contient des impuretés qui, dans le générateur, produisent du NH_3 - H_2S - H_3P et SiO_2 .

Les trois gaz sont entraînés par l'acétylène.

Le SiO_2 reste dans le lait de chaux.

On élimine le NH_3 et le H_2S par lavage dans l'eau.

Le H_3P doit être éliminé par traitement chimique : on fait passer le gaz dans une masse de sels chlorés de fer et de mercure en poudre fine; 1 kg d'épurant peut épurer 10 m³ de C_2H_2 ; la masse se régénère en contact avec l'air; 3 régénérations sont possibles.

La pureté du C_2H_2 se contrôle par du buvard blanc imprégné d'une solution de $AgNO_3$ - 10 %. Tenu dans le courant gazeux, ce papier ne peut pas noircir.

Pour la description des appareils générateurs, réseau de distribution et appareils de sécurité, voir les cours de Technologie "soudage au chalumeau".

Acétylène dissous.

5. Le C_2H_2 se dissout dans l'acétone ($CH_3-CH_2-C \begin{matrix} \text{O} \\ // \\ \text{H} \end{matrix}$) à raison de 24 litres par litre de dissolvant et par kg de pression.

Le pouvoir de dissociation du C_2H_2 est fortement atténué par l'acétone; ce qui permet d'augmenter la pression à 15 kg.

A cet effet, on utilise des bouteilles remplies d'une matière poreuse (silice, terre cuite pelée, asbeste, charbon de bois, bois, etc.). Cette dernière doit diviser le vide pour empêcher la formation de poches d'acétylène à haute pression (danger d'explosion); elle doit retenir l'acétone et le répartir finement pour faciliter l'absorption et le dégagement du C_2H_2 .

Le volume de la bouteille est réparti comme suit :

- matière poreuse	25 %
- acétone	40 %
- acétylène	20 %
- vide	15 %

4.

Le vide permet au contenu de se dilater par échauffement et à l'acétone d'augmenter de volume par absorption de C_2H_2 .

Oxygène.

6. L'oxygène est fourni :

- à l'état comprimé 150 kg/cm²
- sous forme de liquide à très basse température (point d'ébullition - 183°C).

On l'obtient par distillation fractionnée de l'air liquide.

La pureté doit être de l'ordre de 99 %. Comme impuretés, on trouve du N_2 et du H_2O .

L'oxygène liquide s'évapore par échauffement du réservoir dans l'atmosphère; 1 litre donne 800 litres d' O_2 gazeux.

Densité de $O_2 = 1,38$ kg par m³ à 15°C et à la pression normale.

L'oxygène s'enflamme au contact avec les huiles et les graisses.

7. La flamme oxy-acétylénique (fig. 1).

Elle se compose :

- a) d'un cône A : blanc bleuâtre formé à la sortie de la buse; c'est l'endroit le plus chaud de la flamme; à son extrémité, la température atteint 3100°;
- b) le panache B : c'est une flamme secondaire provenant de la combustion de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène avec l'oxygène de l'air ambiant.

Cette flamme répond aux exigences de la soudure auto-gène qui demande une grande concentration de chaleur - une température élevée et un milieu gazeux non sensible aux métaux en fusion (présence de CO et H_2 c.à.d. de gaz réducteurs).

En effet, dans le dard, le C_2H_2 brûle avec formation de CO et H_2 (voir par. 2). Ces gaz brûlent dans le panache avec l' O_2 de l'air pour produire CO_2 et H_2O .

Bien que le mélange théorique soit de 1/1, il faut en réalité 1,10 volume d' O_2 par volume de C_2H_2 pour atteindre la plus haute température.

Réglage de la flamme.

On distingue :

La flamme neutre (fig. 1) $\frac{O_2}{C_2H_2} = \frac{1.10}{1}$ à $\frac{1.20}{1}$

L'analyse de cette flamme montre qu'à la pointe du dard
les gaz contiennent $\pm 60\%$ CO
 $\pm 30\%$ H₂

La flamme carburante (fig. 2).

$$\frac{O_2}{C_2H_2} \leq 1 \text{ (0,95 par exemple)}$$

Cette flamme contient à la pointe du dard $\pm 65\%$ CO et
 $\pm 33\%$ H₂; il y a excès de carbone libre qui traverse le dard
et qui brûle au-delà avec formation d'une auréole qui se
détache du panache (partie C, fig. 2).

La flamme oxydante (fig. 3).

$$\frac{O_2}{C_2H_2} = 1,3 \text{ et plus}$$

elle se caractérise par un rétrécissement du dard.
Il y a excès d'oxygène, donc tendance à produire des oxydes
métalliques.

Exécution des soudures.Préparation des joints.

8. L'ouverture du joint dépend de l'épaisseur des pièces
et du procédé de soudage.

La fig. 4 représente les différentes préparations des
joints en fonction de l'épaisseur des éléments à assembler.
L'angle α dépend de la méthode de soudage; il est compris
entre 30° et 45°.

Pour des épaisseurs différentes, on utilise les assem-
blages indiqués par la fig. 5.

Pour la soudure de tôles fortes, l'ouverture des joints
se règle au moyen d'une vis à pas gauche et droit (fig. 6).

Les tôles minces sont fixées par clames ou serre-joints.
Souvent elles sont "pointées" avant l'exécution du cordon
(fig. 7).

6.

Procédés de soudage au chalumeau.

9. On peut opérer suivant diverses méthodes qui dépendent de l'épaisseur des pièces à assembler, de leur position et de la qualité du travail qu'on doit obtenir.

Le chalumeau doit occuper une position invariable par rapport au bain; l'apport de chaleur doit être limité aux faces des bords à fondre.

Un bain tranquille risque moins l'inclusion du laitier dans le joint.

10. Le soudage horizontal classique ou soudage à gauche : (voir position de la baguette et du chalumeau fig. 8). Cette méthode s'applique aux tôles minces (de 0,5 à 4 mm) et de préférence lorsque les tôles ne doivent pas être chanfreinées (voir avantages de la soudure à droite).

11. Soudage horizontal à droite (fig. 9) est difficile à exécuter sur tôles minces; on l'applique, pour des tôles à épaisseur $e \geq 4$ mm et de préférence sur tôles chanfreinées.

Cette méthode présente des avantages appréciables :

1) La soudure à gauche nécessite plus de métal d'apport par unité de longueur d'assemblage que la soudure à droite (à cette économie s'ajoute les gains de temps d'exécution ainsi que l'économie des gaz).

En effet, au-delà de 4 mm d'épaisseur, les tôles sont chanfreinées :

a) pour le soudage à gauche : $2a = 80^\circ$ pour tôles jusqu'à 6 mm et 90° pour tôles plus épaisses;

b) pour le soudage à droite : $2a = 70^\circ$ pour tôles jusqu'à 8 mm et 80° pour tôles plus épaisses;

2) La soudure à droite étant plus rapide, évite la surchauffe du métal;

3) En soudure à droite, la buse du chalumeau ne masque pas le bain; le soudeur voit mieux son travail et le chalumeau ne se dérègle pas par échauffement. Le laitier est chassé hors du bain par l'action de la flamme; celle-ci concentre mieux la chaleur sur le bain.

12. Soudure horizontale d'angle extérieur (fig. 10).

La disposition des tôles est telle que le panache se développe mieux que dans le cas de la soudure horizontale bout à bout. L'acétylène brûle plus complètement, ce qui permet de travailler avec un chalumeau plus petit (75 L par

heure et par mm d'épaisseur). (Soudure à gauche ou à droite suivant l'épaisseur des tôles).

13. Soudure horizontale d'angle intérieur (fig. 11).

Dans ce cas, le panache ne peut se développer dans le dièdre formé par les tôles. L'acétylène brûle incomplètement et il faut travailler avec un chalumeau plus puissant (130 L par h et par mm d'épaisseur).

Par suite de l'affaissement du bain, un sillon se forme dans la face verticale; on l'évite en protégeant cette face au moyen de la baguette.

14. Soudure montante à un seul chalumeau (fig. 12).

Cette méthode convient pour $e \leq 6$ mm; les tôles ne sont pas chanfreinées.

Le soudeur maintient une ouverture A au-dessus du bain de fusion. Le métal de base fond aux bords du trou et le métal d'apport coule des deux côtés de la tôle formant ainsi un double cordon.

Les dessins 12 C et 12 D montrent les défauts qui résultent d'une mauvaise position du chalumeau.

15. Soudure montante à deux chalumeaux (fig. 13).

Elle est appliquée pour des tôles non chanfreinées dont l'épaisseur varie de 6 à 12 mm. Le volume du joint est extrêmement réduit. La chaleur est bien concentrée dans le joint par suite de l'opposition de deux chalumeaux; il s'ensuit une économie importante de gaz.

La même méthode de soudage s'applique aux tôles chanfreinées dont $e \geq 12$ mm. Pour les grandes épaisseurs, on travaille en couches successives et on procède par portion de joint (fig. 14).

16. Soudage au plafond (fig. 15) dans la méthode au chalumeau par suite du soufflage de la flamme, le soudeur n'est pas gêné par l'écoulement du métal pour autant qu'il limite l'importance du bain.

Au-delà de 4 mm d'épaisseur, les tôles sont chanfreinées.

17. Soudage horizontal sur plan vertical : cette méthode s'appelle encore soudage en corniche.

Pour éviter l'écoulement du bain, il faut travailler sur un chanfrein asymétrique (voir fig. 16). On soude à gauche pour des épaisseurs faibles et à droite pour les fortes épaisseurs. On travaille toujours avec un bain réduit.

8.

Si les 2 faces sont accessibles, on peut travailler à 2 soudeurs.

18. Prix de revient des soudures au chalumeau.

Le tableau ci-après comporte les éléments qui permettent le calcul du prix de revient d'une soudure.

Méthode de soudage utilisée	Le temps de soudage est fonction de l'épaisseur e des tôles en minutes par mètre	Consommation de matière : elle est fonction du carré de l'épaisseur des tôles			Puissance du chalumeau : elle est déterminée par la méthode de soudage en litres par heure
		Métal d'apport en grammes par mètre de joint	Acétylène en litres par mètre de joint	Oxygène (*) en litres par mètre de joint	
Soudage horizontal à gauche	$5 \text{ à } 6 \times e$	$10 \times e^2$	$9 \text{ à } 10 \times e^2$	$10 \text{ à } 11 \times e^2$	$100 \times e$
Soudage horizontal à droite	$4 \times e$	$8 \times e^2$	$6,7 \times e^2$	$7,4 \times e^2$	$125 \times e$
Soudure montante à 1 chalumeau	$6 \times e$	$8 \times e^2$	$6 \times e^2$	$6,6 \times e^2$	$60 \times e$
Soudure montante à 2 chalumeaux	$2,5 \times e$	$5 \times e^2$	$2,6 \times e^2$	$2,85 \times e^2$	$2 \times 30 \times e$
id. sur tôles chanfreinées	$3 \times e$	$3,7 \times e^2$	$2,7 \times e^2$	$3 \times e^2$	$2 \times 30 \times e$
Soudage au plafond	$7,5 \times e$	$10 \times e^2$	$9,4 \times e^2$	$10,4 \times e^2$	$75 \times e$
Soudage en corniche	$6 \times e$	$8 \times e^2$	$7,6 \times e^2$	$8,35 \times e^2$	$75 \times e$

(*) Les consommations d'oxygène supposent un réglage du chalumeau à flamme neutre $O_2 = 1,1 C_2H_2$

Dans la pratique, les consommations seront comprises entre 1,1 et 1,2 C_2H_2

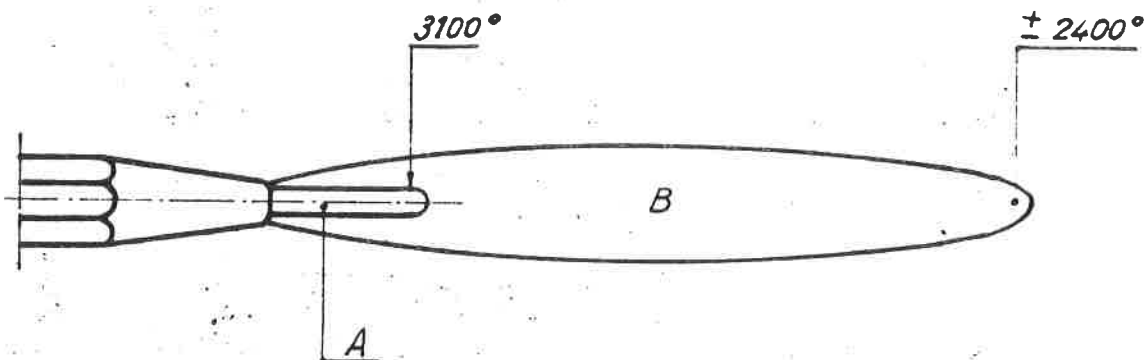


fig 1.

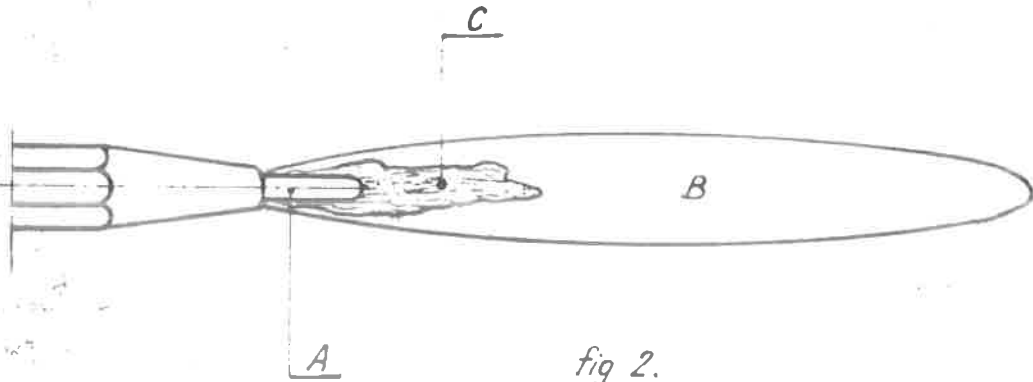


fig 2.

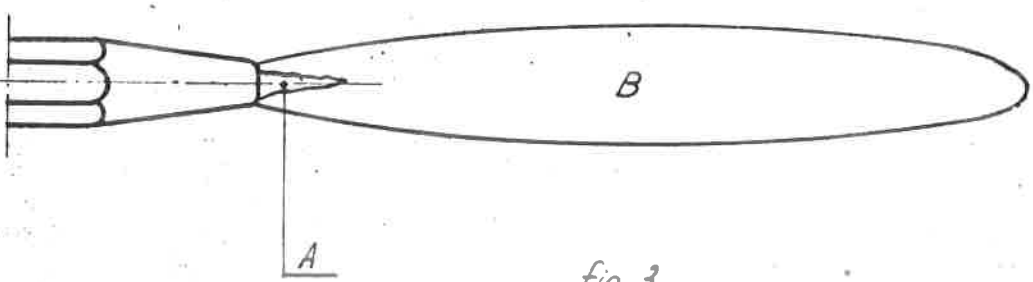


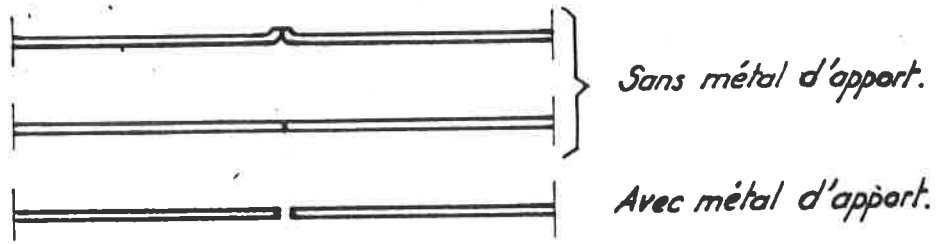
fig 3.

(01. 210111. 2. 655 (100)

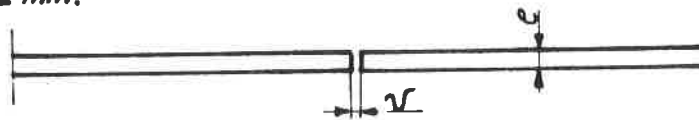
C 1217 bis
L 11

fig 4

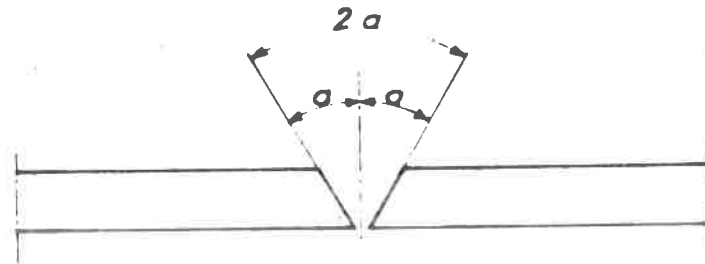
A. Tôles minces $e \leq 1\text{mm}$.



B. Tôles minces $e \leq 2\text{mm}$.



C. Tôles $e \geq 4\text{mm}$.



D. Tôles $e \geq 10\text{mm}$.



fig 5

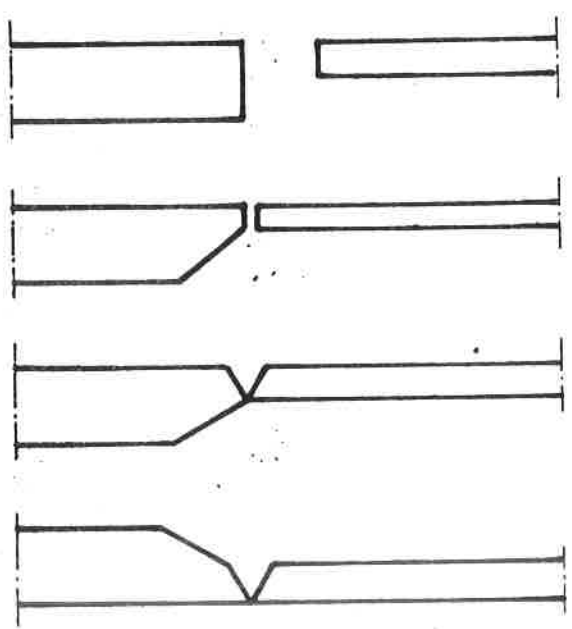
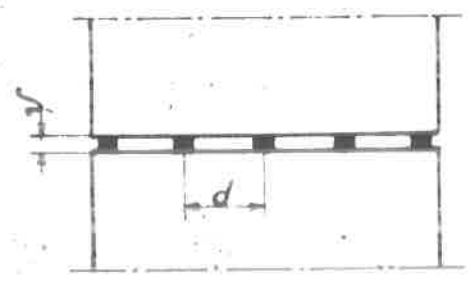
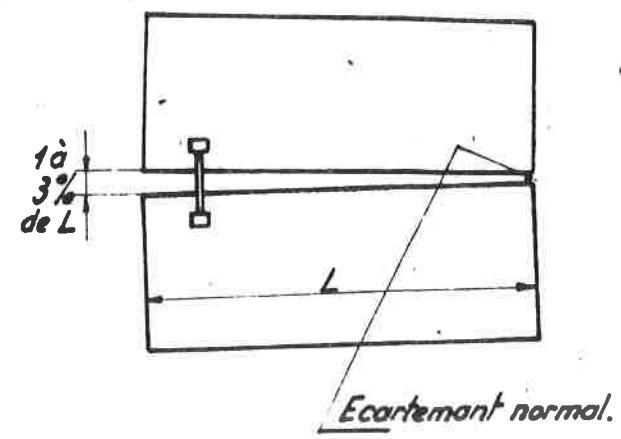


fig. 6



$d = 20e$ pour faibles épaisseurs.
 $d = 30e$ pour fortes épaisseurs.
 Au départ ν doit être $> \frac{e}{2}$
 (effet de contraction des points)

fig 7

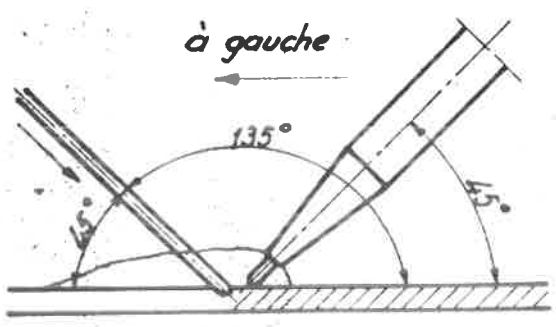


fig 8

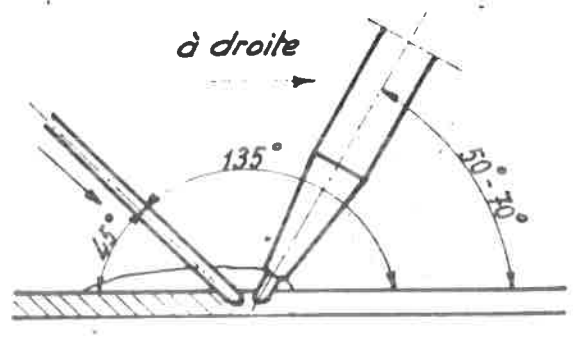


fig 9

C 1217 bis
L 11
117

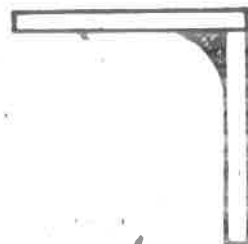
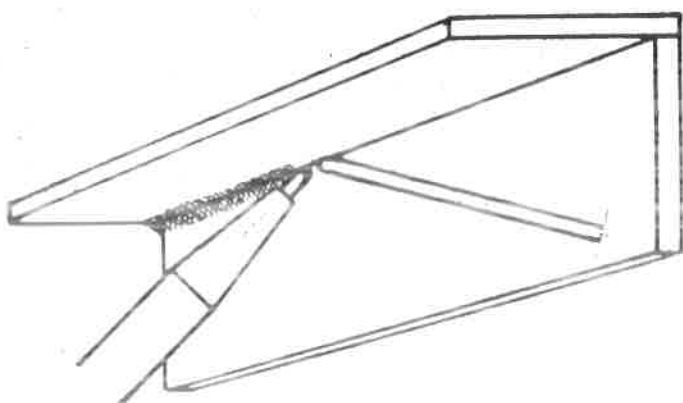
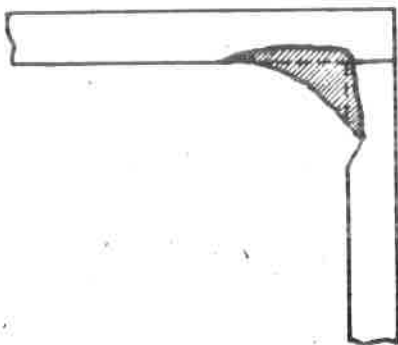


fig 11

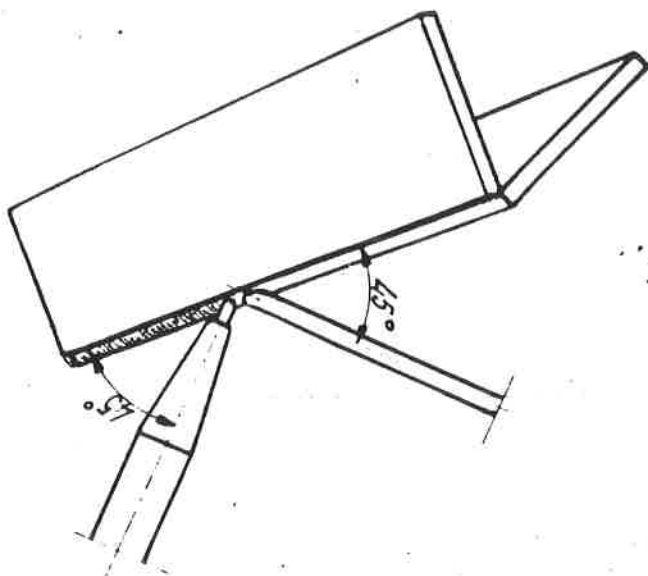


fig 10

fig 12

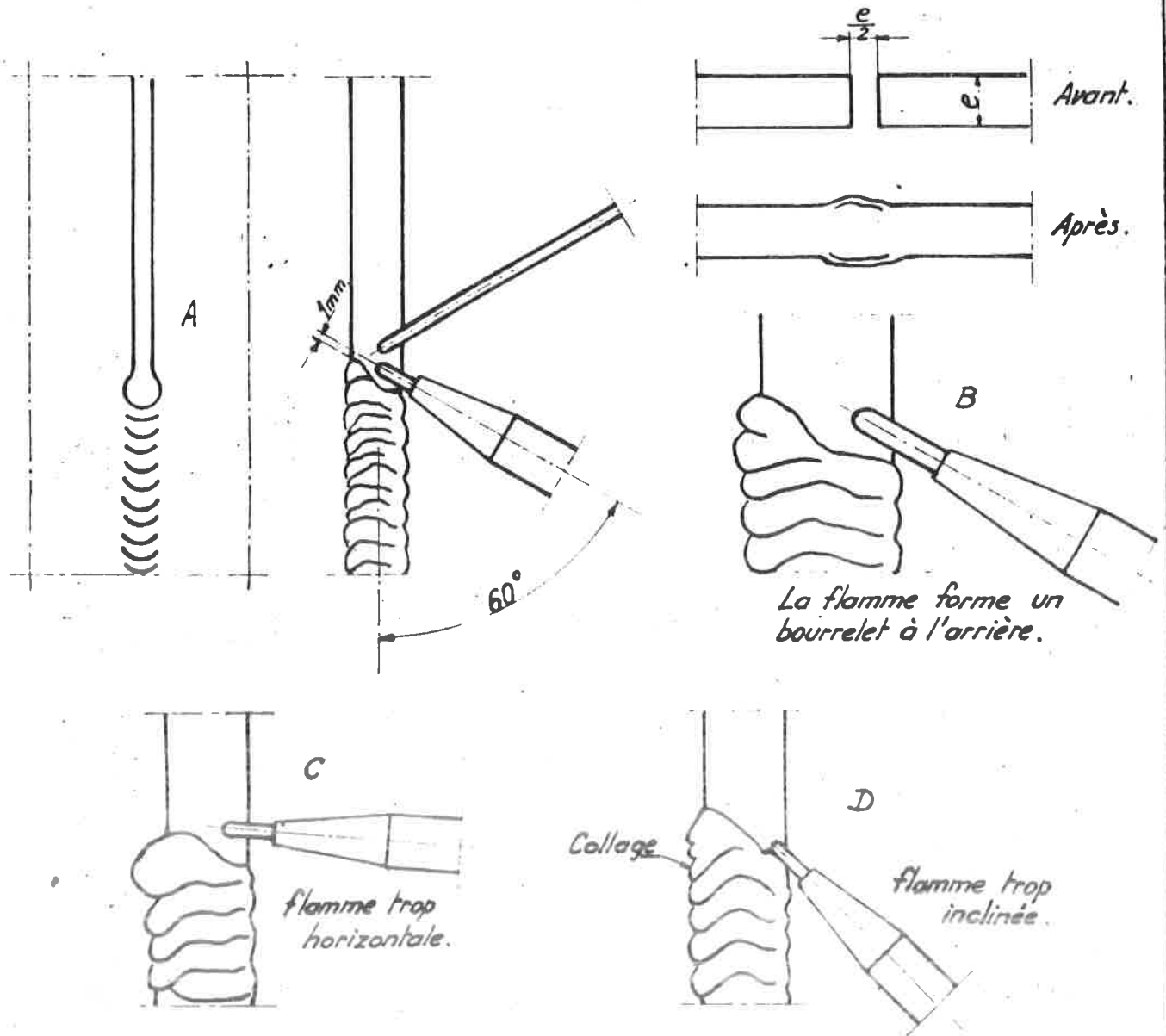


fig 13

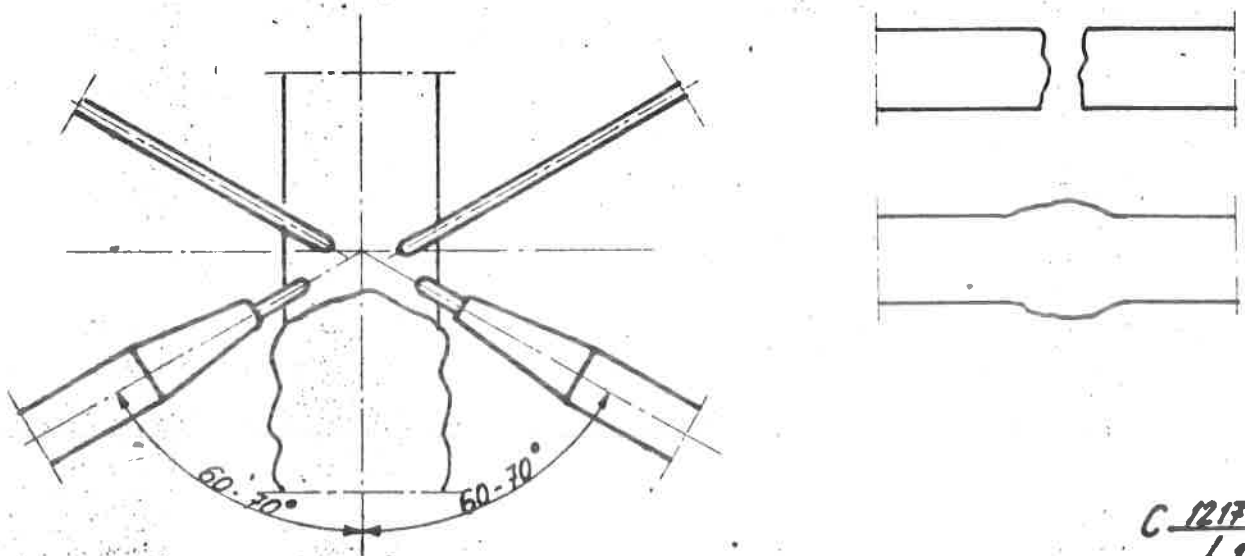


fig 14

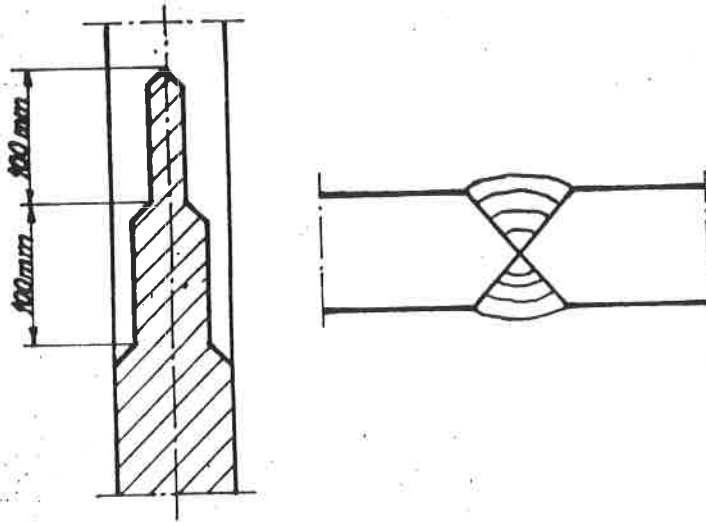


fig 15

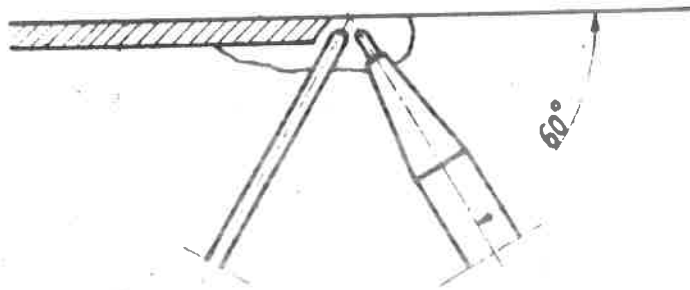
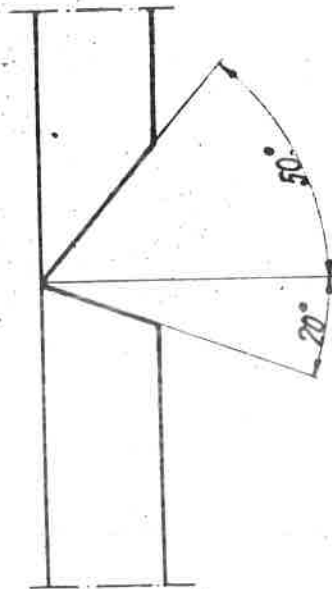


fig 16



SOUDAGE AUTOGENE AU GAZ (suite).

19. Emploi des fondants.

Les fondants sont des sels qu'on applique aux bords des pièces à souder et à la baguette :

- a) pour protéger le métal porté à haute température contre l'action chimique du milieu.
- b) pour produire une scorie qui, en surnageant le bain, protège le métal au moment de la solidification.
- c) pour dissoudre les oxydes réfractaires (ex. Al_2O_3 fond à plus de 2000° ; mais sous l'action de fluorures et de chlorures, il se transforme en fluor- et chloraluminates fondant à 650°).

Les flux protecteurs sont utilisés pour les métaux suivants : fonte, cuivre rouge et ses alliages, nickel, métaux légers et acier inoxydable.

Les sels fondants sont corrosifs; après soudage, il faut les enlever par lavage ou brossage.

A cet effet, les assemblages doivent être conçus de sorte que les flux ne puissent s'introduire dans des joints où leur enlèvement devient impossible.

20. Défauts de soudage.

Nous énumérons dans le tableau ci-dessous les défauts de soudage et leurs causes principales.

Dénominations du défaut	Nature du défaut	Fig.	Causes principales
Collage	Manque de liaison entre métal solide et métal d'apport liquide. Il n'y a pas eu de mélange intime; le métal d'apport s'est solidifié au contact de la paroi solide.	17 à 19	a) flamme mal orientée ou insuffisante ou déformée par bec encrassé b) accès insuffisant joint trop serré, chanfrein trop peu ouvert c) travail non soigné
Manque de pénétration	La soudure n'est pas faite sur toute la profondeur du joint	20 21 22 23	a) écartement trop étroit b) angle de chanfrein trop petit c) soudure d'angle défectueuse

(B). 29239. 6. 65 (100)

			d) déformation du joint par le retrait e) travail mal exécuté
Inclusions	Scories incluses dans la soudure	24	Inclusions de scories abondantes d'un bain brassé par suite de mauvaise orientation ou instabilité de la flamme
Pores Occlusions Soufflures	Cavités contenant des gaz au sein de la soudure	25	- gaz absorbés par le bain - mauvais réglage de la flamme (le métal s'est solidifié avant que les gaz ne pussent s'échapper du bain)
Fissures	Déchirures profondes à lèvres jointives; Déchirures superficielles à lèvres jointives; Déchirures ouvertes à profondeur limitée; Déchirure qui intéresse toute la section	26 27	Tensions internes trop importantes causées par le retrait de solidification du bain ou par l'influence de masses voisines
Merçures	Lignes profondes entre cordons ou entre cordon et bord	29	Mauvaise pénétration latérale
Cordon trop épais	Trop de métal d'apport parfois le cordon déborde le chanfrein	30	Vitesse de travail trop lente
Caniveaux	Sillons provoquées par affaissement du métal des bords - affaissement asymétrique id. - affaissement symétrique	31 32 33	Dans le plan vertical des soudures d'angle Le long des soudures verticales à double cordon. Dans les soudures horizontales épaisses

Piqûres	Petites cavités en surface		Par suite de la présence de gaz dans le bain
Cordon trop mince	Le cordon présente un creux	34	Soudure trop rapide
Vagues	Caniveaux transversaux dans la soudure	35	Bain mal conduit

21. Contrôle de la construction soudée.

Ce contrôle comprend :

- la vérification des dimensions et formes générales des pièces soudées et des dimensions des cordons;
- la recherche des défauts extérieurs visibles dans les cordons (ou dépistés par magnétographie);
- la recherche des défauts internes.

Remarques.

Les défauts internes (invisibles) sont très souvent accompagnés de défauts visibles.

Il est rare qu'une soudure, ayant bel aspect, cache des défauts.

Pour les soudures importantes, on a recours à l'examen intérieur soit :

- par la méthode semi-destructive qui consiste à enlever à coup de sonde une partie du cordon aux endroits où les soudeurs risquent de faire des défauts (très peu employée);
- par la méthode non-destructive qui consiste à photographier le cordon irradié par rayons X ou par des isotopes radioactifs (fig. 36).

Le film, placé dans une gaine en caoutchouc, est fixé sur la pièce du côté opposé de la source rayonnante.

Pour éviter que l'acier adjacent ne produise des rayonnements secondaires qui nuiraient à la netteté du film, on le protège par des plaques de plomb qui retiennent les rayons X de part et d'autre du joint.

Les soudures peuvent éventuellement être examinées par sondage aux ultrasons.

SOUDAGE A L'ARC.22. Principe du procédé.

Considérons une pièce en acier reliée au pôle positif d'une source de courant continu et une baguette d'acier reliée au pôle négatif de cette source.

Lors de la mise en contact de cette baguette avec la pièce, un courant I passe à travers le circuit et chauffe le point de contact.

En retirant la baguette de quelques millimètres, on constate que le courant se fraye un chemin à travers la mince couche d'air créant à cet endroit une "flamme éblouissante" qu'on appelle l'arc électrique (fig. 37). Cet arc porte l'extrémité de la baguette et le point d'impact sur la pièce instantanément à très haute température, les métaux fondent et se mélangent dans un bain de fusion qui apparaît sur la pièce.

23. Composition de l'arc.

La fig. 38 donne une coupe longitudinale de l'arc.

On y distingue :

- la cathode est la pointe chaude de l'électrode reliée au pôle négatif;
- l'anode la zone chaude de la pièce reliée au pôle positif;
- la colonne de l'arc est l'espace entre la cathode et l'anode.

Lors du retrait de la baguette, la tension créée entre les deux éléments fait passer le courant par l'air dont les constituants sont aussitôt ionisés. Les électrons libres passent à grande vitesse à travers cette couche dans le sens cathode \rightarrow anode et portent les ions à température très élevée.

Le diagramme des chutes de tension dans l'arc (fig. 38) nous montre :

- une chute rapide à la cathode, due à l'énergie nécessaire à la vaporisation de la couche superficielle qui émet les électrons;
- une chute proportionnelle à la longueur de la colonne de l'arc;
- une chute rapide à l'anode due à une charge d'espace créée par les électrons lâchés par la cathode.

Dès que l'arc est amorcé, la tension tombe à une valeur de régime qui doit compenser les pertes précitées (± 25 Volts). L'entretien de l'incandescence de la cathode, indispensable à l'émission des électrons, demande un minimum de courant pour que l'arc se maintienne.

24. Températures.

- a) la cathode est portée à environ 6000° ;
- b) la colonne de l'arc est entre 5000° à 7000°
les gaz y sont donc 100 % à l'état ionisé (sauf l'azote qui ne se dissocie complètement qu'à 10.000°);
- c) l'anode est à 3500° environ.

Ces températures expliquent la fusion du métal aussi bien de la baguette que de la pièce de base.

Expérience (fig. 39).

Déplaçons deux électrodes en charbon reliées par un arc électrique. Au moyen de l'électrode négative on peut déplacer le point de contact sur l'anode. Le contraire n'est pas possible, car l'arc reste accroché à la pointe de la cathode, s'allonge et s'éteint.

Conclusion : en principe, il faut déplacer la cathode pour pouvoir déplacer l'arc. Donc il faut raccorder le négatif à l'électrode (Certaines électrodes enrobées se raccordent pourtant au pôle positif).

Résistance de l'arc.

La chute de potentiel dans l'arc correspond à sa résistance; toutefois, pour une même longueur d'arc, cette résistance est variable avec le courant. Si I augmente, la résistance de l'arc diminue jusqu'à une limite à laquelle R ne change plus - l'arc étant saturé.

25. Amorçage de l'arc.

Pour que l'arc se maintienne, il faut une cathode chaude. Au départ, cette condition n'est pas remplie. Il faut appliquer une tension élevée pour percer l'air. Cette tension s'appelle la tension d'amorçage ou d'allumage (40 à 100 Volts suivant le type d'électrode).

Cas du courant alternatif.

Dans ce cas, la polarité est inversée plusieurs fois par seconde. Les inerties calorifiques de l'anode et de la cathode ne permettent pas un allumage dans un sens inverse sans qu'il ne faille réappliquer la tension d'amorçage.

6.

Le courant alternatif ne convient donc pas au procédé de soudage décrit ci-dessus.

Les conditions de marche sont changées, lorsque la baguette est munie d'un enrobage (voir plus loin).

