

Mise en œuvre des métaux et leur protection

8.1. Organisation du travail de laminage	259
8.1.1. Four Pit	262
8.1.2. Laminage	262
8.1.3. Types de laminoirs	263
8.1.4. Fabrication des profilés et fils	264
8.1.5. Fabrication des tubes	265
8.2. Etirage	270
8.2.1. Tréfilage	272
8.3. Forgeage	273
8.3.1. Le forgeage libre	274
8.3.2. Matricage ou estampage	275
8.4. Roulage	276
8.5. Filage par choc	278
8.6. Filage à la presse (extrusion)	279
8.7. Hydroformage	280
8.8. Soudure	282
8.8.1. Soudure autogène ou oxy-acétylénique	282
8.8.2. Oxy-coupage	286
8.8.3. Soudure de l'aluminium et de ses alliages	286
8.8.4. Soudure autogène par l'arc électrique	286
8.8.5. Soudure électrique par résistance	288
8.8.6. Soudure spéciale	288
8.8.6.1. Soudure des aciers inoxydables	288
8.8.6.2. Soudure de la fonte	288
8.8.6.3. Soudure des alliages d'aluminium avec d'autres métaux	290
8.8.6.4. Recharge au chalumeau	290
8.8.6.5. Brasage	290
8.8.6.6. Soudure à l'étain	290
8.9. Protection des métaux	291
8.9.1. Recouvrements non métalliques	291
8.9.2. Recouvrements métalliques	292
8.9.3. Procédés modifiant l'état de surface	293
8.9.4. Corrosion électrochimique	294

8.1. Organisation du travail de laminage

Fig. 8-1

Les lingots sortant du four doivent tout d'abord subir un premier laminage d'ébauche dans un laminoir très puissant appelé **train blooming**, ou de **slabbing**, dont les produits qui en sortent sont de différentes formes, selon leur utilisation future. On distingue: les **billettes** de section carrée, les **brames** de section rectangulaire et les **largets** de forme très aplatie.

Les billettes donneront des barres et des profilés, alors que les deux dernières seront transformées en tôles.

Le train blooming est constitué par un laminoir du type duo ou trio. Il est précédé et suivi d'une rangée de rouleaux entraînés par moteurs et qui transportent le laminé. Entre les rouleaux transporteurs se lèvent plusieurs doigts en acier qui retournent le lingot de 90° pour le travailler sur ses autres faces. Souvent les cylindres présentent des cannelures servant aux différentes passes (fig. 8-8). Le lingot est alors guidé vers la cannelure suivante par des règles mobiles transversales. Ce mouvement de va-et-vient, conduit automatiquement, se continue jusqu'au moment où la section est atteinte. La ligne de rouleaux le transporte alors jusqu'à une tronçonneuse qui le débite en longueurs déterminées.

Selon les produits à obtenir, la disposition de la halle de laminage pourra différer. On remarquera toutefois que, de plus en plus, on a recours au travail en continu, c'est-à-dire qu'on utilise des chaînes comprenant les laminoirs et appareils auxiliaires (fig. 8-1).

Généralités.

Les aciers coulés en lingots doivent subir des transformations de formes afin d'être utilisables dans les nombreux domaines auxquels ils seront destinés.

On en fera des pièces ébauchées ou encore des produits semi-finis tels que barres, tôles, profilés. Toutes ces transformations exigent un outillage important qui est en général compris dans le complexe des grandes entreprises métallurgiques.

On arrive ainsi à la constitution d'une chaîne naturelle de fabrication allant de la production du métal à sa livraison en produits utilisables directement par l'industrie.

Les moyens mis en œuvre sont variés, et nous étudierons les principaux. Mais avant tout, faisons remarquer que lorsqu'un métal a été travaillé à chaud ou à froid, avec des efforts supérieurs à sa limite d'élasticité, il devient plus dur, plus dense, mais aussi plus fragile. Sa structure subit une modification du fait d'un déplacement de ses molécules; on nomme cet état « l'écroutissage ».

Pour ramener l'acier à son état primitif, on lui fait subir un recuit dit de recristallisation (voir chap. 4).

Définition des principales caractéristiques mécaniques des métaux

Malléabilité:

Propriété de certains métaux de pouvoir se déformer à froid ou à chaud sans se rompre et de pouvoir être convertis en feuilles minces. (Or. Argent. Cuivre. Aluminium. Fer.)

Elasticité:

Propriété des corps qui, déformés sous l'action momentanée d'une force, tendent à reprendre leur forme primitive lorsque la force n'agit plus. (L'acier trempé est élastique.)

Plasticité:

Propriété inverse de l'élasticité. C'est donc l'aptitude de certains métaux à prendre une forme quelconque et à la conserver. (Plomb.)

Ductilité:

Qualité que possèdent certains métaux de pouvoir s'étirer en fils. (Or. Cuivre. Argent.)

Ténacité:

Elle est définie par la résistance des métaux à des efforts de traction ou de compression.

Fig. 8-1

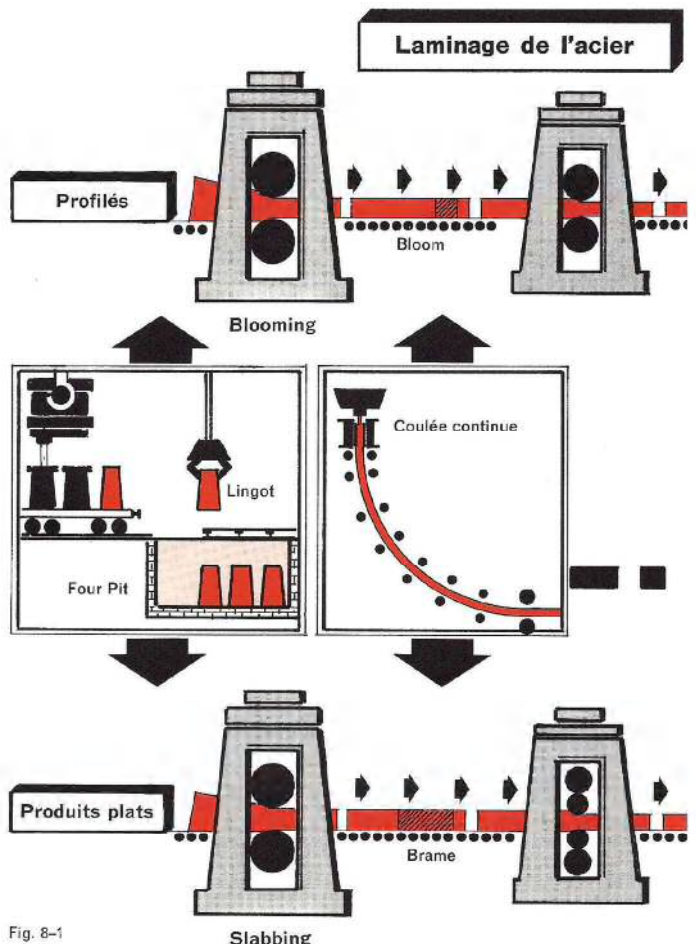
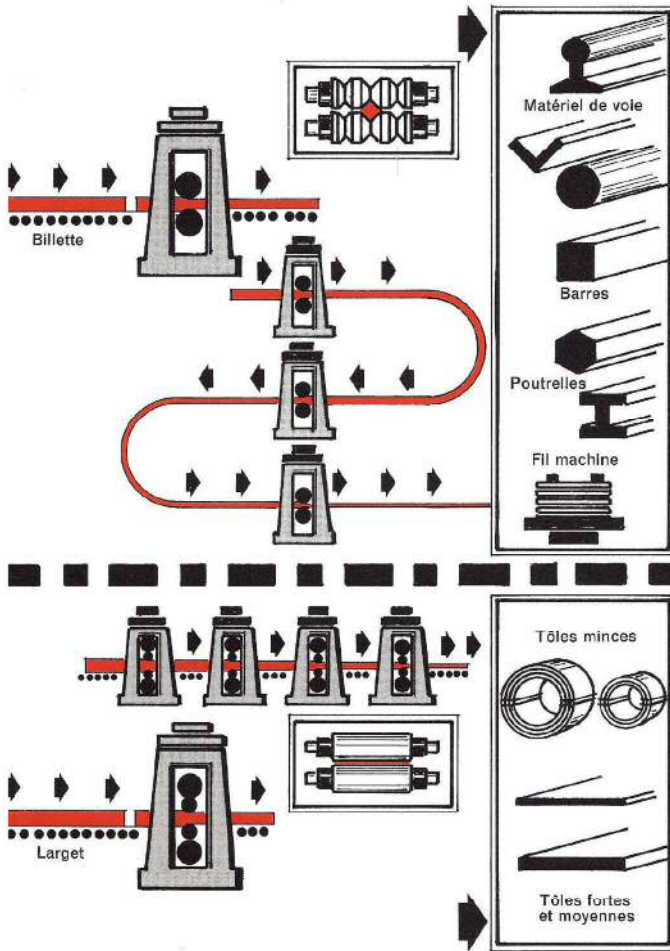


Fig. 8-1



8

8. 1. 1. Four Pit (fig. 8-2)

L'acier coulé en lingots est amené à la température de laminage (env. 1250°) dans un four spécial chauffé au gaz, qui est placé à proximité des laminaires. Les blocs sont enfournés ou extraits à l'aide d'une pince suspendue à un pont roulant. La voûte du four peut se déplacer pour laisser le passage du lingot.

De là, le bloc est conduit à un chariot basculeur qui le dépose sur la ligne de rouleaux entraîneurs conduisant au laminoir.

8. 1. 2. Laminage

Cette opération a pour but de modifier la forme des produits métallurgiques en les écrasant entre des rouleaux. Pendant le laminage, la masse de métal s'allonge dans le sens d'avancement en créant une fibre suivant laquelle les propriétés mécaniques sont améliorées. Un laminoir se compose, dans sa forme la plus simple, de deux cylindres superposés, tournant en sens inverse et reposant par leurs tourillons sur des paliers montés dans un bâti qui constitue ce que l'on appelle la « cage ». Lorsque l'on pousse un lingot contre les cylindres, ils le saisissent, l'entraînent en le comprimant.

