Chapitre 7

Fonderie

7.1.	**Métaux coulés**	222
7.1.1.	Fontes	223
	Fonte grise	223
	Fonte à graphite sphéroïdal	228
	Fontes alliées	231
	Fontes en coquille	231
7.1.2.	Acier coulé	233
7.1.3.	Fonte malléable	234
7.1.4.	Alliages non ferreux légers	236
7.1.5.	Alliages de cuivre	237
7.1.6.	Moulage sous pression	237
7.2.	**Traitements thermiques**	238
7.2.1.	Recuit adoucissant	238
7.2.2.	Recuit de détente	238
7.2.3.	Trempe	238
7.2.4.	Trempe superficielle	238
7.2.5.	Nitruration	238
7.3.	**Modelage**	239
7.3.1.	Qualités d'un bon modèle	239
	Exécution des modèles en bois	239
	Retrait, surépaisseurs d'usinage, masselottes	240
7.3.2.	Couleurs conventionnelles pour les modèles et les boîtes à noyaux	243
7.3.3.	Dépouille	244
7.3.4.	Les boîtes à noyaux	246
7.4.	**Noyautage, remmoulage**	247
7.4.1.	Les noyaux. Sable à noyaux	247
7.5.	**Moulage**	247
7.5.1.	Les châssis	248
7.5.2.	Le sable de fonderie	248
7.5.3.	Moulage à vert	248
7.5.4.	Moulage avec modèle	248
	Moulage à découvert	248
	Moulage conventionnel	249
7.5.5.	Moulage de grosses pièces	249
7.5.6.	Moulage en coquille	249
7.5.7.	Moulage mécanique	250
7.5.8.	Moulage en carapace	250
7.6.	**Moulage de précision ou moulage à la cire perdue**	251
7.7.	**Moulage sous pression**	254

Illustration d'une fonderie

A) BATIMENT

1. Eclairage zénithal des halles de travail

B) INSTALLATIONS DE MANUTENTION

2. Ponts roulants: capacité de levage jusqu'à 150 tonnes dans la fonderie de grosses pièces
3. Conducteur de pont roulant dans sa cabine
4. Moufle, crochet et chaîne d'un grand pont roulant
5. Balance suspendue (peson)
6. Installation de manutention et de levage pour petite poche de coulée basculante
7. Elévateur
8. Escalier d'accès à la cabine du grutier

C) HALLE DE FUSION

9. Four à arc électrique basculant (four Héroult)
10. Electrodes sur leurs supports et amenée de courant
11. Chenal de coulée
12. Fosse destinée à recevoir la poche suspendue au pont roulant lors de la coulée
13. Benne de chargement remplie de matières à enfourner
14. Installations de contrôle et commandes du four électrique
15. Indicateur de température
16. Cubilot chauffé au coke
17. Conduite d'air pour activer la combustion
19. Avant-creuset basculant
19. Fondeurs

D) HALLE DE MOULAGE DES GROSSES PIÈCES

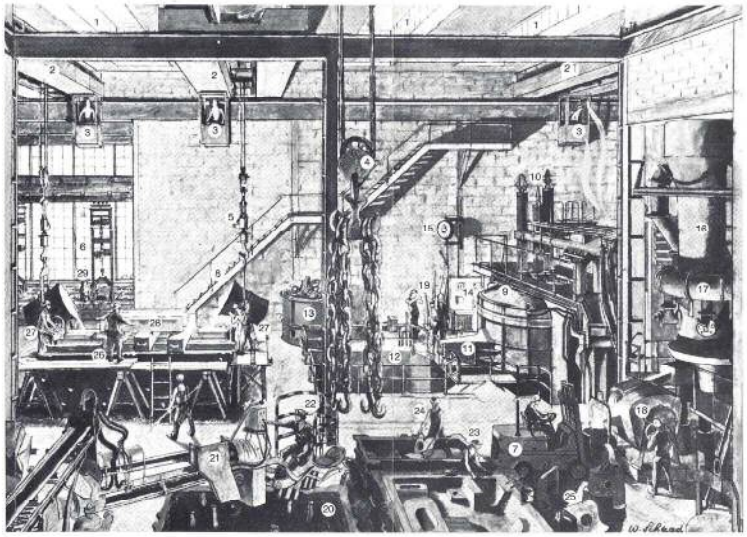
20. Châssis partiellement rempli de sable de moulage
21. Machine à projeter et comprimer le sable (sandslinger)
22. Opérateur manœuvrant les commandes du sandslinger
23. Mouleur lissant un moule
24. Ouvrier mettant en place un noyau (remmoulage)
25. Gros noyaux prêts à être remmoulés

E) AIRE DE COULÉE POUR LES GRANDS MOULES

26. Contremaître dirigeant la coulée d'une grosse pièce
27. Fondeur manœuvrant la poche de coulée
28. Charges compensant la poussée du métal vers le haut