26. Transfert du métal dans l'arc.

Le transfert du métal de la baguette vers le bain se fait sous forme de gouttes de dimensions différentes (fig. 40). Dans certains cas, elles sont entourées d'un film d'enrobage fondu.

Dans le cas le plus usuel d'une électrode enrobée, le métal fond plus vite que l'enrobage. Celui-ci forme un tube hors duquel le métal est projeté sur la pièce par suite de l'augmentation brusque de température, de l'explosion des gaz inclus et de la pression hydrostatique du métal fondu de l'électrode.

27 Comportement de l'arc sous l'influence d'un courant à intensité variable (fig. 41).

Un arc alimenté directement par une source de courant à tension constante ne peut être maintenu.

En effet, une augmentation de courant de I_0 à I_1 , par suite d'une variation de longueur p . ex., a pour effet de diminuer la résistance de la colonne de l'arc (ligne A). Il s'ensuit que, pour une tension constante, le courant augmente davantage, on dit que l'arc "se met à siffler".

La source d'alimentation doit être telle que sa tension diminue, lorsque le courant augmente (ligne B). Cette chute de tension doit être plus prononcée que la diminution de la chute de tension à l'intérieur de l'arc.

Lorsque le courant diminue jusqu'à la limite où l'arc s'éteint, la source doit automatiquement faire monter la tension jusqu'à atteindre le réallumage automatique de l'arc.

Enfin, lorsque l'arc est mis en court circuit, le courant qui en résulte ne peut excéder une valeur limite, pour ne pas endommager le matériel ni la source de courant et pour ne pas entraver la bonne exécution de la soudure.

Conclusion.

Les conditions de la pratique ne permettent pas de maintenir constant le courant de soudage; il s'ensuit que le générateur de courant doit avoir une caractéristique (V.I.) tombante de façon à couper net la caractéristique de l'arc qui, elle, ressemble à une hyperbole équilatérale (fig. 41).

Générateurs de courants.

28. Soudure en courant continu.

- a) Un réseau à courant continu peut alimenter directement un poste de soudage par interposition d'une résistance R pour réduire la tension de l'arc à 25 - 35 volts (mauvais rendement par effet Joule dans la résistance) (en court-circuit le courant $I_{cc} = \frac{V}{R}$ c.à.d. limité);
- b) Les groupes rotatifs comportent un moteur (électrique ou à combustion) qui entraîne soit une dynamo anti-compound, soit une dynamo à réaction d'induit.

La génératrice anti-compound comporte une excitation série qui, lorsque le courant augmente, produit un flux inverse qui diminue la force électromotrice de la dynamo.

En circuit ouvert, la force électromotrice atteint la tension d'amorçage de l'arc (donc caractéristique tombante).

La génératrice à réaction d'induit comporte des dispositions qui favorisent fortement le phénomène du flux opposé au flux d'induction. Il en résulte que la tension tombe rapidement quand la machine débite.

A cet effet, on emploie des pièces polaires couvrant une grande largeur de l'induit; on réduit l'entrefer et on multiplie les fils sur la périphérie de l'induit. Ces dispositions sont souvent combinées avec l'emploi de balais auxiliaires.

Soudure en courant alternatif.

Le transformateur simple à double enroulement ne réalise pas les conditions de la caractéristique tombante.

Pour l'obtenir, on augmente l'effet antagoniste du flux produit par l'enroulement secondaire :

- 1) En offrant au flux primaire une dérivation qu'il emprunte dès que l'action antagoniste du secondaire se fait sentir.
- 2) En ajoutant près du secondaire un enroulement séparé qui donne un flux antagoniste supplémentaire, lorsque le courant débité augmente.

Le générateur de courant alternatif de soudure comporte souvent dans le cadre du transformateur une entretoise mobile (noyau de fuite) qui sert de dérivation pour le flux primaire. Dans ces postes, le réglage du courant débité se réalise en déplaçant ce noyau par rapport au cadre.

L'emploi du courant alternatif nécessite des dispositifs qui stabilisent l'arc. Ces dispositifs sont des résistances, des selfs à noyau ou des transfo-auto-stabilisateurs.



fig 28

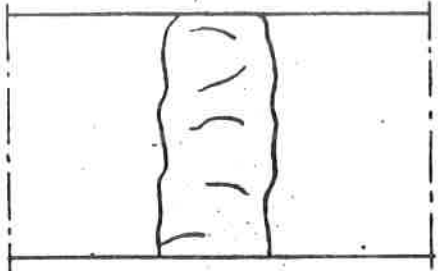


fig 27

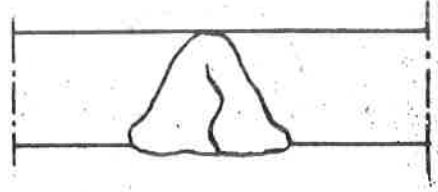


fig 26

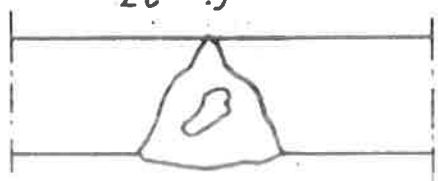


fig 25



fig 24

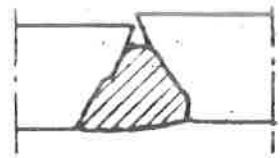


fig 23

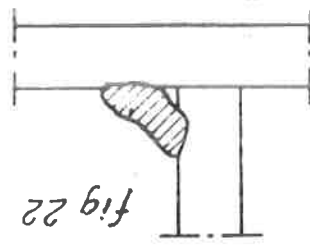


fig 22

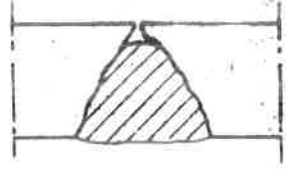
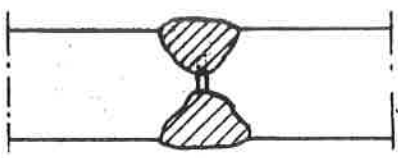
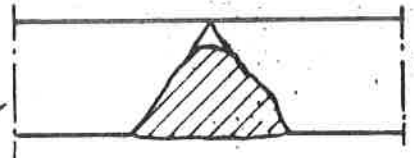


fig 21



Joints trop étroits

fig 20



Collage

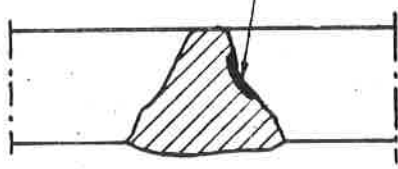


fig 19

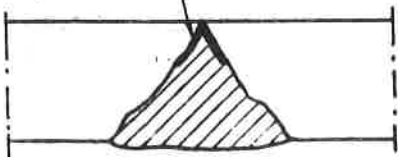


fig 18

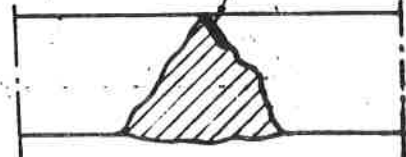


fig 17

fig 29

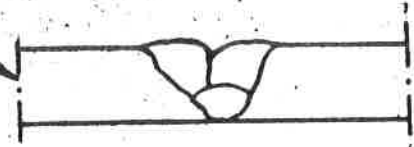


fig 30



fig 31

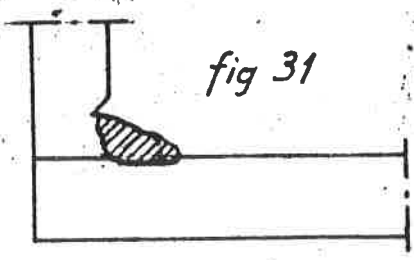


fig 32



fig 33

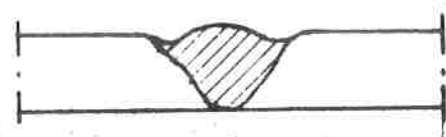


fig 34

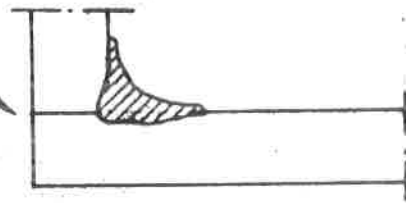
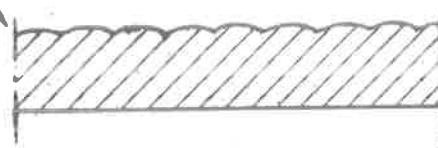


fig 35



Corps radio-actif.

Appareil à rayon X

Soudure transversale.

fig 36

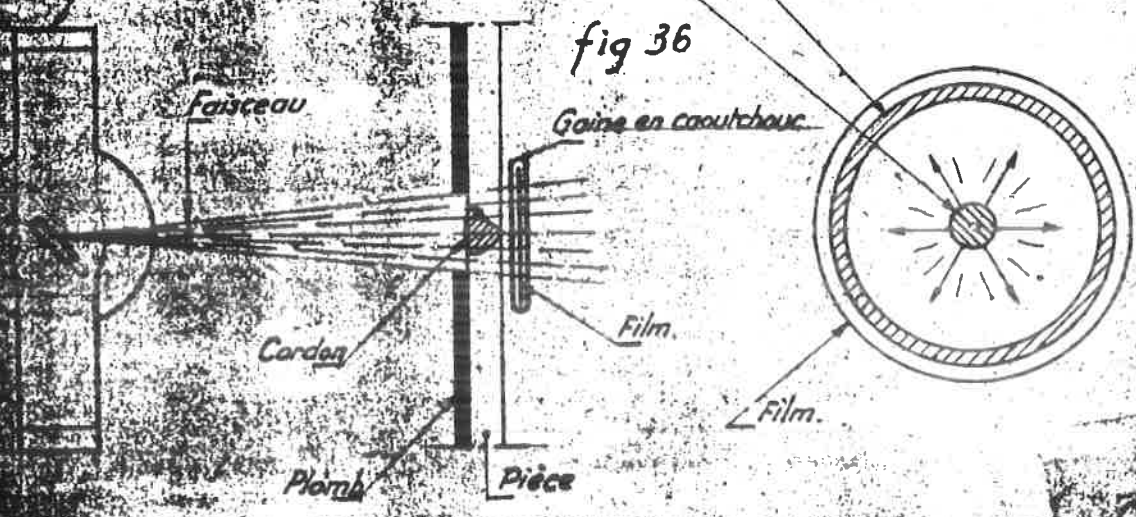


fig 37

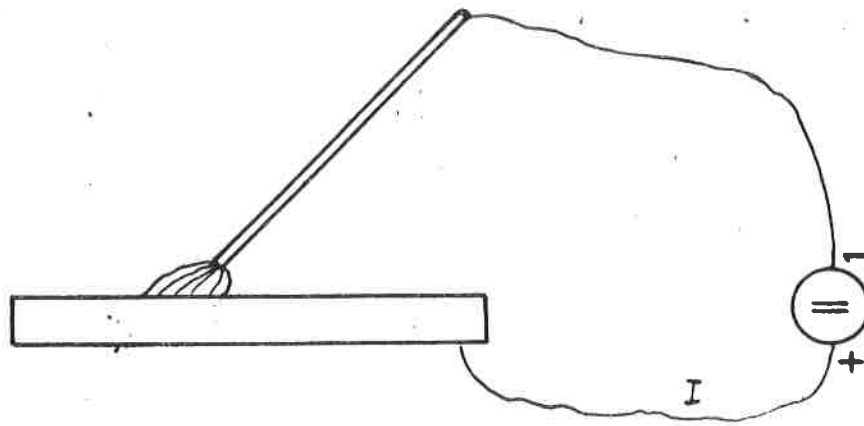


fig 38

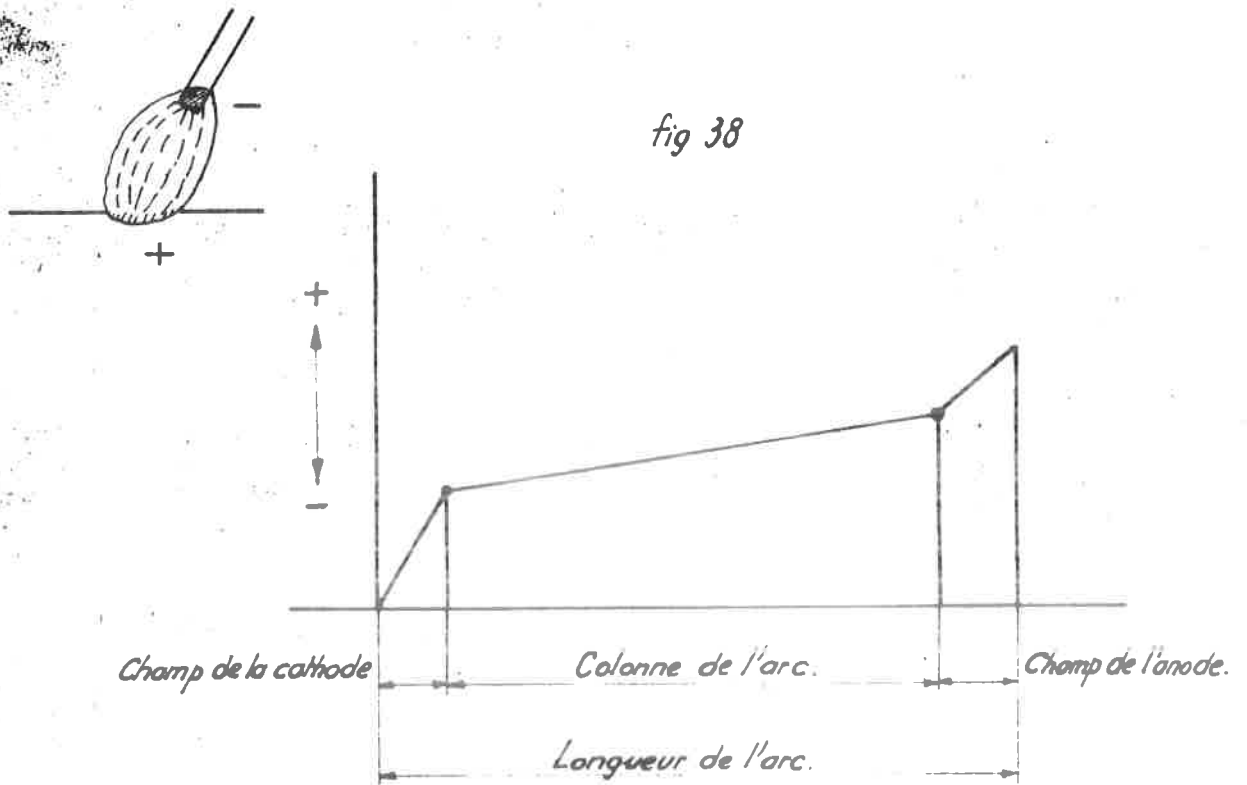


fig 39

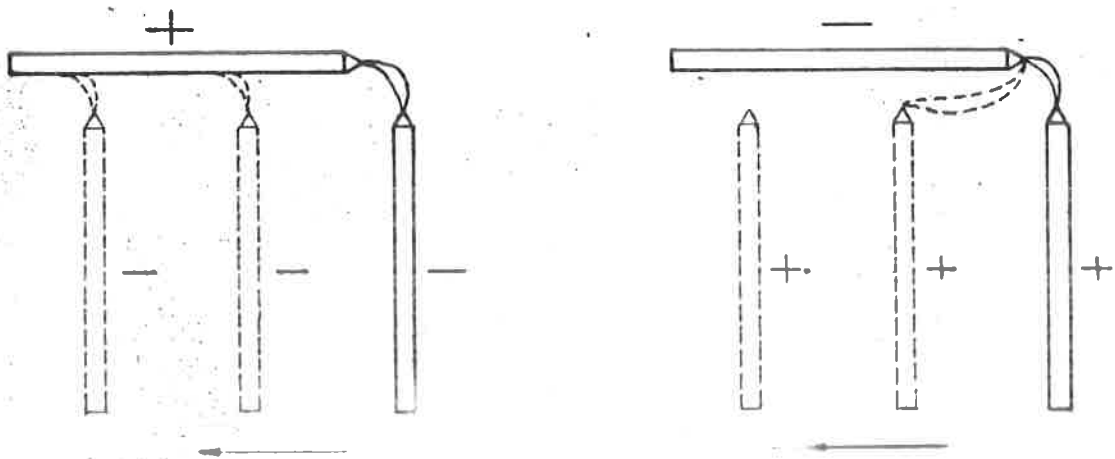


fig 40

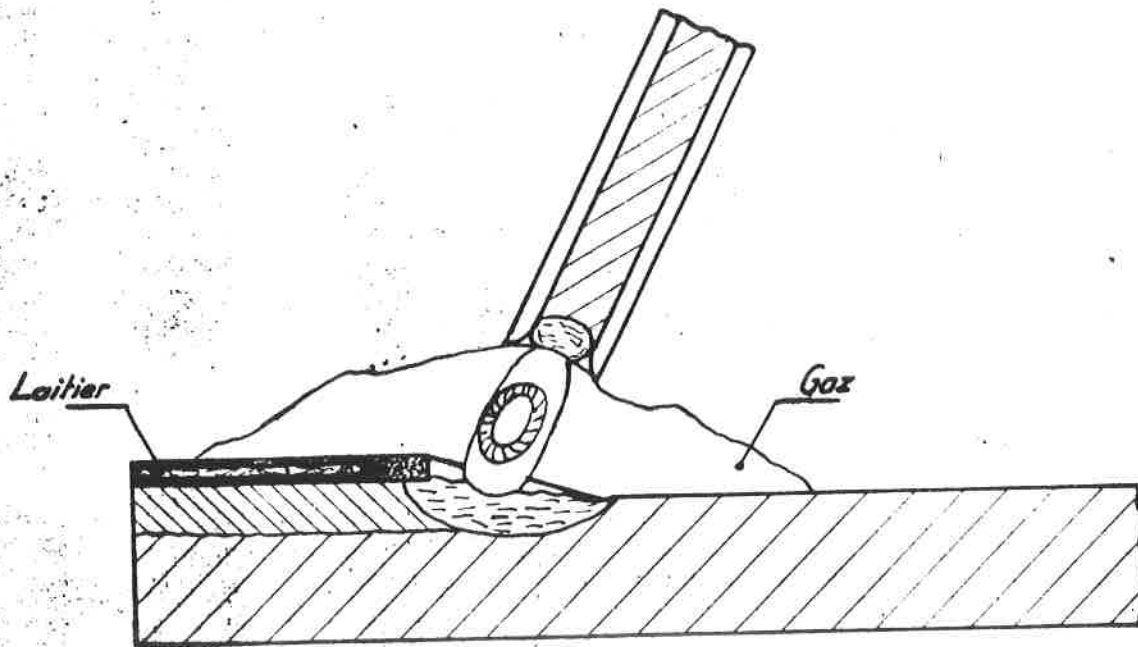
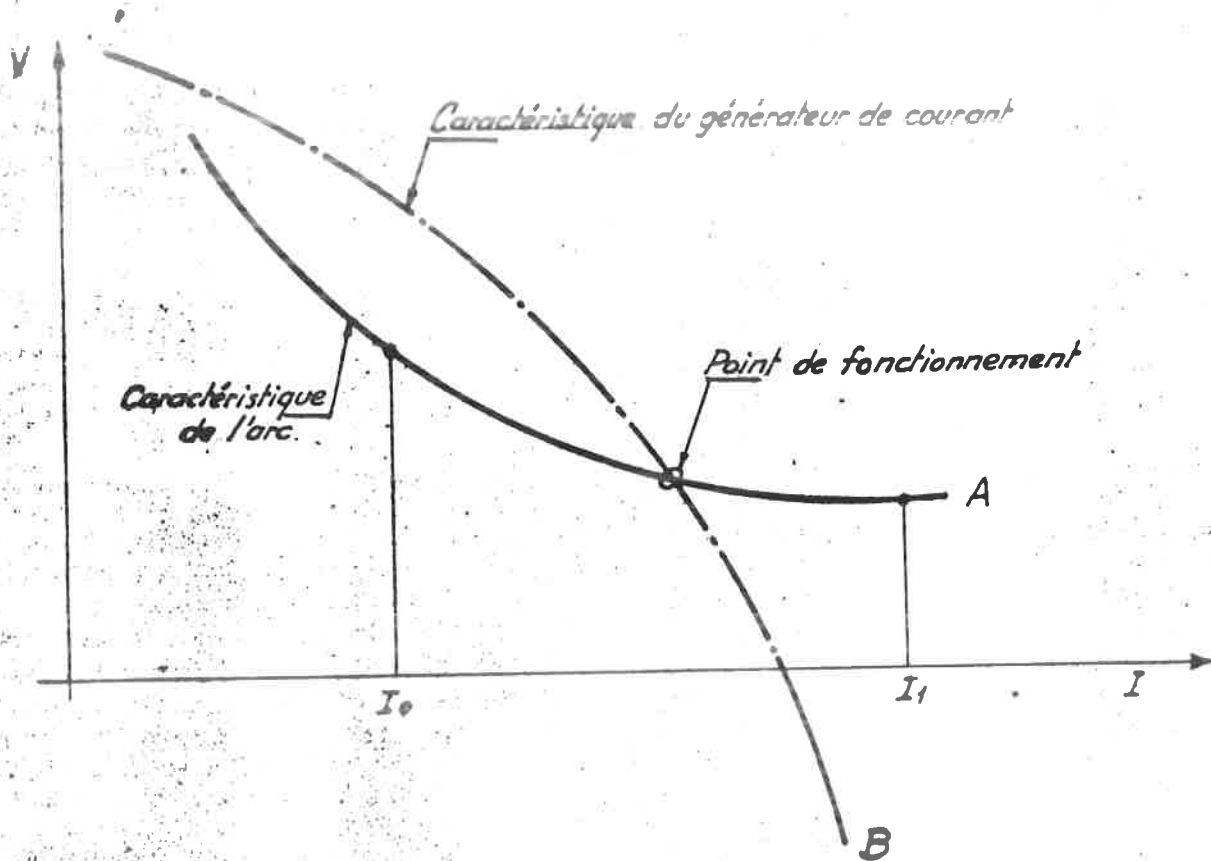


fig 41



LES ELECTRODES.

29. Les électrodes comportent le métal d'apport.

On distingue: électrodes nues
électrodes enrobées

Les premières ne sont plus guère utilisées comme élément consommable à cause de la mauvaise qualité des soudures qui en résultent.

En effet, la qualité du joint soudé à l'arc dépend non seulement de ses deux constituants (c;à.d. le métal de base et le métal d'apport), mais, encore et surtout, des conditions dans lesquelles le bain s'est formé et solidifié.

Avec l'électrode nue, le bain ne subit aucun affinement et ne profite d'aucune protection; son refroidissement est rapide et brutal. Cette électrode ne peut être utilisée avec un générateur de courant alternatif (voir par. 25).

Les électrodes enrobées apportent toute la solution à ce problème. Elles se composent (fig. 42):

- a) D'un élément métallique qui produit le métal d'apport (acier doux - acier allié - aciers spéciaux);
- b) D'un élément non métallique ou partiellement métallique constitué par l'enrobage.

30. Rôle de l'enrobage.

L'enrobage a un rôle mécanique, un rôle physique, un rôle électrique et un rôle métallurgique à remplir.

Rôle mécanique.

L'enrobage augmente la stabilité de l'arc. Au par. 26 on explique comment l'enrobage, plus réfractaire que le métal du noyau, dirige ce dernier vers le bain.

Certains enrobages sont étudiés pour raccourcir l'arc (enrobage très réfractaire) et les gaz, produits par leur combustion, déplacent le bain par soufflage.

Toutes ces actions favorisent la pénétration.

Rôle physique.

L'enrobage comporte des constituants qui, après dissociation dans la chaleur de l'arc, se recombinent dans le bain et apportent ainsi de la chaleur à ce dernier.

(B). 248394. B. 65 (100)

L'enrobage provoque la formation d'un laitier (voir rôle métallurgique) dont la consistance détermine la forme du cordon (rond ou plat) et les positions dans lesquelles les soudures peuvent s'exécuter (horizontal, vertical - au plafond, etc...).

Rôle électrique.

L'enrobage contient des sels de Na et K, qui, par ionisation, rendent l'air ambiant bon conducteur pour l'arc-électrique. Ces sels se vaporisent lors de l'allumage. L'effet ionisant et l'inertie thermique de l'enrobage permettent l'utilisation du courant alternatif.

Rôle métallurgique.

Les constituants de l'atmosphère sont fort néfastes à la soudure.

L'oxygène oxyde rapidement le fer fondu avec formation de Fe O qui se loge entre les cristaux de métal et le rend rapidement inutilisable. Ce même gaz s'empare du C-Si-Mn qui sont des constituants de qualité dans l'acier.

L'azote forme des nitrures nuisibles à l'allongement et à la résilience du métal.

Lors de la combustion, les éléments de l'enrobage produisent;

- Des gaz qui absorbent O_2 et N_2 tout en isolant et en protégeant le bain contre ces constituants de l'atmosphère;
- Du laitier qui exerce une action affinante dans le bain; il absorbe les oxydes et autres impuretés; il y introduit des éléments pour améliorer les qualités mécaniques du dépôt et, lors de la solidification, il protège le métal en le couvrant d'une couche de liquide qui se solidifie en même temps *que lui*;

31. Constitution de l'enrobage.

Les fonctions de l'enrobage déterminent sa composition.

On y trouve des minerais (oxyde de fer et de titane) des silicates complexes, des fondants ($Ca F_2$), des anhydrides (rutile et quartz) et des bases $Ca CO_3$ et $Mg CO_3$ - divers alliages métalliques et des matières organiques (sucres - cellulose, etc...).

D'après la constitution, les enrobages se classent en cinq groupes:

1. Enrobage oxydant: se compose essentiellement d'oxydes métalliques (mauvaise protection contre N_2 et O_2). Cet enrobage brûle une partie du carbone de l'acier. Les caractéristiques mécaniques du joint sont médiocres, mais la nature du laitier favorise le travail du soudeur et le joint présente un aspect satisfaisant;
2. Enrobage acide: contient une quantité importante de désoxydants à côté des oxydes classiques. L'électrode fond rapidement grâce aux réactions exothermiques dues à la présence des oxydes. Ces électrodes conviennent pour le soudage "toute position";
3. Enrobage basique: contient $Ca CO_3$ - $Mg CO_3$ et $Ca F_2$ à côté des ferro-manganèse, ferro-silicium, ferro-titane, etc.....
Le laitier formé exerce une forte action affinante et le métal déposé présente des caractéristiques mécaniques excellentes.
4. Enrobage rutile ($Ti O_2$): électrodes d'utilisation facile dans toutes les positions. Le métal déposé est de qualité supérieure à celui des enrobages oxydants.
5. Enrobage cellulosique contient des matières organiques donnant un flux gazeux important. Le souffle de l'électrode donne à la soudure une plus forte pénétration, tandis que l'aspect extérieur du joint est moins satisfaisant.

32. Conditions d'utilisation des électrodes.

Les conditions d'utilisation d'une électrode sont déterminantes pour la qualité du joint; ce sont:

- Les conditions électriques: nature du courant, intensité du courant de soudage, tension de l'arc et polarité de l'électrode;
- Les conditions de position: soudage horizontal, vertical en corniche au plafond.

33. Classifications des électrodes (voir cours spéciaux et catalogues des fabricants).

Nous attirons l'attention sur l'existence des électrodes spéciales suivantes:

- Electrode "contact": l'enrobage est conditionné pour maintenir, durant le soudage, un contact permanent entre l'électrode et la pièce à souder (enrobage réfractaire qui, par retard de fusion maintient automatiquement l'arc à sa longueur requise);

- Electrode à forte pénétration: comporte un enrobage réfractaire maintenant un arc très court qui pénètre plus profondément dans la pièce grâce à un courant de soudage plus intense sous une tension d'arc plus élevée (le courant de soudage s'évalue à $40 \times d$ (mm) pour une électrode ordinaire. Pour la forte pénétration, on utilise des courants de $75 \times d$, tandis que la tension de l'arc atteint ± 50 volts);
- Electode à haut rendement : comportant dans l'enrobage des éléments métalliques qui s'ajoutent au métal du noyau pour remplir plus rapidement le joint (vitesse de travail accrue dans des rapports de 1,25 à 2);
- Electrodes à composition spéciale: (pour applications particulières, consulter les firmes spécialisées).

La pratique du soudage à l'arc.

34.

Les joints: le tableau fig. 43 donne la préparation des différents joints; en regard de chaque joint préparé se trouve une coupe transversale du joint soudé ainsi que la surface de la section transversale. Les chiffres de la dernière colonne permettent de se rendre compte des économies qu'on peut réaliser en choisissant le joint adéquat.

Certains renseignements de la fig. 43 ont été puisés dans la NBN 204 - Code de bonne pratique relatif aux constructions soudées en acier.

35.

Méthodes de soudage.

On distingue:

- le soudage horizontal;
- le soudage vertical de bas en haut;
- le soudage vertical de haut en bas (seulement avec certaines électrodes);
- le soudage incliné;
- le soudage au plafond;
- le soudage en corniche.

Succession des cordons.

La pose du premier cordon demande un soin particulier; en effet, ce cordon manque souvent de pénétration. On utilise une électrode mince et, si possible, ce cordon est repris à l'envers après enlèvement de la racine du joint (fig. 44).

Lors de la pose des cordons suivants, il y a lieu de veiller à l'enlèvement complet de la couche de laitier des cordons précédents. Ce travail devient prohibitif, lorsque les cordons sont mal posés (fig. 45).

Le soudage horizontal: s'effectue de préférence sur chanfrein symétrique (X); pour réduire l'effet du retrait, on soude alternativement de part et d'autre du plan de symétrie. On obtient des soudures bien pénétrées, en utilisant des slip-joints (fig. 46). Ils seront utilisés, chaque fois que la reprise d'une soudure en V est impossible, (exemple: caisson fermé).

Le soudage vertical de bas en haut: permet de travailler sur un bain incliné ce qui assure une bonne pénétration (fig. 47):

Le soudage vertical de haut en bas: donne un cordon lisse mais n'assure pas un joint de bonne qualité (fig. 48).

Le soudage incliné: présente les mêmes avantages que le soudage vertical, pour autant qu'il soit exécuté de bas en haut (fig. 49).

Le soudage au plafond: ne peut s'exécuter qu'avec une électrode appropriée donnant peu de laitier. Le bain doit être très réduit.

Le soudage en corniche: ce procédé s'exécute sur joint asymétrique. Les cordons se succèdent de l'arrière à l'avant et de bas en haut (fig. 50).

36.

Défauts des soudures à l'arc.

Ces défauts sont, pour la plupart, les mêmes que ceux décrits dans la leçon du soudage au chalumeau.

Il y a lieu d'y ajouter le défaut du cratère d'interruption. Le soudeur peut l'éviter en redressant la baguette avant la coupure de l'arc (fig. 51).

37.

Soudage automatique.

Pour augmenter considérablement la vitesse de travail, on utilise les têtes de soudage automatiques. Ces appareils sont motorisés; ils se promènent au-dessus du joint tout en alimentant le bain d'un fil enrobé qui s'avance automatiquement dans l'arc.

Ces têtes se composent (fig. 52):

6.

- D'un appareil "moteur" pour l'avancement de la tête ou de la pièce (cas de tête fixe);
- D'un appareil "moteur" alimentant le bain en "électrode";
- Des appareils qui règlent la longueur de l'arc.

Ces appareils ne se justifient que pour l'exécution de joints longs et volumineux (voir également leçon 14: soudage à l'arc submergé).

C. 1217 bis
13e leçon

fig 42

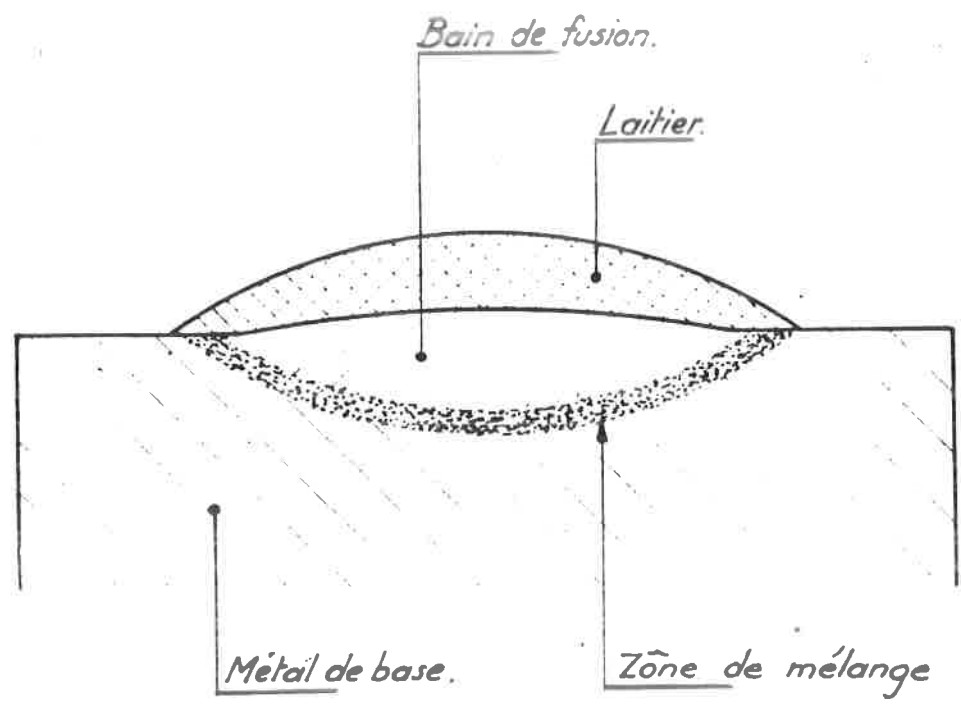
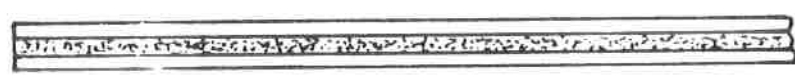
Electrode nue.



Electrode enrobée.



Electrode à noyau.



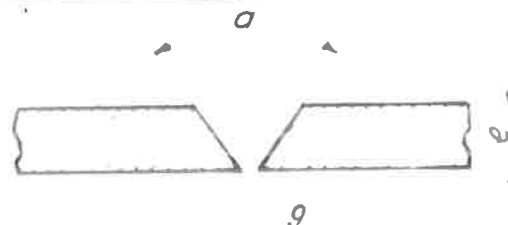

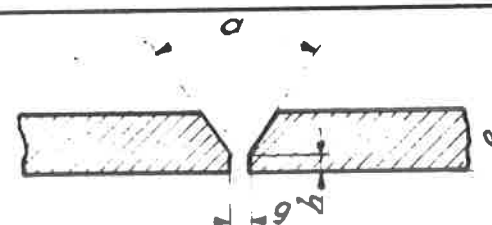



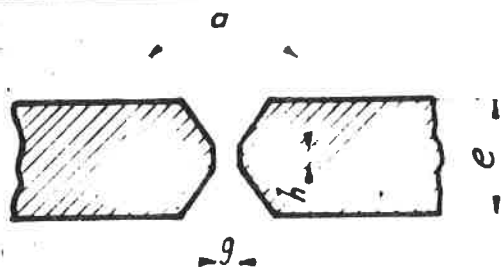

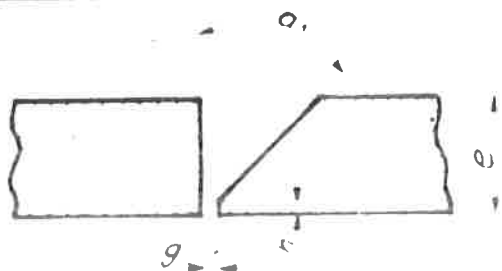
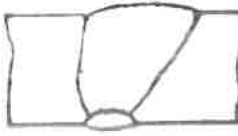
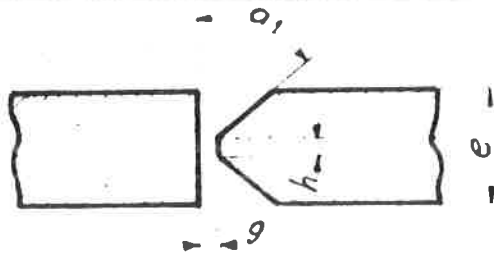
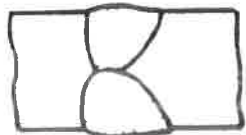
(D). 298394. P. 65 (100)

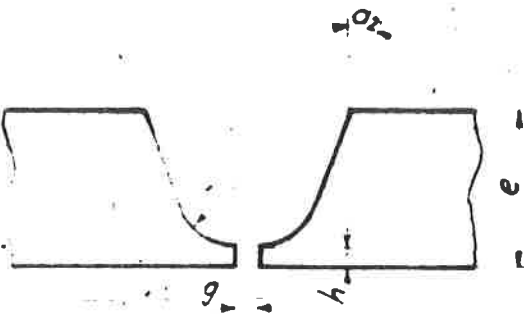
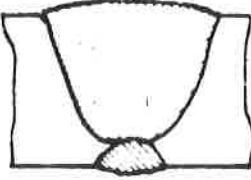
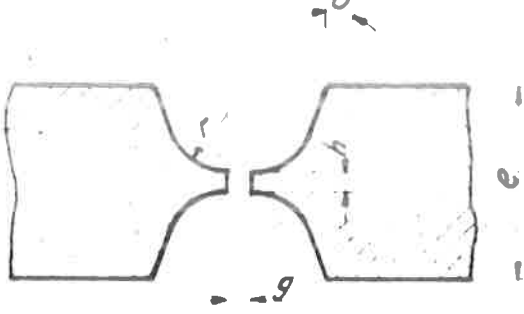
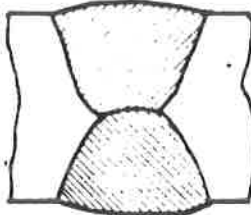
C 1217 bis
13/4

fig 43.

Tableau des types de joint.