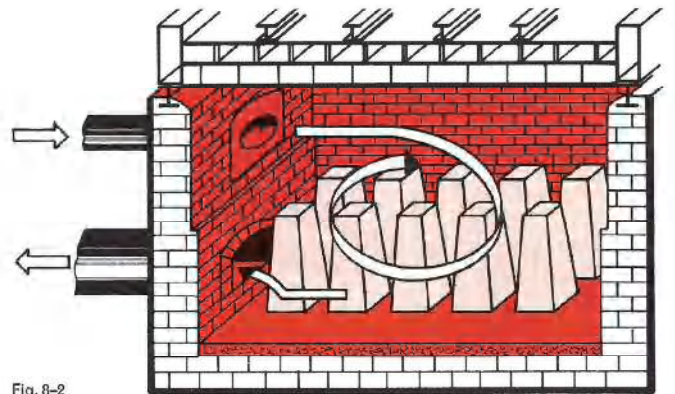


Fig. 8-2

8. 1. 3. Types de laminaires

1. Le plus simple est le laminoir à deux cylindres dit « duo ». A chaque passe, le sens de rotation est inversé afin que le lingot puisse repasser entre les cylindres en sens inverse. Entre chaque passage, le cylindre supérieur est rapproché du cylindre inférieur grâce à des vis de réglage commandées par un moteur électrique (fig. 8-3).

2. Dans le laminoir dit « trio », les trois cylindres sont superposés. A l'aller, le laminé est étiré et comprimé entre le cylindre inférieur et le cylindre médian, au retour entre les cylindres médian et supérieur. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire d'inverser les sens de rotation (fig. 8-4).

3. En laminant avec des cylindres minces, on obtient un pétrissage et un étirage plus puissant qu'avec les gros cylindres. Cependant, sous l'effet de la pression, les cylindres de faible diamètre fléchissent. C'est pourquoi on est arrivé à des solutions plus complexes dans lesquelles les cylindres de travail sont entraînés et appuyés par de gros cylindres (fig. 8-5).

Le laminoir quarto ainsi construit est un type, ainsi que d'autres, dont le laminoir Sendzimir. Ces genres de laminaires sont surtout utilisés pour les travaux de finition à chaud et à froid (fig. 8-6).

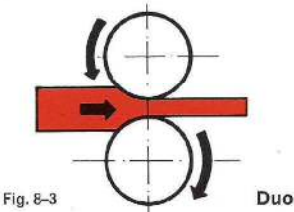


Fig. 8-3

Duo

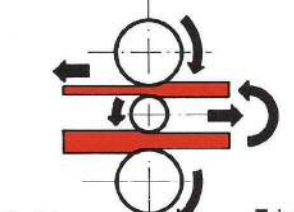


Fig. 8-4

Trio

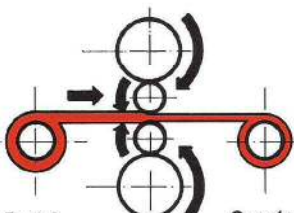


Fig. 8-5

Quarto

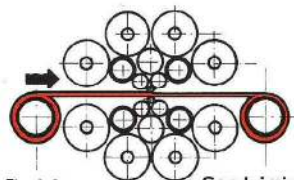


Fig. 8-6

Sendzimir

8

8. 1. 4. Fabrication des profilés et fils

On utilise des laminaires du type duo ou trio dans lesquels sont placés des cylindres munis de cannelures. Les barres sont guidées par passages successifs de l'une à l'autre. Exemple: laminage d'un rail (fig. 8-8, 8-10).

Souvent on place deux laminaires duo en parallèle. Après laminage, les barres préalablement coupées passent sur des grilles de refroidissement, puis elles sont encore dressées avant d'être stockées.

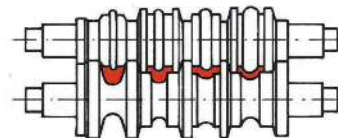


Fig. 8-8

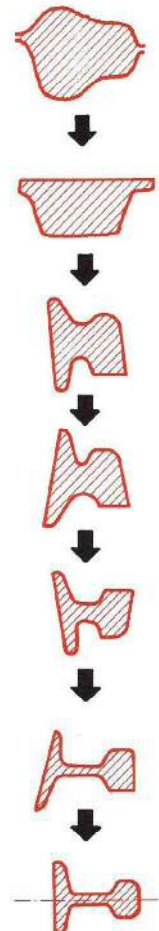


Fig. 8-10

8. 1. 5. Fabrication des tubes

On peut les obtenir par plusieurs procédés; avec ou sans soudure.

1. **Procédé Mannesmann**: donne des tubes sans soudure en deux phases:

a) **Perçage** d'un bloc cylindrique chauffé entre 1200-1300° et entraîné par deux galets tronçonnés tournant dans le même sens dont les axes se croisent en formant un certain angle dépendant de leur diamètre. Le bloc est ainsi entraîné d'un mouvement de rotation et poussé contre un mandrin qui pénètre à l'intérieur (fig. 8-11).

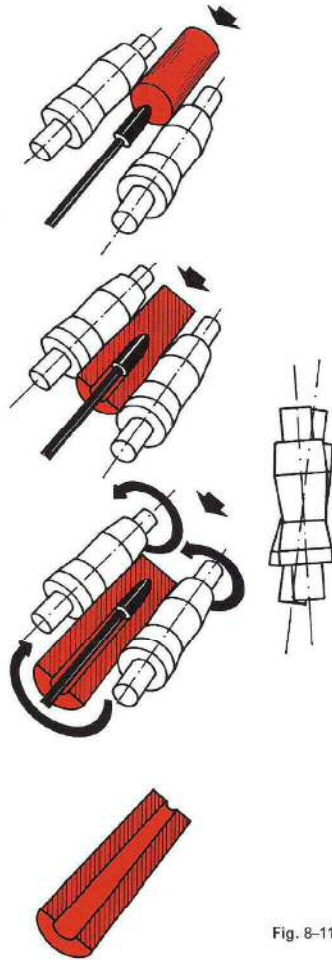


Fig. 8-11

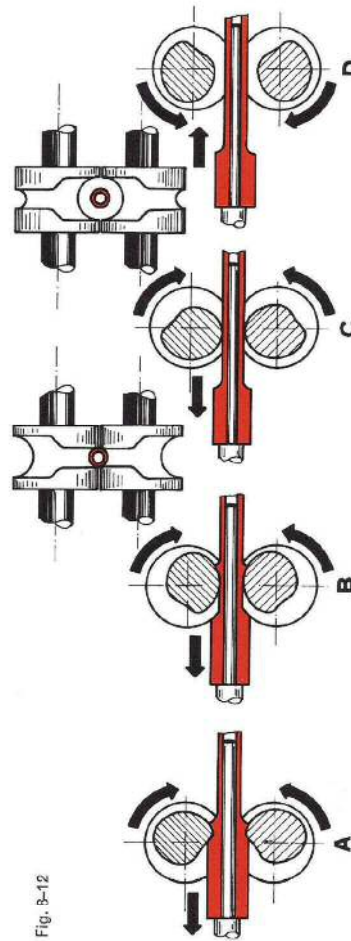


Fig. 8-12

b) L'ébauche creuse ainsi obtenue a un diamètre légèrement supérieur à celui du mandrin équipant le laminier suivant dit « à pas de pèlerin », nom qui lui a été donné par son mouvement de translation alternatif (fig. 8-12).

L'ébauche est enfilée sur un mandrin, et introduite avec lui entre les galets lamineurs au moyen d'un appareil d'avance hydraulique. Les galets ont une forme spéciale. L'attaque (A) se fait sur 8-25 mm par le début de la partie cylindrique des galets qui écrasent le tube en le faisant avancer, puis opèrent ensuite un polissage (B). Lorsque les galets présentent leur partie dégagée, le mandrin tire le tube en arrière (C) pour une nouvelle passe en le faisant pivoter de 90° (D).

2. Procédé Erhardt (fig. 8-13)

Un lingot carré chauffé à une température d'environ 1250° est introduit dans une matrice ronde et percé en y enfonçant un mandrin cylindrique. Cette

ébauche creuse est ensuite placée sur un long mandrin qui la pousse au travers de plusieurs filières disposées en file et dont les diamètres vont en décroissant.

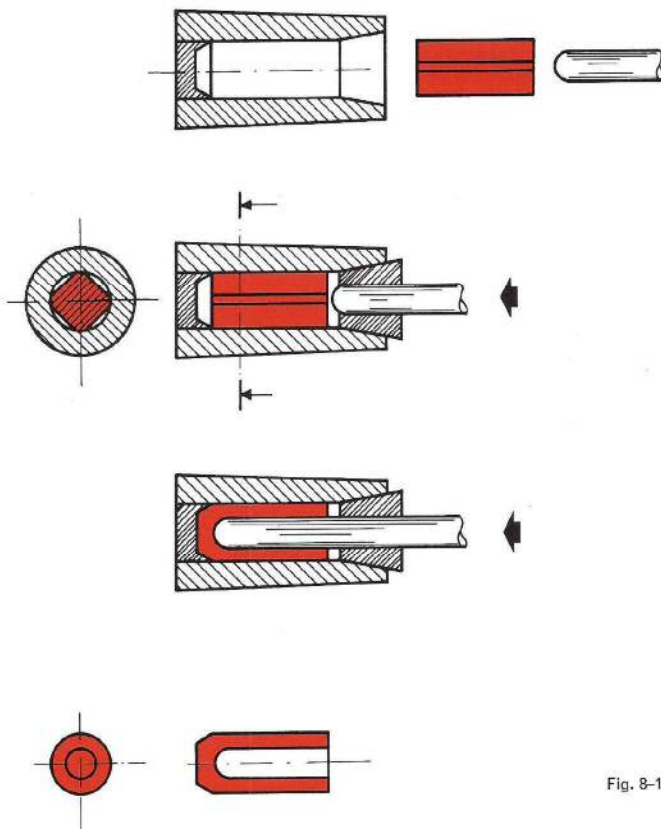


Fig. 8-13

3. Etirage des tubes

Pour les tubes de précision qui exigent des tolérances serrées, et pour lesquels les surfaces doivent être très lisses, on les fait passer à froid dans une filière en plaçant un mandrin à l'intérieur.

4. Tubes soudés (fig. 8-14)

On utilise pour cela des bobines de feuillard en acier qui passent entre une série de rouleaux (A), qui lui donnent la forme d'un tube fendu; la fente se trouvant à la partie supérieure; la machine à souder (B) qui vient ensuite porte des électrodes en forme de galets qui roulent sur chacun des bords de la fente et fait ainsi une soudure continue aidée encore par la pression exercée.

Le petit cordon qui se forme est enlevé de façon ininterrompue par un robot, après quoi le tube traverse un dispositif de refroidissement et passe par une série de rouleaux calibreurs (C).

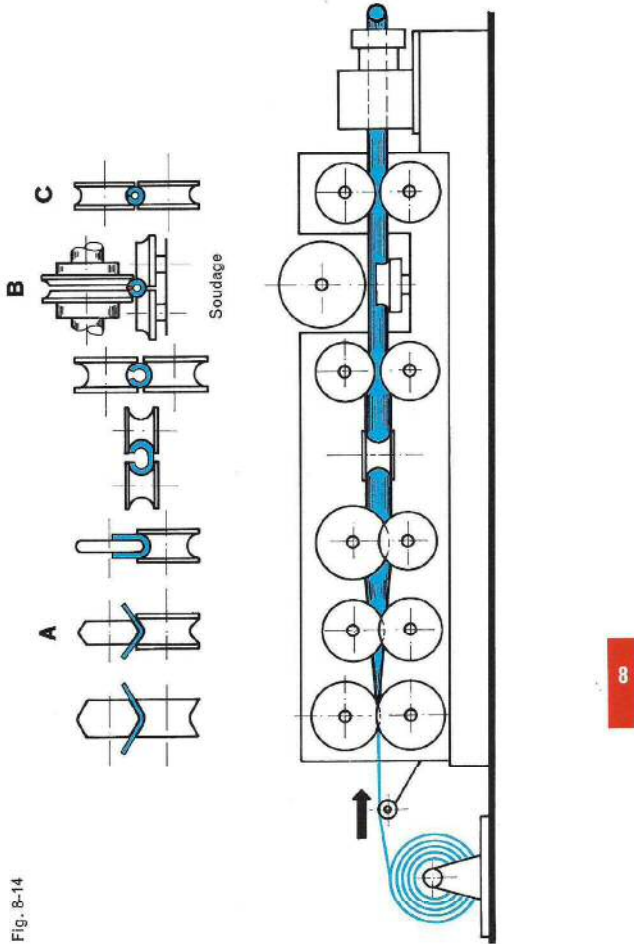


Fig. 8-14

8

8. 2. Etirage

L'étirage est une opération qui consiste à réduire la section d'un produit métallurgique en le faisant passer à froid au travers d'une ouverture appelée filière (A, B, C.) Le métal se trouve comprimé et subit, de ce fait, un allongement correspondant (fig. 8-15). L'opération se fait généralement sur un banc d'étirage. Ceux qui sont les plus utilisés sont les bancs à chaîne; ils peuvent fournir une force de traction qui peut aller jusqu'à 1 MN.

La pince qui tire la barre au travers de la filière est accrochée à une chaîne sans fin entraînée par une roue dentée, par l'intermédiaire d'un chariot.

La filière est exécutée, selon les cas, en acier spécial, en diamant ou en métal dur.

La barre doit subir une préparation qui en diminue la section, permettant de la passer au travers de la filière et de la fixer à la pince.

On étire des barres rondes, polygonales, des profilés divers, des tubes.

Pour ces derniers, on place un mandrin à l'intérieur de la filière.

L'étirage permet d'obtenir des tolérances serrées. Il donne en même temps des surfaces lisses et des formes exactes.

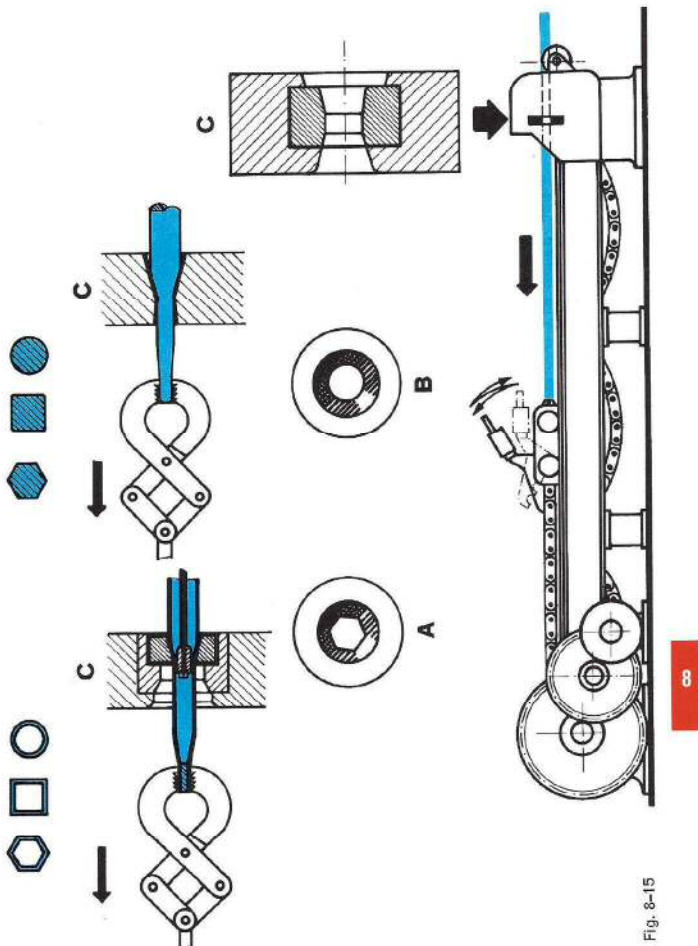


Fig. 8-15

8

8. 2. 1. Tréfilage

Il s'agit d'une opération d'étirage plus spécialement destinée à la fabrication des fils. Le principe est le même que l'étirage au banc, mais comme il s'agit de grandes longueurs, il a fallu construire des machines spéciales dans lesquelles le fil est tiré au travers de la filière par des rouleaux entraîneurs.

Le travail est relativement simple pour les fils d'acier qui ne diminuent pas beaucoup de section. Pour les fils de cuivre, au contraire, où l'on a de grandes différences, on passe dans un plus grand nombre de filières.

Celles-ci, en métal dur ou en diamant, sont disposées en série. Le fil passe de l'une à l'autre en zig-zag, conduit par des cylindres de renvoi qui assurent en même temps la traction.

Le tout est placé dans une cuve contenant un liquide servant à la fois de lubrifiant et de réfrigérant (fig. 8-16).

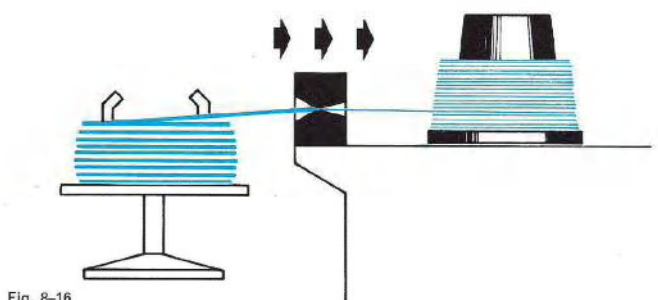


Fig. 8-16

8. 3. Forgeage

Cette opération a pour but de donner à l'acier sa forme approximative en utilisant la malléabilité à chaud.

Si les travaux de forge ont considérablement diminué d'importance sur le plan artisanal, ils ont toutefois gardé leur place dans l'industrie, mais sous une forme qui a évolué.

L'industrie lourde possède ses forges où des moyens puissants sont mis en œuvre pour la transformation de lingots en pièces ébauchées. Quant à l'industrie de série, elle fait usage de méthodes et machines lui permettant des productions importantes.

Dans le cas des grosses pièces, on a évidemment avantage à forger les lingots dès leur démoulage, la dépense d'énergie calorifique étant plus faible.

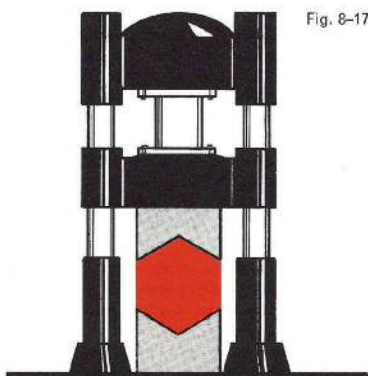


Fig. 8-17

8

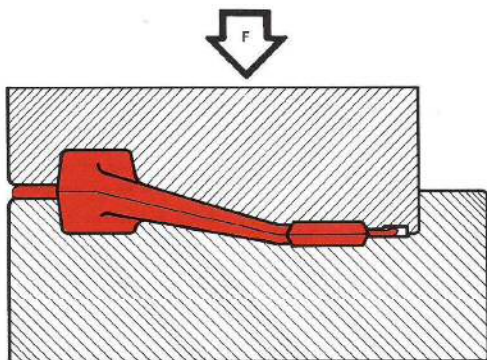


Fig. 8-19

8. 3. 2. Matricage ou estampage

(Voir complément dans le livre « Les Etampes », édité par la fédération.)

C'est une forme de forgeage utilisée pour des pièces exécutées en série, telles que bielles, vilebrequins de moteurs à explosion, tampons de wagons, clés à fourche, etc.

Les formes compliquées de ces pièces sont obtenues en utilisant des matrices en deux parties (fig. 8-19).

Les machines employées vont du marteau-pilon pneumatique à la presse mécanique en passant par la machine à forger horizontale.

Les marteaux-pilons peuvent donner des vitesses de frappe de 40 à 200 coups par minute.

Les presses mécaniques construites pour les grandes séries de petites pièces sont des presses à excentriques ou à friction.

Toutes ces machines sont conjuguées avec des fours à réchauffer les lopins. Comme outillage, pour estampage, on utilise des matrices en acier au chrome-nickel-molybdène.

Les pièces étant forgées à une température de 800-1000°, il faut tenir compte du retrait (environ 1,3%). Les parois doivent avoir une pente suffisante pour permettre l'extraction facile des pièces; dans la règle: 7° pour les parois extérieures, 10 à 15° pour les parois intérieures.