Dénomination du joint.	Préparation du joint.	Joint soudé	Section du joint en fonction de l'épaisseur des tôles.
Joint droit pour souder bout à bout.	<p>Non chanfreiné jusque $e < 5 \text{ mm}$.</p>  <p>$g = 2 \text{ à } 3 \text{ mm}$ ou $g = \frac{e}{2}$</p>		$S = 0,5 e^2$
Joint en V à chanfrein plein.	 <p>Pour $e \geq 4 \text{ mm}$. $\alpha = 60^\circ \text{ à } 70^\circ$ $g = \frac{e}{10}$ avec min. de 1,6 mm.</p>		$S = 0,7 e^2$
Joint en V à chanfrein partiel.	 <p>Pour $e \geq 6 \text{ mm}$. $h = 1 \text{ à } 3 \text{ mm}$. $g = \frac{e}{10}$ avec min. de 1,6 mm.</p>		$S = 0,6 e^2$ C $\frac{1217 \text{ bis}}{13^{\text{e}} \text{ L.}}$

Dénomination du joint	Préparation du joint.	Joint soudé	Section du joint en fonction de l'épaisseur des tôles
Joint en X	 <p> $Pour e \geq 12 \text{ mm.}$ $h = 1 \text{ à } 3 \text{ mm.}$ $g = \frac{e}{10}$ avec min. de 1,6 mm. </p>		$S = 0,3 e^2$
Demi joint en K.	 <p> $Pour e \geq 4 \text{ mm}$ $a = 50^\circ \text{ à } 70^\circ$ $h = 1 \text{ à } 3 \text{ mm.}$ $g = \frac{e}{10}$ avec min de 1,6 mm. </p>		$S = 0,85 e^2$
Joint en K	 <p> $Pour e \geq 12 \text{ mm.}$ $h = 1 \text{ à } 3 \text{ mm.}$ $g = \frac{e}{10}$ avec min. de 1,6 mm. </p>		$S = 0,45 e^2$

Dénomination du joint:	Préparation du joint:	Joint soudé	Section du joint en fonction de l'épaisseur des tôles.
<p>Joint tulipe simple</p>	 <p>Pour $e \geq 20 \text{ mm}$.</p> <p>$h = 1,5 \text{ à } 3 \text{ mm}$.</p> <p>$g = 1 \text{ à } 3 \text{ mm}$.</p> <p>$\alpha_2 = 10^\circ \text{ à } 20^\circ$</p> <p>$r = 3 \text{ à } 9 \text{ mm}$.</p>		<p>$S = 0,45 e^2$</p>
<p>Joint tulipe double</p>	 <p>Pour $e \geq 40 \text{ mm}$.</p> <p>$h = 2 \text{ à } 3,5 \text{ mm}$.</p> <p>$g = 1,5 \text{ à } 3,5 \text{ mm}$.</p> <p>$\alpha = 10^\circ \text{ à } 20^\circ$</p> <p>$r = 3 \text{ à } 9 \text{ mm}$.</p>		<p>$S = 0,25 e^2$</p> <p>C $\frac{1217 \text{ bis}}{13^{\text{a}}}$</p>

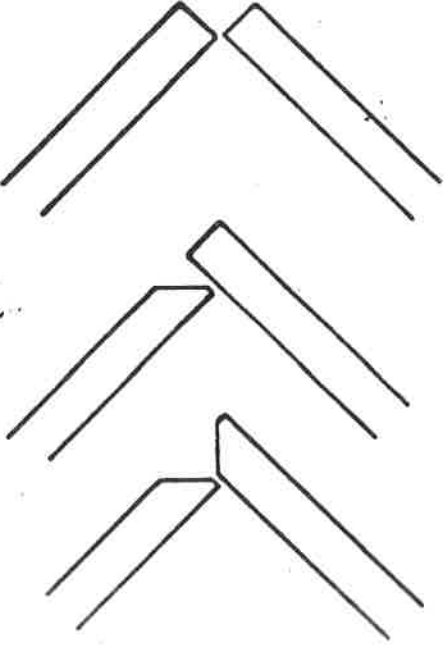
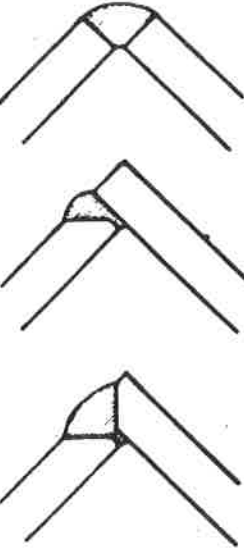
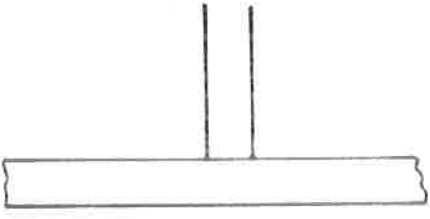
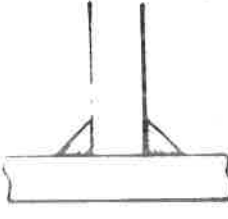
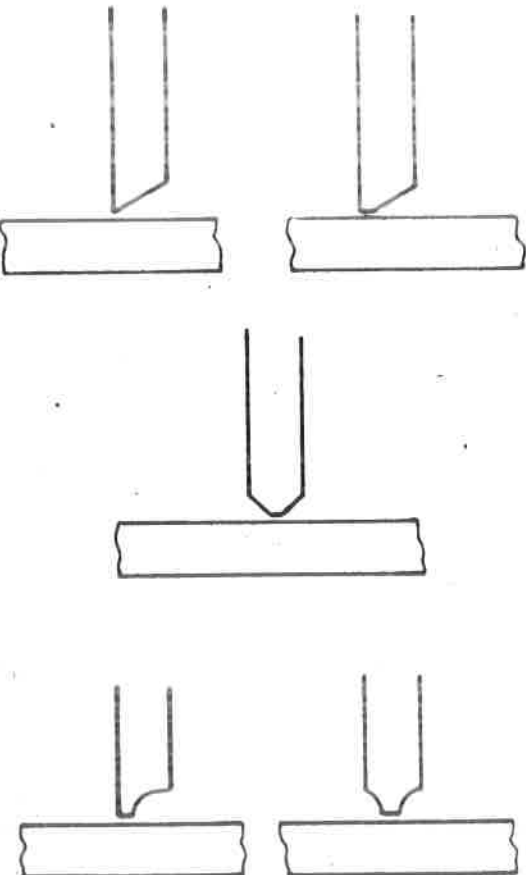
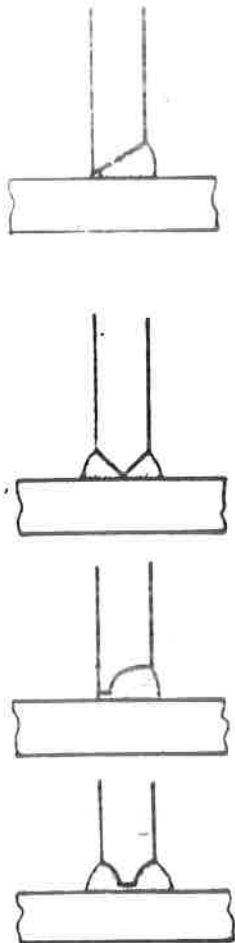
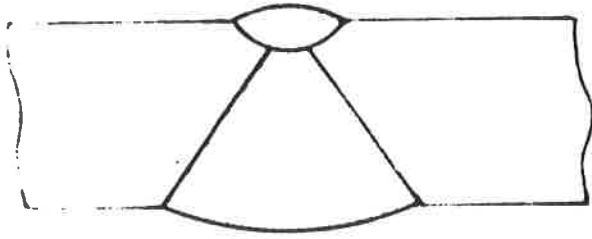
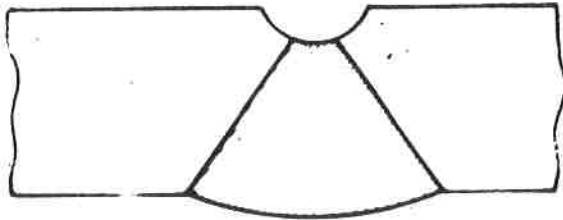
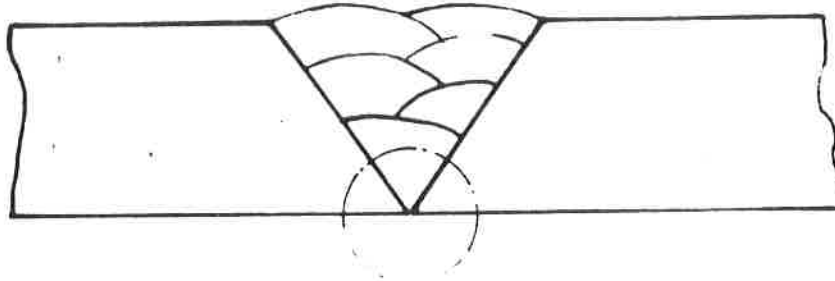
Dénomination du joint	Préparation du joint.	Joint soudé	Section du joint. ⁵
<p>Soudure d'angle extérieur.</p>			<p>Dérivé du joint en V</p> <p>du demi joint en K</p> <p>du joint en V</p>
<p>Soudure d'angle intérieur sans chanfrein.</p>			<p>Joint double JL</p>
<p>Soudure d'angle intérieur avec chanfrein.</p>			<p>Demi joint en K.</p> <p>Joint en K</p> <p>Joint tulipe</p> <p>Joint tulipe double.</p> <p>C 1217 bis 13°.</p>

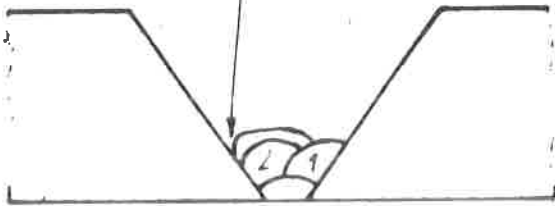
fig 44



Mauvais
Le laitier s'enlève
difficilement

fig 45

Bon.



Bon.

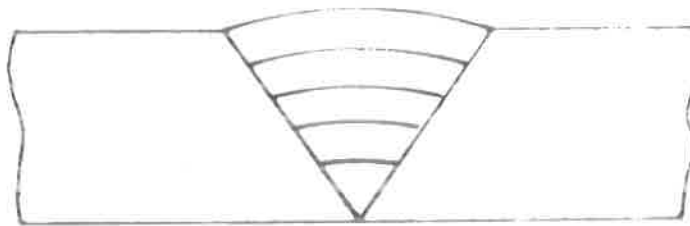
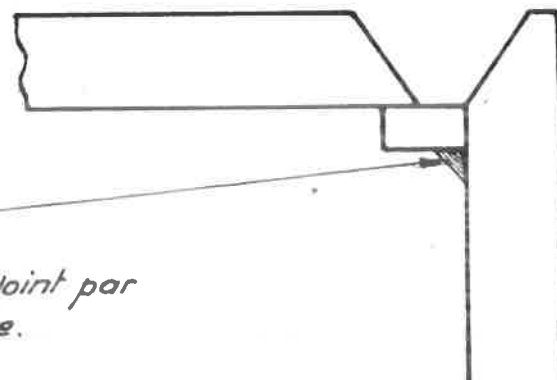
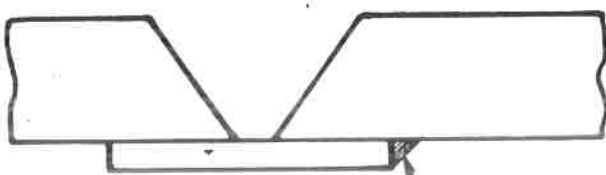


fig 46



Fixation du srib-joint par
points de soudure.

fig 47

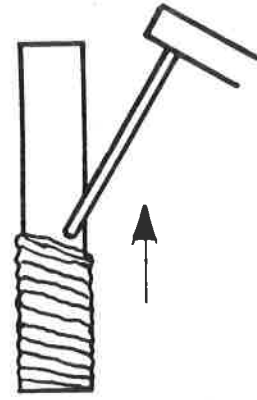
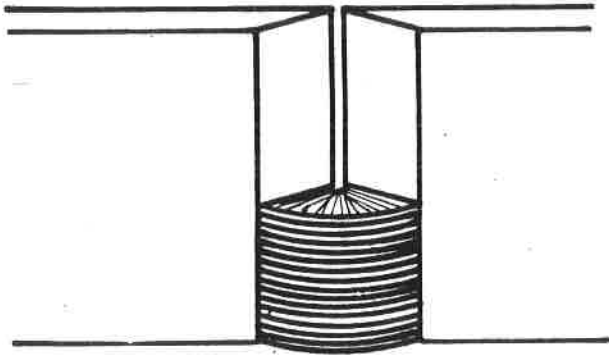


fig 48

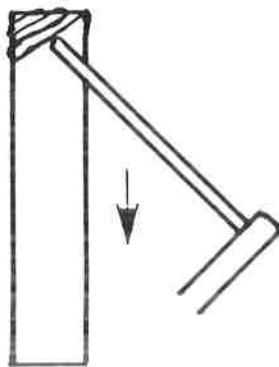


fig 49

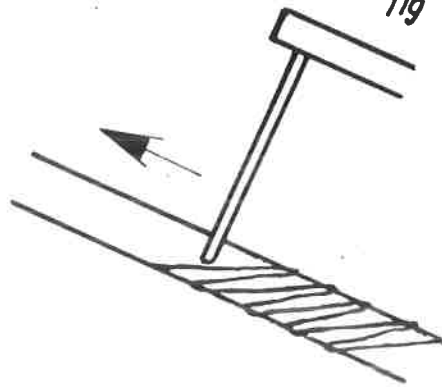


fig 50

fig 51

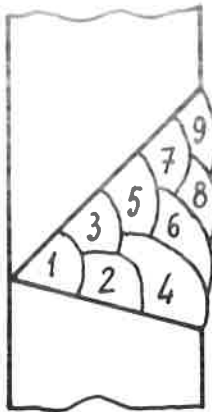
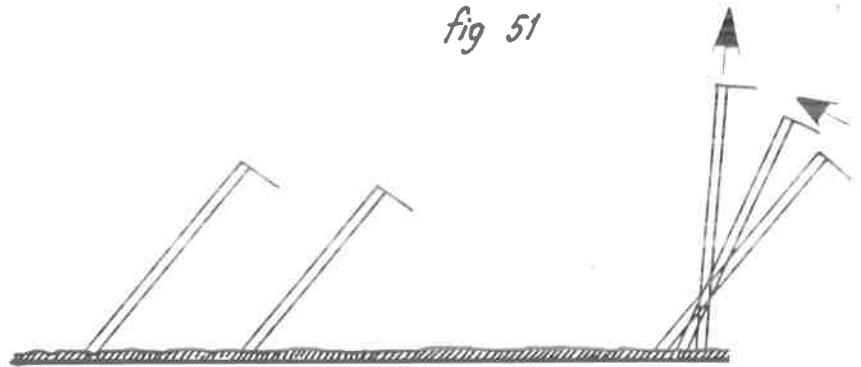
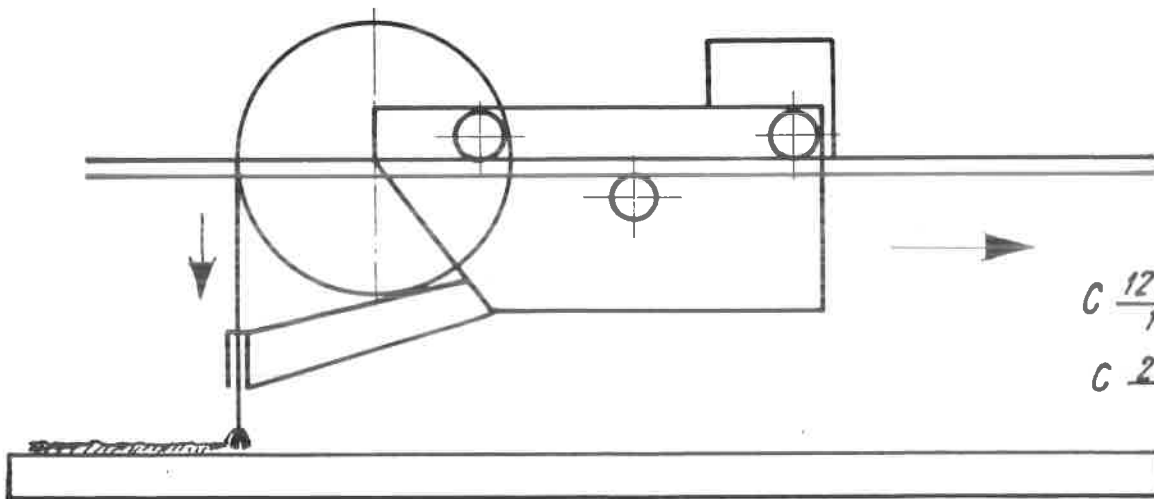


fig 52



C $\frac{1217 \text{ bis}}{13 \approx L}$
C $\frac{2217 \text{ bis}}{13 \approx L}$

LES PROCÉDES SPECIAUX.

I. Stabilisation de l'arc par la haute fréquence.

38. Les moyens mis en oeuvre pour allumer l'arc et le stabiliser s'avèrent parfois insuffisants par suite de:

- a) Manque d'ionisation: dans certains procédés modernes l'arc est protégé par un gaz inerte (voir plus loin). Ces gaz sont peu ionisants;
- b) Manque d'inertie de l'électrode: Ces mêmes procédés utilisent des électrodes nues ou électrodes à enrobage encastéré; l'extrémité métallique d'une telle électrode manque d'inertie thermique et ne permet pas l'utilisation du courant alternatif;
- c) Soufflage magnétique: l'emploi des électrodes très minces, les masses d'acier asymétriques par rapport au joint, l'emploi du courant continu sont autant de facteurs qui rendent l'arc instable. L'arc dévie sous l'effet du champ magnétique.

Tous ces éléments perturbateurs sont combattus par l'emploi de la haute fréquence. En effet, la stabilité de l'arc et l'amorçage sont favorablement influencés par l'augmentation de la fréquence du courant de soudage.

On n'utilise guère un courant de soudage à haute fréquence proprement dit, parce que:

1. Le phénomène d'induction et le skin-effect augmentent la chute de tension dans les câbles, y provoquent de l'échauffement ainsi que dans l'électrode;
2. Il faut utiliser un appareil tournant pour transformer le courant.

La solution adoptée consiste à superposer au courant principal qui est, soit continu, soit alternatif, un faible courant de + 0,1 A et de fréquence élevée (de 150 Kc à 30 Mc) fig. 53. Ce dernier courant peut être fourni par un ensemble de 2 transformateurs T_1 et T_2 en série, avec, dans le circuit intermédiaire, un système oscillant et une dérivation munie d'éclateurs (fig. 54).

On obtient ainsi:

- a) Le circuit primaire I d'alimentation;
- b) Le circuit oscillant secondaire I et primaire II;
- c) Le circuit haute fréquence secondaire II dans lequel passe également le courant principal de soudage.

(B). 280394. 8. 65 (200)

2.

La haute fréquence est utilisée:

1. Pour le soudage à l'argon avec du courant alternatif;
2. Pour combattre le soufflage magnétique (courant continu et électrodes très minces);
3. Pour souder avec des électrodes à tension d'amorçage élevée.

II. Protection de l'arc par gaz inertes.

39. Pour des multiples raisons d'ordre technique et économique, on a été amené à trouver une solution de rechange pour la protection du bain de fusion.

En dirigeant sur le bain un courant de gaz inerte, on le protège très efficacement contre les agents atmosphériques.

Dans les premières soudures au gaz protecteur, on utilisait l'hélium; ce gaz étant trop léger, fut favorablement remplacé par l'argon, plus lourd que l'air.

Le soudage à l'argon se justifie pour le cuivre rouge, l'aluminium et l'acier inoxydable. Etant donné le prix très élevé de l'argon, on a développé un procédé pour le soudage de l'acier ordinaire dans lequel l'argon est remplacé par le CO₂.

On distingue deux procédés de soudage au gaz protecteur. Dans le premier, l'arc jaillit entre la pièce et une électrode non consommable en tungstène. Cette électrode est entourée d'un tube par lequel arrive le gaz protecteur (fig. 55).

Le métal d'apport est fourni par une baguette de métal comme dans le soudage au gaz ordinaire.

Dans le second procédé, le métal d'apport constitue l'électrode consommable. C'est un fil calibré qui s'avance continuellement vers le bain à travers le tube canaliseur du gaz de protection (fig. 56).

Ce dernier procédé nécessite l'emploi d'un appareil "moteur" pour l'alimentation du fil et d'un ensemble de réglage automatique pour maintenir l'arc à sa longueur requise.

Avec les fils "gros calibre", on utilise un appareil "moteur" fixe, reposant sur le sol ou sur la génératrice de courant et le soudeur ne tient en main qu'un pistolet relié au poste par un câble combiné, câble électrique avec alimentateur du fil de soudage, boyau pour le gaz protecteur et canalisation d'eau de réfrigération du pistolet (fig. 57).

Pour les fils "minces", le pistolet de soudage comporte la bobine et le moteur pour l'alimentation du fil (fig. 58).

Remarque.

Pour le soudage à l'argon de l'aluminium, on utilise du courant continu; l'électrode est raccordée au positif. En effet, l'aluminium étant toujours couvert d'une mince couche d'oxyde, ce n'est que par jaillissement du courant d'électrons de la pièce de base que cette couche est rompue et éliminée du bain. En courant alternatif, la tension à appliquer serait trop élevée.

III. Soudage à l'arc submergé.

40. La protection du bain de fusion par gaz inerte a été développée à cause des difficultés qu'entraîne, dans le soudage automatique, l'emploi d'un fil enrobé (problème du contact électrique avec l'électrode). Toutefois, le gaz protecteur ne remplit pas toutes les conditions auxquelles satisfait un enrobage (voir rôles de l'enrobage).

Avec l'invention du procédé à arc submergé, on est revenu à l'emploi des fondants, mais ici l'enrobage est remplacé par une masse pulvérulente dans laquelle plonge le fil nu de métal d'apport. L'arc se développe dans la poudre et n'est pas visible: on dit que l'arc est submergé (fig. 59).

Il faut disposer d'un mécanisme pour l'alimentation du fil.

Le soudage à l'arc submergé s'exécute horizontalement. Le flux joue un rôle très important; il comporte des fondants (Ca F_2) et des silicates (de Ca, Mg et Al). Le laitier se détache presque automatiquement par contraction au refroidissement. La poudre en excès est aspirée et réutilisée. La soudure est de très bonne qualité; le joint soudé pénètre profondément dans la pièce, ce qui permet de travailler sur tôles non chanfreinées ou sur chanfreins étroits. Les bains de fusion sont presque toujours soutenus par un "slip-joint".

On utilise des courants très intenses; il en résulte un bain de fusion étendu et une grande vitesse de travail.

Pour tôles	∅ du fil de soudage	courant de soudage (X)	vitesse du soudage
non chanfreinée de 6 mm	4 mm	450 ampères	60 m à l'heure
" de 8 mm	4 mm	525 "	60 "
" de 10 mm	4 mm	600 "	60 "
" de 12 mm	5 mm	750 "	54 "
chanfrein simple 16 mm	5 mm	800 "	39 "
" 20 mm	6 mm	925 "	27 "
chanfrein X 25 mm	6 mm	925 "	27 "
" 30 mm	6 mm	925 "	21 "

(x) la tension de l'arc varie de 35 à 38 volts.

Les chiffres de ce tableau se rapportent à des joints exécutés en deux passes, une de chaque côté de la tôle.

IV. Soudage par résistance.

41. Principe.

On soude deux pièces par pression sur des zones préalablement chauffées par effet Joule (et par effet d'étincelage).

Les pièces A et B (fig. 60), mises en contact en C, ferment le circuit dans lequel la source S débite un courant intense. Ce courant crée une zone chaude à l'endroit de la plus grande résistance du circuit; c'est le contact C. Quand les bords en contact sont portés à blanc, il suffit de rapprocher les deux pièces avec une force suffisante pour réaliser la soudure.

Une seconde méthode consiste à séparer légèrement les bords des pièces à réunir après un premier contact et un échauffement (par effet Joule) préalable.

Au moment de la **séparation** apparaissent, entre les faces de nombreuses petites étincelles qui portent les bords au point de fusion (fig. 61). Le métal s'évapore dans les arcs très chauds, expulse les oxydes et les constituants de l'air et l'opération progresse sous la protection d'un milieu à vapeur métallique. Après rapprochement, on obtient une soudure dont les qualités mécaniques sont supérieures à celles d'une soudure par simple rapprochement.

42. Machines à souder par résistance (fig. 62).

Elles se composent d'un transformateur dont le secondaire ne comporte qu'une seule spire; la tension secondaire est très basse (6 à 8 volts), mais le courant secondaire est très élevé (plusieurs milliers d'ampères).

Les pièces à souder sont serrées dans des mors en cuivre rouge refroidis par circulation d'eau.

Pour des pièces importantes, la pression de soudage est exercée hydrauliquement; les machines comportent des mécanismes qui exécutent le programme complet du soudage (contact, éloignement, étincelage, refoulement, maintien au refroidissement).

Application: soudage bout à bout de tubes, barres, rails, fourreaux, axes, etc...

43. Soudage par point.

Le principe de soudage par effet Joule est utilisé pour assembler des pièces (tôles et profilés) par des points de soudure.

Deux tôles sont pressées l'une sur l'autre entre deux électrodes en alliage de cuivre, refroidies à l'eau, et par lesquelles passe un courant important (fig. 63).

Les contacts:	électrodes	-	tôles (a - c)
et	tôle	-	tôle (b)

provoquent un échauffement local suffisamment concentré pour permettre un soudage par compression (ce soudage ne se produit qu'au contact b).

Le cycle de soudage comporte (fig. 64):

1. contact et pression;
2. passage du courant;
3. soudage par compression;
4. maintien au refroidissement.

Les cycles des machines modernes, conditionnées pour souder des alliages de qualité, comportent en outre des phases de préchauffage et de recuit (fig. 65).

44. Réglage automatique des machines à souder par points.

Ce réglage s'opère sur:

1. Le temps des différentes phases;
2. L'intensité du courant de soudage.

6.

Les machines plus perfectionnées comportent des compensateurs qui contrôlent le "heat input" c.à.d. la quantité de chaleur introduite dans le joint. Ces compensations sont nécessaires pour contre-balancer les effets des chutes de tension, de l'échauffement du transformateur de soudage et des modifications d'impédance causées par l'introduction de masses de fer importantes entre les bras de la machine à souder.

Applications: en remplacement des joints rivés.

45.

Soudage aux galets.

Pour fixer les tôles par points très rapprochés ou par points recouvrants (cas de soudures d'étanchéité), on a construit des machines dans lesquelles les électrodes, en forme de tige cylindriques, ont été remplacées par des galets,

Ces galets entraînent et pincent les tôles à réunir pendant leur mouvement de rotation (fig. 66). Le courant de soudage passe par le système galets-tôles à des intervalles pré réglés.

Application: Assemblage de tôles devant constituer des réservoirs étanches.

SOUDABILITE.

46.

Définition.

C'est l'aptitude que présente un métal à se laisser assembler à son semblable par fusion des bords.

Facteurs qui déterminent la soudabilité.

Ces facteurs se classent en 3 groupes:

1.^o Les facteurs physiques:

- la température de fusion;
- la chaleur de fusion (nombre de calories nécessaires à faire fondre 1 kg du métal);
- la conductibilité thermique (quantité de chaleur soutirée par les masses environnantes);
- la viscosité du métal fondu;
- + la sensibilité à la trempe.

2. Les facteurs chimiques:

- la composition chimique (elle peut être modifiée par la haute température);
- formation d'oxydes nuisibles au bain de fusion.

3. Les facteurs métallographiques:

- état de cristallisation du métal;
- aptitude à prendre la trempe.

Le tableau suivant donne un bref aperçu de la soudabilité des métaux les plus utilisés en construction mécanique.

Dénomination du métal ou de l'alliage	Facteurs physiques	Facteurs chimiques	Facteurs métallographiques ou autres	Soudabilité et particularités
Acier doux	Favorables	Favorables	Les aciers doux non déterminés par la mention SC (soudabilité courante) peuvent contenir des impuretés agglomérées qui forment des inclusions	L'acier doux se laisse facilement souder par les différents procédés de soudage. Le soudage au chalumeau donne des joints moins résistants que le soudage à l'arc (rôle de l'enrobage)
Acier faiblement allié	Favorables	Les constituants C-Mn-Si s'appauvrissent. Le Cr s'oxyde; l'oxyde de chrome est infusible	Certains alliages sont autotremnants et nécessitent un recuit après soudage	Bonne soudabilité moyennant précautions spéciales (protection adéquate des bains de fusion par fondants appropriés)
Aciers durs	Favorables	Défavorables. La soudure modifie sensiblement la composition. Soudage possible avec baguettes spéciales	Défavorables. La soudure détruit les effets des traitements thermiques	Peu soudables et moyennant précautions spéciales (préchauffe-électrodes spéciales)
Aciers inoxydables	Favorables	Contiennent une forte proportion de chrome (danger de formation d'oxydes)	Certaines nuances sont autotrempantes	A souder avec électrode en inoxydable et enrobage spécial qui combat la formation d'oxyde de chrome. Les tôles minces se soudent au chalumeau avec flux de borax. Actuellement, l'acier inoxydable se soude à l'argon

Aciers moulés	Favorables	Favorables	Favorables à condition que les pièces soient "saines"	Se soudent sans difficultés; la soudure électrique est à préférer à la soudure au chalumeau par suite de l'effet de masse des pièces en acier moulé et du métal trop doux déposé par le procédé au chalumeau.
Fontes	Défavorables. Les pièces doivent subir un préchauffage progressif avant soudure et un refroidissement lent après celle-ci pour éviter la formation de fissures	Défavorables. C et Si brûlent, il y a danger de formation de fonte blanche non usinable.	Le carbone, libre de la fonte grise, est absorbé à haute température pour former du carbure de fer très dur et cassant.	La fonte est soudable moyennant: a) préchauffage progressif jusqu'au rouge dans un bac rempli de charbon de bois; b) soudage avec baguettes spéciales qui introduisent du Si dans le bain; c) refroidissement lent pour éviter les fissures et la formation de fonte blanche.
Cuivre rouge	Défavorables. Par suite de la conductibilité thermique (8 fois celle du fer) et grande gluidité du cuivre fondu	Une présence d'oxydure de cuivre (Cu_2O) supérieure à 0,5 % rend le cuivre non soudable (le cuivre électrolytique est soudable)	Le cuivre est peu résistant à chaud. Il se fissure lors du retrait de solidification. On y remédie en martelant énergiquement le métal déposé de suite après sa solidification. Ce martelage rend au cuivre son écrouissage favorable à la résistance élastique de métal.	La soudabilité du cuivre est contrôlée par chauffage d'un morceau de tôle au rouge cerise, suivi d'un pliage sous un angle de 90° (la tôle ne peut se fissurer). Le soudage est possible avec des chalumeaux très puissants en soutenant le bain par un cordon d'amiante ou par une tôle d'acier.

Bronzes	Défavorables A 600° l'étain se sépare de l'alliage		A la solidification l'étain tend à res- ter plus longtemps liquide que le cui- vre (formation de plages spongieuses)	Appliqué uniquement pour des travaux de recharge et où l'étanchéité n'est pas requise
Laitons	Favorables. -le laiton est moins conduc- teur de chaleur sur le Cu -le laiton fon- du est plus pâ- teux	Défavorables. Le Zn se volatilise à la température de fusion et se combine avec l'oxygène pour former du ZnO		Les laitons sont souda- bles en se servant d'une flamme oxydante. Celle-ci créée, à la surface du bain, une couche épaisse d'oxyde mixte de Zn et Cu, tout en isolant le bain de l'air ambiant et en empêchant le Zn de se vo- latiliser.
Aluminium	Défavorable. L'Al fondu est très fluide.	Défavorable. Le métal s'oxyde $2Al + 3O = Al_2O_3$ oxyde très réfrac- taire qui s'in- corpore dans le bain.	La soudure détruit la structure de trempe ou de recuit de certains alliages légers.	On utilise un fondant pour dissoudre le Al_2O_3 . Actuellement, l'Al se sou- de sans difficulté sous protection de l'argon.

fig 53

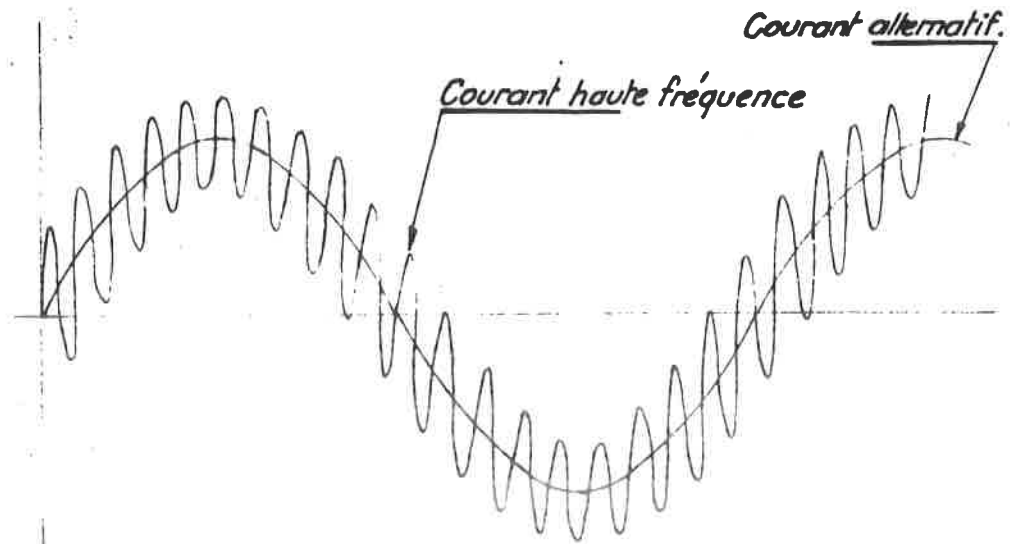
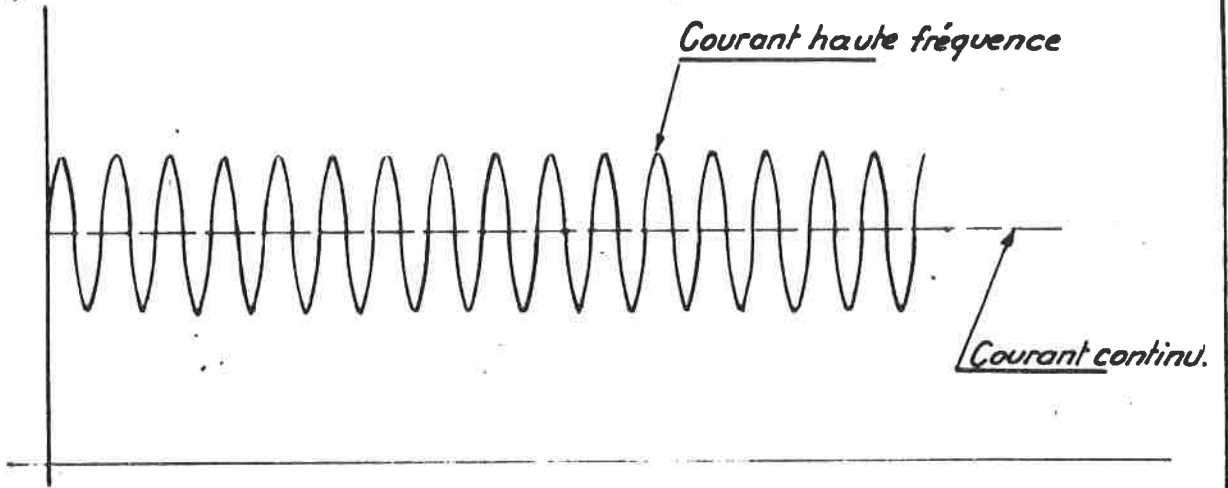
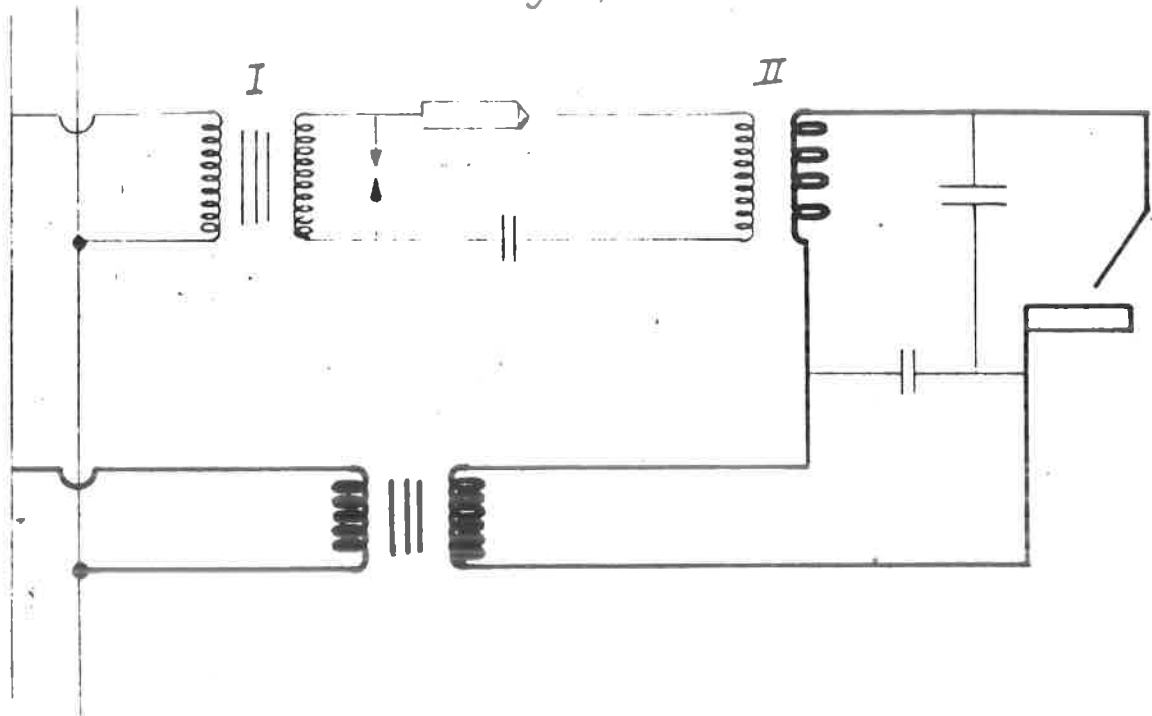


fig 54



(81. 240394. B. 65 (100)