Comme les pièces sont exécutées de façon à avoir des formes brutes finies, les surépaisseurs d'usinage seront faibles (1,5 mm pour les petites pièces). Plusieurs opérations sont nécessaires avec chacune un outillage correspondant.

8

8. 3. 1. Le forgeage libre

Le forgeage se fait par choc ou par pression au moyen de marteaux-pilons ou de presses hydrauliques.

Les marteaux-pilons sont constitués par un bâti qui porte à sa partie supérieure un cylindre dans lequel se déplace un piston commandé par de l'air comprimé à une pression de 6 à 8 bars. La tige du piston est reliée au marteau-frappeur, guidé lui-même par une coulisse qui agit sur la pièce posée sur une enclume.

Le marteau-pilon pneumatique présente l'avantage de permettre le réglage de la force du coup, ce qui donne une finition convenable. Sa sensibilité est telle que l'on peut augmenter à volonté la vitesse de frappe.

Pour les grosses pièces, on utilise de préférence la presse hydraulique qui peut fournir une poussée allant jusqu'à 20 MN (fig. 8-17).

Les lingots sont portés par un palan à chaîne qui permet d'en effectuer la rotation entre chaque passe. On utilise aujourd'hui des manipulateurs qui sont de puissants chariots tenant le lingot en porte-à-faux qui permet de déplacer facilement et faire pivoter l'ébauche selon les besoins.

Pour le forgeage libre, on distingue deux possibilités de travail: l'écrasement et l'étirage. Cette dernière se fait par une suite de pressions sur toute la longueur à allonger en utilisant des enclumes de formes appropriées à celle de la pièce à obtenir.

Les deux types de machines, marteau-pilon ou presse, ont leurs avantages et s'utilisent en fonction des pièces à obtenir. On peut cependant considérer que la presse est surtout utilisée pour le travail des gros blocs. L'effort est

constant, et la température reste longtemps élevée. Les frottements internes contribuent du reste à la maintenir par le dégagement de la chaleur qu'ils provoquent.

Pour les petites pièces, le marteau-pilon est plus indiqué. Elles se refroidissent moins vite au contact du marteau, qui frappe rapidement et s'éloigne ensuite.

8. 4. Roulage

Filetage par déformation du métal

Par ce procédé, il n'y a pas coupe mais déplacement du métal par laminage au cours de son roulement entre deux molettes ou entre deux peignes (fig. 8-19).

Comme il y a déplacement de la matière depuis les creux du filet vers les sommets, il faut que le diamètre de la tige à fileter soit plus petit que le diamètre nominal de la vis.

La figure A est la macrographie d'un filet roulé montrant le déplacement des fibres. Les vis roulées résistent mieux à l'extension et au cisaillement que les vis taillées, car les fibres ne sont pas coupées. De plus, les flancs du filet résistent mieux à l'usure parce que le métal est fortement écroui dans la zone déformée.

Pour que ce procédé soit applicable, il faut que le métal ait un allongement minimal $A > 5\%$ et une charge de rupture maximale $R_m < 1100 \text{ [N/mm}^2\text{]}$. Le filetage par roulage peut se faire en plongée ou à l'enfilade.

8. 4. 1. Filetage par molettes

8.4.1.1. Filetage en plongée

La pièce, supportée par une règle réglable, est placée entre deux molettes cylindriques de façon que son axe soit légèrement au-dessous de la ligne des centres (environ 0,3 mm). Une des molettes, dont l'axe est mobile, se rapproche progressivement de l'autre sous l'effet d'une presse hydraulique.

Les molettes, qui sont identiques, tournent dans le même sens et à la même vitesse. Ce sont des vis en acier rapide d'un diamètre voisin de 150 mm. Leur diamètre moyen Δ est un multiple entier M du diamètre moyen de la vis

et leur pas est le produit du pas de la vis par ce même multiplicateur M . L'inclinaison de leurs filets est la même que celle des filets de la vis, mais inversée. Il n'y a donc pas de translation de la pièce filetée. Il faut donc un jeu de molettes pour chaque modèle de vis (pas, diamètre et profil). La longueur des molettes s'étale de 30 à 120 mm.

8. 4. 1. 2. Filetage à l'enfilade (fig. D) Pour l'exécution de filetages de grande longueur (tige filetée de 1 mètre), le travail est réalisé par la méthode dite « à l'enfilade ».

Les molettes sont réglées à l'écartement voulu. Elles présentent une entrée conique qui lamine le métal et leur partie arrière cylindrique calibre le filetage.

Le déplacement axial de la vis provient de la construction des molettes. Leurs filets ont une inclinaison $\alpha' = \frac{2}{3}$ de l'inclinaison des filets de la vis. Il s'ensuit que les flancs de la vis glissent sur les flancs des filets des molettes au lieu de rouler.

8. 4. 2. Filetage par peignes

(fig. B)

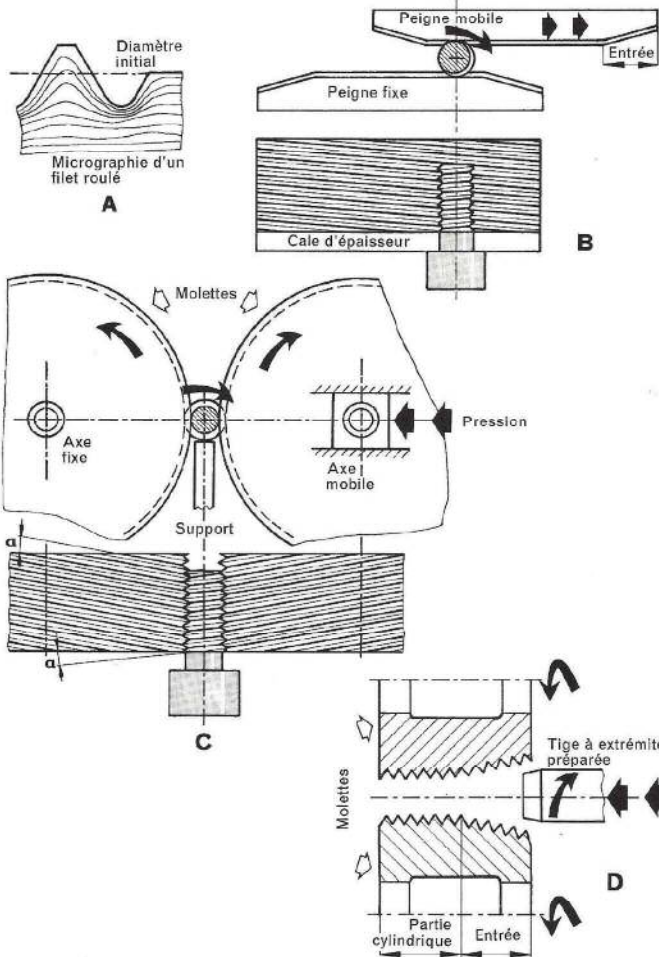
Les peignes peuvent être considérés comme des molettes de rayon infini. Ce sont donc des prismes à taille rectiligne suivant la tangente à l'hélice moyenne de la vis, mais inversée.

Les peignes présentent une entrée à chaque extrémité. Lorsque l'entrée, qui se fatigue plus que la partie calibrante, est usée, on retourne les peignes.

Pour le filetage partiel des vis, une cale interposée entre les bords des peignes et la tête de la vis limite la longueur du filetage.

De même que pour le filetage en plongée avec molettes, la vis tourne sans translation.

8



8

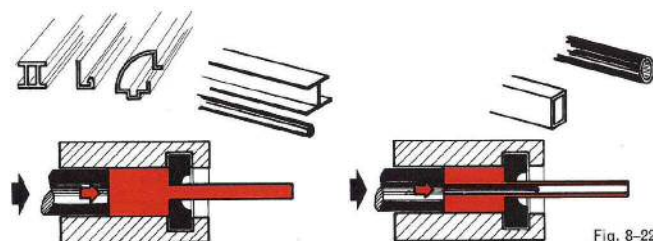
8. 6. Filage à la presse
(extrusion)

Les profilés, barres, tubes en métal léger, laiton, etc., sont exécutés avantageusement par extrusion, c'est-à-dire par filage. Ce procédé est préférable au laminage en raison de l'outillage nécessaire.

Le principe est le suivant: le métal à travailler, en forme de billette, est introduit dans le récipient de la presse où un fouloir vient le presser et le force à sortir par l'ouverture de la matrice placée en avant (fig. 8-22).

La billette est chauffée à une température de 400 à 500° C de façon à rendre le métal pâteux et lui permettre ainsi de s'écouler. La température est maintenue dans le récipient par un chauffage électrique, étant donné que l'opération peut durer jusqu'à trente minutes pour certains profilés. La pression nécessaire dépasse 10 000 bars. Elle est fournie par un cylindre hydraulique.

Les profilés peuvent avoir les formes les plus diverses: pleins ou creux. Ils sont destinés à une foule d'usages: bâtiment, carrosserie, aviation.



8

Fig. 8-22

8. 5. Filage par choc

Définition

Le filage par choc est un procédé de déformation plastique qui permet de transformer, en une seule opération, un flan, une cuvette ou une pièce tubulaire à paroi épaisse en un étui ou un tube à paroi mince.

Il consiste à obliger le métal à fluer par l'espace compris entre la matrice et le poinçon (fig. 8-21).

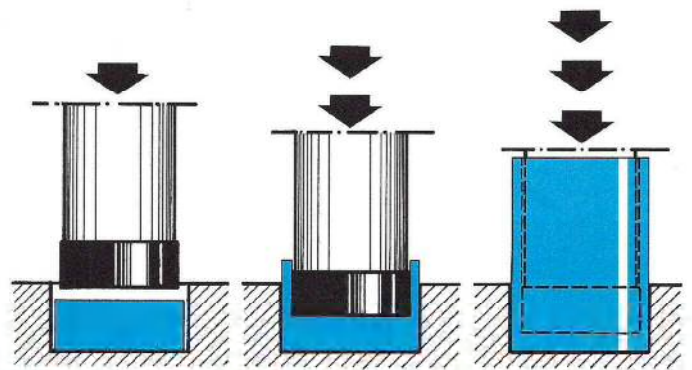
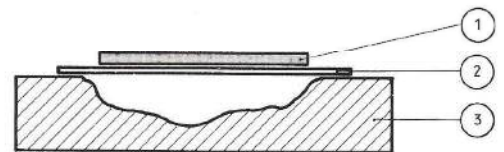


Fig. 8-21

8. 7. Hydroformage

Ces procédés sont utilisés pour exécuter des pièces de formes difficilement obtenables par les moyens courants.

a) **Formage par explosion** (fig. 8-23)
La pièce préparée est introduite dans une matrice en deux parties, puis remplie d'eau. Une cartouche contenant un explosif est immergée au centre, reliée à l'extérieur par un câble électrique d'allumage. Lors de l'explosion, la pression de l'eau écrase la pièce contre les parois de la matrice.



Légende (fig. 8-23)

- 1. Explosif
- 2. Flan
- 3. Matrice
- 4. Guide flan

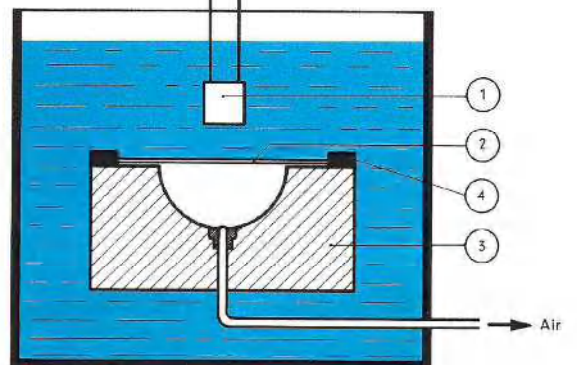


Fig. 8-23

b) Formage par pression de liquide
(fig. 8-24)

L'ébauche de pièce est placée dans une matrice démontable, puis remplie d'eau. Le bord supérieur de la pièce, évasé, en forme de collerette, est maintenu par un presse-flan qui vient s'y appuyer. Un piston coulissant à l'intérieur exerce sa pression sur le liquide, et la pièce prend alors sa forme, donnée par celle de la matrice.
Pour certaines petites pièces en aluminium, on remplace l'eau par du sable.

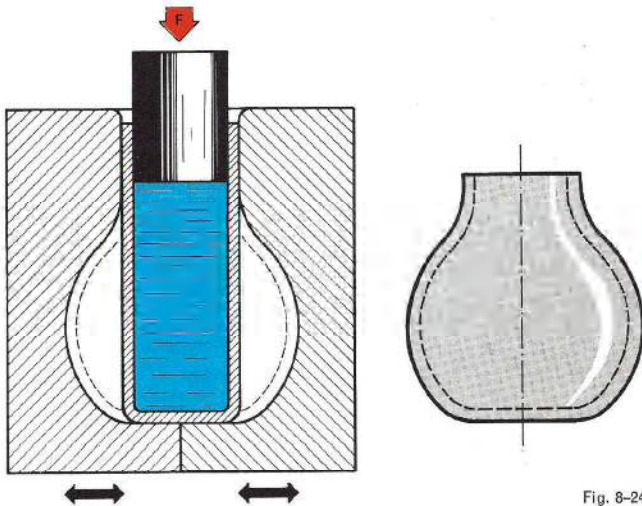


Fig. 8-24

8. 8. Soudure

On entend par là tous procédés utilisés pour assembler plusieurs parties métalliques par cohésion. Ces moyens, employés largement aujourd'hui par l'industrie, peuvent se classer en différentes catégories:

8. 8. 1. Soudure autogène ou oxy-acétylénique

C'est le procédé qui consiste à assembler entre eux deux métaux par fusion de leurs bords, avec addition d'un métal complémentaire.

La source de chaleur généralement utilisée est le mélange acétylène (combustible)-oxygène (comburant). L'acétylène est un hydrocarbure formé par action de l'eau sur le carbure de calcium (1 kg de carbure chimiquement pur dégage 372 litres d'acétylène à 15° C à pression normale).

L'acétylène est produit dans des générateurs où la pression est en général de 0,3 bar. Cependant, pour de petites installations ou pour des postes mobiles, on préfère aujourd'hui employer l'acétylène dissous, comprimé dans des bouteilles d'acier. A cause des dangers d'explosion, l'acétylène seul ne peut être comprimé à une pression supérieure à 1,5 bar. Cependant, on peut le faire sans risque si la bouteille est remplie d'une fine matière poreuse dans laquelle le gaz est réparti. Cette matière peut être du kieselguhr, du charbon de bois ou de l'amiante. En outre, pour pouvoir emmagasiner davantage de gaz, la matière poreuse est imbibée d'un liquide spécial qui absorbe l'acétylène (acétone). A la pression atmosphérique, et à 15° C, un litre d'acétone peut dissoudre

24 litres d'acétylène, et tout autant pour chaque atmosphère en plus. La pression normale de charge d'une bouteille d'acétylène est de 15 bars.

L'oxygène est comprimé normalement dans des bouteilles à la pression de 200 bars (fig. 8-25).

Comme la pression des gaz au chalumeau est voisine de 1 bar, il faut un réducteur, c'est le mano-détendeur (P).

L'appareil représenté schématiquement est à double expansion, la pression étant abaissée en deux phases.

Le gaz venant de la bouteille entre dans le mano-détendeur par la droite. Un manomètre mesure la pression d'entrée. Une première soupape formée d'une pastille en ébonite ferme le passage sous la pression d'un ressort (1). Le ressort (2), placé sous une membrane et dont la tension est déterminée par un réglage à vis, agit en sens inverse. Pour une pression donnée, la soupape est ouverte, mais si celle-ci vient à augmenter, l'action du gaz sur la membrane, ajoutée à celle du ressort (1), ferme le passage.

Une deuxième soupape, de construction identique (3) abaisse encore la pression, avec cette différence, que le ressort de tension de la membrane est réglable à la main, ce qui permet de fixer la pression de sortie. Un manomètre placé à cet endroit donne la pression d'utilisation. On remarque encore une soupape de sûreté (4).

Le chalumeau (R) est l'organe dans lequel se mélangent les deux gaz qui brûlent à la sortie de la buse. L'oxygène arrive en (O) et se trouve injecté en (C) dans l'acétylène arrivant de (A). Au-delà, les gaz se mélangent immédiatement.

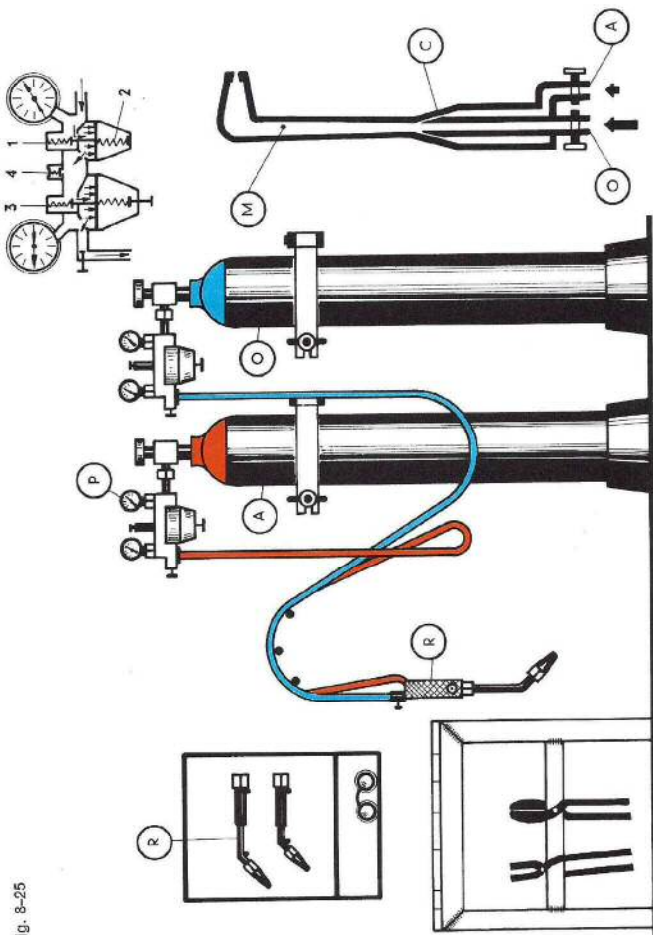


Fig. 8-25

La pression d'oxygène est de 1 à 2 bars pour les petits chalumeaux et de 2 à 3 pour les gros. L'acétylène se règle environ entre 0,2 et 0,5 bar. Selon la puissance de la flamme désirée, on dispose d'un jeu de buses interchangeables (M) de diamètres différents.

La flamme soudante (fig. 8-26) se compose d'un dard, d'un blanc incandescent de 5 à 15 mm. Au-delà se trouve une flamme sombre ou panachée de couleur bleuâtre ou jaune-rouge. La flamme a une température de 3200° à la pointe du dard; la température est plus basse dans le panache. Lorsqu'on soude, il faut que l'extrémité du dard soit à environ 5 mm du métal, parce que celui-ci contient de l'acétylène non brûlé et on risquerait de carburer le métal.

Le métal d'apport est constitué de baguettes dont la composition est de même structure que celle des métaux à assembler, car il doit transmettre tous les efforts et supporter le retrait. Les formes générales des bords à assembler peuvent être exécutées de différentes manières (fig. 8-27).