C 1217 bis
14^e leçon

fig 55

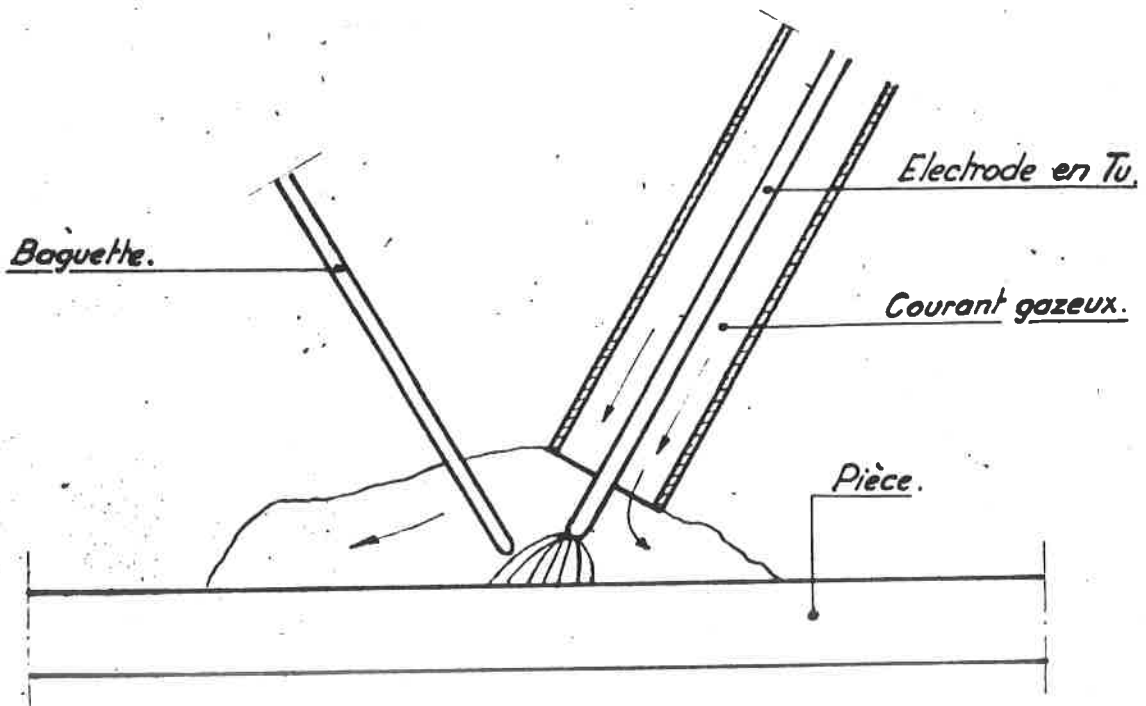


fig 56

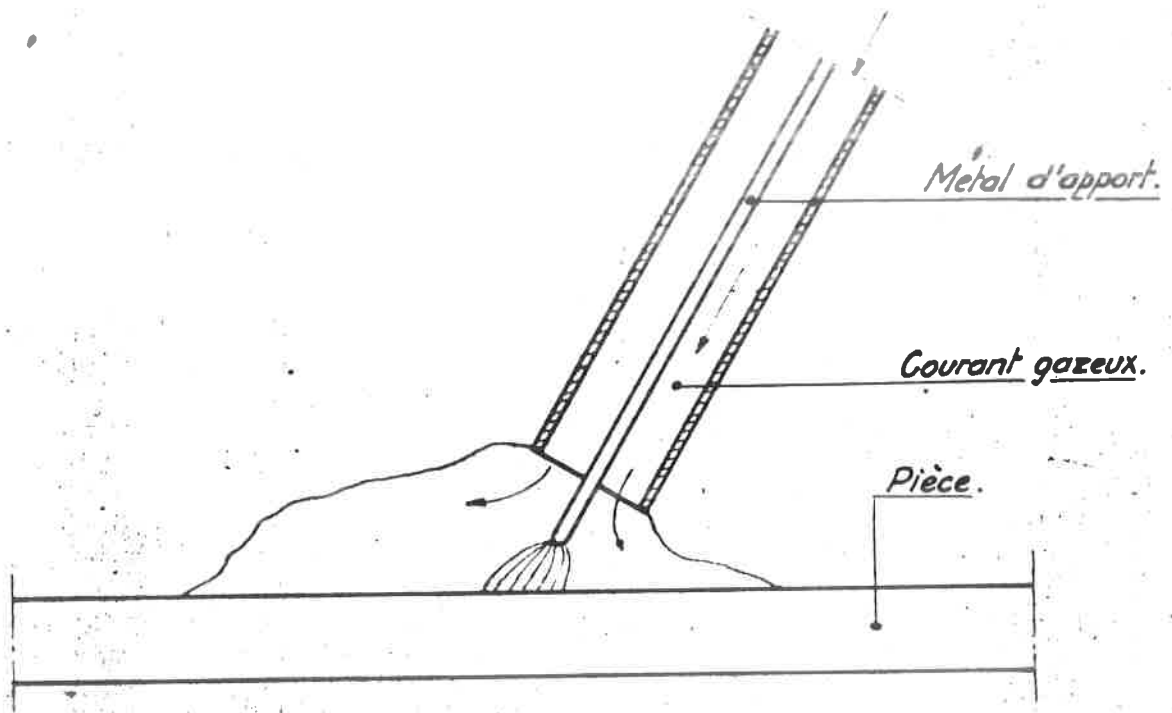


fig 57

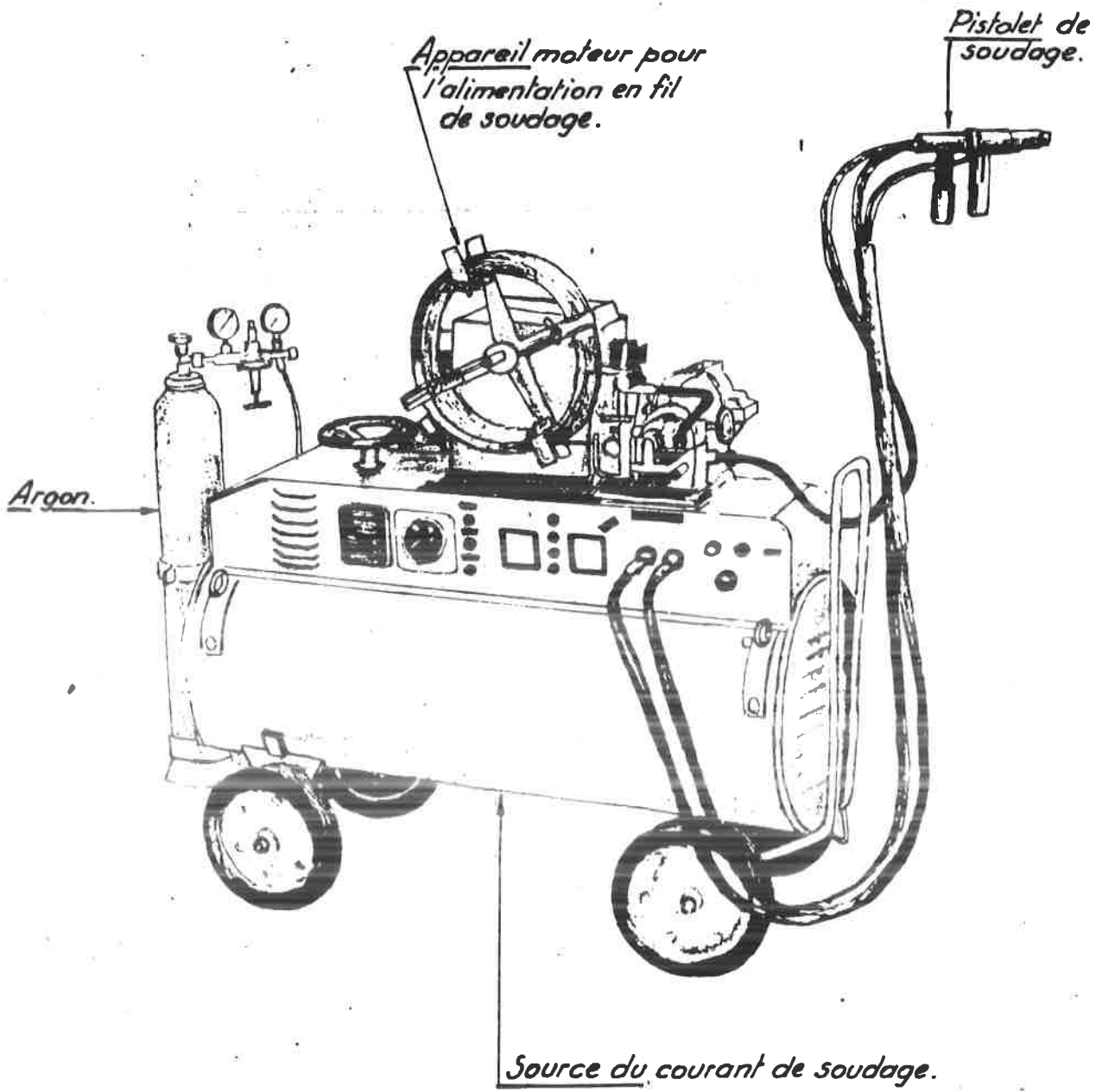


fig 58

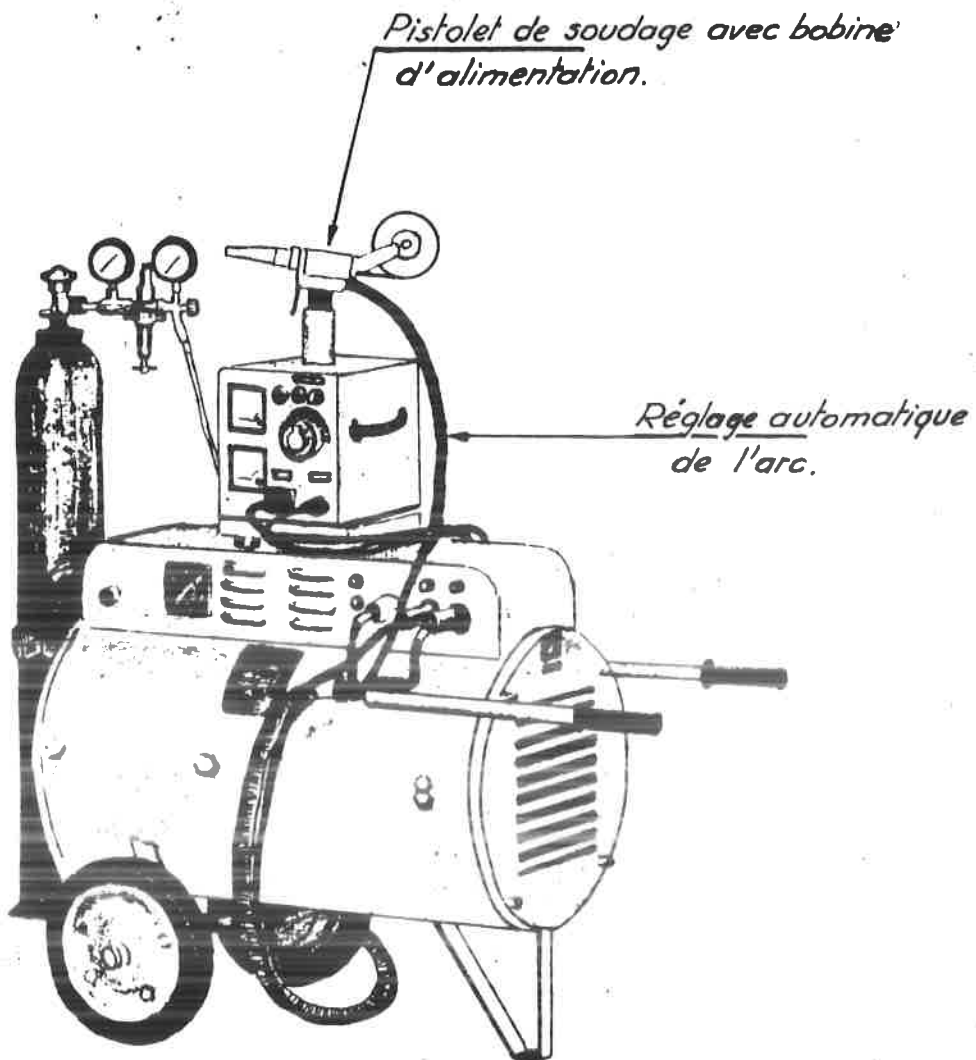


fig 59.

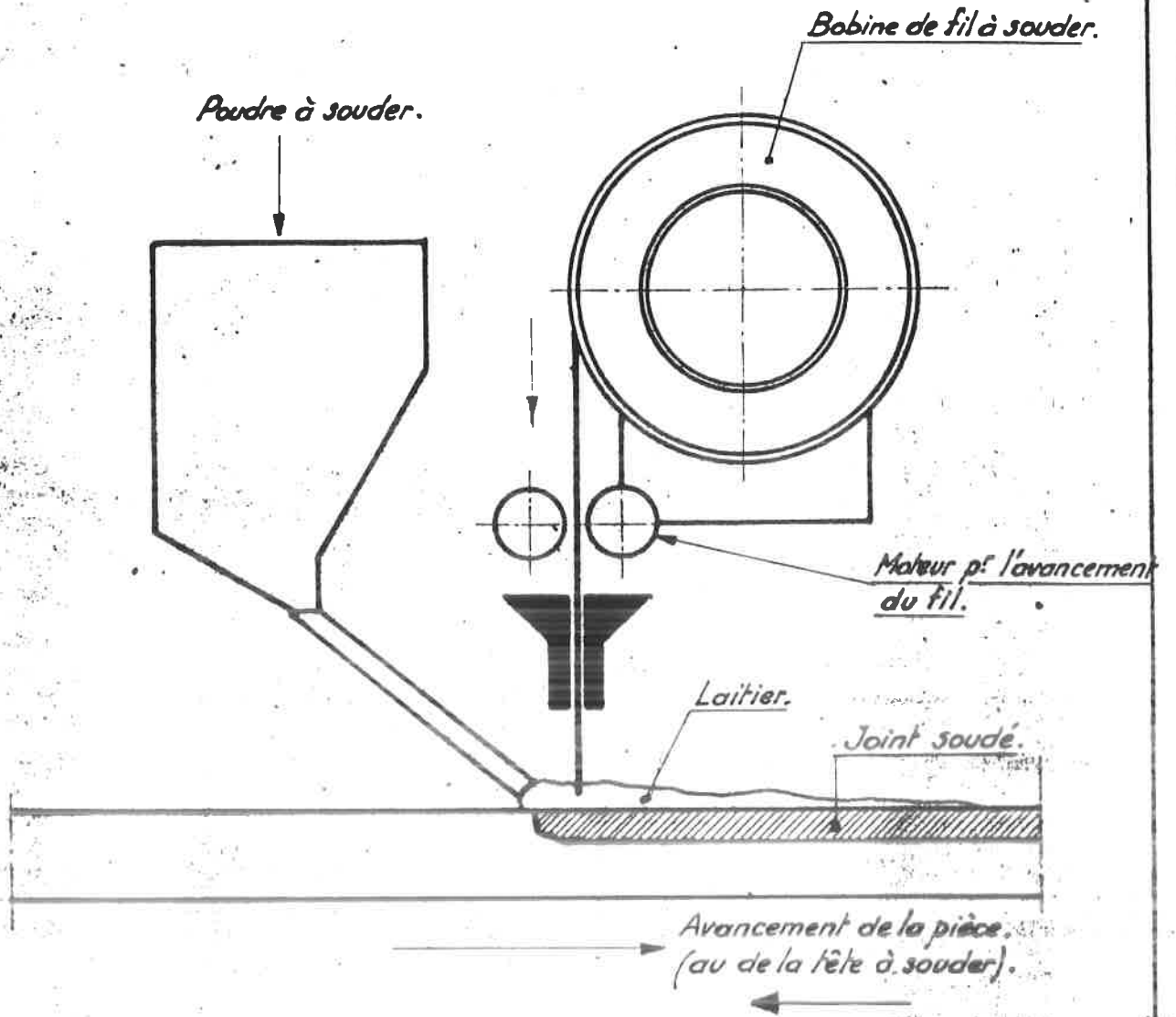


fig 60

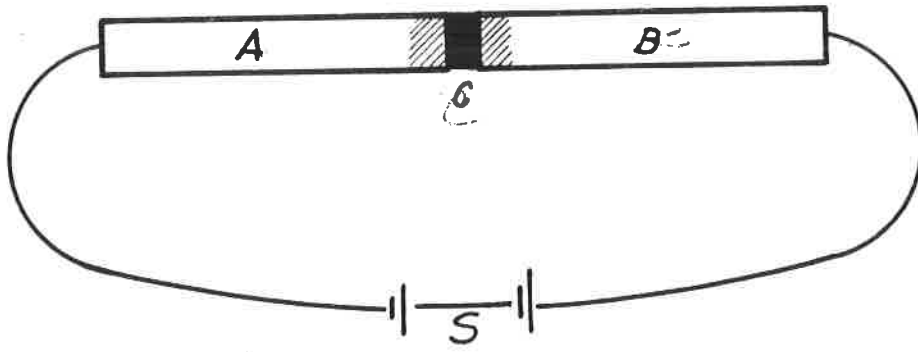


fig 61

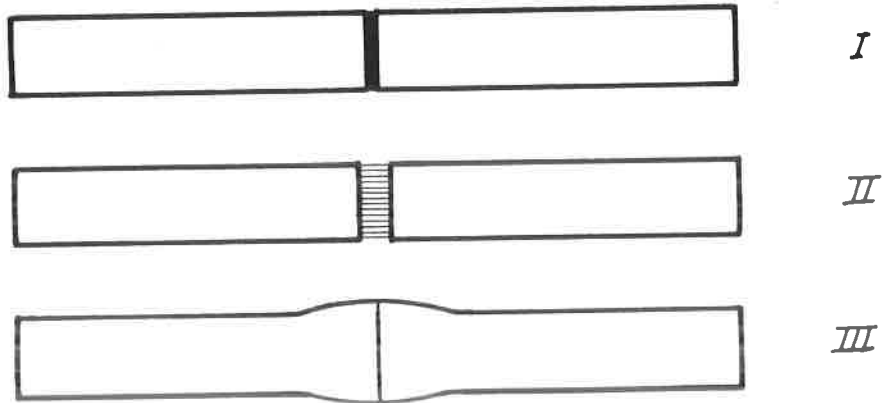


fig 62

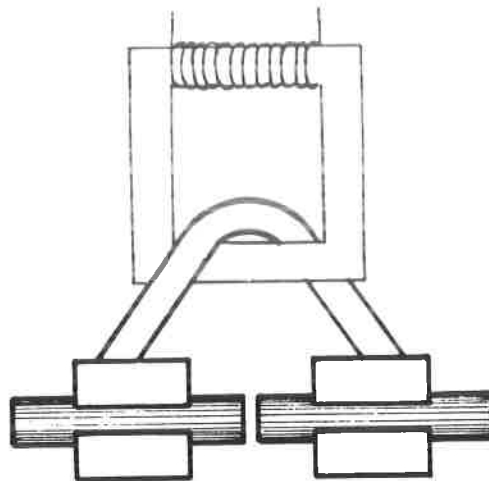
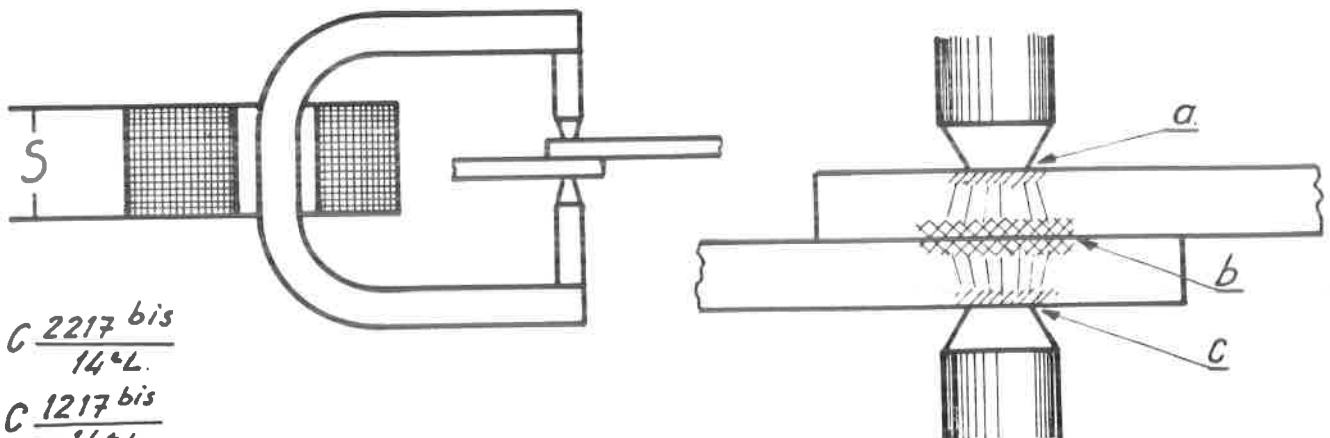


fig 63



C 2217 bis
14°L.

C 1217 bis
14°L.

fig : 64

Diagramme du cycle simple.

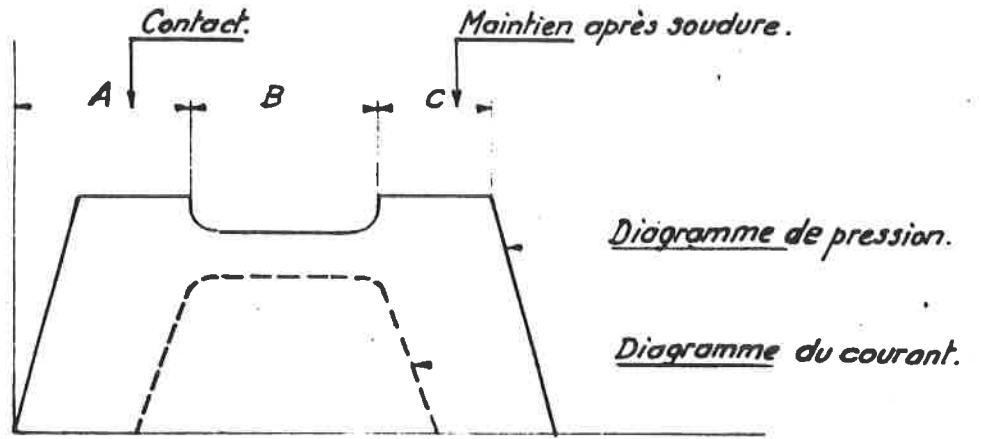


fig : 65

Diagramme du cycle complet.

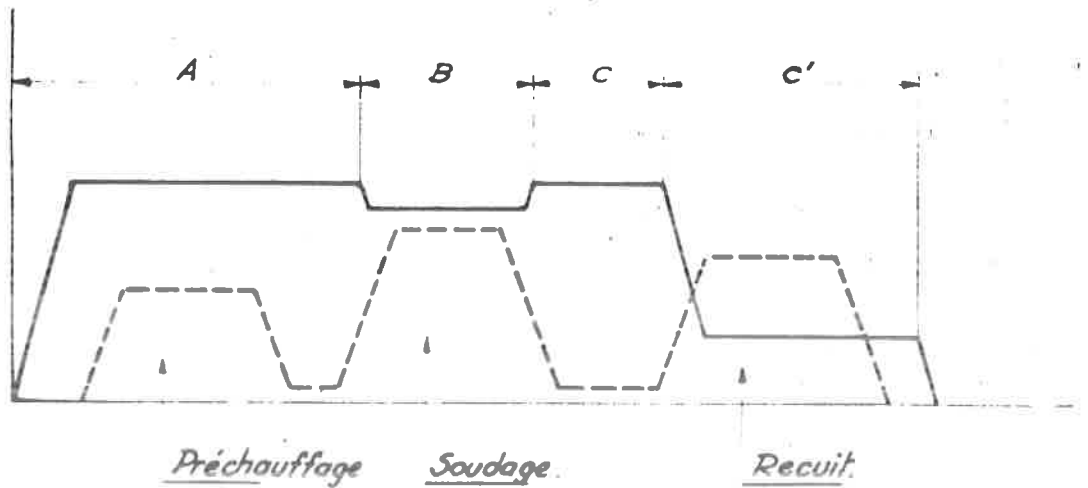
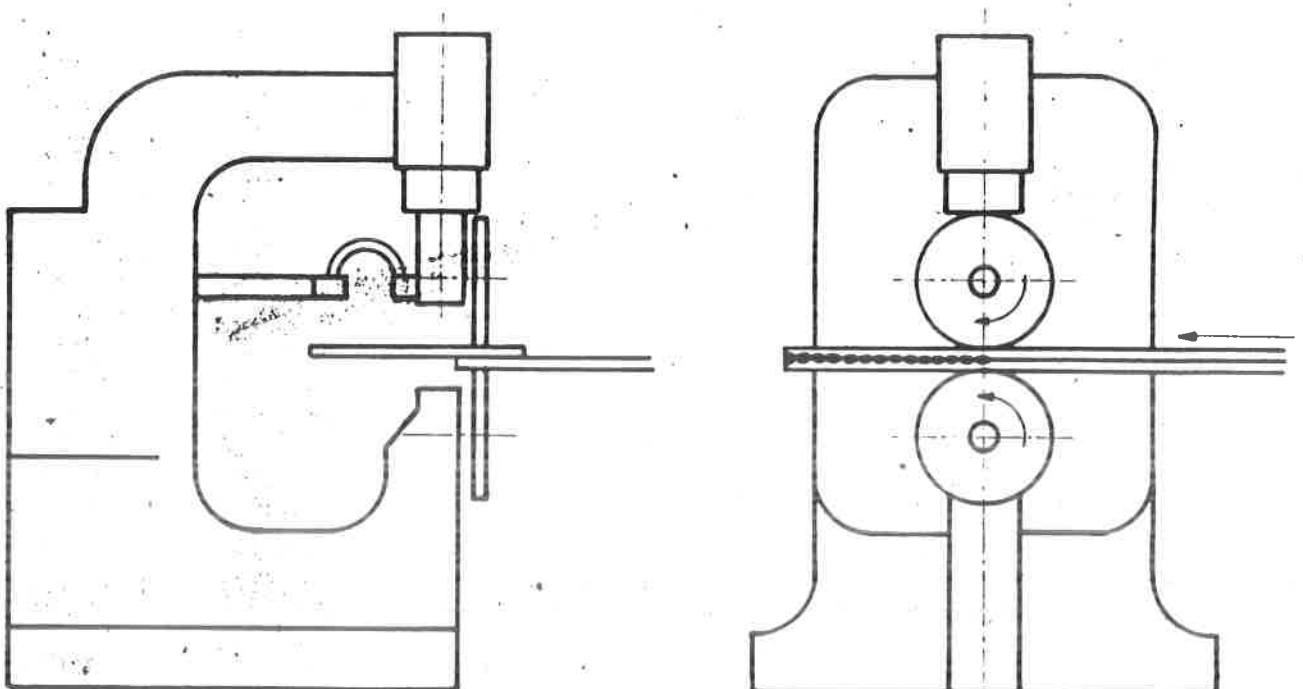


fig : 66



DILATATION ET RETRAIT.

47. Chaque fois qu'on soude une pièce, il se produit un échauffement local. Le métal chauffé tend à se dilater mais, lorsqu'il en est empêché par la masse froide qui l'entoure, il se comprime.

Lors de la solidification et du refroidissement, la zone soudée subira une diminution de volume; elle "tire" sur la masse environnante.

Ces phénomènes de dilatation et de retrait successifs produisent des déformations dans les soudures.

On évite les déformations :

- 1) en donnant libre cours aux phénomènes précités (cas des pièces qui se dilatent en se déplaçant librement ou pièces de grande élasticité) (fig. 67) ;
- 2) en déposant les soudures symétriquement par rapport à un axe ou un plan de symétrie (cas de soudures en X) (fig. 68);
- 3) en donnant une déformation préalable aux pièces à souder (fig. 69);
- 4) en utilisant des montages de contrainte qui, étant très solides, retiennent les pièces à souder et empêchent les déformations. Cette méthode laisse des tensions résiduelles dans les pièces soudées; elle ne peut s'appliquer que là où ces tensions ne peuvent être nuisibles.

Pour faire disparaître les déformations, on utilise les moyens suivants :

- 1) redressage à froid au marteau ou à la presse (pour constructions légères) ;
- 2) applications "des pointes de feu" (planage de surfaces importantes) ;
- 3) chauffage local suivi de refroidissement au jet d'eau ou suivi de dressage au marteau ou à la presse;
- 4) chauffage de la pièce complète dans un four et redressage à chaud.

LE SOUDO-BRASAGE.

48. C'est un procédé d'assemblage par lequel deux pièces métalliques sont réunies par un alliage, fondu, qui s'accroche aux pièces de base restées à l'état solide.

Cours 1217 bis.

Les pièces à réunir, dont les bords sont préparés comme pour une soudure ordinaire, sont chauffées au chalumeau oxy-acétylénique en opérant de proche en proche.

Lorsque la température d'accrochage est atteinte, on fait fondre le métal d'apport dans le joint.

Le métal d'apport ne s'accroche qu'à la température adéquate et sur métal de base propre. Ce dernier doit être usiné à nu ou nettoyé à la brosse métallique. Durant ce chauffage, on y applique un fondant approprié au métal de base. Suivant la nature du métal, ce fondant comporte du borax, de l'acide borique et des oxydes de Fe et Ni. Ces fondants dissolvent les oxydes et mouillent les bords à réunir, tout en les protégeant.

Le métal d'apport est un alliage de 60 % de Cu et de 40 % Zn avec des ajoutes de Si dont le rôle est d'empêcher la formation d'oxydes de Zn. Le chalumeau est réglé à flamme neutre.

La résistance d'accrochage est de 25 kg/mm².

49. Applications.

- Soudo-brasage de pièces en acier doux qui ne peuvent se déformer ;
- Soudo-brasage de l'acier galvanisé: ici, l'opération se produit à une température qui n'atteint pas la température de volatilisation du zinc (918°).
A l'endroit même du soudo-brasage, l'acier est mis à nu, mais au-delà du joint, le zinc se resolidifie et l'acier reste protégé.
- Soudo-brasage des pièces en fonte : on opère aux environs de 650°; à cette température, la fonte grise ne peut se transformer en fonte blanche; d'autre part, les effets de dilatation et de retrait sont minimes et les pièces ne se fissurent pas.
- Soudo-brasage des bronzes. On opère vers 880° qui est le point de fusion du laiton d'apport. Vers cette température, les bronzes ne fondent pas et on ne court pas le danger de produire la séparation de l'étain.

OXY-COUPAGE.

50. Le coupage de l'acier dans un jet d'oxygène est basé sur l'expérience bien connue de Lavoisier.

Pour réussir cette opération, il faut :

- 1) amorcer la réaction en chauffant en un point déterminé le métal au rouge-blanc ;
- 2) diriger le jet d'oxygène pur ($\pm 99\%$) sur le point chauffé et déplacer ce jet le long de la ligne à découper avec une vitesse qui est fonction de l'épaisseur de la pièce ;
- 3) faire suivre le jet d'oxygène d'une flamme de chauffe qui compense les pertes de chaleur par soutirage thermique (la chaleur produite par la combustion du fer est insuffisante pour compenser ces pertes).

Pour la description du chalumeau coupeur voir cours de soudage.

On peut couper au chalumeau-coupeur les matières suivantes :

- a) les aciers doux ;
- b) les aciers demi-durs et durs (attention ! la coupe détruit l'effet des traitements thermiques dans la zone adjacente de celle-ci) ;
- c) les aciers moulés.

Les fontes et les aciers inoxydables peuvent être coupés moyennant l'utilisation d'un jet d'oxygène dans lequel on injecte du sable ou de la poudre de fer. Ces mêmes moyens sont utilisés pour découper les tôles en paquets.

LES MACHINES D'OXY-COUPAGE.

51. Ces machines se composent d'une table sur laquelle on pose les pièces ou tôles à découper et d'un chariot monté sur portique qui porte le ou les chalumeaux-coupeurs. Le chariot et le portique sont commandés par des moteurs électriques à vitesses variables (fig. 70).

La machine découpe suivant un gabarit qui peut être :

- soit un gabarit en bois avec bord en aluminium. Ce bord est suivi par une molette entraînée par moteur électrique ;
- soit un gabarit en acier dont le contour est suivi par une tige magnétique ;
- soit un dessin dont les tracés noirs sont "lus" par une cellule photo-électrique.

LA METALLISATION.

52. C'est un procédé par lequel un métal, fondu dans une flamme oxy-acétylénique, est projeté sous forme de gouttelettes très fines, sur une matière de base préalablement préparée.

Cette projection s'effectue à l'aide du pistolet métalliseur.

Ce pistolet comporte (fig. 71) :

- une partie "moteur" pour l'alimentation du fil constituant le métal à projeter. Le fil est entraîné par deux galets qui sont mus par une turbine à air comprimé à vitesse variable ;
- une partie "chalumeau oxy-acétylénique" dont la flamme est utilisée pour fondre le métal à projeter ;
- une partie "projecteur" alimentée en air comprimé. Généralement la valve de commande règle simultanément l'arrivée de l'air comprimé et des gaz de combustion (dans ce cas, elle peut occuper 3 positions : arrêt - allumage et marche).

Le poste de métallisation se compose comme suit (fig. 72) :

53. - le pistolet de projection avec son alimentation en oxygène gaz combustible et air comprimé. Les gaz de combustion sont généralement fournis par des bonbonnes munies de mano détendeurs et débitmètres. L'air comprimé doit être déshuilé et déshydraté. Il passe ensuite par un manodétendeur placé entre deux filtres ;
- l'alimentation en fil : le fil est enroulé sur une bobine qui fait partie du dévideur-redresseur. L'appareil redresseur de fil est indispensable, lorsqu'on travaille avec un fil de 3 mm de diamètre ;
- la table de travail sur laquelle repose la pièce. Quand il s'agit de pièces de révolution, elles sont prises entre pointes sur un tour et le pistolet est fixé sur le chariot porte-outil ;
- un appareil d'aspiration des fumées et des nuages de poussières produits par le pistolet métalliseur.

54. Nature et comportement du jet.

L'utilisation d'air comprimé pour pulvériser et véhiculer le métal fondu augmente le danger d'oxydation des

gouttelettes de métal qui, par leur division, présentent une grande surface à l'oxygène.

Avec un pistolet ordinaire, les dimensions des particules varient de 50 μ à 250 μ .

Un gramme d'acier forme environ 70.000 particules dont la surface totale peut atteindre \pm 50 cm².

Pour diminuer le danger d'oxydation, on diminue la quantité d'oxygène dans le dard; on peut également ajouter de l'acétylène dans le courant d'air comprimé.

55. Mode opératoire.

La métallisation doit suivre immédiatement la préparation des pièces. Le métal de base doit être mis à nu par usinage (tournage, fraisage, meulage) ou par sablage. Le grenailage ne donne pas de bons résultats parce que le métal de base est comprimé et aplati par la grenaille, la surface manque de rugosité.

La projection se fait à une distance de 15 à 30 cm.

A courte distance, les particules restent plus chaudes; ce qui favorise l'adhérence, mais l'effet du retrait est plus important; il en résulte un danger d'écaillage de la couche projetée. A plus longue distance l'effet du retrait est plus réduit, mais l'adhérence est plus faible.

56. Nature du dépôt.

La structure est relativement poreuse et le métal déposé est plus ou moins oxydé.

La densité de la couche déposée est beaucoup plus réduite que la densité initiale du métal d'apport.

57. Application.

Le procédé est appliqué pour :

- La protection contre la corrosion : projection de Zn-Al et colmatage par auto-oxydation de la couche ou application d'un produit colmatant (peinture par exemple). Les métaux électropositifs envers le fer sont le cadmium, le zinc et l'aluminium. Ces métaux protègent le fer du fait de l'attaque qu'ils subissent eux-mêmes ; les couches projetées peuvent être poreuses. Les métaux moins électropositifs que le fer ne le protègent qu'à condition de le couvrir d'une couche continue et étanche qui le protège mécaniquement;

- le rechargement de pièces usées :
 rechargement de portées de calage (de roulements par ex.)
 rechargement par un dépôt de métal plus dur (matrices);
- l'application de couches auto-lubrifiantes
- le dépôt de métal sur les plastiques
- la projection de produits plastiques.

Avantages des procédés de métallisation.

58. Ces procédés présentent des avantages appréciables :

- 1) on peut métalliser totalement ou partiellement des pièces de toutes dimensions ;
- 2) les pièces de base ne subissent aucune déformation ni changement de structure ;
- 3) l'épaisseur de la couche projetée peut être réglée suivant les besoins ;
- 4) tous les métaux et alliages peuvent être métallisés, moyennant certaines précautions élémentaires ;
- 5) les couches de métallisation forment un dépôt excellent pour l'application de couches de peintures. La peinture appliquée, soit comme protection supplémentaire, soit pour des raisons d'esthétique, obture les pores du métal projeté. Notons toutefois que les types de peinture doivent être "compatibles" avec les couches métallisées.

Procédés spéciaux.

59. Ces derniers temps, la métallisation a été l'objet des perfectionnements suivants :

1. Utilisation de poudre à action exothermique :

Le métal projeté atteint sa température maximum, lorsqu'il passe par la partie la plus chaude de la flamme, et les gouttelettes se refroidissent rapidement sur leur trajectoire jusqu'à la surface qu'elles vont couvrir.

En projetant des poudres qui, dans la flamme du pistolet, donnent lieu à des réactions chimiques exothermiques (basées sur l'alumino-thermie par exemple), les particules atteindront leur température maximum au moment d'entrer en contact avec la pièce. En réalité, les réactions exothermiques continuent à la surface de la pièce et les particules projetées s'allient au métal de base. La couche ainsi obtenue adhère mieux et est plus dense, plus solide, plus ré-

sistante à l'abrasion et aux chocs.

2. Métallisation par arc électrique (fig. 73).

Principe.

Un arc électrique est établi entre 2 fils A et B devant une bouche de pulvérisation C. Les fils avancent régulièrement grâce à des dispositifs motoréducteurs asservis à la tension de l'arc.

La tuyère C est alimentée en air comprimé qui assure la pulvérisation du métal fondu aux extrémités des 2 fils.

On utilise des fils de 1,6 et 3,25 mm en bobines placées sur deux dévidoirs.

Avantages.

Le débit du métal est en général 3 à 4 fois plus élevé que lorsqu'on utilise le pistolet à flamme et l'adhérence est meilleure.

fig 67



fig 68

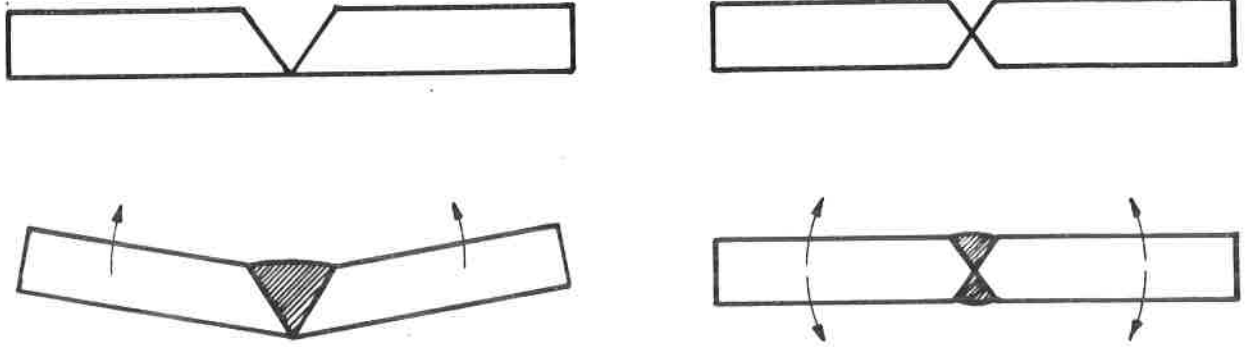
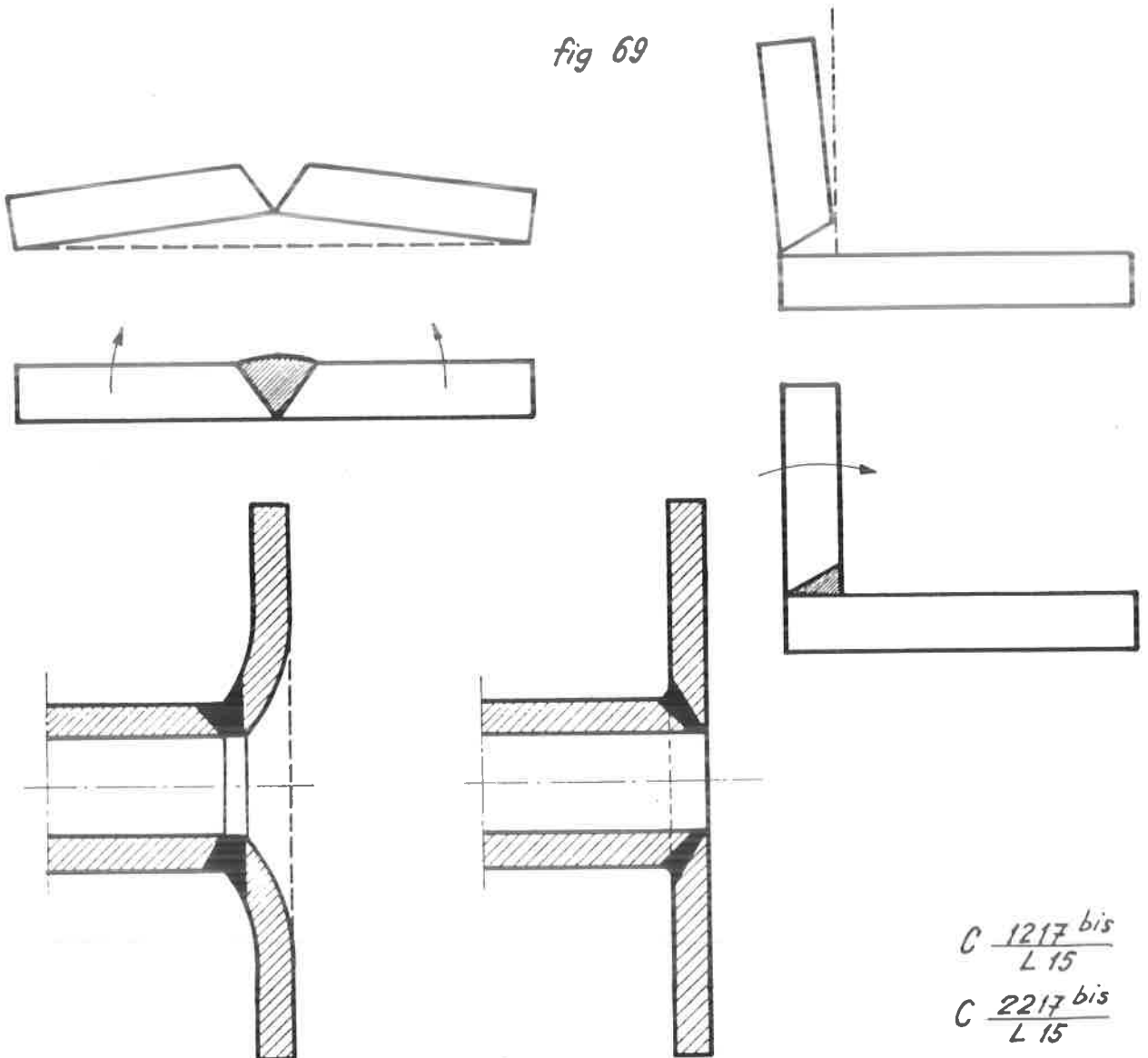


fig 69



C 1217 bis
L 15
C 2217 bis
L 15

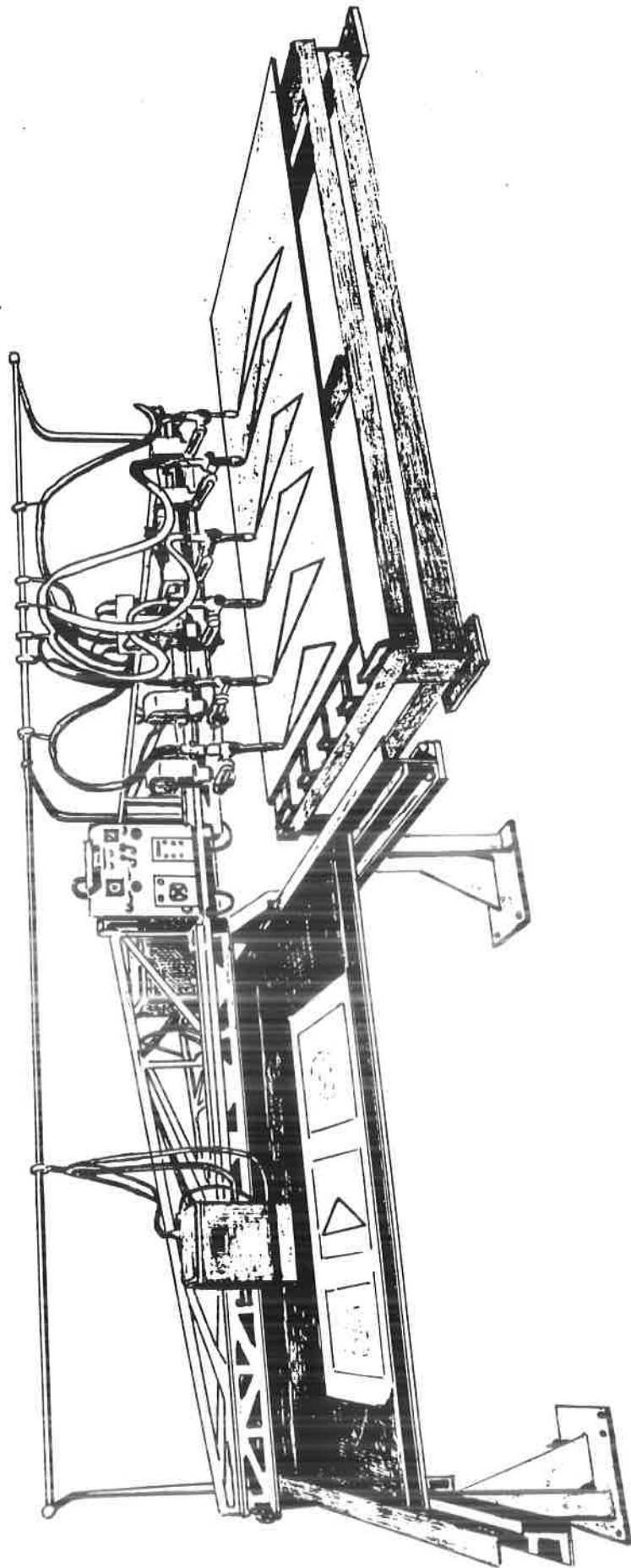
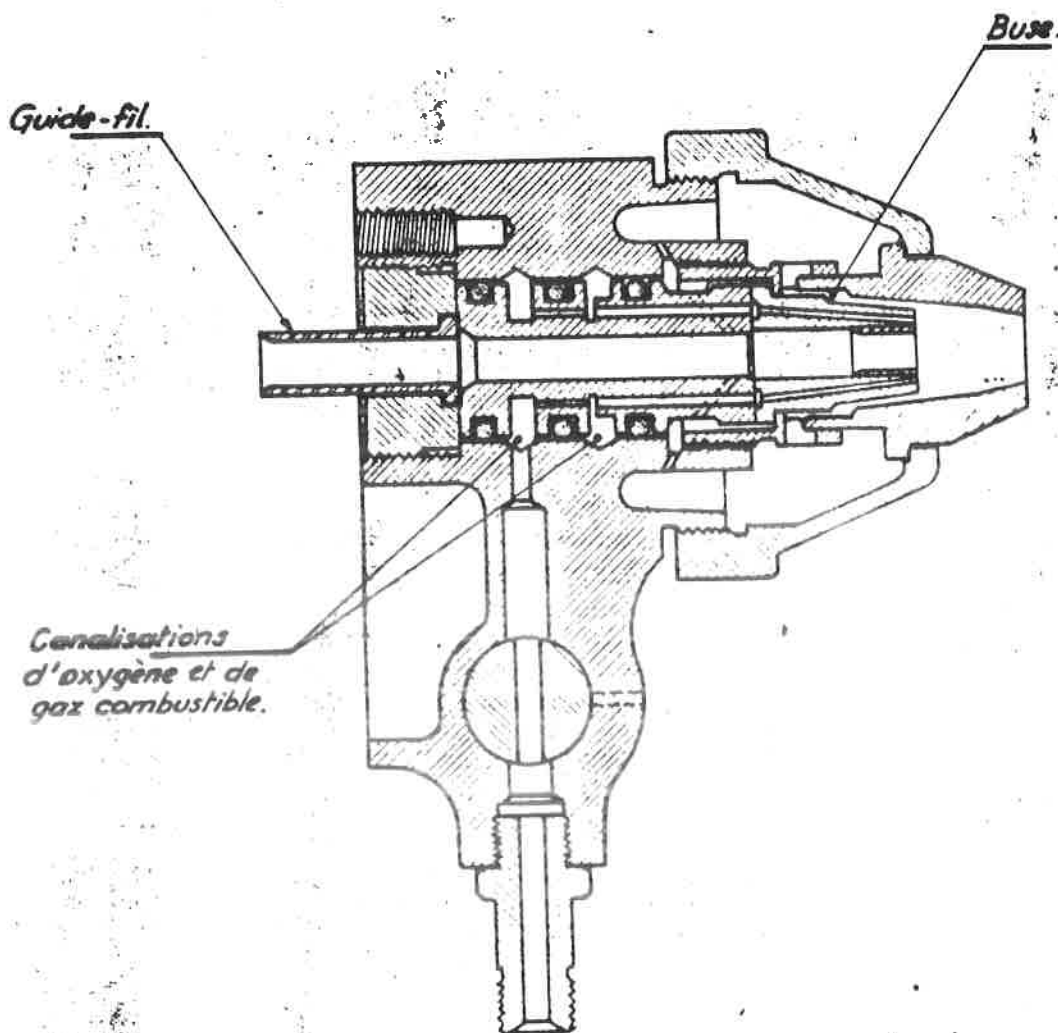


fig 70

C $\frac{1217 \text{ bis}}{L15}$

C $\frac{2217 \text{ bis}}{L15}$

fig 71



(C.B.) PROTECH A. ET (100)