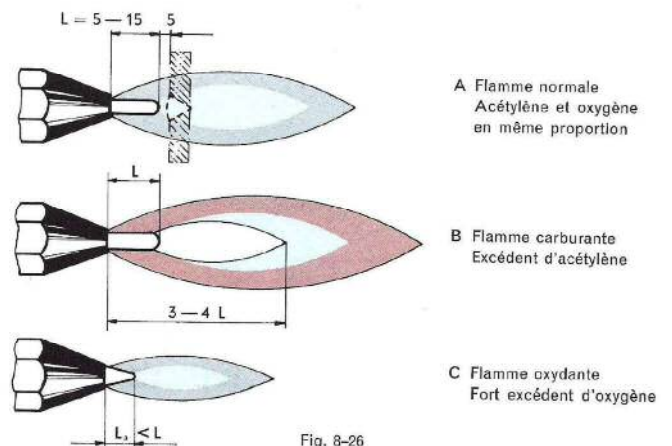


Fig. 8-26

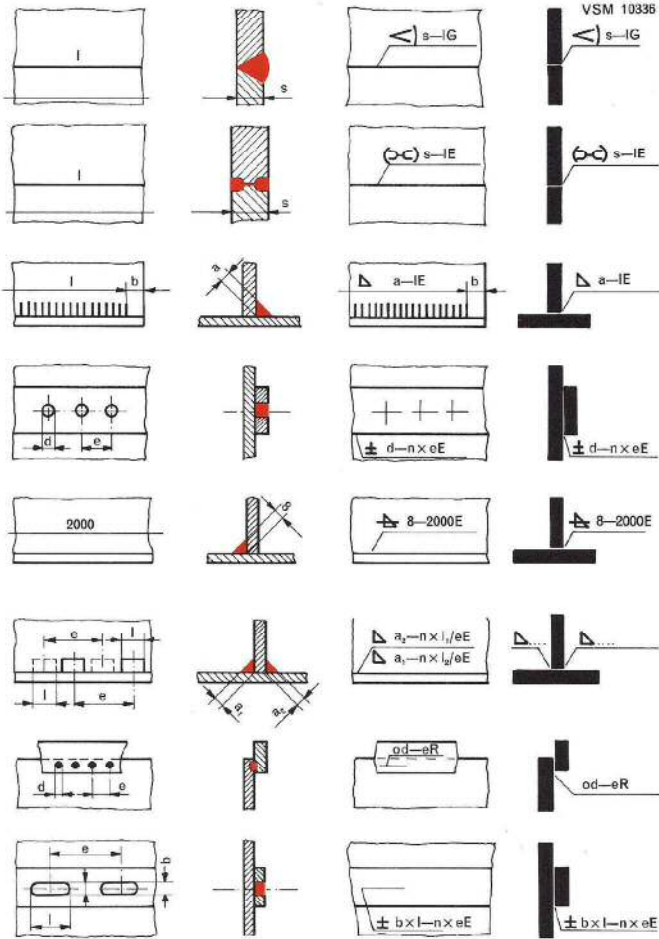


Fig. 8-27

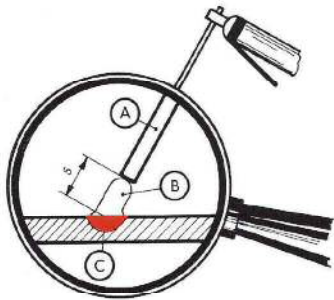


Fig. 8-28

- A Bague
- B Arc
- C Lit de fusion

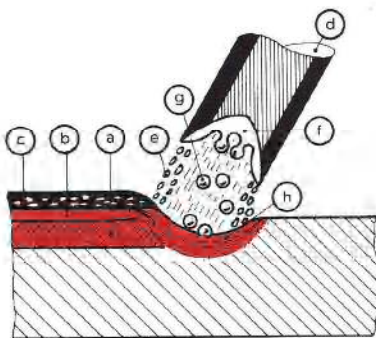


Fig. 8-29

Fonctionnement de l'arc électrique

- a Pénétration
- b Cordons de métal déposés
- c Laitier
- d Electrode
- e Enrobage fondu
- f Cratère
- g Gouttes de métal fondu
- h Bain de fusion

8. 8. 2. Oxy-coupage

L'oxy-coupage est une adaptation de la soudure autogène au découpage des métaux. Ce procédé s'emploie soit manuellement, soit à l'aide de machines qui travaillent automatiquement en copiant un gabarit ou en suivant les contours d'un dessin.

On utilise la propriété que possède le fer incandescent de brûler dans l'oxygène.

Le chalumeau-coupeur possède les organes d'un chalumeau ordinaire, mais en plus, une dérivation conduit directement l'oxygène sur la partie qui vient d'être chauffée par la flamme.

8. 8. 3. Soudure de l'aluminium et de ses alliages

Les métaux de cette catégorie se recouvrent au contact de l'air d'une couche d'oxyde mince, mais très dense. Le point de fusion de cette pellicule est supérieur à 2000° C. D'autre part, le point de fusion des alliages d'aluminium varie entre 520 et 650° C. Il est nécessaire d'enduire le bord avec un flux décapant qui élimine cette couche d'oxyde. (Lumiweid de AIAG.) Le décapant en poudre est délayé avec de l'eau jusqu'à former une pâte. Après soudure, les déchets de décapant doivent être soigneusement brossés à l'eau chaude. Il existe des décapants spéciaux pour les endroits qui ne peuvent être lavés facilement.

8. 8. 4. Soudure autogène par l'arc électrique

Le principe est le même, mais la source de chaleur est constituée par un arc électrique dont la température est d'environ 3500° C.

Pratiquement, un des pôles de la source de courant est relié directement à la pièce à souder, alors que l'autre est conduit à une pince isolée tenue par l'opérateur qui maintient en même temps la baguette d'apport, celle-ci servant d'électrode. L'arc amorcé, la baguette doit être maintenue à une distance de 3 à 5 mm (fig. 8-28 8-29).

L'électrode ou métal d'apport est constitué par des baguettes de 1 à 6 mm de diamètre choisies selon le travail à effectuer et l'intensité du courant qui la traverse. Elle est composée d'une tige de fer alliée à des métaux divers selon le genre et la qualité de soudure désirés. L'électrode possède un enrobage fusible composé de magnésie, aluminium, silicate de soude. Cet enrobage, très important, a pour but: faciliter la fusion du métal d'apport, protéger de l'oxydation, purifier chimiquement le bain.

Comme source d'énergie, on utilise le courant continu ou le courant alternatif, la tension de soudure variant entre 30 et 60 volts et l'intensité pouvant aller jusqu'à 300 A.

La soudure par courant continu présente un amorçage plus facile, la conduite de l'arc est plus régulière, mais l'appareillage est plus coûteux.

On peut souder l'aluminium et ses alliages sans décapant en utilisant comme protection un gaz inerte. Ce procédé s'applique également aux aciers alliés, inoxydables.

L'arc à courant continu ou alternatif jaillit entre une électrode de tungstène et la pièce à souder, tandis qu'un jet d'argon entoure l'arc et empêche le métal en fusion d'entrer en contact avec l'oxygène. Le métal d'apport est introduit séparément sous forme de baguette. Ce procédé convient surtout au soudage de pièces minces. La chaleur intense dégagée permet une vitesse de progression rapide qui limite la déformation des pièces à un minimum. Le soudage sans décapant ni flux supprime le lavage et le danger de corrosion.

8. 8. 5. Soudure électrique par résistance (fig. 8-30)

Ce procédé, dérivé de la soudure à la forge, consiste à souder deux pièces en les serrant l'une contre l'autre sous forte pression, et en les chauffant par le passage d'un courant électrique interne. Cet échauffement conduit à la fusion des bords qui, conjugués à la pression existante, forment une soudure très résistante.

Les machines utilisées sont constituées principalement par un transformateur pouvant débiter au secondaire jusqu'à 1000 A. sous une tension de 4 volts. La pression est fournie mécaniquement par un levier, ou hydrauliquement. Les mâchoires portent les électrodes; celles-ci sont en cuivre et de forme

diverses pour satisfaire aux différents besoins.

Exemples: queues de fraises, alésoirs, maillons de chaînes.

Pour les fortes intensités, les mâchoires et électrodes sont refroidies par circulation d'eau.

Il est nécessaire de limiter la durée de chauffe pour éviter la fusion complète des bords; ainsi, un dispositif temporisateur coupe automatiquement le courant dès que le temps nécessaire est atteint. On réalise ainsi facilement la soudure en bout. On assemble également deux tôles ou profilés par une série de points successifs. Il est également possible de réaliser une soudure continue en remplaçant les électrodes par des galets. L'avance se fait alors automatiquement par un déplacement continu.

8. 8. 6. Soudures spéciales

8. 8. 6. 1. Soudure des aciers inoxydables

Ces aciers sont assez difficiles à souder. Si l'on prend, par exemple, un acier à structure martensitique avec 4 à 6% de chrome, il faut prendre la précaution de les chauffer au préalable à une température de 250 à 300°, puis chauffer à nouveau après exécution de la soudure.

8. 8. 6. 2. Soudure de la fonte

La fonte fond facilement au chalumeau, mais perd une certaine quantité de carbone et de silicium. Pour l'éviter au maximum, il faut chauffer avec une flamme réductrice (léger excès d'acétylène). Les baguettes seront choisies en fonte riche en carbone. Pour éviter les scories, on emploie une poudre à souder composée de carbonates, de silicates, de borax. On l'utilise sous forme de pâte,

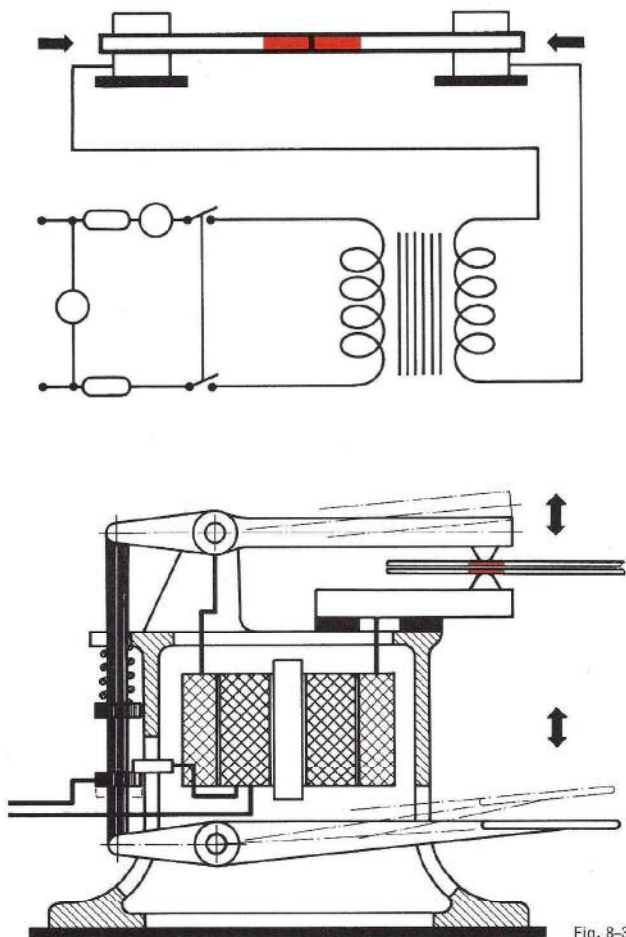


Fig. 8-30

simples: fers à souder électriques, lampes à souder à benzine et fers simples.

Il existe plusieurs compositions de soudures; l'une d'elles, très employée, est formée de 65% d'étain, de 35% de plomb. Son point de fusion est à 182° C (eutectique). Avec introduction de bismuth et de cadmium, on peut encore abaisser le point de fusion.

On soude généralement par ce moyen le cuivre, le bronze, le laiton. On peut également souder l'acier, ce moyen est utilisé pour la fixation temporaire de pièces lors d'opérations d'usinage.

Avant la soudure, les pièces doivent être nettoyées et désoxydées, puis on décape soit avec une poudre à base de borax, et de sel ammoniac, soit avec une eau à souder. Il faut cependant être prudent dans le choix de ces dernières, car elles contiennent des acides qui restent sur la pièce et sont à l'origine des corrosions.

On utilise de préférence la colophane en poudre ou dissoute dans l'alcool pour former une pâte qui est alors sans danger. Très souvent, on emploie la soudure en fil qui contient la colophane. Il existe dans le commerce des pâtes à souder, qui sont composées de soudure pulvérisée, mélangée au décapant. Elles sont pratiques pour le soudage de petits objets.

8. 9. Protection des métaux

Les causes extérieures, comme le contact avec l'air humide, les gaz, les vapeurs d'eau, les vapeurs contenant des acides, les sels, exercent une influence souvent destructive sur les métaux soumis à leur contact. Il est donc nécessaire de prévoir une

protection efficace pour toutes les parties métalliques constituant les organes de machines ou d'installations. Selon les conditions, les protections à envisager seront de nature différente. Certains métaux comme le cuivre, l'aluminium, le zinc, le plomb se recouvrent, à l'air humide, d'une mince couche d'oxyde imperméable qui constitue par là une protection naturelle; seul, l'aspect extérieur change et prend une couleur mate. L'emploi de ces métaux est, de ce fait, largement répandu dans la construction des bâtiments (toitures, conduites, etc.) L'acier s'oxyde facilement (rouille $Fe_2O_3 + 2H_2O$). Mais, contrairement aux métaux précités, cette oxydation continue son action jusqu'au cœur du métal. Il convient donc d'éliminer toutes traces de rouille éventuelles, avant d'entreprendre un traitement de surface. Les aciers doux sont plus sensibles à l'oxydation que les aciers durs. Certains alliages, comme les aciers contenant du chrome et du nickel, sont plus résistants (aciers inoxydables). La fonte grise, en raison de son fort pourcentage en carbone, possède une bonne résistance.

Les surfaces polies, ne présentant pas de raies, sont moins facilement attaquées que les surfaces rugueuses.

A part les alliages spéciaux qui, par leur structure, sont réfractaires à l'oxydation, la plupart des procédés utilisés ont pour but de former une couche superficielle étanche.

On peut les classer dans deux catégories:

8. 9. 1. Recouvrements non métalliques

Peinture. La protection par les peintures et les laques est la plus ancienne. Elle est facile à exécuter

dont on enduit les bords à souder et la baguette. Il est recommandé de chauffer la pièce au préalable.

Il faut absolument un refroidissement lent de la pièce.

8. 8. 6. 3. Soudure des alliages d'aluminium avec d'autres métaux

On peut souder l'aluminium avec le fer, la fonte, le cuivre en prenant la précaution de zinguer d'abord le métal lourd. On utilise des baguettes d'apport en silicium ou anticorodal et on prend une poudre à souder adéquate.

8. 8. 6. 4. Recharge au chalumeau

La société Castolin a développé un procédé de recharge dit « Eutalloy » qui permet de déposer rapidement et avec précision des quantités dosées d'alliages métalliques en poudre, à l'aide d'un chalumeau spécial. On obtient ainsi des épaisseurs contrôlables à partir de 0,05 mm et qui présentent de remarquables propriétés de résistance à l'abrasion et à la corrosion avec des duretés variant de 20 à 65 RC. Ces alliages sont à base de métaux tels que nickel, chrome, cobalt, tungstène.

On choisira l'alliage correspondant au travail à effectuer et aux métaux à recharger. Le chalumeau porte un raccord sur lequel vient se fixer le réservoir à poudre. Celle-ci est entraînée par les gaz, fondue dans la flamme, et déposée sur la pièce chauffée au préalable au rouge sombre (acier).

8. 8. 6. 5. Brasage

(soudure à basse température)

Les procédés de soudage autogènes utilisent la fusion du métal de base en

même temps que celle du métal d'apport. Il faut donc chauffer à des températures élevées supérieures au point de fusion du métal de base.

Les procédés de brasage (Castolin) partent d'un autre principe, dans lequel il n'y a fusion que du métal d'apport, le métal de base restant à l'état solide. De ce fait, l'apport de chaleur est considérablement abaissé.

La liaison se produit par diffusion des atomes du métal de base dans le métal d'apport liquide, c'est-à-dire qu'entre le métal liquide et le métal solide, il existe des forces de nature moléculaires qui provoquent un échange atomique dans la zone de séparation avec formation d'un alliage de surface.

Cette diffusion n'est possible que si le métal fondu « mouille », c'est-à-dire s'étale à la surface du métal solide. Ceci n'est possible que si le métal de base est porté à une certaine température.

D'autre part, on fait usage de décapants (souvent sous forme de pâte), qui ont pour but d'empêcher la formation d'oxydes de surfaces au moment du chauffage.

Ces décapants sont composés de telle façon que leur fusion indique en même temps la température de liaison du métal d'apport avec le métal de base. L'abaissement de la température de liaison est obtenu par l'adjonction d'éléments spéciaux dans les alliages constituant les métaux d'apport. Ceux-ci sont souvent à base de cuivre, nickel, zinc, argent.

8. 8. 6. 6. Soudure à l'étain

Ces soudures du type tendre se font à basse température, à l'aide d'alliages dont le point de fusion est très bas, ce qui permet de travailler avec des moyens

(pinceau, pistolet, immersion) et d'aspect agréable (couleurs), (voir chap. 10). Les peintures employées doivent répondre à un certain nombre de conditions: bonne adhérence, pas de porosité, être suffisamment plastiques (pour répondre aux variations de volumes dues aux changements de températures), bonne résistance à la lumière. On utilise une couche de fond chimiquement neutre dont le rôle principal est d'assurer l'étanchéité. La couche de surface doit assurer la durée par sa résistance aux agents extérieurs et la coloration réalisée par le choix des pigments qui y sont inclus. Les laques qui servent de recouvrement sont des solutions de résines synthétiques dans des liquides (alcool, acétone, térébenthine, etc.).

Graisses et huiles résineuses. Sont utilisées pour la protection de parties métalliques minces, pour le stockage, pour le transport. On n'utilisera que des huiles et des graisses minérales.

Goudron, asphalte, résines. Forment des enduits destinés aux conduites souterraines, boîtes de câbles, etc. Ces revêtements se font à chaud (250-300°) par immersion.

Les tuyaux d'acier, les câbles sont protégés par des rubans de jute imprégnée de ces produits.

Emailage. Utilisé pour récipients en fonte, objets de tôle, réservoirs pour l'industrie chimique, enseignes. Les matières de base constituant les émaux sont des corps vitrifiables, tels que quartz, feldspath, argile, borax. On utilise généralement deux couches: l'émail de base qui sert de pellicule élastique intermédiaire entre le métal et la couche supérieure qui, elle, assure l'aspect esthétique.

L'émail est vitrifié dans des fours à la température de 820 à 950°. La couche obtenue est dure et résiste bien à la chaleur.

8. 9. 2. Recouvrements métalliques

La protection est obtenue par l'application d'une mince couche de zinc, étain, plomb, cuivre, chrome, nickel, cadmium, aluminium. Les objets, tôles, etc., étant décapés soigneusement avant le traitement.

Le procédé par immersion. Est utilisé pour les métaux dont le point de fusion est très bas: zinc, étain, plomb, cadmium.

Les métaux à protéger sont plongés dans des cuves chauffées aux températures correspondantes (Zn = 450-470° C; Sn = 250-300° C; Pb = 360-380° C). La durée d'immersion est de une à vingt minutes, selon la couche désirée (0,02 à 0,05 mm).

Après le traitement les pièces sont nettoyées et débarrassées du métal en excès.

Pour le zinc, ce procédé est appelé zingage.

Pour l'étain, étamage.

Dans le cas de grandes pièces qu'il n'est pas possible de plonger dans une cuve, on utilise le pistolet Schoop qui projette sur les surfaces à recouvrir une couche de zinc fondu.

Un fil de zinc entraîné par une turbine à air comprimé est fondu au passage par un chalumeau ou un arc électrique. Le métal est éjecté par l'air au travers d'une buse. Les pièces à protéger sont, au préalable, sablées pour augmenter l'adhérence du métal d'apport.

Un avantage de ce procédé est qu'étant donné la basse température du métal projeté, on peut métalliser des matières

diverses telles que papier, étoffes, cuirs, etc.

On prépare ainsi les charbons de contact des machines électriques.

Le procédé galvanique ou électrolytique. Est utilisé pour le zinc, le cuivre, le chrome, le nickel. On obtient la couche désirée par l'emploi de solutions de sels métalliques dans l'eau, avec l'aide de courant continu (tension 1-4V, densité de courant 0,5-10 A/dm²). Le recouvrement de zinc se nomme prouillage.

Les objets à recouvrir sont suspendus au moyen de fils à la cathode (pôle négatif) et plongés dans la solution. L'anode (pôle positif) est constituée par des barres ou des plaques du métal à déposer.

La température des bains ne doit pas être trop basse et, dans ce but on prévoit des dispositifs de chauffage électrique.

Après traitement, les pièces doivent être soigneusement rincées à l'eau chaude, puis séchées.

8. 9. 3. Procédés modifiant l'état de surface

Protègent également de la corrosion.

La shérardisation, ou procédé de diffusion. Peut se faire avec le zinc. Il est très utilisé pour traiter les petites pièces en grande quantité, telles que vis, écrous, aiguilles. Il se forme une couche mince qui est sans grande influence sur la cote des objets traités. Les pièces sont placées dans un tambour rotatif en acier, où l'on introduit de l'air comprimé (25 à 45 t/min).