C-1217 bis
L 15

fig 72

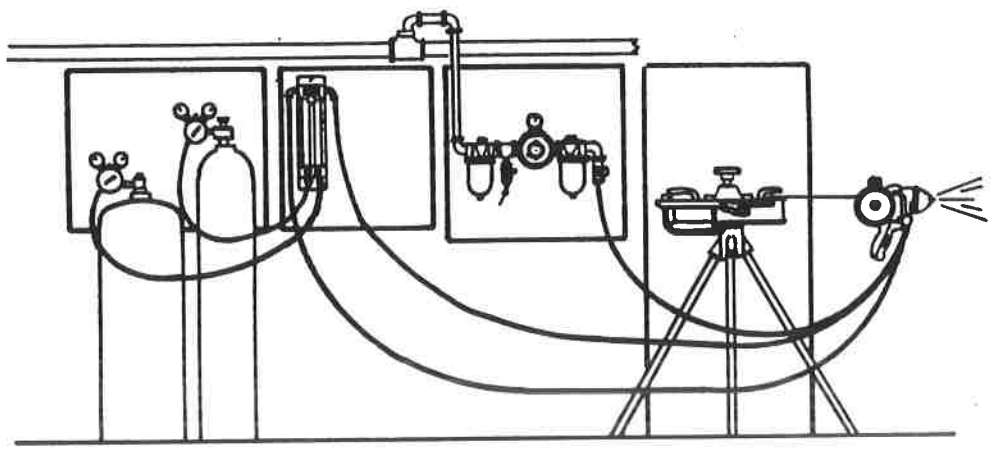
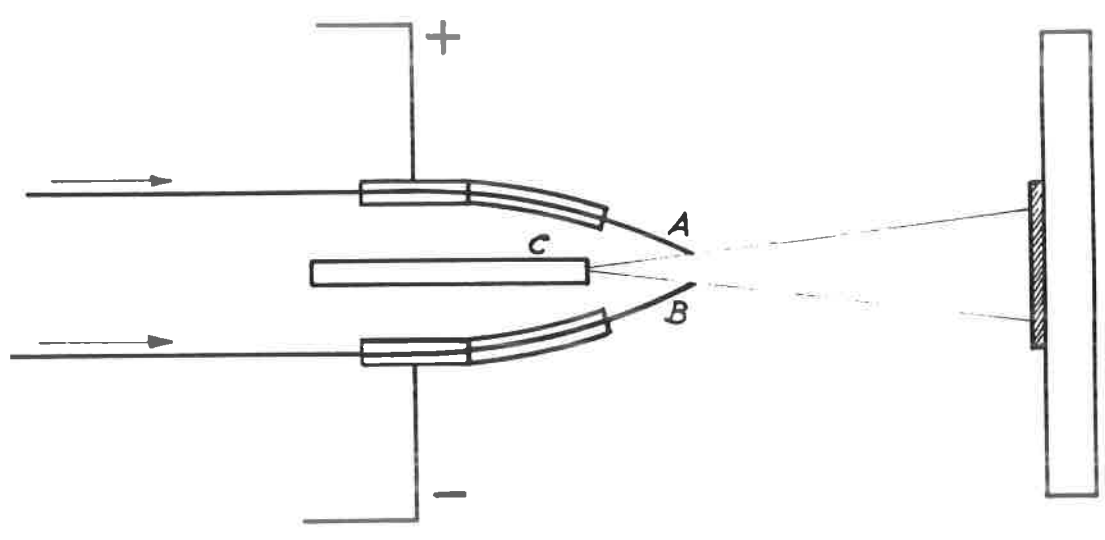


fig 73.



C $\frac{1217 \text{ bis}}{L 15}$

C $\frac{2217 \text{ bis}}{L 15}$

SNCB

Enseignement Professionnel

TECHNOLOGIE GENERALE DES **ATELIERS**

Cours 1217 bis

III/III

Leçons

24 à 28



MATERIAUX ISOLANTS

Introduction.

La diversité des matériaux isolants, ainsi que leurs domaines respectifs d'application, sont tellement vastes qu'il sortirait du cadre de ce cours de les traiter tous.

Après que nous aurons acquis des notions plus approfondies en ce qui concerne la nature même de la matière (matière isolante), nous étudierons les caractéristiques principales, et ceci pour des matières gazeuses, liquides et solides.

Nous pouvons alors dresser un tableau dans lequel sont repris les matériaux isolants principaux, en se basant sur la classification suivant la résistance au vieillissement et la stabilité thermique (annexe 1).

Une étude des matériaux isolants qui se rencontrent le plus couramment nous permettra de discuter de leur fabrication, de leurs propriétés, applications et usinage.

Nous terminons alors avec un aperçu des essais principaux auxquels les matériaux isolants peuvent être soumis.

I. Notions générales.

A. Pourquoi une telle matière est-elle isolante, pourquoi une autre ne l'est-elle pas ?

En général, on est d'accord pour chercher l'explication de ce fait dans la théorie électronique. D'après cette théorie, l'atome est constitué d'un noyau chargé positivement (dans lequel en même temps est concentrée pratiquement toute la masse) et des électrons chargés négativement (fig. 302).

L'ensemble est électriquement neutre (en équilibre). Les électrons, classés en différentes orbites, tournent autour du noyau.

La série Na - Mg - Al - Si - Pb - S - Cl - Ar représente 8 atomes, dans lesquelles le nombre d'électrons de l'orbite extérieure augmente de 1 à 8. Un atome contenant 8 électrons dans l'orbite extérieure, semble être extrêmement stable.

Cours 1217 bis

2.

Certaines matières sont construites avec des atomes contenant 1, 2 ou 3 électrons dans l'orbite extérieure : ce sont des métaux. Ils cèdent ordinairement des électrons et deviennent alors chargés positivement.

D'autres matières contiennent des atomes avec 7, 6 ou 5 électrons dans l'orbite extérieure : ce sont des métalloïdes. Ils ramassent ordinairement des électrons et deviennent alors chargés négativement (fig. 303).

Soumettons maintenant les atomes au champ électrique (fig. 304). Les électrons négatifs ont tendance à se déplacer vers l'électrode positive et essaient de quitter leur orbite autour de leur propre noyau.

S'il y a un surplus d'électrons (1, 2 ou 3 dans l'orbite extérieure), ceux-ci se sentent peu liés au noyau, se déplaceront facilement d'un atome à l'autre. Il y a un déplacement d'électrons, un courant d'électrons : la matière est conductrice.

S'il y a trop peu d'électrons (7, 6 ou 5 dans l'orbite extérieure), c'est-à-dire l'orbite extérieure incomplète, le noyau exercera une force attractive importante et s'opposera à un appauvrissement ultérieur de cette orbite. Un électron éventuellement échappé sera happé immédiatement par un atome voisin (puisque ce dernier vaut compléter l'orbite) de sorte qu'il n'y aura pas question d'un courant d'électrons : la matière n'est pas conductrice, elle est isolante.

B. Constante Diélectrique.

Rappelons que le pouvoir inducteur ou la constante diélectrique (K) d'une matière isolante est donné par le rapport entre les capacités de 2 condensateurs identiques, dont le premier possède comme diélectrique l'isolant en question et le second, l'air ($K = \frac{C_1}{C_2}$)

K n'est pas indépendant de la fréquence.

Ci-après quelques valeurs approximatives :

Matière	K
Air	1
Fibre	1 - 2,5
Paraffine	2
Papier sec	2
Caoutchouc naturel	2 - 2,5
Papier paraffiné	2,5
Caoutchouc vulcanisé	3
Bakélite	3
Gomme-laque	3
Gutta-percha	3,5 - 5
Porcelaine	4,5 - 6
Mica	5,5 - 8
Verre dur	8 - 10
Verre spécial	10 - 16
Matière céramique	12 - 80

Ces valeurs dépendent en outre de la température et de la pression.

K augmente ordinairement avec la pression et diminue lorsque la température augmente pour des gaz et des liquides, tandis qu'il augmente pour des solides.

On peut admettre en général que le K d'un mélange ne sera pas supérieur au K des matières composantes.

C. Pertes diélectriques.

Soumettons un isolant à une tension alternative. En complément du courant de capacité pur (I_c) déphasé de $\frac{\pi}{2}$ sur la tension, il se présente également un courant actif de perte (I_v); en phase avec la tension. Le rapport : $\frac{\text{courant de perte}}{\text{courant capacitif}}$ est appelé : angle de perte ($\text{tg } \delta$) (fig. 305).

Les pertes diélectriques peuvent être classées comme suit :

1. Perte par orientation moléculaire.
2. Perte par conductibilité :

4.

a) Liquides : les pertes seront influencées par le temps, le degré hygrométrique, la tension et la distance entre les électrodes;

b) Solides : nous distinguons :

- 1) conductibilité électronique et ionique;
- 2) conductibilité due aux impuretés et aux hétérogénéités (impuretés électrolytiques);
- 3) conductibilité superficielle : celle-ci n'est pas influencée uniquement par le degré hygrométrique, mais en plus par la nature de l'isolant et par l'état de surface.

3. Perte par hystérésis :

Nous entendons par ceci des déplacements des charges électriques à des distances plus grandes que par orientation moléculaire, mais plus faibles que par conductibilité.

La température et l'humidité influencent cette perte. Ci-après quelques valeurs approximatives de $\text{tg } \delta$ à une fréquence $f = 10^6$ Herz.

Matière	$10^3 \text{ tg } \delta$
Air	0
Styroflex	0,1
Mica	0,1
Stéatite spéciale	0,5
Stéatite normale	2
Porcelaine	7
Toile bakéalisée	20
Papier bakéalisé	20
Papier sec	30

Les fig. 306 - 307 - 308 - 309 représentent la schématisation de quelques matériaux isolants.

D. Rigidité diélectrique.

Généralités : Soumettons un isolant à une tension croissante, entre 2 électrodes; il se produit alors un percement, une décharge électrique, pour une valeur déterminée U_d .

La valeur de la tension du percement U dépendra, toutes conditions égales, de la nature de l'isolant. C'est pour cela qu'on parle de la "rigidité diélectrique" comme d'une propriété caractéristique d'un isolant, qui consiste en ceci : offrir une résistance plus ou moins grande au "percement électrique".

On appelle d'habitude la rigidité diélectrique le rapport : $\frac{Ud}{d}$ en kV/mm. avec d égal à l'épaisseur de l'isolant en mm.

Pour des matériaux d'une homogénéité de 100 %, cette valeur ne dépend que de la température et de la nature de l'isolant.

Néanmoins, ces valeurs sont en réalité influencées par :

- 1) l'épaisseur de la matière;
- 2) la durée de la mise sous tension;
- 3) la fréquence de la tension d'essai;
- 4) la polarité des électrodes pour courant continu (si les électrodes ne sont pas identiques).

Les phénomènes qui caractérisent un percement, varient suivant qu'il s'agit d'une matière gazeuse, liquide ou solide.

Ci-après nous donnons un aperçu, sans les étudier à fond.

1. Isolant gazeux.

La pression du gaz et la distance entre électrodes jouent un rôle prépondérant.

Par ex. l'air à la pression atmosphérique a une rigidité de 30 kV/cm. Augmentons la pression jusqu'à 10 kg/cm², la rigidité devient 300 kV/cm .

Concernant la distance entre électrodes, il est évident que plus mince devient la couche d'air, plus faible sont les risques d'occasionner une ionisation par choc.

A titre de renseignement, ci-après le tableau pour de l'air à la pression atm.

Distance entre électrodes (cm)	Tension de percement	
	Totale(V)	kV/cm
0,0007	330	470
0,05	2.800	56
0,1	4.600	46
0,5	16.800	33,6
1,0	31.600	31,6
5,0	134.500	27,0
10,0	264.000	26,4

6.

La durée de l'application de la tension ne joue généralement pas de rôle. L'ionisation est instantanée.

2. Isolant liquide.

De même que les gaz, les liquides ont une rigidité diélectrique assez constante; la tension de percement entre 2 électrodes planes est proportionnelle à la distance. Des impuretés, comme des fibres de cellulose ou de l'humidité sont à même d'amorcer le percement. Pratiquement, un liquide est moins homogène qu'un gaz.

3. Isolant solide.

Le percement d'un solide est un phénomène compliqué. Nous distinguons :

- a) un percement purement électrique;
- b) un percement électrique dû à l'échauffement.

La fig. 310 nous montre la courbe de la tension de percement d'un matériau déterminé, en fonction de la température.

La 1ère zone de température (zone A) nous montre un percement indépendant de la température et de la durée de l'essai. Dans cette zone, il s'agit d'un percement purement électrique.

La 2ème zone de température (zone B) nous montre que le percement dépend fortement de la température et du temps. Une tension nettement inférieure peut amorcer le percement après un laps de temps plus grand.

On explique ce phénomène par la transformation de l'énergie électrique en chaleur, dans la matière même, et ceci jusqu'à ce que la matière brûle, carbonise ou fonde.

Dans les isolants industriels se trouvent de nombreuses impuretés électrolytiques et des traces d'humidité, qui donnent lieu à une élévation de la température à un endroit déterminé. De cette façon la résistance d'isolement diminue.

Deux cas peuvent se présenter :

- 1) Le dégagement de chaleur est plus grand que la production (p. ex. isolant mince et électrodes épaisses). La situation se stabilise et il n'y a pas de percement.
- 2) Le dégagement de chaleur est plus faible que la production (p. ex. isolant épais). La température continue à monter (effet Joule) jusqu'à ce qu'il y a percement.

Donc : une bonne conductibilité thermique et une grande chaleur spécifique sont favorables pour un matériau isolant.

A titre de renseignement, quelques exemples :

1. La fig. 311 représente une "courbe de vie" d'un câble. L'asymptote parallèle à l'axe du temps nous donne la tension max. sous laquelle le câble peut être mis, sans qu'il y ait danger de percement.
2. La tension de percement augmente moins vite que l'épaisseur de la matière. p. ex :

Matière	épaisseur (mm)	tension de percement(v)
Papier bakéliné	2,5	29.300
	5,2	37.300
	8.2	44.400
Verre	0,01	13.000
	0,1	32.000
	1,0	120.000

3. La tension de percement varie généralement en sens inverse de la température. P. ex :

	Temp. (°C)	tension de percement(kV)
Porcelaine (5mm)	20	95
	100	42
	200	16

Il arrive aussi qu'un percement se produise dans la 2ème zone de température (zone B - fig. 310) sans qu'on puisse parler d'un notable échauffement interne. Afin de donner une explication générale à ce phénomène de percement, une théorie a été mise au point avec des ions adhérents (ordinairement-) et des ions glissants (ordinairement +) qui, entassés dans les pores et les canaux de la matière influencent la répartition de la tension sous l'effet d'un champ électrique et qui peuvent conduire au percement total.

II. Classification des matériaux isolants.

1. Là où s'emploie d'habitude du cuivre électrolytique comme conducteur, il est mis à notre disposition toute une gamme des matériaux isolants. Plusieurs sortes d'isolants sont parfois utilisables pour une application bien déterminée.

Cependant, le choix exact est parfois très difficile et dans beaucoup de cas n'est possible qu'empiriquement.

2. Comment explique-t-on cette grande diversité ?

1) Un isolant parfait n'existe pas. Il peut perdre ses qualités par suite des conditions de travail, p. ex : température élevée, milieu humide, influences chimiques, sollicitation mécanique.

L'un résistera spécialement à ceci, l'autre à cela. Toutes les qualités ne sont jamais rassemblées en une seule matière.

2) La méthode d'application (d'emploi); p. ex. l'emploi à l'état solide ou liquide nécessite une présentation sous différentes formes physiques.

3) D'après les qualités mécaniques qu'on en désire.

4) Le prix de revient en rapport avec la solidité et la garantie exigée.

5) Afin de satisfaire à 2 ou plusieurs conditions en même temps, on est obligé de travailler par synthèse : p. ex. papier imprégné dans l'huile; *clivures* de mica-gomme-laque; amiante-ciment-agglomérant, etc...

3. Il est difficile de donner un classement logique des isolants.

On pourrait les classer comme suit :

- a) Matières simples ou composées.
- b) Matières minérales, organiques, synthétiques.
- c) Matières solides, pâteuses, liquides, gazeuses.
- d) En fonction des températures admissibles.

Un classement analogue figure dans la norme NBN n° 7

4. Classification des isolants suivant NBN 7.

Jadis, suivant la température qu'un isolant pouvait supporter sans perdre ses qualités diélectriques et mécaniques, les isolants étaient groupés en 4 classes :

O, A, B et C.

Suite au progrès continuuel dans le domaine de la fabrication et d'utilisation des matières isolantes, on a été amené à réaliser le groupement en 7 classes, notamment les classes A, E, B, F, H et C avec des températures max. respectives en °C de : 90, 105, 120, 130, 155, 180 et plus que 180.

Par exemple :

- a) Papier, coton, soie et matières similaires d'origine organiques appartiennent à la classe Y.
Si elles sont imprégnées (p. ex. ruban huilé) ou si elles travaillent dans un bain d'huile (p. ex. dans les transformateurs), alors elles appartiennent à la classe A.
- b) Vernis du type polyvinylformol employé dans la fabrication des fils émaillés, appartient à la classe E.
- c) Des produits composés de mica, amiante, soie de verre et matières similaires d'origine anorganique, par intermédiaire d'un agglomérant, appartiennent à la classe B, F ou H suivant que l'agglomérant même résiste à la température prescrite pour cette classe.
La classe H nécessite un agglomérant à base de silico-nes.
- d) Le mica pur (sans agglomérant) porcelaine, quartz, verre et matières similaires appartiennent à la classe C.

L'annexe 1 donne un aperçu des matériaux isolants couramment employés et classés suivant les 7 classes précitées.

Classification des matériaux isolants.

Groupe a : Isolants sur lesquels on possède une expérience suffisante.

Groupe b : Isolants sur lesquels on possède une expérience limitée. Leur introduction dans la classe resp. n'est pas universellement adoptée.

Classe	Isolants
Y	<p>a</p> <ul style="list-style-type: none"> Coton Soie naturelle Fibre de cellulose régénérée Fibre d'acétate de cellulose Fibre de polyamide Papier et produits du papier Presspan Fibre vulcanisée Bois Pièces moulées en résine aniline formaldéhyde Pièces moulées en résine urée-formaldéhyde
max. 90°C.	<p>b</p> <ul style="list-style-type: none"> .Polyacrylate .Polyéthylène .Polystyrène .Chlorure de polyvinyle sans plastifiant .Chlorure de polyvinyle avec plastifiant Caoutchouc naturel vulcanisé . La thermoplasticité peut en limiter l'emploi à moins de 90°C.

2.

Classe	Isolants
<p style="text-align: center;">A max. 105° C</p>	<p>Coton Soie naturelle Fibre de cellulose régénérée. Fibre de polyamide <small>Fibre d'acétate de cellulose.</small> Papier et produits du papier Presspan Fibre vulcanisée Bois (Seulement quand ils sont imprégnés ou immergés dans un liquide diélectrique)</p> <p>Tissu verni en coton Tissu verni en soie naturelle Tissu verni en cellulose régénérée Tissu verni en acétate de cellulose Tissu verni en fibre de polyamide Papier et produits du papier vernis (vernis à base de résines naturelles ou synthétiques modifiées à l'huile siccative).</p> <p>Bois stratifié (bakéliné) Films d'acétate de cellulose (seuls ou collés sur un support) Films d'acétabutyrate de cellulose (seuls ou collés sur un support) Emaux céorésineux des fils émaillés Emaux aux résines polyamide des fils émaillés Emaux à la résine formol de polyvinyle + résine polyamide des fils émaillés</p>
	<p style="text-align: center;">b</p> <p>Résines polyester sans charges Elastomères de polychloroprène Elastomères de butadiène acrylonitrile</p>

Cours 1217 bis
24ème leçon (annexe)

Classe	Isolants
<p>E max. 120° C</p>	<p>Coton Soie naturelle Papier (Quand ils sont imprégnés ou immergés dans un liquide diélectrique). Tissu verni en coton Tissu verni en soie naturelle Papier verni Films de triacétate de cellulose Films de triacétate de cellulose collés sur un support Films et fibres de téréphtalate de polyéthylène seuls ou collés sur un support. Textiles de téréphtalate de polyéthylène vernis Stratifiés phénoplastes papier Stratifiés phénoplastes toile coton Pièces moulées phénoplastes avec charge cellulosique (résines phénol-formaldéhyde et phénol-furfurol) Stratifiés mélamine avec support organique Pièces moulées mélamine avec charge cellulosique (résines mélamine-formaldéhyde) Résines polyesters stable à la chaleur Elastomère acrylique (caoutchouc synthétique) Elastomère-butadiène/Isoprène (caoutchouc synthétique) Emaux à la résine formol de polyvinyle des fils émaillés (Duroflex) Emaux aux résines époxydes des fils émaillés Emaux aux résines polyuréthanes des fils émaillés</p>

Classe	Isolants	
<p>B max. 130°C.</p>	a	<p>Composés de mica sans support Composés de mica liés à un support organique ou anorganique</p> <p>Stratifiés mica-A Mica-A lié à un support organique ou anorganique</p> <p>Fibres de verre et amiante vernies ou imprégnées pendant le traitement des enroulements</p> <p>Stratifiés phénoplastes avec support anorganique Pièces moulées phénoplastes avec charges minérales</p> <p>Stratifiés mélamine avec support anorganique Pièces moulées mélamine avec charges minérales (Résines mélamine - formaldéhyde)</p>
	b	<p>Résines polyester avec charges minérales Stratifiés éthoxyléniques avec support anorganique</p> <p>Résines éthoxylénique pour coulage Polymonochlorotrifluoréthylène (Résines éthoxylénique)</p>
<p>F max. 155°C.</p>	b	<p>Composés de mica sans support Composés de mica liés à un support anorganique</p> <p>Stratifiés mica-A Mica-A lié à un support anorganique</p> <p>Fibres de verre et amiante vernies ou imprégnées pendant le traitement des enroulements</p> <p>(Résines alkydes; résines éthoxylénique; polyesters non saturés et polyuréthanes de haute stabilité thermique; résines silicones - alkydes)</p>

Classe	Isolants	
<p>H max. 180°C.</p>	a	<p>Composés de mica agglomérés avec des silicones appropriées Composés de mica liés à un support anorganique avec des silicones appropriées Stratifiés mica-A -silicones Mica-A lié à un support anorganique avec des silicones appropriés Fibres de verre et amiante vernies ou imprégnées pendant le traitement de l'enroulement avec des silicones appropriées Pièces moulées silicones avec charges minérales Stratifiés silicones avec support anorganique Caoutchouc - silicone</p> <ul style="list-style-type: none"> • mica, verre, quartz, etc... • porcelaine • stéatite <p>(.)Seuls, ou combinés entre-eux par des agglomérants.</p>
<p>C 180°C</p>	b	<p>Polytétrafluoréthylène (stabilité limitée à 250°C) Stratifiés polytétrafluoréthylène avec support anorganique (max. 250°C) Fibres de verre et amiante vernies ou imprégnées avec le polytétrafluoréthylène (max.250°C)</p>

Remarque. Les substances agglomérantes et imprégnantes peuvent souvent être limitées par des facteurs autres que la stabilité thermique, tels que les propriétés mécaniques à la température du fonctionnement.

Cours 1217bis
24ème leçon
(annexe.)

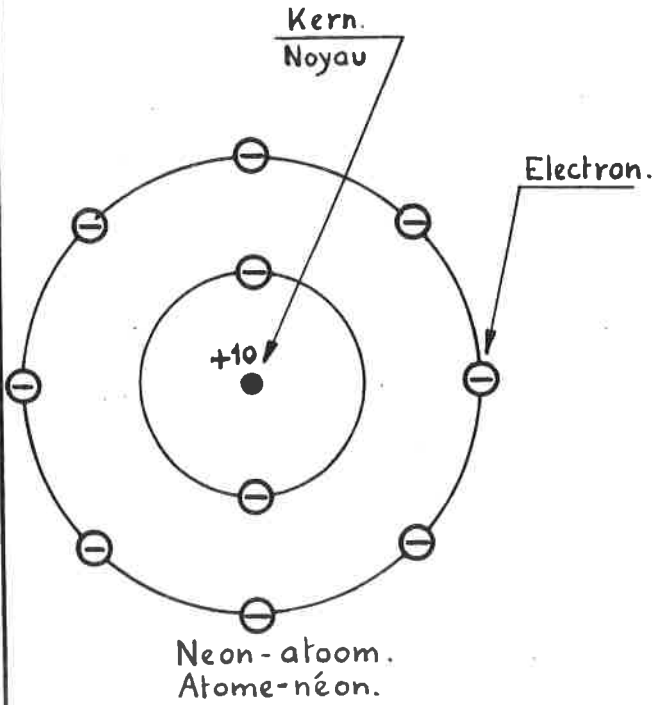


fig.302

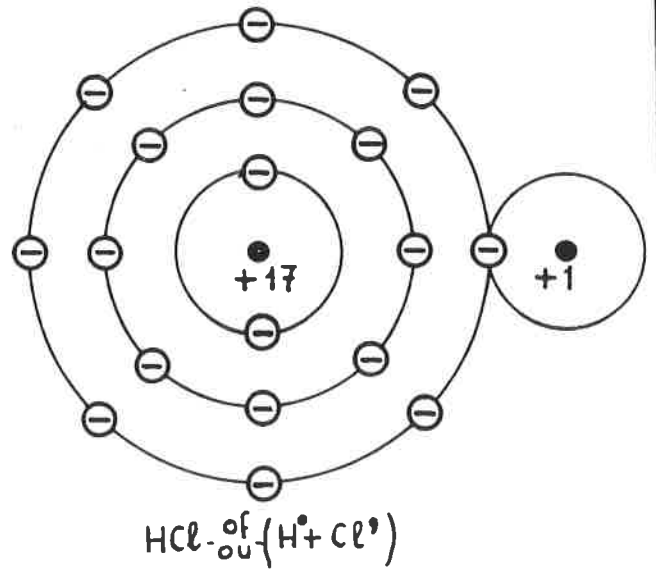


fig.303

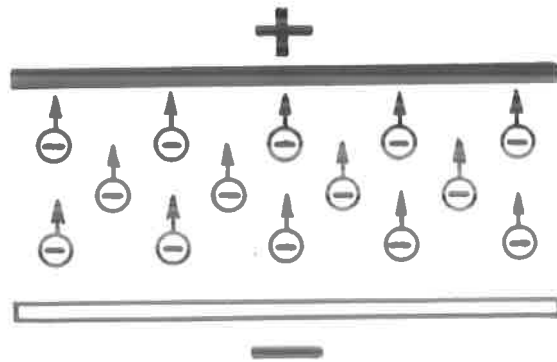


fig.304

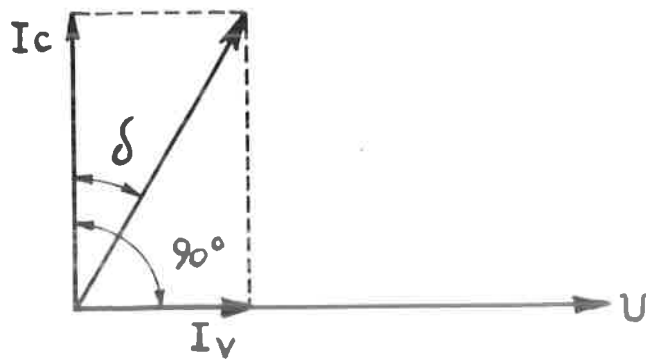


fig.305

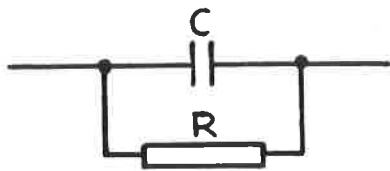


fig. 306



fig. 307

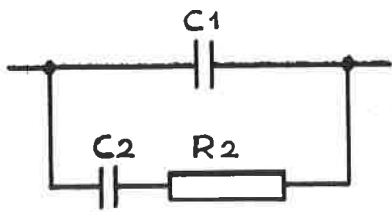


fig. 308

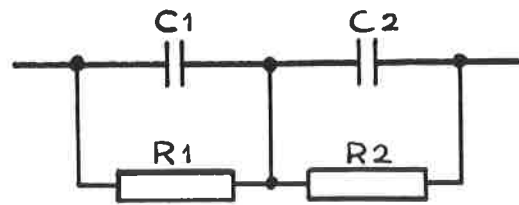


fig. 309

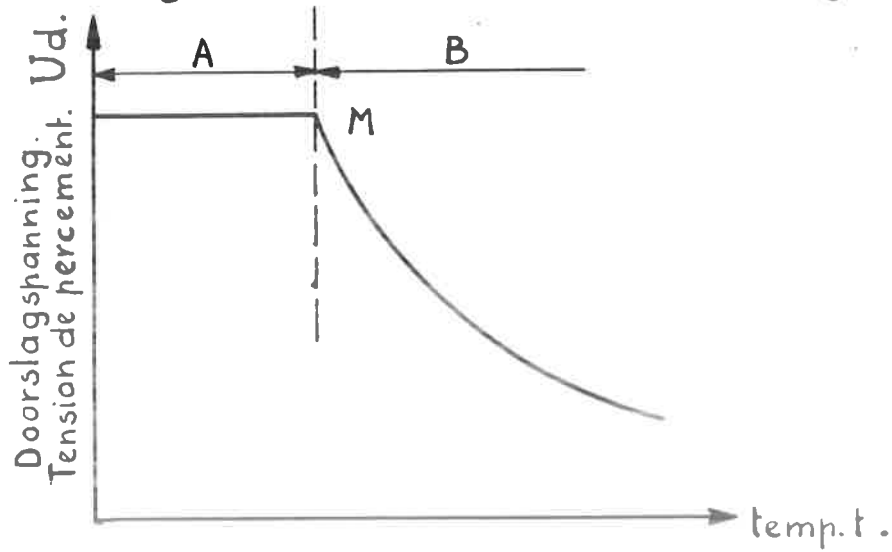


fig. 310

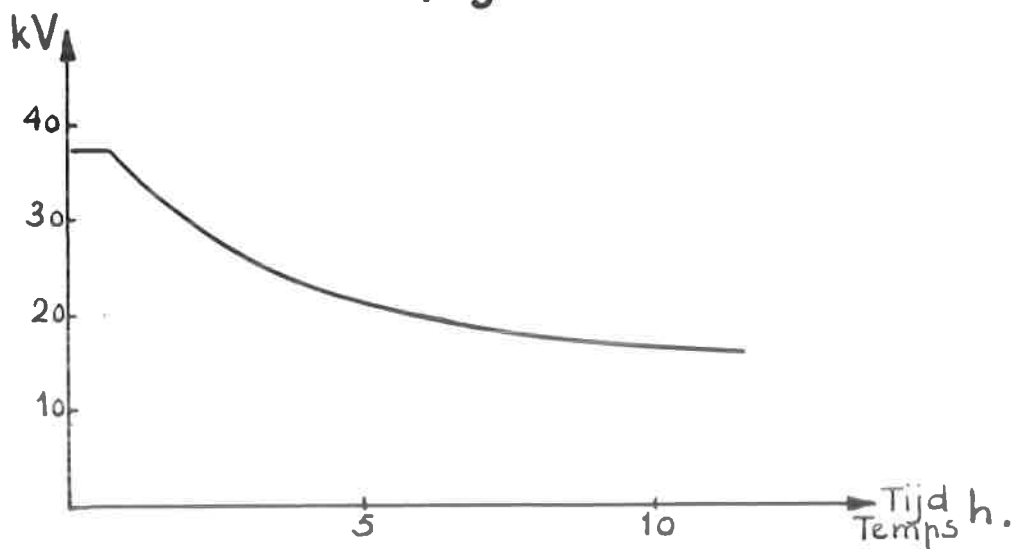


fig. 311

25ème leçon

III. Matières fibreuses.

A. Généralités.

Les fibres utilisées dans la fabrication des isolants, peuvent être groupées comme suit :

- 1) Fibres végétales;
- 2) Fibres animales;
- 3) Fibres artificielles.

Nous nous bornons aux fibres organiques. Les fibres anorganiques ou minérales, comme par ex. l'amiante et la fibre de verre seront traitées dans un chapitre suivant.

1. Fibres végétales.

Les fibres textiles sont fournies par le chanvre, le lin et le coton. Généralement, c'est uniquement l'écorce des fibres qui est utilisable; de ce fait, un traitement mécanique important est nécessaire.

Les fibres de papier sont fournies par le bois, libéré de l'écorce. Les fibres de bois sont creuses puisqu'elles sont appelées à conduire la sève. Plus considérable est la quantité de sève, plus spacieux seront les canaux à l'intérieur des fibres. Il s'en suit que la rigidité des fibres des résineux sera différente de celle des arbres tropicaux.

Des fibres de papier de second ordre sont également fournies par certaines espèces de paille et de l'herbe.

Quoique de telles fibres soient très fines, elles sont relativement dures et rigides.

La structure générale des fibres végétales est représentée à la fig. 312.

2. Fibres animales.

La laine de mouton est certainement la fibre végétale la plus utilisée. Le ver à soie nous fournit par contre une fibre extrêmement longue. La structure des fibres animales est beaucoup plus simple et le rapport longueur beaucoup plus grand que ceux des fibres épaisseur végétales.

Tandis que les fibres végétales sont composées principalement de cellulose, c.à.d. de C, H et O, les fibres

Cours 1217bis

2.

animales contiennent en plus du N et S. La résistance aux actions chimiques est généralement moindre que celle de la cellulose. Toutefois, la laine et la soie résistent bien à l'acide minéral.

Des rayons lumineux d'onde courte sont extrêmement nuisibles et attaquent la résistance des fibres.

3. Fibres artificielles.

Dans la fabrication des fibres artificielles, on utilise comme matière première des fibres végétales ou animales qui sont traitées chimiquement. La cellulose de bois non textile par exemple est transformée en fibre-viscose. De plus, on peut fabriquer des fibres intégralement synthétiques comme p. ex. le nylon (un polyamide) ou le polyvinyl-chloride.

Partant d'une solution ou d'une pâte, des brins sont obtenus qui, à la fabrication, sont allongés de 300 à 700%; de ce fait, l'allongement diminue et la résistance à la rupture augmente. Le diamètre du brin varie entre 10 et 100 microns.

Pour terminer, on chauffe le brin; il en résulte un retrait de 5 à 15%.

Les fibres ont un aspect très lisse; elles résistent bien aux actions chimiques, mais ont l'inconvénient de présenter des difficultés lors de l'imprégnation. Toutefois, l'hygroscopicité est très faible.

Le tableau n° 1 donne une comparaison entre les caractéristiques des fibres naturelles et artificielles.

Dans la fabrication de la cellulose ($C_6H_{10}O_5$), on se sert généralement du bois comme matière première. Afin de libérer la cellulose, il faut soumettre le bois à un traitement chimique; par après, les produits chimiques doivent être éliminés par lavage à l'eau.

B. Aspect sous lequel les matières fibreuses sont utilisées.

1. Le papier.

Le papier est un bon isolant à l'état sec. Il est malheureusement très hygroscopique. La fig.313 montre la teneur en eau pour l'air en fonction du degré d'humidité relative; une fois que l'eau est entrée dans la matière, le pouvoir isolant diminue sensiblement et la pièce doit être séchée. La température à la surface des pièces d'une certaine épaisseur doit atteindre environ $110^{\circ}C$. Le séchage à des températures plus élevées fait diminuer la résistance mécanique (fig.314 - 315). C'est pourquoi le papier est généralement imprégné ou verni par le fournisseur.

- a) Papier de soie : Dans la fabrication des condensateurs on utilise un papier ayant seulement 0,008 à 0,020mm. d'épaisseur, et pesant 6 à 15 gr/m². Le papier de soie ordinaire a une épaisseur de 0,03mm. et pèse environ 20 gr/m².
- b) Papier huilé : ce papier existe sous forme de feuille et ruban en épaisseur de 0,03 à 0,3mm. Il résiste très bien à l'huile chaude. La tension de percement est de 3 KV pour 0,1mm. L'hygroscopicité est minime mais la résistance mécanique est faible.

On l'utilise comme isolant d'entre-couches dans la fabrication des bobines.

- c) Papier paraffiné : la paraffine sert comme matière d'imprégnation;
- d) Papier laqué : le papier peut être muni d'une couche de gomme-laque ou d'une laque thermoplastique (30 gr. par m²) sur 1 face ou bien sur les 2 faces.

Le papier laqué (épaisseur 0,05 à 0,12mm), utilisé dans l'enveloppement des barres métalliques, est mise en oeuvre à chaud, et doit être tenu durant 1 à 3 h. à une température de 140°C quand il s'agit de laques synthétiques afin d'obtenir une polymérisation.

- e) Presspan ou carton de Lyon : la couleur varie du jaune au brun.

Le poids spécifique des feuilles (épaisseur 0,1 à 5mm) varie entre 0,9 et 1,4 d'après la pression qui a été appliquée lors de la fabrication. La fig. 316 montre la différence entre les caractéristiques pour 2 poids spécifiques différents.

Afin d'éliminer autant que possible l'hygroscopicité, le carton de Lyon est généralement fourni brillant. On l'utilise couramment dans la fabrication des carcasses de bobines ainsi que dans les transformateurs à l'huile.

La combinaison d'un film de triacétate de cellulose entre 2 feuilles de carton (épaisseur totale = 0,4mm) supporte des tensions de 9 kV et est à préconiser comme isolant d'encoche.

- f) Papier bakérisé: des feuilles laquées à la bakélite sont mises l'une sur l'autre, et comprimées à 140°C sous une pression de 50 kg/cm².

On trouve cette matière dans le commerce sous différentes dénominations, p. ex : normalite, dellite, radiolite, normacot, turbonite, marolite, etc... Le papier bakérisé est fourni sous forme de plaque barre (fabriquées soit hors plaques, fig. 317, soit hors tube non polymérisés - fig. 318) tubes et pièces moulées.

4.

La couleur est brune ou noire.

La tolérance sur l'épaisseur dépend de la valeur nominale (mm) : 1 \pm 0,1 - 3 \pm 0,2 - 5 \pm 0,25 - 10 \pm 0,4 - 20 \pm 0,6.

D'après la matière première : nature et épaisseur du papier, % agglomérant, ainsi que suivant la méthode de fabrication, on obtient différentes qualités.

Elles peuvent être groupées en 4 classes :

Classe	Utilisation	Caractéristiques principales
I	Pour la haute tension	Excellent diélectrique. Résiste à l'huile et à la chaleur.
II	Pour la construction et estampage	Propriétés mécaniques et diélectriques satisfaisantes. Facile à usiner.
III	Pour la HF et téléphonie.	Très peu hygroscopique. Facteur de perte pour HF très faible.
IV	Pour les régions tropicales.	Hygroscopicité très faible

Le tableau n° 2 donne un aperçu général des caractéristiques principales de ces 4 classes.

g) La Fibre : La cellulose est transformée en cellulose-hydratée par un traitement au chlorure de zinc. Cette transformation n'est que temporaire et par après il faut éliminer le chlorure de zinc par lavage intense à l'eau. Les fibres sont vraiment enveloppées d'une couche cornée. L'hygroscopicité diminue et l'extraction d'une fibre séparée devient impossible. On obtient donc une masse vraiment homogène. Il se produit un retrait de 50 % sur l'épaisseur des plaques lors du séchage.

Les caractéristiques mécaniques de la fibre sont :

- résistance à la traction : 500 kg/cm².
- résistance à la flexion : 800 kg/cm².
- poids spécifique : 1 à 1,25.
- très tenace et facile à usiner.

La fibre n'est pratiquement pas employée dans la HT à cause des impuretés électrolytiques qui sont restées dans la matière. L'hygroscopicité est également assez importante : 12 % pour une plaque de 2mm. après immersion dans l'eau de 20°C durant 1 heure. L'usinage de la fibre se fait sur les machines-outils à métal :

- Tournage : vitesse 30 % supérieure à la fonte; l'angle d'affutage de l'outil doit être très important.
- Sciage : scie circulaire \varnothing 400mm. - 100 dents - 2500 t/min.
- Estampage : possible jusque 6mm. Un préchauffage à 80°C est parfois nécessaire.

La couleur naturelle est grise. En ajoutant des pigments, on fabrique également de la fibre rouge et noire. Elle existe sous forme de plaques, barres et tubes et est utilisée comme plaque à borne, comme support de contacts, comme doigt de pression dans les porte-balais, comme blochet de serrage des câbles en caoutchouc, dans les fusibles HT (fig. 319), comme rondelles d'étanchéité dans le montage des isolateurs en porcelaine (fig. 320 et 321) etc..

h) Le léathéroïd : c'est également un produit de vulcanisation. La fabrication exige des fibres d'une qualité spéciale. Plus ou moins le degré de vulcanisation, plus dure et plus cassante devient le produit. Un essai pratique consiste en ceci : compter le nombre de pliages (sur 90° ou 180°) qu'on peut faire avant que des fissures ne se montrent. Le léathéroïd est utilisé comme isolant d'encoche en 0,1 - 0,2 - 0,3 en 0,5mm. Le poids spécifique est de 1,2 à 1,4.

La tension de percement sur 0,2mm. atteint 2,5 kV.

2. Les textiles.

a) Les textiles de coton et de soie.

Les textiles existent imprégnés ou non avec un vernis souple, sous forme de tissu, ruban et gaine.

Imprégné, la couleur en est jaune ou noire.

La soie est plus chère, mais a un encombrement moindre. Les textiles peuvent être droits ou de biais (30 à 45°).

Pour cette dernière sorte, l'allongement avant rupture est doublé par rapport au tissu droit, et son utilisation est à préférer pour l'enrubanage de formes irrégulières.

Nous distinguons :

6.

- 1) ruban Jaconas : c'est un ruban de coton non imprégné (largeur 10 - 15 - 20mm) utilisé dans le bobinage.
- 2) gaine de coton et de soie : pour protéger les sorties de bobines d'induit.
- 3) toile et ruban huilés : les épaisseurs varient entre 0,1 et 0,3mm. pour le coton et entre 0,05 et 0,15mm. pour la soie. La tension de percement atteint 4 kV pour 0,1mm.

De plus, ces tissus sont utilisés comme support des clivages de mica, en combinaison avec le prespan, etc.. L'épaisseur varie entre 0,5 et 0,6mm.

b) Le coton amélioré.

On peut transformer le coton, sans attaquer la structure fibreuse, par une acétylation de la cellulose. La fig. 322 montr. que plus on pousse le degré d'acétylation, moindre devient l'hygroscopicité; la résistance mécanique et la mise en oeuvre n'en sont pas influencées.

La fig. 323 donne en comparaison l'influence de la température sur la résistance à la rupture pour un ruban ordinaire et un ruban acétylé.

c) Le tissu bakéliné.

En ce qui concerne la fabrication, voir "Le papier bakéliné", en tenant compte que le papier est remplacé par du tissu. On le trouve dans le commerce sous les dénominations ci-après :

normatex, turbax, wartex, canevasite, etc.. Les caractéristiques sont influencées par le tissu (épaisseur, composition, nombre de mailles) et le % agglomérant.

Cette matière est utilisée aussi bien dans la construction mécanique (engrenages, paliers...) que dans l'électrotechnique.

Le tableau n° 3 donne les caractéristiques principales. Dans l'électrotechnique on utilise un tissu rigide et fin et on le préfère là où, en plus d'une sollicitation électrique, il y a également une sollicitation mécanique importante, p. ex : pour des cales d'encoches, des supports pour contacts mobiles, etc...

Usinage du papier et tissu bakéliné.

Tout d'abord, quelques conseils d'ordre général :

- Les machines à scier et à poncer sont à équiper d'un aspirateur de poussières;
- Veiller à une évacuation facile des copeaux.
- Le métal dur résistera mieux à l'effet abrasif de la bakélite.

Les vitesses de coupe, les avances et les angles d'affûtage des outils sont donnés au tableau n° 4, pour ce qui concerne le sciage, le tournage, le fraisage, le rabotage et le forage.

- 1) Découpage : On peut découper à froid les plaques jusqu'à une épaisseur de 1,5mm. Pour les épaisseurs supérieures (jusqu'à 2,5mm), un préchauffage est nécessaire.
- 2) Estampage : Des plaques d'une épaisseur supérieure à 1,5mm. doivent être préchauffées sur une plaque de chauffe ou dans un bain d'huile à une température de 100 ou 120°C. Eventuellement, il y a lieu de tenir compte de la contraction des pièces.
- 3) Sciage : La scie circulaire donne une coupe plus nette que la scie à ruban. L'épaisseur et la hauteur des dents des scies circulaires dépendent de l'épaisseur de la plaque à couper.
- 4) Tournage : se fait à sec.
- 5) Forage : deux cas se présentent : si le trou est parallèle aux couches, il faut prendre des précautions afin d'éviter le clivage; si, par contre, le trou est perpendiculaire aux couches, il faut prévoir un support en bois dur ou matière analogue pour qu'à la sortie de la mèche on ne provoque pas d'écaillage de la matière.
- 6) Taraudage : graissage à l'huile ou à la cire d'abeilles; pour le taraudage à la machine, on emploie uniquement des fraises et des peignes.
- 7) Polissage : un mélange d'huile de machine, d'huile de ricin et de poudre de pierre ponce peut convenir. Le finissage se fait à sec au moyen de disques de flanelle.
- 8) Gravure et marquage : le poinçon est chauffé à une température de 150°C.

3. Le bois.

Le bois n'est pas exclusivement utilisé comme matière première pour la production de la cellulose, mais également tel quel pour la fabrication des pièces massives ayant une forme simple.

8.

Généralement, le bois ne contient que 40 % de cellulose. Le reste, l'agglomérant et la sève constituent des impuretés qui nuisent aux caractéristiques isolantes.

Le séchage du bois est une opération difficile. De préférence on utilise du bois ayant un poids spécifique élevé, p. ex : le hêtre, le chêne et le frêne.

Après séchage, le bois est imprégné et comprimé sous haute pression.

Afin de faciliter le séchage et l'imprégnation, on utilise des plaques assez minces qui sont empilées pour former ce qu'on appelle du bois lamellé. Ce faisant, on peut déterminer librement le sens des fibres des planches consécutives, et influencer avantageusement les propriétés mécaniques du produit final.

La bakélite est employée comme matière d'imprégnation; le poids spécifique varie entre 1,2 et 1,4.

Le produit qui se trouve dans le commerce sous les dénominations de "Permali" et de "Résarm" est utilisé fréquemment dans la construction des transformateurs et des machines tournantes comme pièce de forme ou découpé hors plaque.

Tabel
Tableau n° 1

Bijlage
Annexe

	Katoen Coton	Zijde Soie	Viskose Viscose	Poly- amide Nylon	Poly- acryl- nitril
Max. gebruikstemp. Temp. max. °C	120	150	120	120	140
Wateropname in % 20°C - 65 % r.v. Absorption d'eau en % à 20°C - 65 % h.r.	7	11	13	4	1,5
rek % (droog) allongem. % (à sec)	3 - 7	10-25	9-30	14-25	14-17
Bijzondere eigenschappen Caractéristiques spécia- les	-	Warmte bestand Résiste à la chaleur		Scheur- vast Résiste à la fissu- ration	Licht- en weder- bestand Résiste à la lumière et à l'atm.

Van Aulryve - 250287.6.66(50)

Voornaamste eigenschappen van gebakeliseerd papier.
Caractéristiques principales du papier bakelisé.

		I	II	III	IV
Soortelijk gewicht Poids spécifique	gr/cm ³	1,4	1,4	1,4	1,4
Buigweerstand Résistance à la flexion	kg/mm ²	15	17	14	11
Resilientie Résilience	kgcm/cm ²	22	25	22	20
Breukweerstand (lagen) Résistance de rupture (aux couches)	kg/mm ²	11	11,5	10	9,5
Drukweerstand Résistance à la compression	kg/mm ²	25	23	21	22
Weerstand aan warmte Résistance à la chaleur	°C	150	130	150	150
Weerstand aan warmte in olie Résistance à la chaleur dans l'huile	°C	140	120	150	150
Hygroscopiciteit (96 h in water van 20° C) Absorption d'eau (96 h d'immersion à 20° C)					
dikte épaisseur	8-20 mm %	2,1	4,5	1,9	0,9
Doorslagspanning in lucht 20° C (1 mm):kV Tension de perforation à l'air à 20° C (1 mm)		28	26	27	15
Verliesfactor Facteur de perte	1 mm - 100 V - 800 Hz	0,028	0,056	0,02 (10 ⁷ Hz)	-

L

Voornaamste eigenschappen van gebakeliseerd doek.
Caractéristiques principales du tissu bakelisé.

Soortelijk gewicht Poids spécifique	1,35 à 1,4.
Breukweerstand Résistance à la rupture	6 kg/mm ²
Verlenging bij breuk Allongement à la rupture	1,2 %
Weerstand aan warmte Résistance à la chaleur	
bestendig continue	120° C
tijdelijk temporaire	150° C
Buigweerstand Résistance à la flexion	12 à 14 kg/mm ²
Samendrukking Compression	⊥ : 30 kg/mm ² : 15 kg/mm ²
Resilientie Résilience	35 kgcm/cm ²
Weinig aantastbaar door olie, water en zwakke zuren. Résiste très bien à l'huile, à l'eau et aux acides faibles.	

Gebakeliseerd papier en weefsel - Papier et toffe bakelisé.

Tabel der snijsnelheden en vorderingen

Tableau des vitesses de coupe et des avances.

Bewerking Usinage	Snij- snelheid Vitesse de coupe m/min	Vordering Avance mm/t	Vorm van het werktuig Forme de l'outil α = vrijloophoek - angle d'affûtage γ = spaanhoek - angle de dépouille
Zagen Sciage Cirkelzaag Scie circulaire Lintzaag Scie à ruban	2500-3000 1500-2000	met de hand à la main	$\alpha = 30-40^\circ, \gamma = 5-8^\circ$
Draaien Tournage Snelstaal Acier rapide Hard metaal Métal dur	80- 100 200- 250	0,3 - 0,5 0,1 - 0,3	$\alpha = 8-10^\circ, \gamma = 15^\circ$
Frezen Fraisage Snelstaal Acier rapide Hard metaal Métal dur	40 - 50 200-1000x	0,5 - 0,8	$\alpha = 20-30^\circ, \gamma = 20-25^\circ$
Schaven Rabotage Snelstaal Acier rapide Hard metaal Métal dur	15 - 20 50 - 60	0,2 - 0,8 0,2 - 0,5	$\alpha = 10^\circ, \gamma = 15^\circ$
Boren Perçage Snelstaal Acier rapide Hard metaal Métal dur	40 - 50 90 - 120	0,2 - 0,4 0,2 - 0,4	$\gamma = 10^\circ$ Punt Pointe: 60 à 100°

x Voor vertikaal houtfreesmachine
Pour fraiseuse vertical à bois.

C. 1217bis/2217bis
25e L.

Structuur van plantaardige
vezel.
Structure d'une fibre
végétale.

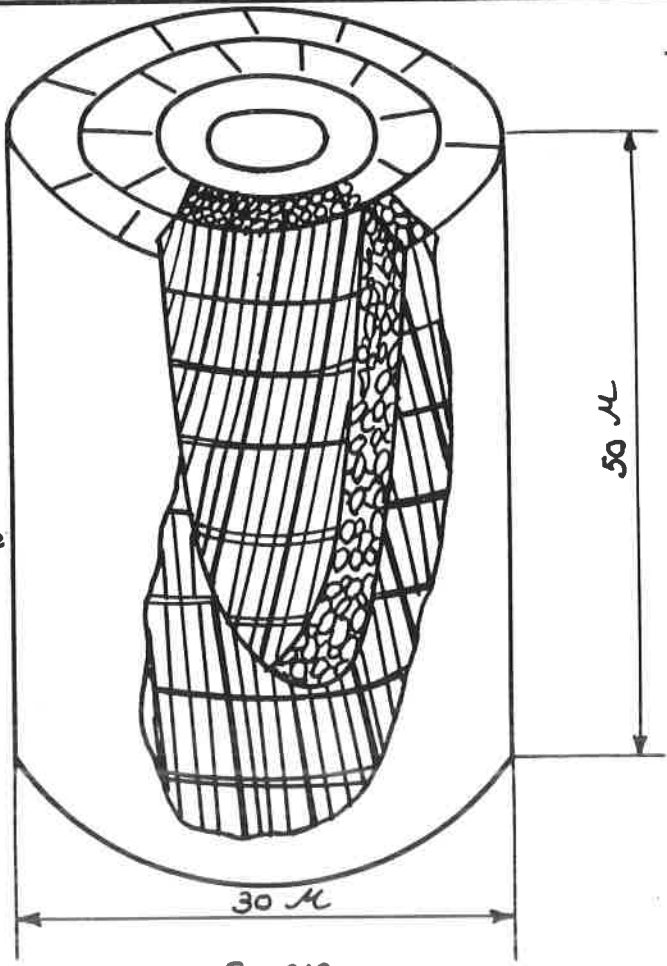


fig.312.

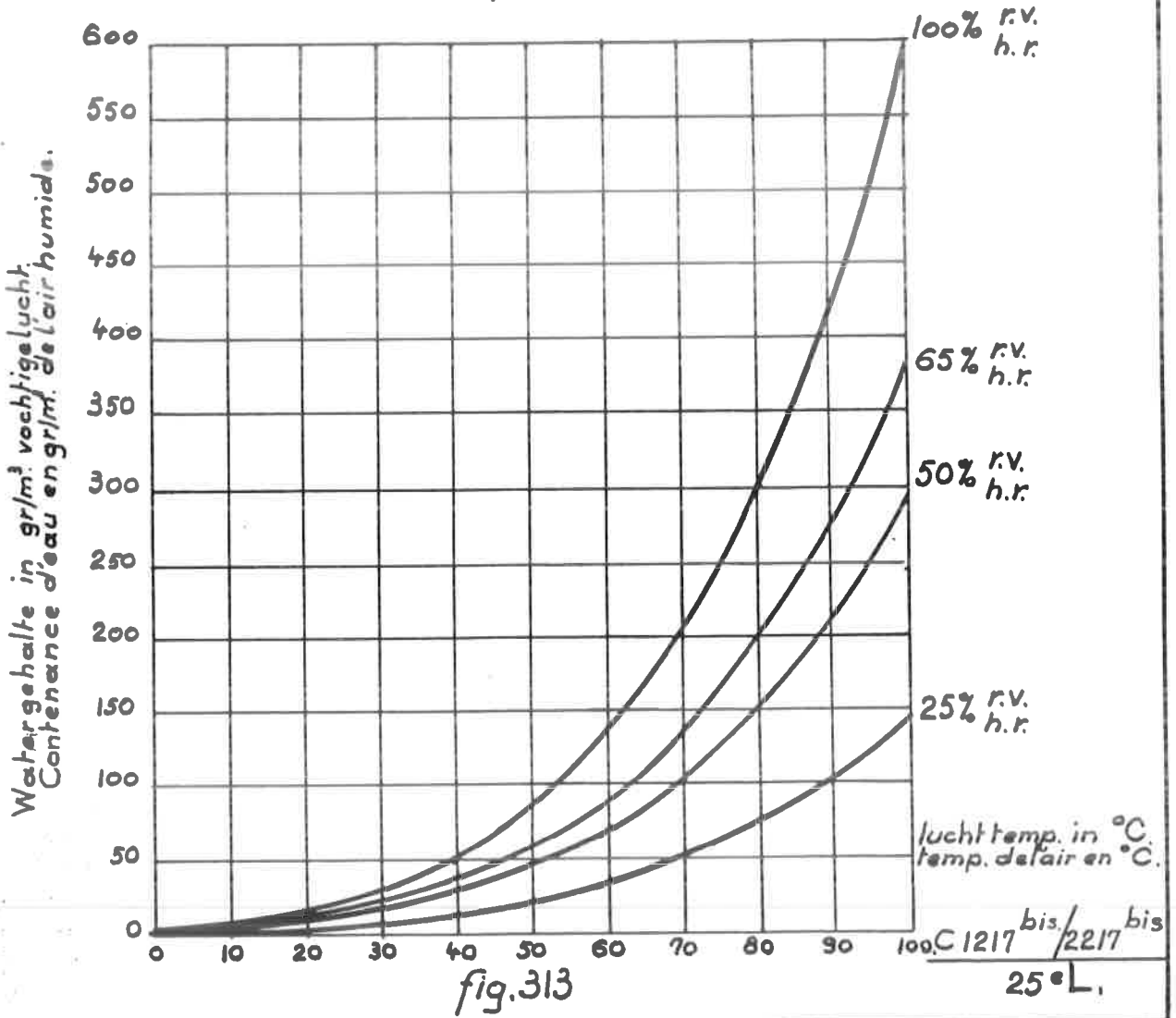


fig.313

25°L.

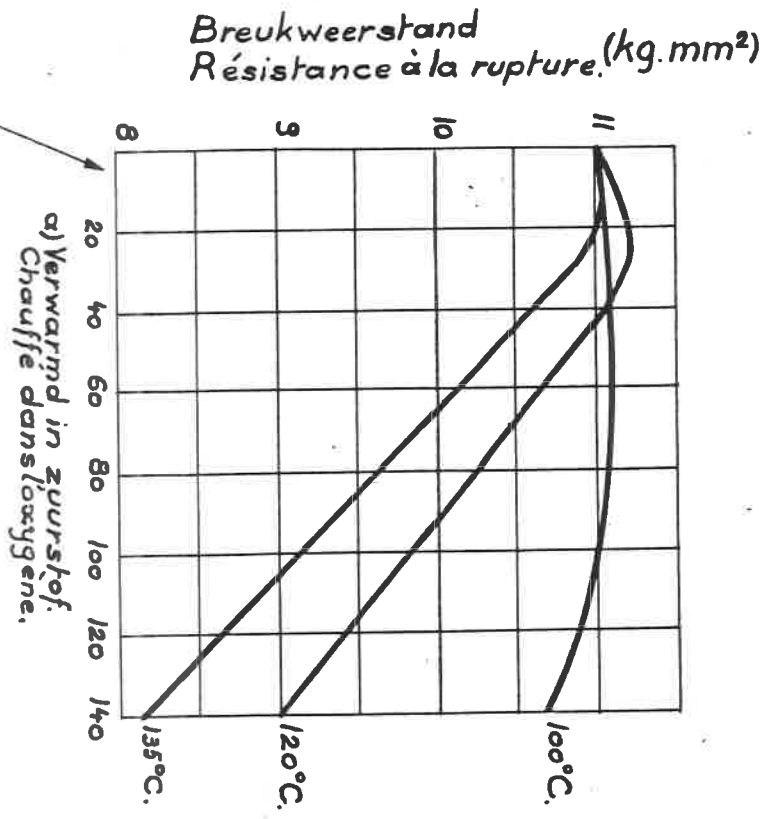


fig. 314

Geïmpregneerd manila-papier van 0,075 mm. dikte.
Papier-manila imprégné d'une épaisseur de 0,075 mm.

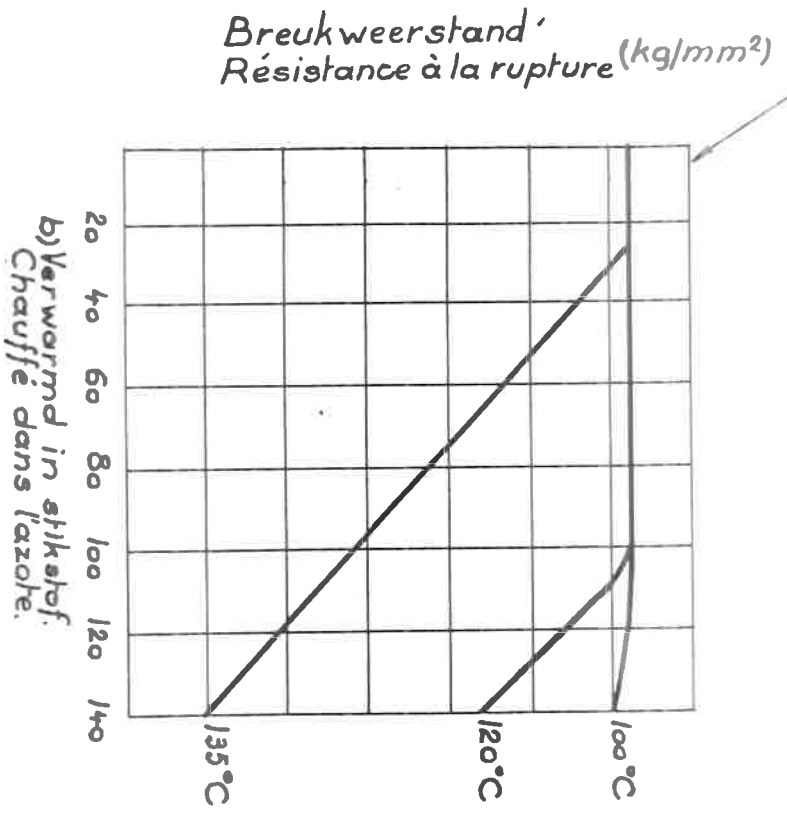


fig. 315

C. 1217 bis / 2217 bis.
25 e L.

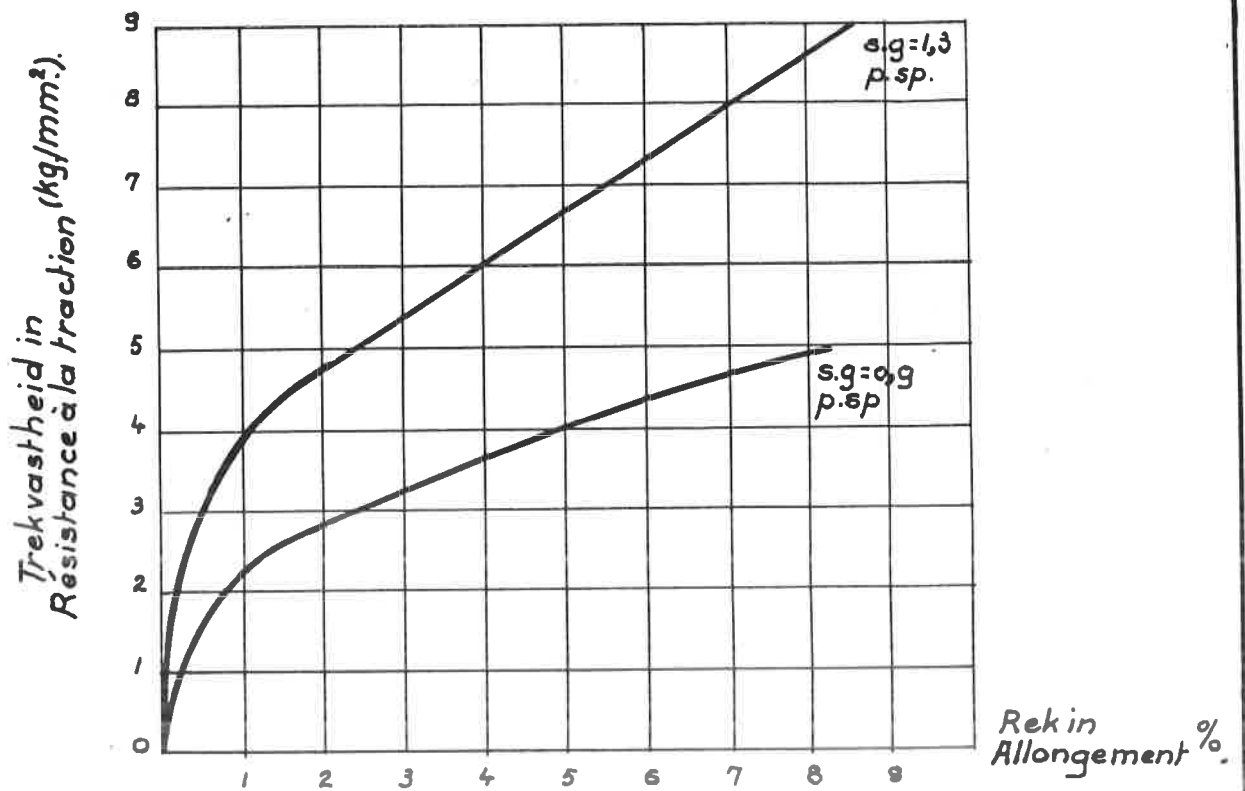


fig.316



fig.317



fig.318

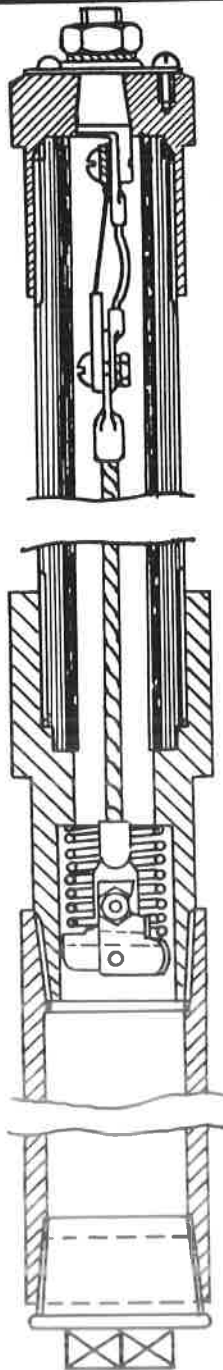


fig.319.

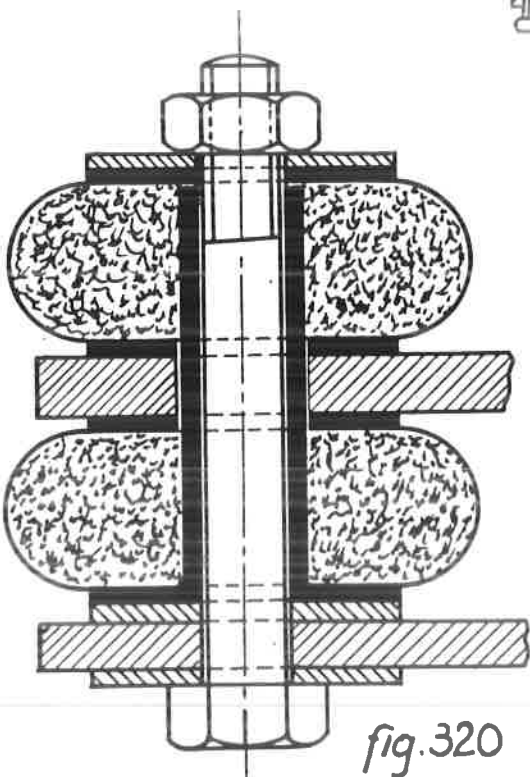


fig.320

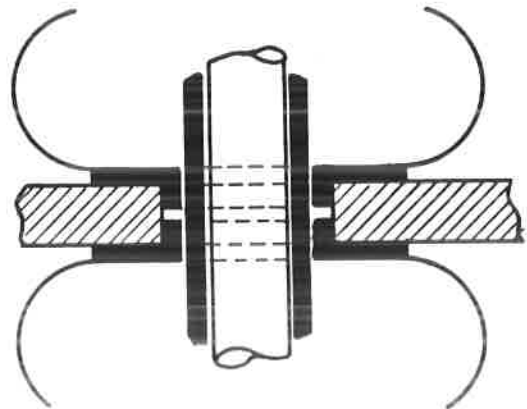


fig.321.

C.1217^{bis}/2217^{bis}.
25eL

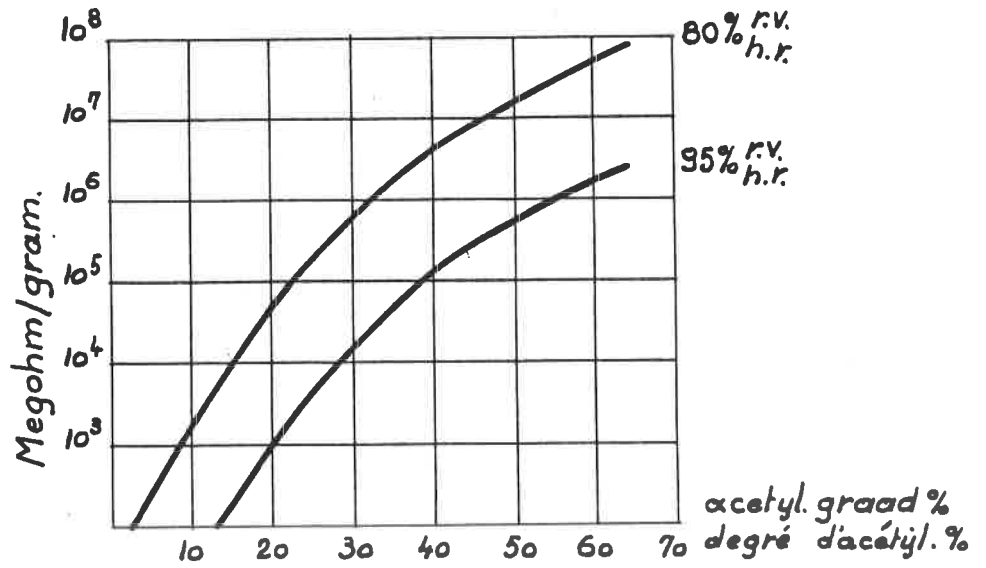


fig.322

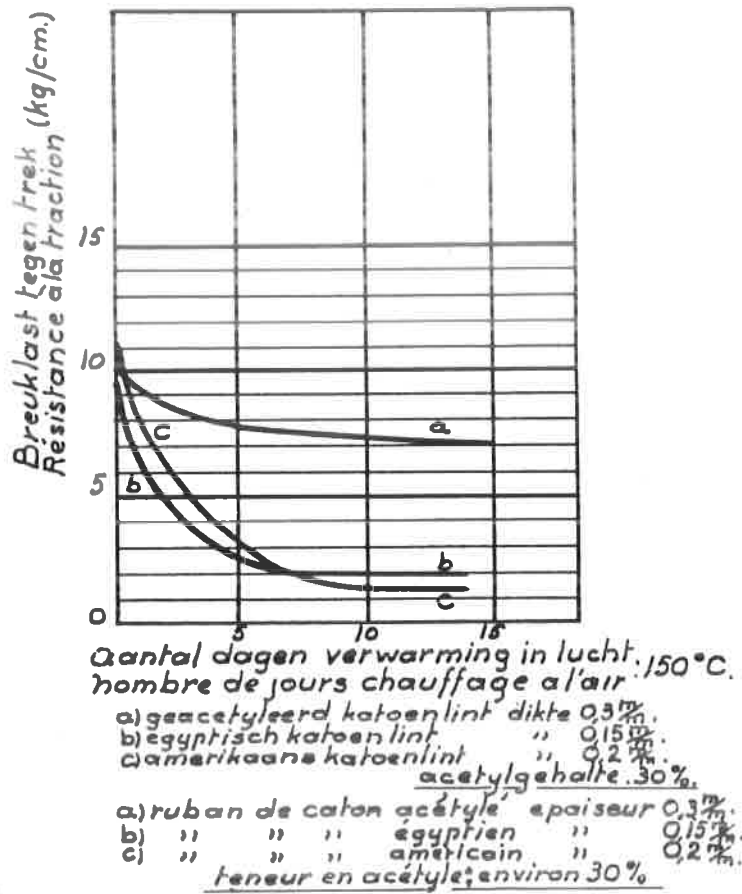


fig.323.

C.1217 bis./2217 bis.
25°L.

100

IV. Le caoutchouc.

a) Généralités et fabrication.

Jadis, le mot "caoutchouc" était employé exclusivement pour déterminer la matière élastique obtenue de la sève (latex) d'un certain arbre (*hevea brasiliensis*).

Actuellement, la notion "caoutchouc" a une signification beaucoup plus étendue; on l'emploie également pour désigner le caoutchouc synthétique.

En général, "le caoutchouc" est la dénomination d'une matière qui peut être allongée au minimum au double de sa longueur et qui, à l'état libre, reprend presque immédiatement sa longueur initiale.

Le caoutchouc naturel pur n'est pas utilisable tel quel parce que :

- il devient plastique et il colle lors d'un léger échauffement;
- il fond à une température de 180°C.

Le traitement le plus important auquel il faut soumettre le caoutchouc s'appelle "la vulcanisation".

Le caoutchouc naturel est mélangé intimement au soufre en poudre et puis chauffé pendant un temps déterminé. Des produits ayant des caractéristiques différentes sont obtenus d'après la qualité de la matière première, le % de soufre, la température et la durée du traitement.

Le caoutchouc ordinaire contient entre 1 et 3 % de soufre, tandis qu'un pourcentage de 30 à 35 % fournit l'ébonite.

Cette dernière matière est un excellent isolant à température ordinaire. Toutefois, un léger échauffement la déforme.

L'ébonite se laisse très bien polir et elle résiste aux acides. De ce fait, elle est largement utilisée dans la fabrication des accumulateurs au plomb.

La dureté du caoutchouc, exprimée en degrés Shore, varie avec le degré de vulcanisation.

2.

b) Applications.

Le caoutchouc est principalement utilisé dans la fabrication des câbles à cause de ses propriétés diélectrique et élastique et de son hygroscopicité minime.

L'angle de perte ($\text{tg } \delta$) du caoutchouc vulcanisé pour câble est de 0,01 à 20°C et 50 Hz, tandis que cette valeur n'atteint que 0,003 pour du caoutchouc naturel pur.

La constante diélectrique (ϵ) par contre est de 4 pour le caoutchouc vulcanisé contre 2,5 pour le caoutchouc naturel.

On trouve d'autres applications dans la fabrication des gants, bottes et tapis isolants dans les cabines HT ainsi que comme bagues d'étanchéité pour les entrées de câble.

Enfin, le caoutchouc est également employé sous forme de ruban adhésif garni d'une matière favorisant la vulcanisation des couches successives. Dans le but d'accentuer davantage cet effet, on allonge le ruban pendant l'enrubannage de façon que la largeur soit réduite à $\frac{3}{4}$ de la largeur initiale.

Par cette méthode, on peut effectuer des réparations satisfaisantes aux câbles en caoutchouc.

c) Le caoutchouc synthétique.

Le caoutchouc naturel, même vulcanisé, est attaqué par plusieurs agents comme par exemple : le naphte, l'huile, l'ozone, etc...

Le caoutchouc synthétique, par contre, résiste mieux à l'huile et à l'ozone, tandis que des températures élevées ne sont pas si néfastes.

D'après le procédé de fabrication, ce caoutchouc porte des dénominations comme par exemple : buna, perbunan, néoprène, caoutchouc-butylique, etc...

Généralement, les propriétés diélectriques du caoutchouc synthétique sont inférieures à celles du caoutchouc naturel. Les propriétés mécaniques, par contre, sont supérieures (fig. 325).

V. L'amiante.

a) La matière première.

L'amiante est un minéral cristallin de structure fibreuse. Chimiquement, c'est un silicate de magnésium.

On distingue 3 qualités, dont les 2 premières seulement intéressent l'électrotechnique :

- l'anthophyllite ou chrysotile (amiante blanc);
- l'amphibole (amiante bleu);
- la serpentine.

L'amiante se trouve en Afrique du Sud, au Canada, en Rhodésie et dans l'Oural. L'épaisseur des couches varie entre quelques mm. et quelques cm; elle détermine la longueur des fibres. Le diamètre du cristal est de l'ordre de $\frac{1}{1000}$ mm. Ces dimensions extrêmement faibles expliquent la possibilité de faire des mélanges presque homogènes, par ex. avec du ciment, de la bakélite ou avec d'autres résines.

Ci-après les propriétés principales :

- incombustible (se pulvérise par incandescence) et mauvais conducteur de chaleur;
- résiste aux acides;
- fibre excessivement souple;
- bon isolant à l'état sec;
- très hygroscopique, à quoi on peut remédier en l'imprégnant;
- résiste très bien à l'abrasion.

b) Produits de commerce.