Dans le tambour se trouve de la poudre de zinc (10 à 20%) mélangée à du sable de quartz. Le tout est chauffé à une température variant entre 250 à 400°

selon le métal constitutif des pièces. A cette température, il se forme des vapeurs de zinc qui pénètrent dans les pores du métal et forment un alliage dur fer-zinc.

Le procédé dure de deux à cinq heures selon l'épaisseur de la couche désirée. Après refroidissement (douze à vingt-quatre heures), les pièces sont sorties du tambour et dépolissées.

La calorisation. Est un procédé utilisé pour protéger les pièces devant subir de hautes températures, telles que caisses de cimentation, tubes de protection des pyromètres, creusets pour bains de sel, corbeilles de trempe, etc. Les pièces soigneusement découpées sont placées dans des caisses de cimentation, avec un mélange de 49% de poudre d'aluminium, 49% d'argile et de 2% de chlorure d'ammoniac. Elles sont chauffées durant plusieurs heures à une température de 800 à 900°. Il se forme à la surface une couche de 1-2 mm d'un alliage Al/Fe très dense et très résistant à la chaleur.

La parkérisation ou bondérisation. Est un procédé semblable, ayant pour but la formation, à la surface du métal à protéger, d'une pellicule de phosphate de fer insoluble et très résistante. On utilise une solution de phosphate de zinc avec du nitrate de zinc, lequel sert d'accélérateur de l'opération et qui, en outre, augmente la durée d'activité du bain.

Les pièces auparavant nettoyées sont plongées dans le bain soit par un tambour perforé, soit suspendues à un crochet. La solution (3-3,5 kg de sel par 100 litres d'eau), chauffées à 98° C, forme le bain. On compte 50 à 80 g de sel par mètre carré de surface à traiter. En trois à cinq minutes, il se

forme la pellicule phosphatée protectrice. A la fin du traitement, les pièces doivent être rincées à chaud, puis soumises à une opération destinée à fixer la couche au moyen d'huile, laques, couleurs à l'huile. Se fait par immersion, badigeonnage, etc.

Il y a certains inconvénients; la couche phosphatée ne supporte pas de gros efforts mécaniques, ni des températures atteignant 400°. La soudure électrique est difficile parce que la pellicule est isolante.

La granodisation. Est un procédé récent. Les pièces sont plongées dans un bain à base de phosphate de zinc. Un courant alternatif provoque la phosphatation. (Densité du courant 2,5 à 5,5 A/dm².) La température du bain est portée de 70 à 95°. La durée de l'opération est d'environ quatre minutes.

Le brunissage. Donne aux pièces traitées un bel aspect noir, brillant. C'est une opération à laquelle on a recours lorsqu'il s'agit de pièces en acier, trempées ou non.

On utilise pour cela des sels à base de soude caustique dissous dans l'eau et chauffés à une température de 140° C. Les pièces sont, au préalable, soigneusement dégraissées. Elles sont ensuite suspendues dans le bain et laissées jusqu'à l'obtention de la teinte désirée.

On termine l'opération par un rinçage à l'eau courante froide.

L'oxydation anodique de l'aluminium et de ses alliages

On sait que les métaux de cette classe se recouvrent à l'air d'une couche d'oxyde protectrice qui, par le fait de son étanchéité, devient une protection contre les effets de la corrosion. Cependant, dans beaucoup de cas cette

couche (0,05 μ) est insuffisante. C'est pourquoi l'on procède à un traitement électro-chimique qui renforce l'épaisseur (10 à 40 μ).

L'oxydation anodique ainsi désignée forme une couche d'oxyde et d'hydroxyde d'aluminium qui est fortement ancrée avec le métal de base. Il se produit une légère augmentation de volume d'environ un tiers de l'épaisseur de la couche formée.

Selon la densité de courant la température la durée du traitement, on obtient une pellicule dure et imperméable, ou bien poreuse et élastique. On arrive encore à une protection maximum par imprégnation de résine synthétique.

Divers procédés sont utilisés, qui portent des noms différents tels que Aluminage, Eloxage.

Un des plus employés utilise comme électrolyte de base une solution d'acide sulfurique dans des bacs revêtus de plomb qui sert en même temps de cathode. Les pièces à oxyder sont reliées à l'anode. L'électrolyse se fait en courant continu dont l'intensité est choisie entre 0,5 et 3 ampères par décimètre carré de surface de pièce. La durée est de 30 à 45 minutes.

Les surfaces poreuses peuvent être teintées avec des couleurs organiques ou inorganiques. Les objets sont plongés dans une cuve contenant cette solution à 75° C durant 10 à 20 minutes. La coloration obtenue résiste à l'eau et à la lumière.

8. 9. 4. Corrosion électrochimique

Il convient encore d'examiner les causes d'une corrosion par voie électrochimique. En réalité, elle se produit comme dans un élément galvanique.

Si l'on considère une plaque de cuivre et une plaque de zinc dans un électrolyte conducteur (eau acidulée), le courant circule du cuivre (+) au zinc (-). Le métal qui constitue le pôle négatif est détruit peu à peu. Lorsque deux métaux différents sont en contact, et qu'un électrolyte pénètre entre eux, il se produit le même phénomène, avec d'ailleurs une tension qui varie suivant les métaux en présence. En essayant différents métaux au contact d'une plaque de magnésium, on obtient les tensions données par le tableau ci-dessous (fig. 8-31).

On peut voir ainsi quels seraient les effets obtenus entre deux métaux. Par exemple, si l'on prend une plaque de nickel avec une plaque de zinc, on obtient 1,62 - 1,09 = 0,53 volts. Dans ce cas, c'est la plaque de zinc qui est négative et qui est attaquée. Avec un élément nickel-cuivre, c'est le premier

qui est détruit. Plus la différence des tensions est grande, plus rapidement s'effectue la destruction.

Comme électrolyte, on peut citer: l'eau de mer, les eaux de pluie, de sources, la transpiration des mains, l'humidité de l'air, etc.

On appelle « corrosion par contact », celle qui se produit lorsque deux métaux sont en présence l'un avec l'autre et qu'un électrolyte peut s'infiltrer. Il faut donc l'éviter ou isoler les métaux entre eux.

La corrosion intercrystalline est celle qui se produit entre les cristaux d'un métal en présence d'humidité.

Par exemple, dans l'acier, les cristaux de cémentite (Fe₃C) sont électropositifs vis-à-vis des cristaux de ferrite (Fe) qui sont électro-négatifs. Un courant s'établit qui détruit peu à peu les cristaux de ferrite.

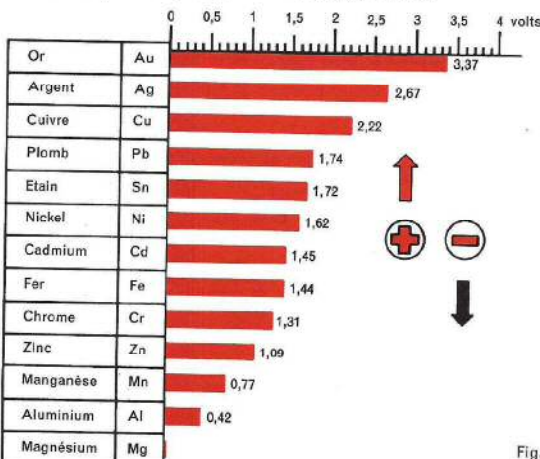


Fig. 8-31

Protection contre la corrosion

	Dégraissage Décap.	Méthode	Emploi
Métallisation par bain Étamage - Zingage	Acide muriatique	Trempé dans zinc fondu (440°) avec sel ammoniac	Charpentes métalliques - Tuyaux galvanisés pour eau chaude et froide Réceptier de lavage
	Acide sulfur.	Trempé dans l'étain fondu avec huile de palme pour égaliser la couche	Réceptiers pour produits de consommation (lait, conserves), tuyauterie Boilers pour eaux riches en CO ₂
Pulvérisation P. Schoop		Sous pression et à températures élevées, le métal est projeté en brouillard sur la pièce à métalliser; par la détente la température baisse 10-60°. Exemple: aluminage	Pour toute matière à métalliser, ébénite, plâtre, verre, bois, celluloïd, mat. inflammables ou fusibles
Proc. chimique Parkérisation Shérardisation		Pièce de fer dans caisse de gris de zinc (poudre fine de zinc condensé et oxyde de zinc) à 350° pdt six heures	Ferromonts, clous
		Bain de phosphate soluble chauffé à 90-98°. Formation de phosphate de fer insoluble.	Pièces d'armée - Tuyaux GF Pas de déformation des pièces
Procédé électrolytique Cad. - chrome-nickel - Oxydation Cuvrage Nickelage Oxydation anodique	Cuvrage bronzage	Pour fer, fonte, acier, zinc, faire un cuivrage préalable au trempé (pour éviter l'attaque par l'électrolyte). Pièce à galvaniser placée à la cathode Pour cuivrage: anneau en cuivre Pour lalton: anneau en zinc Elect., sel de cuisine	Fils, tringles, visseries, tréillis
		Pièce à l'anode, dépôt de pellic. Al ₂ O ₃ mince, dure, résistante à la corrosion, peut être colorée par procédé chimique	Objets d'art, de luxe, plaquettes, bijouterie, boîtiers, cadrans
Cuvrage magn.		1. Polissage meule-tôle émeri 2. Dégraissage trichloréthylène Finition: bain, polissage élect.	
		Nickelage préalable - Bonne résistance au frottement, aux intempéries et aux acides faibles	Appareillage pour chambre de bain, automobile, services de table
Emballage Vernis		Attaqué par les acides organiques, ne convient pas aux ust. de cuisine	Couche fine (0,01 mm) pour pas de vis, tôlerie, ressorts, arbres
		Couche de fond borax: appliquée au pistolet ou en bain, 2° couche idem	Pots, ustensiles de cuisine, réceptier pour chimie. L'émal peut se détacher par variations de temps
Badigeon. Vernis		Vapeurs inflammables - Goudronnage et asphaltage intér. et extér.	Résiste aux acides et bases. Ne convient pas pour hautes températures
		Vernis antirouille (laque, vernis, vernis synthétique, à l'huile de lin, laque du Japon)	Tuyaux noirs, machines Charpentes métalliques