1. Le tissu.

L'épaisseur minimum est limitée à 0,25mm. Généralement on l'emploie en 0,5 ou 1 mm. sous forme de toile et ruban, comme p. ex. dans les bobinages des moteurs de traction, ou comme protection contre la chaleur des câbles en caoutchouc et des bobines des chauffe-rivets et postes de soudure. Le tissu est très souple et élastique; il résiste bien à l'abrasion.

Afin d'augmenter la résistance à la rupture, on ajoute parfois 15 % des fibres de coton. Dans ce but, on peut également utiliser des fibres de verre et de nylon.

2. Corde et tresse.

La corde, imprégnée ou non imprégnée, est utilisée comme bourrage dans les bobinages d'induit, comme support des résistances boudinées, etc..

La rigidité diélectrique est trop faible et l'épaisseur trop élevée pour pouvoir utiliser la tresse-amiante dans les bobinages. Comme tresse imprégnée dans des fils de câblage

4.

des petits appareils et comme gaine protectrice des fusibles HT, il existe plusieurs applications.

3. Guipage.

Le guipage des fils de bobinage au moyen des fibres d'amiante est plus épais et moins régulier que celui des fibres de soie de verre. Toutefois, la résistance à l'abrasion et l'élasticité sont meilleures. Le fil guipé est utilisé dans la fabrication des bobines d'induit des moteurs de tramways. Les bobines peuvent être fabriquées entièrement à la machine sans risquer d'abîmer l'isolement.

On cherche à obtenir une rigidité diélectrique plus élevée dans l'utilisation du papier-amiante.

4. Papier amiante.

- a) Le papier-amiante ordinaire traité au moyen des résines appropriées ou du caoutchouc vulcanisé peut être utilisé comme isolant d'entre-couche dans les inducteurs des moteurs de traction.
- b) Le papier amiante d'un degré de pureté élevé est utilisé tel quel dans les transfos à refroidissement dans l'air; en y ajoutant des fibres de verre, la résistance mécanique augmente, tandis qu'une imprégnation fait monter la rigidité diélectrique.
- c) Le papier amiante spécialement traité est essayé comme entre-lames et cônes isolants pour collecteurs.

Le prix d'un papier-amiante d'un degré de pureté élevé est de loin supérieur à celui du papier-amiante ordinaire.

Parfois la carcasse des moteurs de traction est garnie intérieurement, côté collecteur, au moyen du papier amiante ordinaire comme protection contre les "flashes".

5. Matériaux stratifiés.

a) Tissu :

Le tissu peut être imprégné :

- 1) Au moyen des résines synthétiques : Si on emploie un tissu à grosses mailles, épaisseur 0,75mm., on obtient une matière mécaniquement robuste jusqu'à la température de 150°C, mais dont la rigidité diélectrique ne dépasse guère 40 V/mm. On l'utilise comme cale d'encoche dans les induits puisqu'elle résiste très bien à l'abrasion.

En employant un tissu à fines mailles (épaisseur 0,4mm.), on obtient une matière de haute valeur diélectrique.

2) Au moyen de mélamine :

La caractéristique principale de cette matière est sa résistance extraordinaire aux courants de fuite.

b) Papier.

Aussi bien des résines synthétiques ordinaires que la mélamine sont utilisées comme matière d'imprégnation. Les caractéristiques mécaniques et diélectriques peuvent être comparées à celles du papier bakéliné.

C'est un bon conducteur de chaleur et on l'emploie comme tableau divisionnaire, plaque à bornes, blochet de fixation dans les bobinages, etc...

c) Feutre d'amiante.

Des feuilles imprégnées, d'une épaisseur de 2mm. sont empilées et comprimées à chaud. On obtient ainsi des plaques très robustes mais d'une rigidité diélectrique médiocre.

Le tableau n° 1 donne une idée des caractéristiques des différentes qualités.

A citer encore l'emploi des fibres amiantes :

- 1) Dans des mélanges amiante-résine comprimés à haute température sous de fortes pressions et utilisés dans les boîtes de soufflage. Ce produit existe sous forme de feuilles et de tubes sous différentes dénominations, comme par exemple, asbestite, calisite; il résiste à des températures continues de 200°C;
- 2) Dans des mélanges avec du talc, du vernis au silicone et un catalyseur, comme masse de remplissage (compound) dans les bobinages d'induit.

6. Amiante - Ciment.

a) Généralités.

Ce mélange présente un produit très important pour l'électrotechnique.

De l'amiante blanc ou bleu est malaxé avec du ciment portland.

La fabrication des plaques se fait en principe comme suit :

Cours 1217bis
26e leçon

6.

- trier et broyer l'amiante; le produit obtenu a l'aspect d'ouate;
- tamiser le ciment;
- préparer le mélange amiante-ciment-eau;
- passage par une cartonneuse, dans laquelle on obtient l'épaisseur voulue en superposant un nombre déterminé de couches d'une épaisseur de 0,2mm;
- découper sur format voulu et compression sous 4 à 10.000T;
- laisser durcir les plaques ou bien les utiliser pour la fabrication des pièces en forme.

b) Classification.

En principe, il existe 2 qualités :

- la qualité diélectrique;
- la qualité anti-arc.

Elles se présentent sous forme de plaques et de pièces moulées, sous des dénominations comme par exemple : Pierrite, Syndanio, Siluminite, Clématéite, etc...

c) Utilisation.

- La qualité diélectrique s'emploie pour la fabrication des tableaux, poignées de fusible, poignées d'interrupteur, plaques à bornes, isolateurs-supports, isolateurs-tendeurs, isolateurs de porte-balais, etc..(fig.326 a - g).

- La qualité anti-arc s'emploie dans les boîtes de soufflage (fig. 327), comme écrans ou garnissage, dans les controllers, dans les cabines à H.T., dans les fours électriques, comme isolateurs-support des résistances (fig.328 a-b), dans des réchauds, etc...

d) Fabrication et caractéristiques.

1) Qualité diélectrique.

Nous nous bornons à une seule qualité, par ex : la Pierrite B.

Elle est fabriquée de plaques poreuses (40 % d'amiante + charges de magnésie et de mica), qui sont imprégnées de bitume ou d'asphalte sous des températures et des pressions élevées. Après séchage, les plaques sont poncées (polies) sous un jet d'eau très puissant et découpées d'après format. Pour finir, les plaques sont recouvertes d'une couche de vernis-cellulosique.

Ci-après, les caractéristiques principales :

- poids spécifique faible = 1,9
- couleur : noire ou brune;
- pratiquement pas hygroscopique : 0,04 %;
- résistance mécanique et diélectrique élevée (ne se déforme pas);
- usinable;
- existe en plaques de 1,20 x 2,50 m. aux épaisseurs de 6-8-10-12-15-20-25 et 30mm.

2) Qualité antiarc.

Nous nous bornons à la description de quelques qualités, p. ex : Pierrite CO - Pierrite 40 - Pierrite MI 5.

Après avoir ajouté certaines charges au mélange amianté ciment, les plaques sont comprimées sous des presses excessivement puissantes de sorte que la densité et la résistance mécanique de la matière augmente sensiblement.

Les 2 faces des plaques sont poncées de façon à réduire au minimum l'usure provoquée par l'arc.

Ci-après les caractéristiques principales :

- couleur : grise;
- ininflammable et incombustible;
- résiste à l'arc;
- très hygroscopique. On peut remédier à cela :
 - en ajoutant des charges spéciales pendant la fabrication;
 - en isolant la plaque par rapport à la masse au moyen d'une mince feuille en papier bakélinisé;
 - en recouvrant la face en contact avec la masse d'une couche de vernis isolant;
 - en imprégnant à l'huile de silicone.
- la pierrite anti-arc existe également en plaques de 1,20 x 2,50 m. aux épaisseurs de 3-4-5-6-8-10-12-15-20-25 et 30mm.

e) Usinage.

1. Tracage : se fait de préférence au moyen d'une pointe en acier afin de ne pas laisser de lignes conductrices.

2. Sciage :

- scie à main : pour de petites opérations;
- scie circulaire : ϕ 400mm. - 100 dents - 2200 t/m à sec;
- scie à ruban : largeur 25mm. - coupe 1,5 à 2mm.
6 dents par pouce - 12m/sec(à sec).
- disque en carborandum : ϕ 400 - épaisseur 6 à 8mm.
1500 t/min - refroidie à l'eau.

8.

3. Limage : lime ordinaire.

4. Forage (à sec) : acier rapide et métal dur.
Pour des trous d'un diamètre supérieur à 25mm., on utilise des fraises.

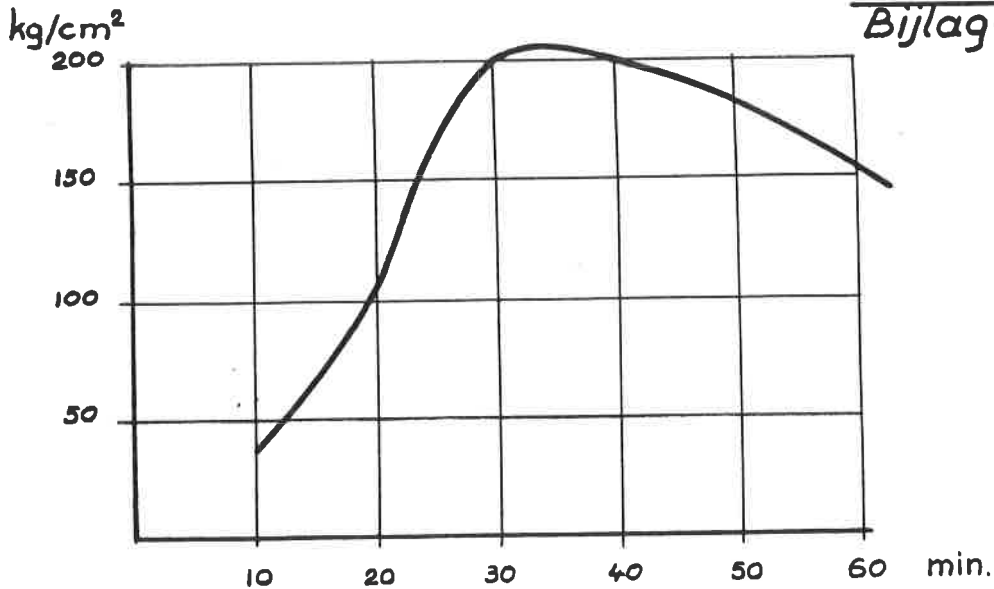
5. Tournage - Fraisage - Rabotage (à sec) : 25m/min.
pour l'acier rapide et 60m/min. pour le métal dur.

FX

Tabel 1. Tableau 1.

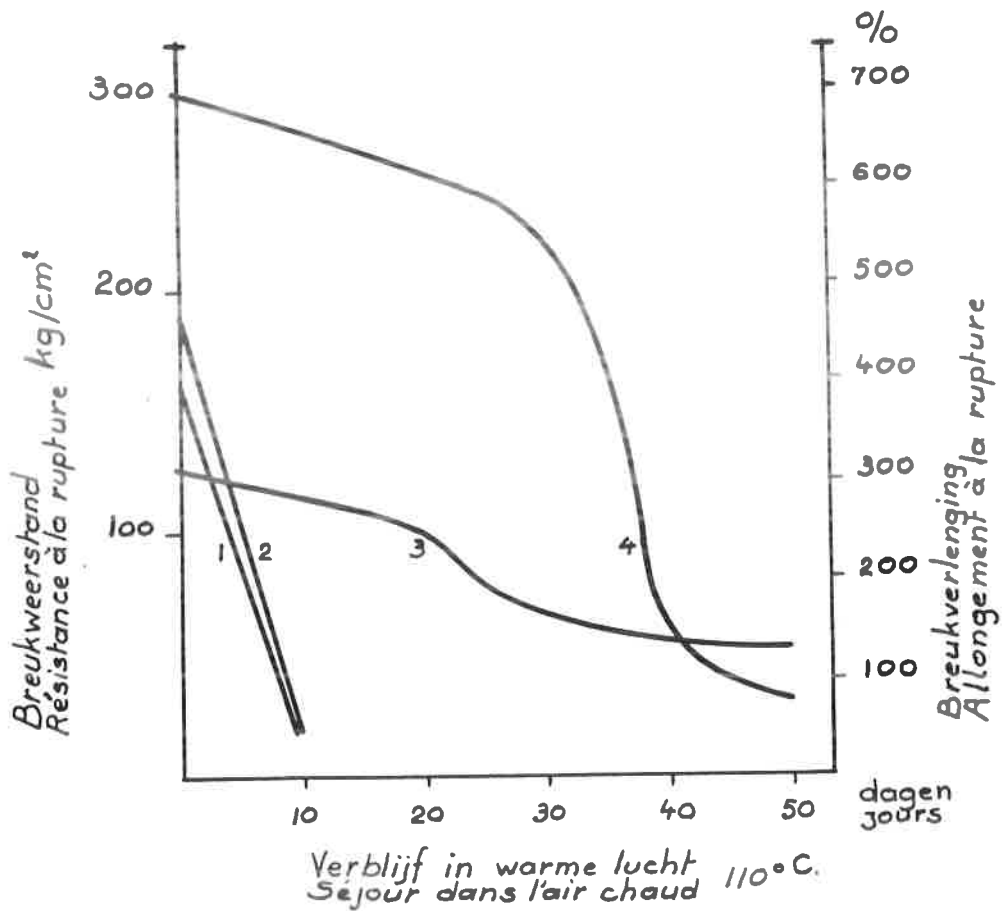
Mechanische en elektrische karakteristieken van gelaagde asbest produkten.
Caractéristiques mécaniques et électriques de l'amiante stratifié.

Materiaal. Matériaux.		Weerstand aan Résistance				Doorslagspanning bij 20°C. Proef korteduur Tens. de perc. a 20°C Essai de courte dur.	Hygroscopieiteit op 24 h. Hygroscopicit�e apr�es 24 h.
		Trek Traction		Druk Compress	Schok Choc		
		Langs Paral. kg/mm ²	Dwars Perpendic kg/mm ²				
Basisproduct Mat�re prem.	Impregneer middel. Impr�an.					kV/mm.	%
Grof weefsel. Tissu � grosse maille	Phenol-hars Résine phénol.	7-8	26-28	12-14	—	Onbeduidend Insignifiante.	—
Fijn weefsel. Tissu � fine maille.	id.	5-6	24-26	11-12	—	4-5	—
Asbest-papier. Papier- amiante	id.	9-10	24-26	14-16	3,2-4	6-8	0,3 - 0,5.
Asbest-papier. Papier- amiante.	Melamine. Mélamine	9-10	24-26	21-24	2,4-3,6	6-8	0,4 - 0,6.
Asbest-wol(vilt). Feutre- d'amiante.	Phenol-hars Résine phénol.	14-16	55-56	14-17	10-12	Onbeduidend. Insignifiante.	—



Vulcanisatie op 140°C van natuurrubber voor kabelfabrikatie
Vulcanisation à 140°C du caoutchoue naturel pour câbles.

fig.324.



Verblijf in warme lucht 110°C.
Sejour dans l'air chaud 110°C.

fig.325.

- 1 { Breukweerstand natuurrubber.
Résist. à la rupture du caoutch. naturel.
- 2 { Breukverlenging natuurrubber
Allongement à la rupture du caoutch. natur.
- 3 { Breukweerstand Neopreen.
Résist. à la rupt. Neoprène.
- 4 { Breukverlenging Neopreen
Allong. à la rupture Neoprène.

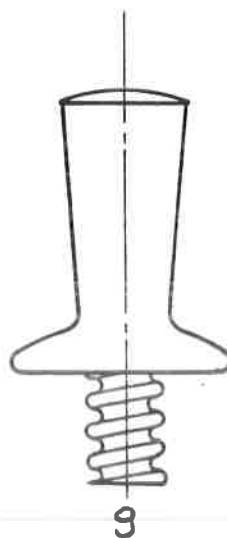
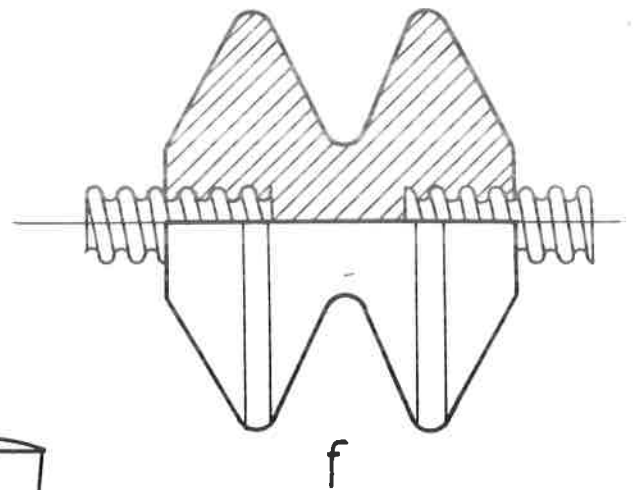
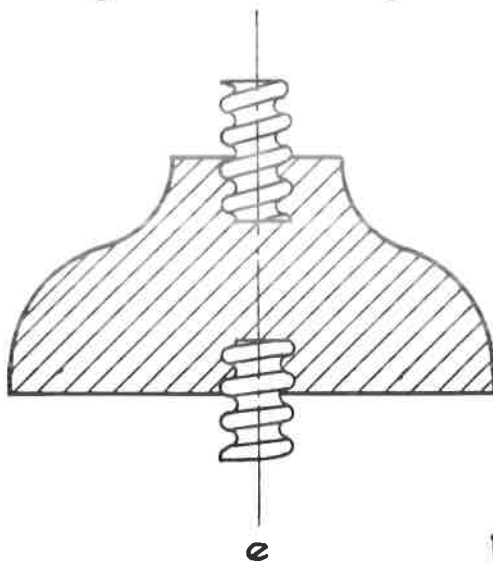
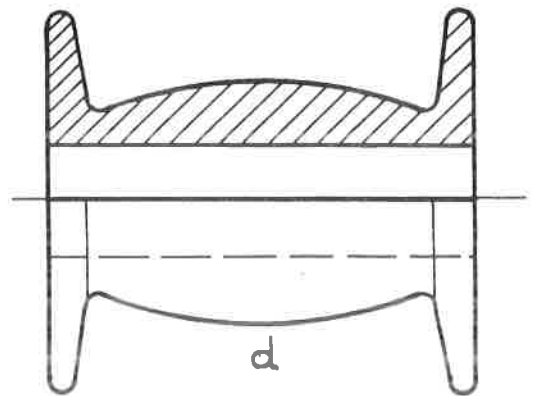
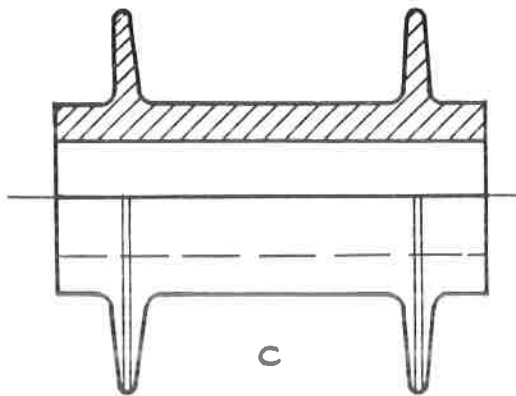
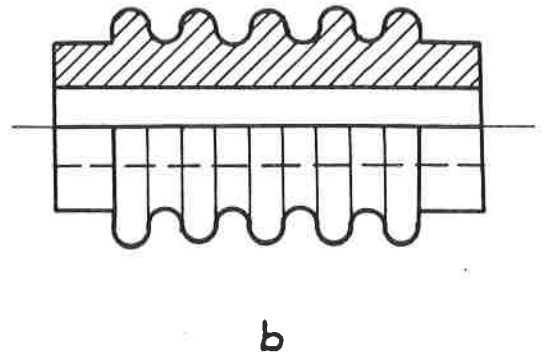
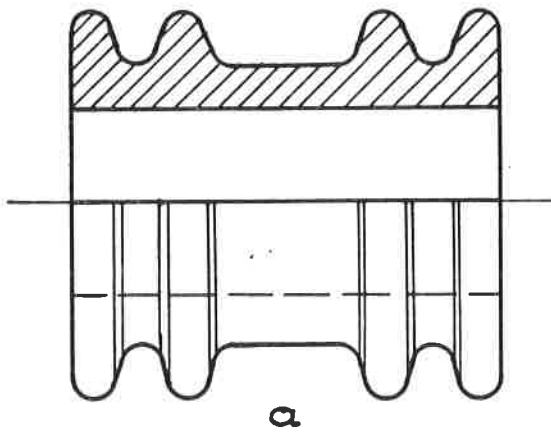


fig. 326.

C. 1217 bis / 2217 bis.
26^e L.

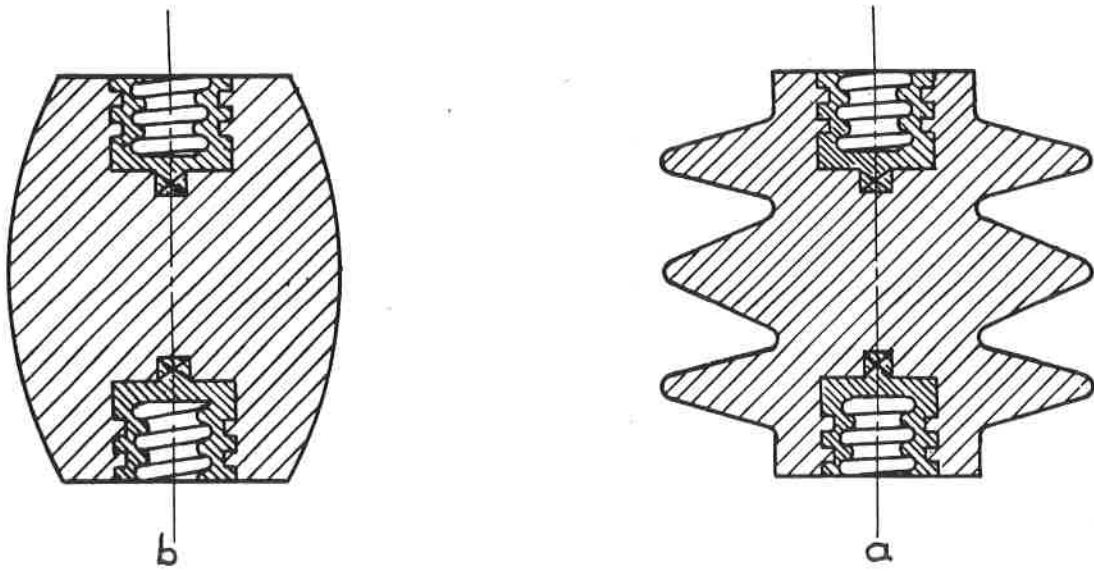


fig.328

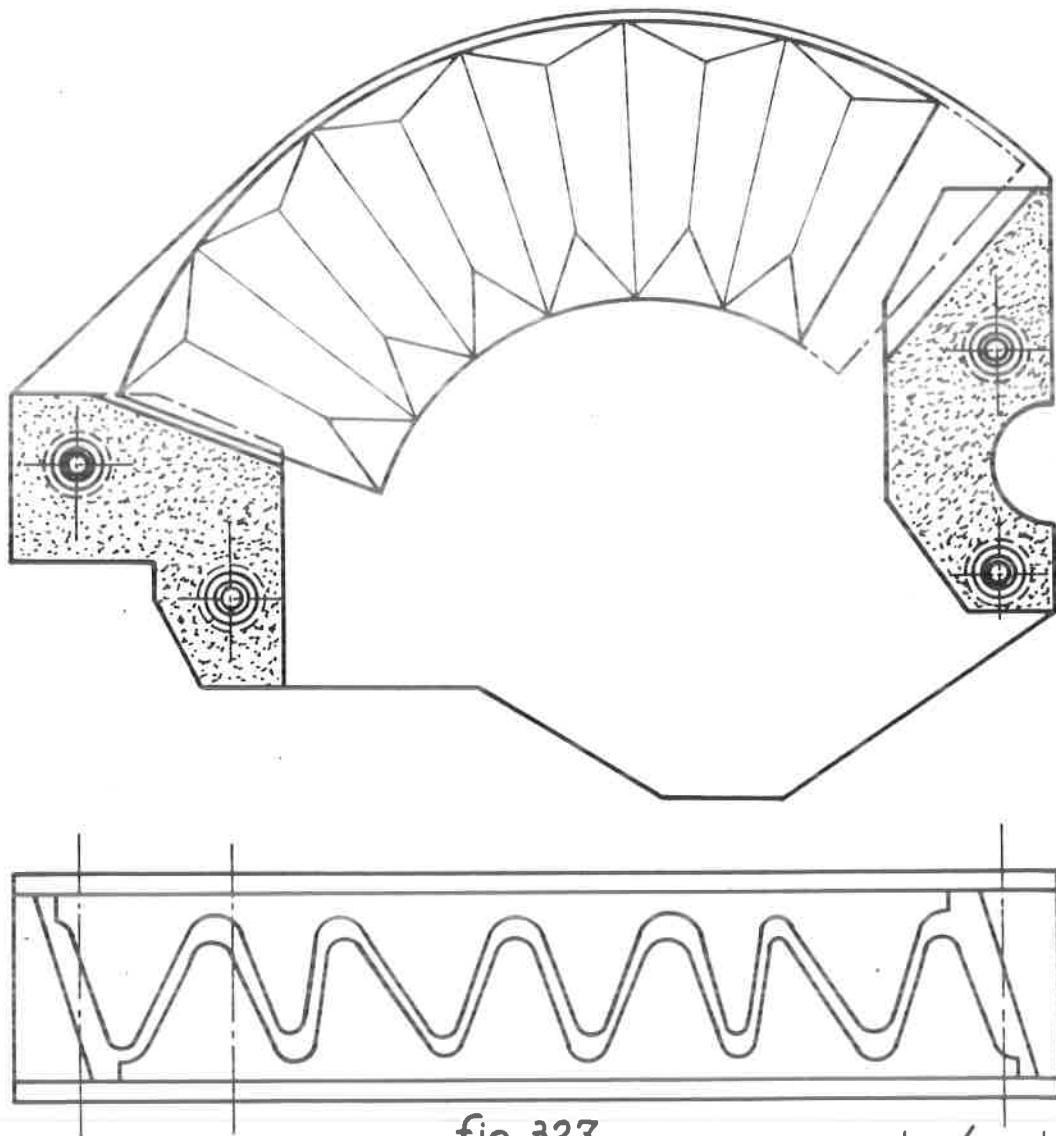


fig.327

C.1217 bis / 2217 bis
26^e L.

VI. La soie de verre

a) Généralités.

Le verre est utilisé déjà depuis longtemps comme matière isolante pour des pièces de forme coulées, pressées ou soufflées. Vers 1937, la fibre de verre a fait son entrée sur le marché. Cette fibre a permis de faire des progrès énormes dans la construction des machines électriques.

La fibre de verre, étant la matière première pour les produits dérivés, a un diamètre de quelques microns et est obtenue à partir de verre à l'état liquide, d'après différents procédés. Les caractéristiques mécaniques dépendent du diamètre de cette fibre (fig.329).

Les fibres peuvent être filées, après quoi on en confectionne des tissus soie de verre.

b) Caractéristiques.

La propriété principale de la fibre de verre est sa résistance à la chaleur. Ce n'est qu'à la température de 250 à 300°C que la résistance à la rupture diminue sensiblement (fig.330).

Quoique la fibre de verre ait une grande conductibilité à la chaleur, elle peut être utilisée comme calorifuge. Le poids spécifique joue un rôle important. P. ex, le poids spécifique est de 50 à 170 kg/m³ pour le calorifuge, tandis qu'il atteint 2000 kg/m³ pour la matière isolante.

Les produits à base d'amiante sont de plus en plus remplacés par la fibre de verre pour les raisons ci-après :

1) La fibre de verre absorbe beaucoup moins l'humidité que l'amiante : 0,12 % contre 1,3 % à conditions égales. De plus, l'amiante se gonfle et se déforme par l'absorption d'eau, tandis que la conductibilité électrique augmente;

2) La soie de verre peut être fabriquée aux épaisseurs faibles et régulières;

3) La charge à la rupture est à peu près de 10 fois supérieure à celle de l'amiante : p. ex :

- ruban soie de verre : 0,2 x 25mm. : charge à la r. 120 kg.
- ruban amiante : 0,25 x 25mm. : charge à la r. 15 Kg.

(8) 250277.2.66(50)

2.

A cause de sa supériorité au point de vue charge à la rupture et pouvoir isolant, la soie de verre occupe moins de place dans les bobinages et assure une meilleure conductibilité à la chaleur.

c) Produits fabriqués.

1. Tissu et ruban soie de verre.

a) Aspect et propriétés.

On les trouve aux épaisseurs de 0,03 à 0,3mm. Leur résistance à l'abrasion est très faible, mais elle peut être améliorée par une imprégnation, qui, malheureusement, attaque sa souplesse.

Afin d'augmenter la souplesse du ruban soie de verre, on l'utilise parfois "en biais" (30 ou 45°).

S'il s'agit du ruban imprégné, il y a lieu d'utiliser un vernis très souple, sinon des fissures très fines peuvent naître lors de la mise en oeuvre, ce qui fait diminuer la résistance d'isolement.

La fig. 331 donne des courbes de la tension de perçement en KV par rapport à la charge mécanique en kg/cm de largeur, et ceci pour des matériaux différents.

b) Applications.

- En remplacement du papier et de la soie combustible, ainsi que comme support (épaisseur 0,05mm) des clivures de mica;
- Enrubannage des câbles en caoutchouc;
- Dans les bobinages d'induit où, vu son épaisseur faible, la soie de verre permet d'obtenir un facteur de remplissage meilleur qu'avec l'amiante;

Toutefois, il est à conseiller d'appliquer aux barres des sections une couche de vernis séchant à l'air, avant l'enrubannage.

2. Corde et tresse.

La corde existe en diamètres de 0,4 à 3mm. et est utilisée comme remplissage dans des bobinages ainsi que pour sertir les cônes isolants des collecteurs en remplacement de la "ficelle française".

Des noeuds diminuent de beaucoup la résistance à la traction. L'allongement est pratiquement nul, comme quoi il est très difficile de la tendre (non élastique).

Le vernissage préalable est à recommander afin d'éviter l'effilochage.

La tresse est utilisée dans les bobinages d'induit comme protection des connexions derrière le collecteur où l'espace est parfois très réduit et la température très élevée pendant la soudure. En général, la tresse est employée à proximité des connexions brasées ou soudées.

La tresse imprégnée résiste à l'effilochage.

3. Papier - Soie de verre.

On fabrique des plaques d'un mélange de 70 % de fibre de verre + 30 % de cellulose + un liant. La résistance à la rupture perpendiculaire aux couches atteint 15 kg/mm².

On peut fabriquer également du papier soie de verre pure (100 %) sans ajout de cellulose.

4. Matériaux stratifiés.

a) Le liant est de la résine phénol ou mélamine.

Les propriétés mécaniques et diélectriques sont à comparer à celles de la toile bakélinée.

La mélamine donne à la plaque une résistance d'isolement superficielle élevée et permet son emploi comme matière anti-arc p. ex. dans des boîtes de soufflage.

b) Le liant utilisé est une résine silico-organique.

Généralement, ces plaques en fibre de verre se laissent plus facilement travailler que les plaques d'amiante. Leur conductibilité thermique est également plus favorable.

La fig. 332 nous montre l'influence de la température sur la résistance de rupture de plusieurs matériaux.

Le tableau n° 1 donne quelques caractéristiques.

5. Guipage.

La fibre de verre est utilisée pour guiper ou tresser les fils de bobinage rond ou méplat. Généralement on applique une imprégnation au vernis de silicone.

L'augmentation de l'épaisseur est de l'ordre de :

0,07 à 0,1 mm. pour un guipage simple;

0,15 à 0,2 mm. pour un guipage double du fil rond;

0,25 à 0,35 mm. pour un guipage double du fil méplat.

Un isolement tressé est plus épais et plus coûteux

qu'un guipage, mais est à conseiller dans la fabrication des néplats. La surépaisseur varie de 0,3 à 0,4mm.

VII. Le mica.

Le mica est un minéral à cristaux lamellaires, composé de silicates d'aluminium, de kalium et de magnésium. On le trouve notamment aux Indes, en Russie, en Afrique, au Canada, en Argentine, au Brésil, en Australie et à Madagascar.

Les mines de mica nous fournissent plusieurs qualités dont 2 seulement intéressent l'électro-technique :

1) La muscovite : en faisant distinction entre :

- le "ruby" ou le mica clair; et
- le "spotted" ou le mica tacheté.

2) La phlogopite : généralement renseignée sous la dénomination de mica ambré.

Le mica se trouve sous forme de blocs de lamelles stratifiées (fig.333) d'une épaisseur de 1 à 5cm. et d'une surface de 10 à 400 cm².

1. Propriétés.

Poids spécifique : 2,78 à 3,1.

Le mica se laisse fendre jusqu'à l'épaisseur de 0,02mm;

Les clivures minces sont très souples;

Le mica est translucide et a l'aspect métallique;

La compressibilité et l'hygroscopicité sont pratiquement nulles;

Le mica est un des meilleurs isolants : 1000 V pour 0,01mm.

Le facteur de perte (également aux hautes fréquences) est extrêmement faible;

Le mica est incombustible : toutefois, vers 500 à 750°C, il se produit une modification de la structure due à l'évaporation de l'eau intercrystalline.

2. Utilisation.

Le mica pur est utilisé principalement :

- dans la fabrication des résistances alimentées sous haute tension ou travaillant à des températures élevées (fig.334 et 335);

- dans la fabrication des postes TSF;
- dans les condensateurs;
- en bobinage;
- dans l'industrie des poêles.

3. Usinage.

Le mica peut être fendu par de la main-d'oeuvre spécialisée. Il peut être coupé à l'aide de cisailles ou bien estampé à la matrice. Des matrices pareilles doivent être faites en acier spécial résistant à l'abrasion.

4. Aspect sous lequel on le trouve dans le commerce.

La valeur du mica dépend de ses propriétés mécaniques et électriques, comme p. ex : de la couleur, de la pureté, de la dureté, de la souplesse, de la planitude et de la grandeur de la surface. On a établi une graduation d'après la surface d'un rectangle aux dimensions maxima qu'on pourrait couper d'un morceau de mica. Le tableau n° 2 donne les normes américaines ASTM - D - 351 - 491.

5. Les produits composés de mica.

L'utilisation du mica pur est limitée par les dimensions maxima, le manque de souplesse au-dessus d'une certaine épaisseur et le prix très élevé.

Il existe deux procédés qui permettent de fabriquer des isolants ne présentant pas ces inconvénients :

1er procédé :

Au moyen de "splittings" (n° 4 et 6 du tableau n° 2) et un liant approprié, des feuilles minces sont obtenues dans lesquelles les splittings se chevauchent. La fabrication se fait à la chaîne soit à la main, soit à la machine.

2ème procédé :

On applique aux "déchets de mica" un traitement thermique et chimique de façon à transformer le mica en une espèce de pulpe (comparable à ce qu'on emploie dans l'industrie du papier) qu'on appelle "du mica-aggloméré".

Ce procédé a été mis au point en France par Bardet. La pulpe de mica est étendue dans des machines spéciales afin d'obtenir des feuilles minces (épaisseur 0,04 à 0,1mm) de longueur illimitée.

Ces feuilles, constituant la matière première pour des fabrications ultérieures, ne contiennent aucun liant et obtiennent plus tard seulement une résistance mécanique et diélectrique en ajoutant un liant approprié.

Pour la fabrication des produits à base de mica ("les micanites"), on peut utiliser comme matière première soit des feuilles obtenues d'après le 1er procédé, soit des feuilles obtenues d'après le 2e procédé.

On peut prévoir une feuille-support en papier, soie, soie de verre ou amiante, et l'ensemble est traité dans une presse à haute température et forte pression.

A. Les micanites.

Suivant la qualité du mica et le liant utilisé (qualité et quantité), on distingue :

- a) La micanite pour collecteurs;
- b) La micanite de chauffage;
- c) La micanite moulable;
- d) La micanite flexible.

Le tableau n° 3 donne un aperçu comparatif de quelques caractéristiques.

a) Micanite pour collecteurs.

Pour des moteurs fortement chargés, comme p. ex. les moteurs de traction, on utilise presque exclusivement du mica clair et un pourcentage d'agglomérant aussi faible que possible. Comme agglomérant on utilise soit de la gomme-laque, soit des résines alkyde (glyptal). La tolérance très serrée sur l'épaisseur est obtenue par fraisage ou même meulage. L'écaillage des segments (fig. 336) peut être évitée en collant sur les 2 faces un papier de soie très fin.

De la bonne micanite pour collecteurs possède un son métallique et répond également aux conditions ci-après :

- il faut que la compressibilité à froid et à chaud (150°C) soit à peu près identique;

- la température minimum de ressuage atteindra =

265°C avec de la gomme-laque comme liant;
300°C avec du glyptal comme liant;

- le glissement des clivures, essayé au tampon conique de 3° à la température de 130°C, atteindra après 10 min. les valeurs maxima ci-après :

0,3mm. pour la gomme laque;
0,1mm. pour le glyptal.

Les fig. 337, 338 et 339 nous montrent quelques diagrammes au sujet de la compressibilité à température élevée.

La connaissance de ces caractéristiques est très importante sachant que pendant la fabrication du collecteur, les lamelles en micanite sont sollicitées à des charges de 4 à 6 kg/mm² et cela à une température de 160°C, tandis que lors de la soudure du collecteur, des températures locales de 250 à 300°C sont atteintes.

b) Micanite de chauffage.

Lors de la première mise en service, un échauffement durant quelques minutes en atmosphère libre est à conseiller, afin de laisser s'échapper des gaz éventuels avant d'enfermer la résistance.

Généralement, la micanite est emprisonnée entre 2 supports de façon à éviter l'écaillage.

c) Micanite moulable.

Cette micanite contient un liant thermo-plastique qui maintient sa dureté jusqu'à la température de 70°C et se ramollit à 100°C. La mise en oeuvre se fait à cette température. Elle est utilisée pour la confection des manchons et cônes isolants pour collecteurs (fig. 340 a - b - c - d), gaines d'encoche, tubes à section ronde ou carrée (fig. 341 a - b - c) etc... Après refroidissement, la micanite reprend sa dureté originale en conservant la forme requise.

Pour la fabrication des cônes pour collecteurs, on utilise une qualité spéciale ayant une épaisseur de 0,1 à 0,2mm.

L'échauffement de la micanite peut se faire soit à la flamme neutre et faible, soit au moyen d'une table chauffante.

d) Micanite flexible.

Le liant de cette micanite reste souple à la température d'ambiance. Le travail à froid est donc possible. Cette micanite est conservée dans un local froid mais pas trop sec.

On l'utilise dans les bobinages comme isolants d'encoche et isolant des têtes de bobines (fig. 342) ainsi que pour l'enrubannage des pièces métalliques, etc...

Dans des compositions ci-après, on emploie également un liant souple :

- papier-micanite : de la micanite garnie d'un côté ou des deux côtés d'un papier de soie de 0,03mm. existe à partir de 0,15mm;

8.

- papier micaïte-tissu;
 - tissu-micaïte; à partir de 0,2mm;
 - léathéroïd - micaïte - léathéroïd : à partir de 0,4mm;
 - soie-mica ou papier-mica-soie : de 0,07 à 0,2mm.
 - toile huile - micaïte : à partir de 0,25mm.
-

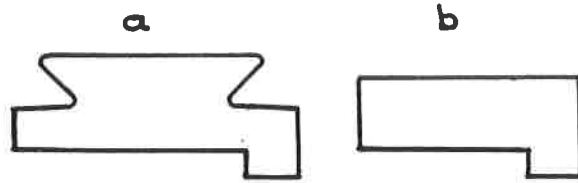


fig.336



fig.333

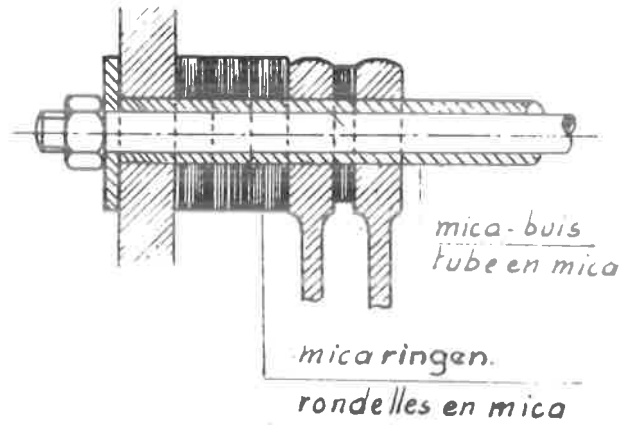


fig.334

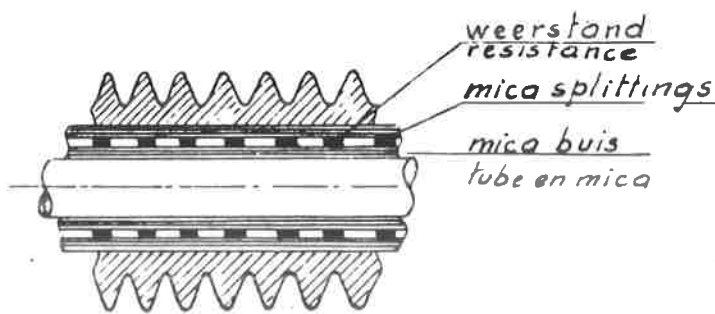


fig.335

Diagramma van samendrukbaarheid
 Diagramme de compressibilité

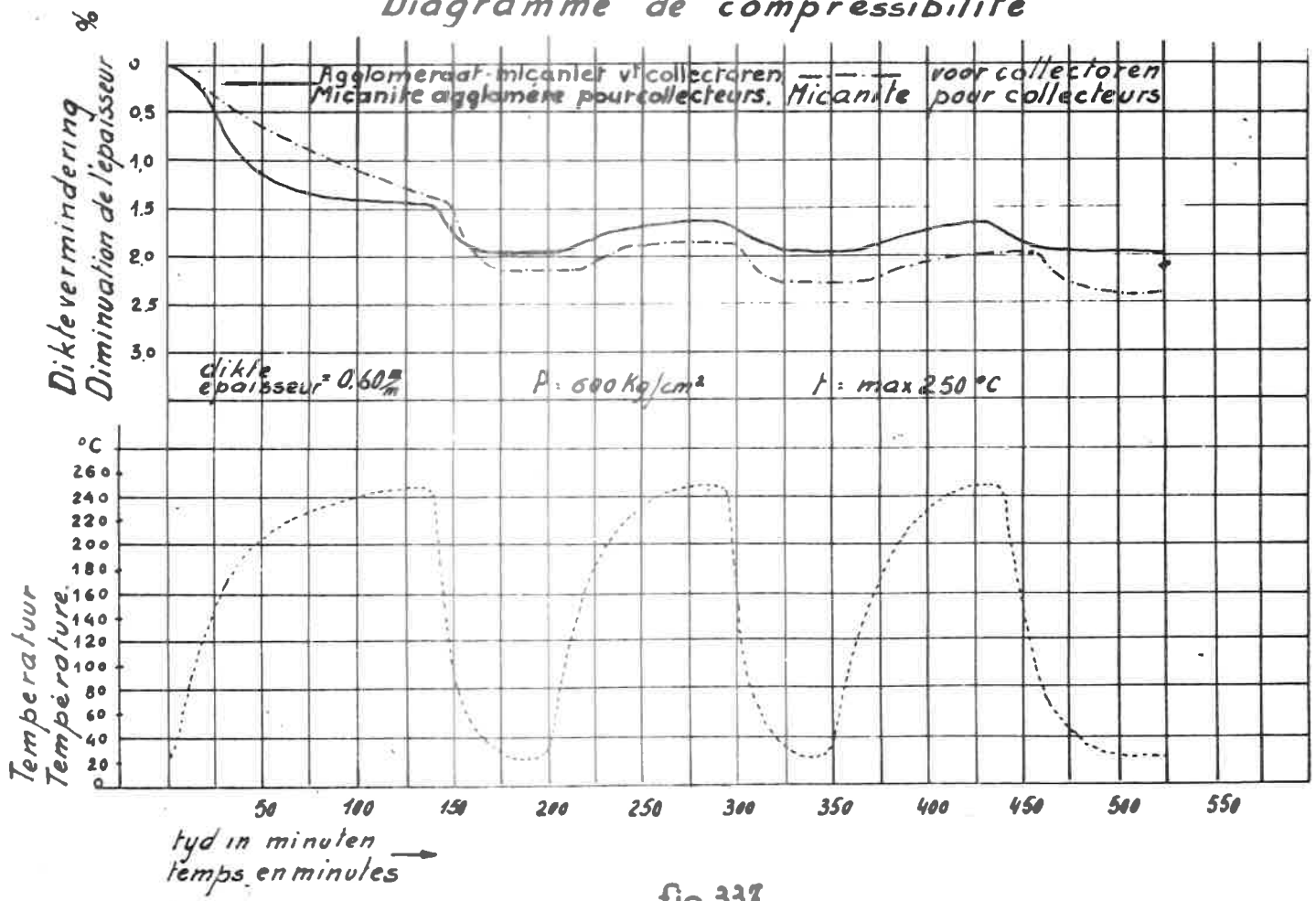


fig.337

C. 1219 bis. / 2219 bis.
 270 L.

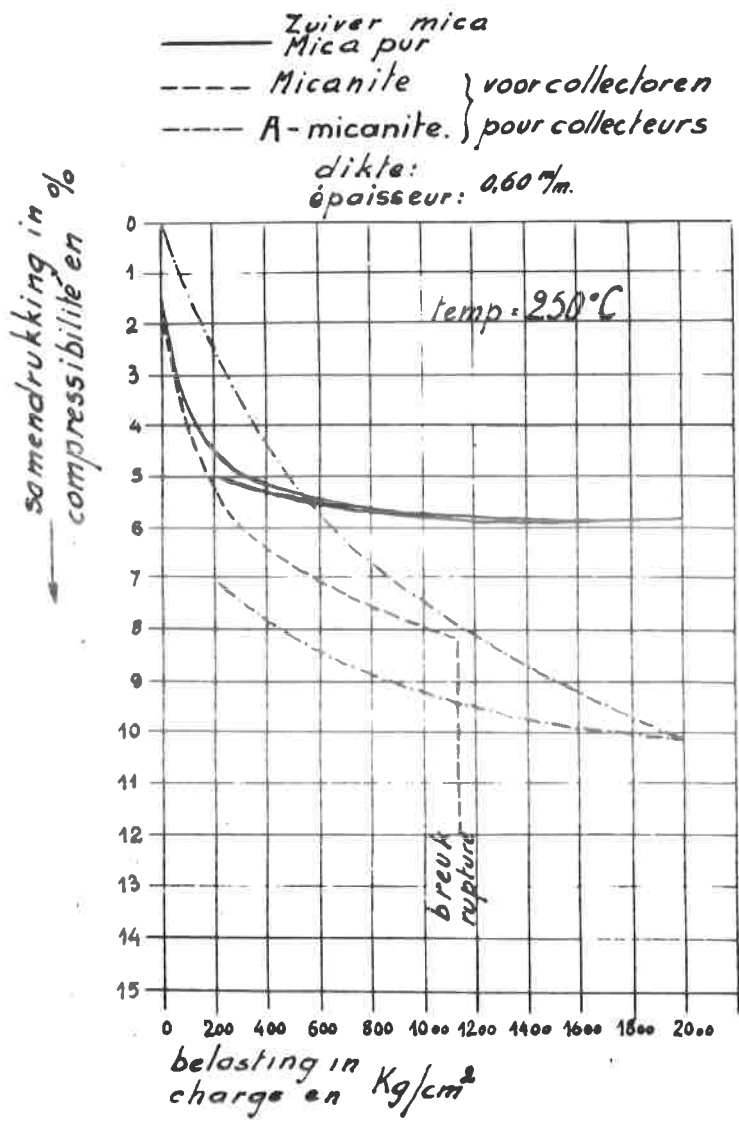


fig. 338

C. 1217 bis / 2217 bis.
27° L

Elasticiteitsdiagramma
Diagramme de l'élasticité
van 50 lamellen A micaniet
de 50 lames de micanite-A.

20 x 20 x 0.6 mm
onder herhaald wisselende belasting.
sous charge intermittente répétée

t: 250°C

P: max 2400 Kg/cm²

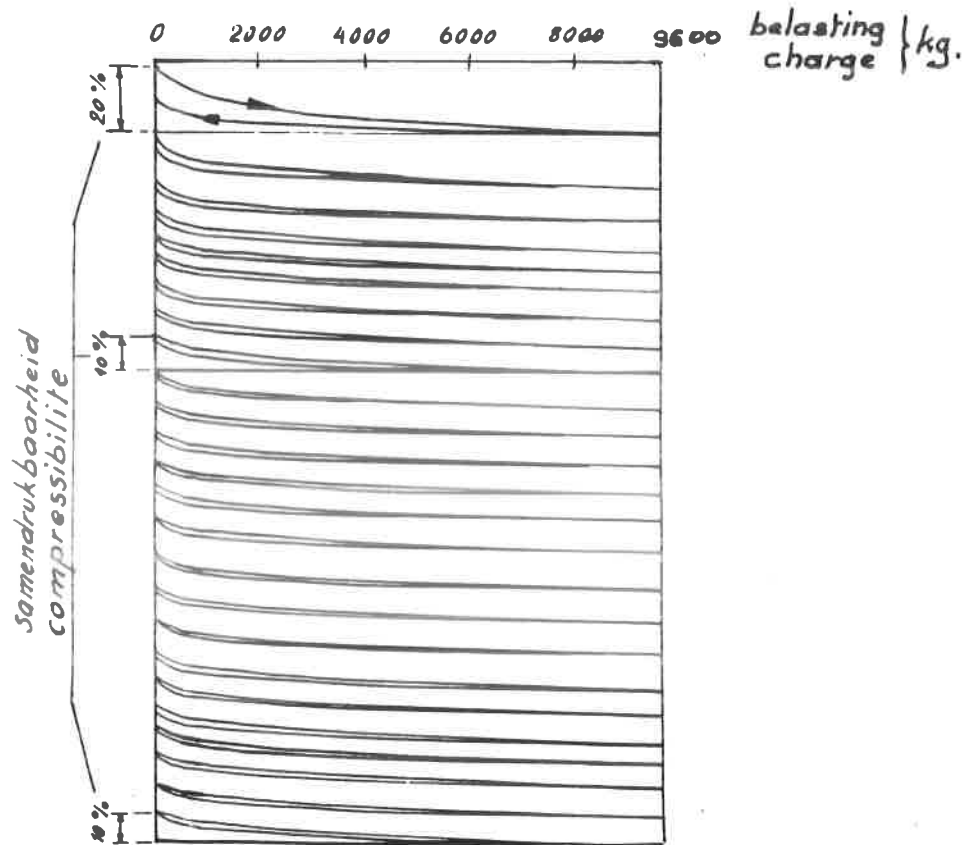


fig.339

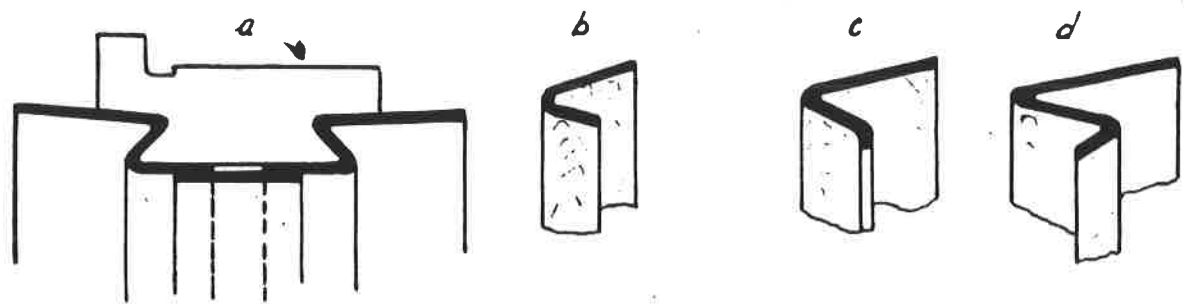


fig.340.

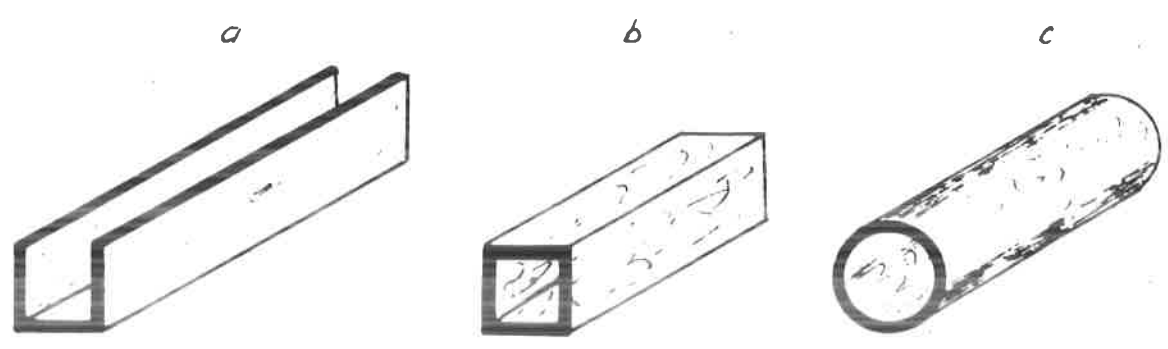


fig.341.

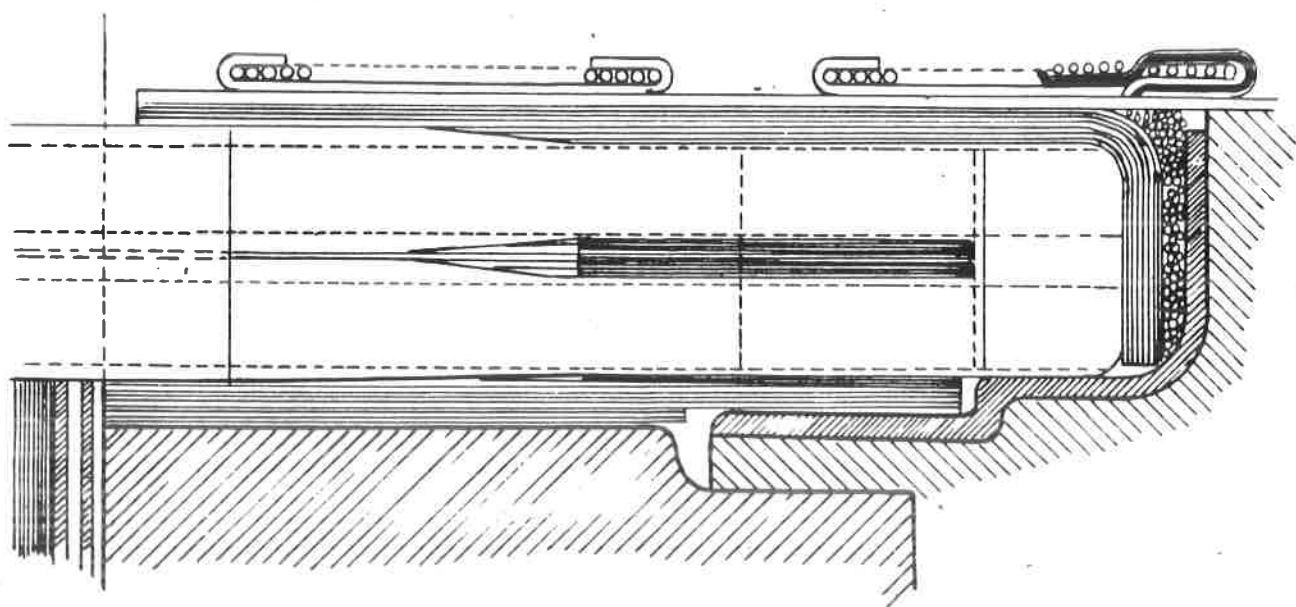


fig.342.

C.1217 bis./2217 bis.
27° L.

Tabel n° 1
Tableau n° 1

Annexe
Bylage

Karakteristieken van gelaagde glasvezel-produkten
Caractéristiques des fibres de verre stratifiées

Bindmiddel. Agglomérant.	Weerstand aan Résistance				Doorslagspanning bij 20°C. Proef korte duur op dikte 3mm. Tension de percem. à 20°C. Essai de courte durée sur épaisseur 3mm. kV/mm.	Hygroscopiciteit op 24h. dikte 3mm. % Hygroskop après 24h épaisseur 3mm. %
	Trek Traction		Druk Compres. kg/mm ²	Schok Choc kgcm/cm		
	Langs //aux couch. kg/mm ²	Dwars ⊥aux couch. kg/mm ²				
Phenol Phénol	14-17	14-17	31-35	16-20	6 - 8	0,3 - 0,5
Melamine Mélamine	14-17	17-21	50-56	40-60	6 - 8	1,0 - 1,5
Silicoon Silicone	10-12	11-17	24-28	20-30	10 - 12	0,5 - 0,7

Tabel n° 2.
Tableau n° 2.

Benaming. Désignation.	Oppervlakte. Surface.		Minimum lengte v. 1 zijde. Longueur min. d'un coté.	
	in vierkante duim. pouce carré.	cm ² .	in duim en pouce	mm.
OEE special	100 en meer et plus	640 en meer et plus	4	101
OEE special	80 à 100	516 - 640	4	101
EE special	60 à 80	380 - 516	4	101
E special	48 à 60	310 - 380	4	101
A-1 special	36 à 48	232 - 310	4	101
n° 1	24 à 36	155 - 232	3	76
2	15 - 24	96 - 155	2	51
3	10 - 15	64 - 96	2	51
4	6 - 10	38 - 64	1 1/2	38
5	3 - 6	19 - 38	1	25
5 1/2	2 1/4 - 3	14 - 19	7/8	22
6	1 - 2 1/4	6 - 14	3/4	19

C.1217 bis./2217 bis.
27°L.

Tabel
Tableau n° 3

	Micaniet voor collectoren Micanite pour collecteurs	Micaniet voor verwarm.toest. Micanite de chauffage	Vormbaar mican. Micanite moulable	Buigzaam mican. Micanite flexible
- bindmiddel agglomérant	2 - 6 %	3	25	18 - 25
- soortgelijk gewicht poids spécifique	2,4 - 2,6	2,5	2,1	1,9 - 2,2
- normale dikte épaisseur normale	0,4 - 2	0,1 - 0,6	0,1 - 1,0	0,1 - 0,5 - 1,0
- tolerantie op dikte tolérance sur épaisseur	$\pm 0,04 - \pm 0,02$ uitzonderlijk +0,0 exceptionn.	$\pm 0,06 - \pm 0,15$ niet gefreesd non fraisé	volgens toepassing suivant applica- tion	$\pm 0,08 - \pm 0,15$
- doorslagspanning tension de percement	25 kV/mm	15 kV/0,5 mm	27 kV/mm	21 kV/mm
- weerstand aan druk résistance à la compression	1100 kg/cm ²	-	-	-
samendrukbaarheid onder 250 kg/cm ² compressibilité sous 250 kg/cm ²	2 - 8 %			

C.1217 bis./2217 bis
27e L

Annexe
Bylage

28ème leçon

B. Mica-folium.

Des olivures de mica sont appliquées sur un papier fort et mince, moyennant un liant, de telle façon qu'elles chevauchent.

Une couche de liant supplémentaire assurera l'adhérence des couches successives lors de la mise en oeuvre du mica-folium.

Comme liant, on utilise généralement de la gomme-laque, de l'asphalte ou de la résine synthétique; la gomme laque est le liant le plus utilisé.

Le mica-folium s'emploie entre autres comme isolant dans la fabrication des bobines d'induit des moteurs de traction (fig.343).

Il existe en épaisseur de 0,15 et 0,2mm. et se travaille à chaud : 120 - 130°C pour la gomme-laque et 150-180°C pour l'asphalte.

Après l'enrubannage, les objets sont calibrés à chaud et à froid dans une presse.

L'avantage de l'asphalte se trouve dans son faible facteur de perte à des températures élevées.

C. Ruban-micacé.

Ce ruban, dont le tableau n° 1 donne un aperçu, est fourni en rouleaux de 50 et 60m., à partir de 5mm. de largeur.

On utilise de préférence des largeurs de 15 à 20mm.

Le ruban est à conserver à l'abri de l'air.

Lors de l'enrubannage des barres d'induit, celles-ci sont recouvertes préalablement d'une couche de vernis séchant à l'air, afin d'améliorer l'adhérence.

D. Mica-verre.

Il s'agit d'un produit céramique obtenu à partir d'un mélange aussi homogène que possible de poudre de mica et de verre, qui est ensuite traité à des pressions et à des températures élevées. La couleur varie du gris au brun.

On trouve le mica-verre dans le commerce sous forme de plaques, barres, tubes et pièces moulées, sous des dénominations comme p. ex. "micalex" et "microy".

Ci-après les caractéristiques principales :

Cours 1217bis

2.

- résistance diélectrique exceptionnellement élevée (tension de percement de l'ordre de 20 kW/mm);
- anti-arc (résiste à 400°C) d'où son emploi dans les boîtes de soufflage des contacteurs;
- pratiquement non hygroscopique (0,03 %);
- p.sp. : 2,75 à 3,5;
- dureté : 65 Brinell, se laisse difficilement usiner;
- tolérances sur épaisseur : $\pm 0,02$ mm;
- peut être armé de métal.

Les produits mica-verre sont utilisés principalement dans des boîtes de soufflage, comme isolateur de support, de traversée et de ligne caténaire, en remplacement de la stéatite, etc..

L'usinage se fait généralement sous jet d'eau :

- sclage : soit à la scie à ruban (12 dents par pouce-400m/min), soit au disque carborandum (largeur de coupe 3mm. - ϕ 300mm. - 3600 t/min).
- forage : au moyen des mèches en acier rapide, des trous de 6mm. peuvent être obtenus à 500 t/min. et de 12mm. à 250 t/min. De préférence, on emploie des carbures.

VIII. Produits céramiques.

Nous distinguons principalement 2 sortes de produits: la porcelaine et la stéatite.

A. Porcelaine.

Un mélange humide et homogène est obtenu à partir de 40 - 60 % d'argile, 25-40 % de quartz et 20-30% de feldspath (silicates de kalium et d'aluminium). La pièce formée est chauffée à 900°C, enduite d'une glaçure mate ou brillante (glaçure de feldspath exempt de plomb) et finalement chauffée à 1400°C dans un four. De cette façon, on obtient une matière céramique bien cuite donnant des éclats blancs.

La résistance à la compression est très élevée: 4000 à 6000 kg/cm². Les propriétés diélectriques peuvent être améliorées en y incorporant des combinaisons de magnésium.

La porcelaine est chimiquement très stable.

Quelles sont les propriétés exigées de la porcelaine comme isolateur ?

Il faut que le coefficient de dilatation soit très faible, que la matière soit cuite complètement, imperméable

(non poreuse) et exempte de fissures. Les tolérances sur la forme et les dimensions, principalement en ce qui concerne la fixation sur le support, sont à limiter autant que possible.

Le montage d'un isolateur se fait soit par serrage, soit par scellement.

Quoique à première vue la 2e méthode pour laquelle différents produits peuvent être trouvés dans le commerce, soit la meilleure, elle présente toutefois des inconvénients. Par suite de l'hygroscopicité du produit de scellement, des lignes de fuite qui court-circuitent l'isolateur, sont à craindre. Le séchage nécessite l'enlèvement de l'isolateur, ce qui généralement n'est pas possible sans le casser.

Pour cette raison, on préfère parfois la 1ère méthode, en ayant soin évidemment de rendre le joint entre l'alésage de la porcelaine et la tige-support, parfaitement étanche, en utilisant une masse hermétique. Lors du nettoyage des isolateurs en service, on évitera soigneusement d'abîmer la glaçure.

B. Stéatite.

Un mélange sec et homogène est fait au moyen des silicates d'aluminium et de magnésium, en y ajoutant éventuellement d'autres substances. Des pièces de forme sont faites à la presse, tandis qu'elles peuvent également être obtenues par étirage, tournage, moulage, le procédé de fabrication étant déterminé par la forme, la quantité et les tolérances de la pièce.

Finalement, la pièce est cuite à 1400°C. La tolérance normale est de $\pm 3\%$ avec un minimum de $\pm 0,3\text{mm}$.

D'après la qualité, on distingue 4 classes.

Le tableau n° 2 donne les caractéristiques principales des 3 premières classes en comparaison avec celles de la porcelaine.

Classe 1. possède une résistance mécanique et diélectrique élevée et est utilisée dans la fabrication des interrupteurs, prises de courant, boîtes de soufflage, comme isolateur de traversée, sous forme de perles, etc.

Classe 2. utilisée dans la H.F. grâce à son faible facteur de perte.

Classe 3. est assez poreuse, a un coefficient de dilatation faible, conserve les propriétés diélectriques aux températures élevées, et résiste à des variations brusques de température.

Classe 4. caractéristiques combinées de classes 1 et 3.

IX. Résines - Vernis isolants - Mastic.

1. Une des résines synthétiques la plus souvent employée dans la fabrication des matériaux isolants et pendant longtemps comme matière première dans des vernis isolants de bonne qualité s'appelle "la bakélite"; elle est obtenue suivant la réaction chimique : formol + phénol + catalyseur + chaleur \rightarrow résine.

La résine ainsi obtenue s'appelle d'après le nom du chimiste belge "Baekeland" qui a découvert cette réaction vers 1907.

La résine se présente sous 3 formes qui s'appellent respectivement bakélite A, B et C et qui sont obtenues par une polymérisation de plus en plus poussée.

Qu'est-ce qu'on entend par polymérisation ?

La polymérisation est en somme une condensation, un groupement de molécules de la même nature afin de former un complexe nouveau et plus compliqué ayant d'autres caractéristiques.

Chimiquement, la polymérisation peut être représentée par :



Avec le degré de polymérisation augmentent également le poids moléculaire, le point de fusion et la viscosité de la nouvelle matière, tandis que la solubilité diminue.

Quels sont les caractéristiques et l'usage de la bakélite A, B et C ?

- Bakélite A : liquide à des températures élevées, mais dure après refroidissement. Elle est soluble dans des solvants organiques comme l'alcool, phénol, etc.. Elle peut être dissoute sous forme d'un vernis isolant. Sous forme de poudre on l'utilise dans la fabrication des pièces moulées (transformation en bakélite C).

- Bakélite B : devient pâteuse à des températures élevées mais ne fond plus. Elle est insoluble dans des solvants organiques.

- Bakélite C : il s'agit d'une matière dure qui ne fond plus et qui résiste à l'huile chaude et à des températures relativement élevées. Elle se carbonise sans flamme.

2. Vernis isolant.

Le vernis isolant est une solution d'une ou de plusieurs résines dans un solvant déterminé et généralement dilué. Appliqué sur un objet à isoler, il ne faut pas uniquement que l'isolement soit assuré, mais en plus, il faut protéger la pièce contre les attaques chimiques, atmosphériques et mécaniques.

Le pouvoir diélectrique est au début satisfaisant pour la plupart des vernis isolants. Néanmoins, on constate des écarts importants en ce qui concerne la pénétration, la durée de séchage, la souplesse après séchage, la résistance à la chaleur, à l'eau, à l'huile, au vieillissement et aux actions chimiques, facteurs qui à la longue peuvent attaquer les caractéristiques diélectriques.

D'après les modalités d'emploi, tous les vernis isolants peuvent être groupés en 2 catégories, c.à.d. :

- 1) Les vernis d'imprégnation (appelés également vernis au four).
- 2) Les vernis séchant à l'air ou vernis de finition, qui s'appliquent soit à la brosse, soit au pistolet. Généralement la viscosité de ce vernis est plus élevée et la durée de séchage plus réduite que celles de la première catégorie.

D'après leur composition, les vernis peuvent se classer comme suit :

- a) Vernis à base de résines naturelles;
 - b) Vernis à base d'huile;
 - c) Vernis à base de résines synthétiques.
- a) Vernis isolant à base de résines naturelles.

Il s'agit le plus souvent d'une solution de gomme-laque dans de l'alcool méthylique ou éthylique. Le durcissement (séchage) se fait par simple évaporation de l'alcool en laissant une couche très mince sur l'objet à isoler. L'utilisation comme vernis proprement dit ne se fait pratiquement plus à cause de sérieux inconvénients. Toutefois, dans la fabrication des micanites, il est employé couramment.

b) Vernis isolant à base d'huile (verniss gras).

Des résines naturelles, comme l'asphalte et le bitume, améliorées parfois avec des résines synthétiques, sont dissoutes dans une huile siccative et diluées au moyen d'un diluant déterminé.

Lors du séchage, on distingue 2 phases :

- l'évaporation du solvant et du diluant;
- l'oxydation de l'huile à l'air ambiant.

Il va sans dire que le séchage peut être influencé par la température et la présence d'oxygène, tandis que la qualité de l'huile, le % de siccatif et l'épaisseur du film l'influencent également. Il est possible d'appliquer plusieurs couches successives.

Généralement un vernis gras reste souple après séchage, ce qui constitue un avantage appréciable.

Dans la construction des transformateurs, on préfère le vernis jaune parce qu'il résiste mieux à l'huile.

c) Vernis isolant à base de résines synthétiques.

Un des premiers vernis synthétiques utilisés dans l'électrotechnique était obtenu en dissolvant la bakélite A dans de l'alcool ou de l'acétone. Pendant le séchage, la bakélite A se transforme en bakélite C à cause de la chaleur. Malgré les avantages importants, quelques inconvénients, entre autres la dureté énorme du film, ont activé les recherches pour obtenir d'autres qualités qui maintiennent encore une certaine souplesse après séchage. Ceci a une grande importance pour les vernis d'imprégnation utilisés dans le traitement des bobinages.

Dans ce but, on ajoute aux résines synthétiques une quantité plus ou moins importante de résines naturelles. En principe, un vernis pareil sèche principalement par polymérisation.

3. Quelques vernis isolants spéciaux.

a) Vernis au glyptal : Il s'agit d'une résine glyptale dissoute dans du toluol, xylol ou autres solvants afin que l'application à la brosse soit possible. Grâce à sa résistance à l'arc, le vernis glyptal est utilisé spécialement dans des contacteurs, controllers, moteurs de traction, etc..

b) Vernis au silicone : la structure du silicone est formée par le silicium l'oxygène^(*). Ce vernis est utilisé

spécialement dans l'imprégnation des bobinages et de pièces qui doivent résister à l'humidité de même qu'à des températures élevées.

c) Vernis sans solvant : Toute la masse se solidifie sous l'influence d'un catalyseur; on constate un faible retrait de 6 à 8 %. Le vernis et le catalyseur sont conservés à part et ne peuvent être mélangés qu'immédiatement avant l'usage. La durée de durcissement dépend du % de catalyseur.

4. Lors de l'utilisation des vernis d'imprégnation et si les pièces à traiter (spécialement les bobinages) sont préchauffées, une quantité de solvant s'évapore graduellement, ce qui fait augmenter la densité et la viscosité. La viscosité ou inversement, la fluidité, est d'une extrême importance, en ce qui concerne la qualité de l'imprégnation.

Comment contrôle-t-on cette fluidité ?

Généralement on utilise :

- Un densimètre : pour déterminer le poids spécifique.
- Un viscosimètre : en plus des appareils de laboratoire c.à.d. l'appareil d'Ostwald, d'Engler et de Höppler, il existe des coups Ford et Demmler (fig.346). En principe on mesure le temps qu'il faut pour qu'une quantité déterminée de vernis à une température fixe (20°C) coule par un orifice calibré.
- Le fluidimètre Matthis : la fig. 347 montre cet appareil simple. Une tôle polie et rectangulaire est munie d'une cavité sphérique de volume déterminé, prolongée d'une rainure d'écoulement calibrée. La cavité est remplie de vernis à 20°C. L'appareil est tenu en position verticale pendant un certain temps (p.ex.10 sec.). La distance d'écoulement se lit sur l'échelle et s'exprime en degrés Matthis.

Comment peut-on améliorer un vernis devenu trop peu fluide ?

A cette fin, il existe des solvants appropriés qui sont à ajouter à une certaine température et suivant une méthode déterminée.

La nature du solvant est indiquée par le fournisseur du vernis. On distingue :

- Les produits de distillation du pétrole, dont la fraction la plus importante est celle de 135 à 180°C, c.à.d. le white spirit. Ce solvant est indiqué pour les vernis gras.
- Les produits de distillation du charbon, comme p.ex. le benzol, le toluol, le xylol, etc... Des vernis pareils exigent une ventilation adéquate (les vapeurs peuvent être toxiques).

8.

- L'essence de térébenthine (p.sp.0,862 - 0,875) qui est beaucoup moins employée par manque de stabilité.

Le tableau n° 3 donne les caractéristiques principales d'un bon vernis d'imprégnation.

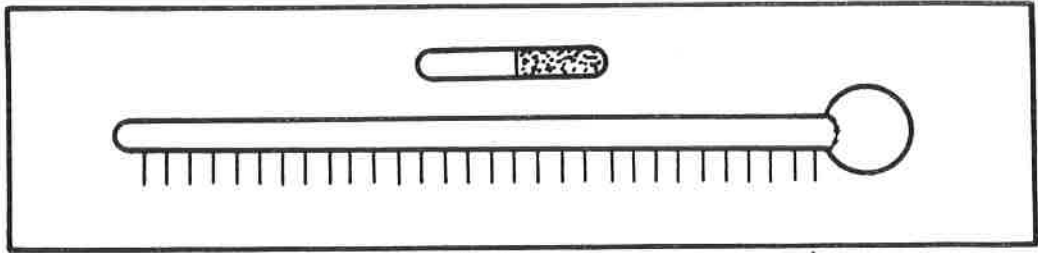
5. Qu'est-ce qu'on entend par du mastic isolant ?

Un tel mastic, appelé encore du compound ou de la masse, s'emploie pour remplir les espaces dans les bobinages d'induits et dans les inducteurs des moteurs fortement chargés et soumis à des vibrations importantes. En même temps, l'absorption d'humidité diminue et la conductibilité de la chaleur est améliorée.

Vu que "le compoundage" est une opération très délicate, on ne l'effectue que si c'est absolument nécessaire.

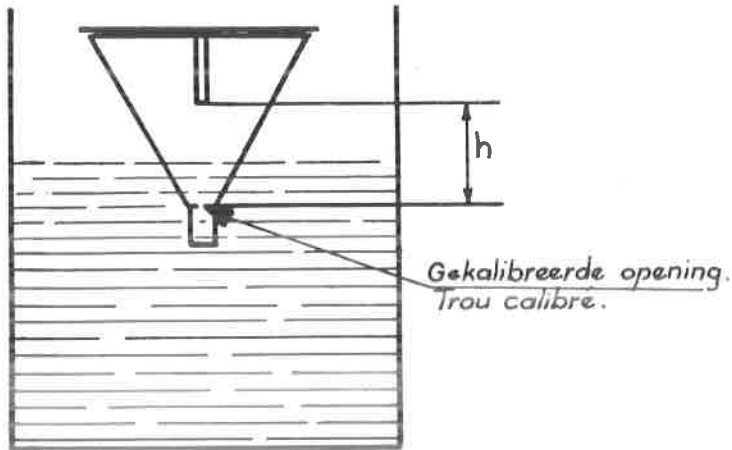
Dans certaines applications, on utilise ces dernières années une masse, pour laquelle le durcissement se fait sous l'influence d'un catalyseur (voir sous "vernis"). La température développée lors de la réaction est limitée généralement à 120°C.

Une qualité spéciale, à base des résines éthoxylées, qui se trouve dans le commerce sous la dénomination d' "Araldite" peut même être mélangée avec des fibres courtes de verre.



Echelle Matthis Meetschaal.

fig.347.



Coupe Demmler Beker.

fig.346.

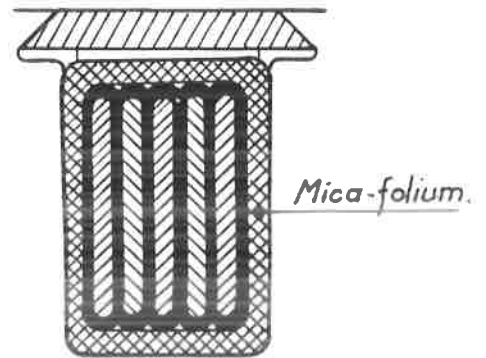


fig.343.

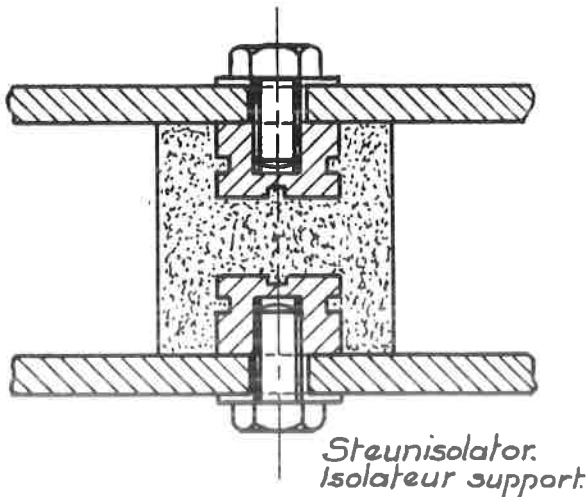


fig.344.

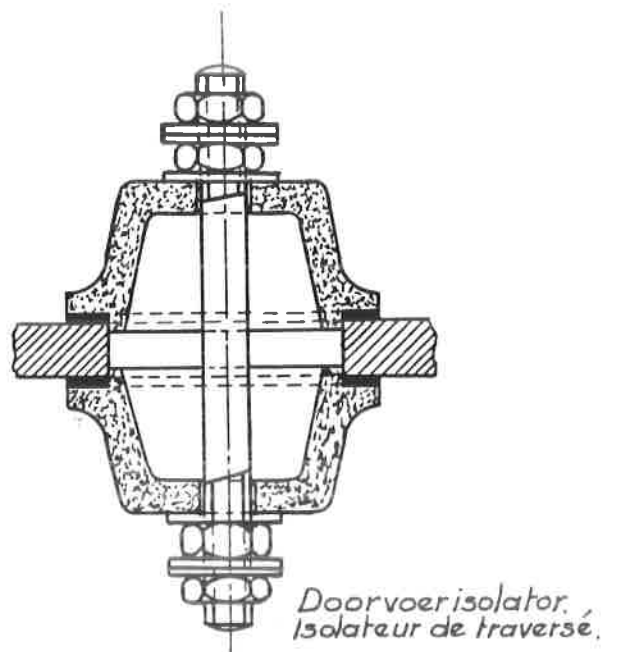


fig.345.

TABEL
TABLEAU 1

Samenstelling Composition	Dikte Epaisseur	Breuklast in kg per cm breedte Charge de rupture en kg/cm de largeur	Doorslagspanning Tension de perçement KV
Mica-papier Mica-papier	0,08 - 0,10	3,0	3
Papier-mica-papier " " "	0,10 - 0,13	5,0	3,5
Zijde-mica-papier Soie-mica-papier	0,15	4,0	4
Mica-zijde " -soie	0,08 - 0,10	3,0	3,5
" -zijde " -soie	0,07	2,5	3
Mica-weefsel " -tissu	0,20	6,0	3,5
Weefsel-mica-papier Tissu-mica-papier	0,23 - 0,25	7,0	4

TABEL
TABLEAU 2

Groep Groupe	Weerstand - Résistance.			Doorslag- spanning Tension de perçement kg V/mm	Ohmse weerstand Résistance ohmique Ω cm.	Verlies factor Facteur de perte 10^{-4}	Dielectr. Constante Constante diélectri- que
	Druk Pression kg/cm ²	Buiging Flexion kg/cm ²	Schokken Chocs kg-cm/cm ²				
1	7.000-9.500	1.000-1.400	3 - 5,5	15 - 30	10^{14}	15 - 22	6
2	8.000-9.500	1.100-1.500	3 - 6,5	18 - 45	10^{14}	5 - 9	5,5 - 6,5
3	1.000-2.200	450- 600	2,5 - 4,5	3 - 6	10^6 bij 600° à	Weerstaat aan Résiste à	1300° C
Porcelein Porcelain	3.500-5.500	550- 700	1,8 - 2,5	25 - 35	10^4	60 - 150	6

T A B E L 3.
TABLEAU 3.

Densiteit bij Densité à 20° C	0,876
Viscositeit bij Viscosité à 20° C	40-45 Ford
Vloeibaarheid Fluidité 20° C	22-24° Matthis
Vaste bestanddelen Résidu	45 %
Droogtijd Temps de séchage 120-130° C	
a) bladkoper cliquant	1 h
b) wikkeling bobinage.	15-20 h
Doorslagspanning bladkoper Tension de percement cliquant 0,01 mm	1000 V