F) AIDE DE COULÉE POUR LES PETITS MOULES

29. Fondeur coulant des châssis moulés à la machine



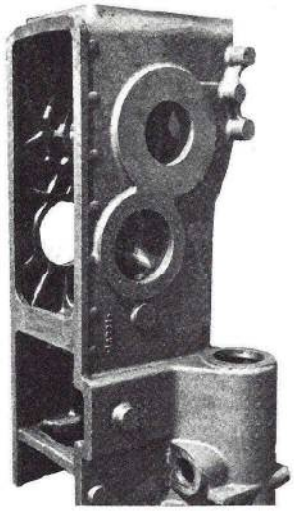


Fig. 7-1
Carter de tracteur

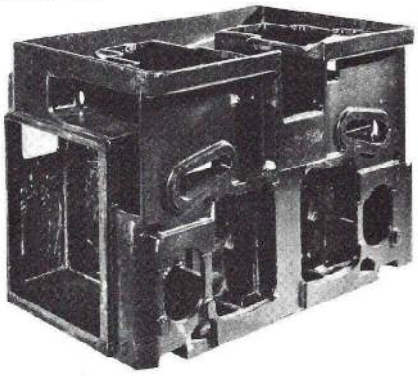


Fig. 7-2
Bâti de tour automatique

7. 1. Métaux coulés

Généralités

Les organes métalliques entrant dans la construction des machines ou des appareils utilisés industriellement proviennent de sources différentes:
forges, fonderies, ateliers d'usinage.
La fabrication de pièces de formes compliquées se fait généralement par fonderie, c'est-à-dire en coulant le métal en fusion dans des moules en sable ou métalliques; ce procédé est économique (fig. 7–1 et 7–2).

Métaux coulés	**Alliages ferreux**	**Fonte**	Fonte grise Fonte sphérolitique (ductile) Fonte alliée
		Acier coulé	Acier coulé non allié Acier coulé faiblement allié Acier coulé fortement allié
		Fonte malléable	Fonte malléable blanche Fonte malléable noire
	Alliages non ferreux	**Alliages légers**	Alliages d'aluminium Alliages de magnésium
		Alliages lourds	Alliages de cuivre Alliages de plomb et d'étain Alliages de zinc

Tableau 7–3

7. 1. 1. Fontes

Fonte grise (à graphite lamellaire)
(fig. 7–9, page 229)

Selon feuille de normes VSM 10691, c'est le métal coulé le plus répandu. On appelle conventionnellement fonte ordinaire les alliages à base de fer obtenus en seconde fusion et contenant:

C de 2,5 % à 4,5 %
Si de 0,5 % à 5 %
Mn de 0,3 % à 1,5 %
P de 0 % à 2 %
S jusqu'à 0,15 %
Masse volumique: 7,2 kg/dm³

La fonte grise avec sa métallurgie et son usinage facile, son point de fusion peu élevé (environ 1200° à 1300° C) sont les facteurs déterminants de son emploi pour des pièces à résistance normale.
En tenant compte d'autres variétés, la fonte grise est moins avantageuse que d'autres métaux et alliages.
Matériau complexe, hétérogène, la fonte grise est constituée par des lamelles de graphite dispersées dans une matrice aciérée. Ces lamelles de graphite se déposent à l'instant de la solidification et forment une structure primaire qu'il est impossible d'éliminer ou même de modifier par un traitement thermique ultérieur.
Cette structure primaire exerce une action essentielle sur les caractéristiques mécaniques de la fonte grise, en particulier sur la résistance à la traction, sur son module d'élasticité (qui n'est pas constant comme dans le cas de l'acier), et sur sa ténacité.
La fonte grise lamellaire, très employée dans les fabrications les plus diverses, présente des propriétés appréciées différemment par le fondeur, le constructeur ou le chef d'atelier.
Cette matière si complexe est élaborée généralement dans un four appelé cubilot (fig. 7–5).

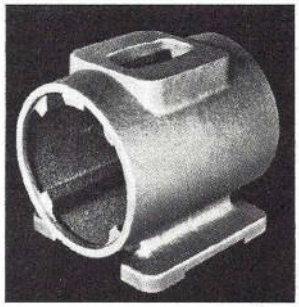


Fig. 7–4
Carter de moteur électrique coulé en fonte grise

7

Cubilot

Le cubilot est établi en profil de haut fourneau, il comprend une cuve tronconique avec partie inférieure cylindrique: l'ouvrage. Il peut être à revêtement intérieur neutre, par conséquent utilisable pour la marche acide ou basique. (Ordre de grandeur: hauteur 23 m, ⌀ de l'ouvrage 1,10 m.)
C'est un four de deuxième fusion, dans lequel on peut produire certaines sortes de fonte bien déterminées en partant de fonte brute (fonte grise de première fusion du haut fourneau), de bocage, de coke et de castine.

Les matières sont introduites par couches successives. L'insufflation d'air chaud par les tuyères disposées à la partie inférieure de la cuve provoque la combustion du coke et la chaleur qui s'en dégage conduit à la fusion des matériaux déversés dans le four.
La fonte liquide se rassemble à la partie inférieure, passe par un séparateur de laitier, puis est emmagasinée dans un bassin, prête à être utilisée.

Légende: fig 7–5

1. Déchargeur à bascule pour wagons de chemin de fer
2. Rubans transporteurs
3. Silos pour coke et castine
4. Rubans transporteurs pour l'installation de charge
5. Silos à fonte brute et à riblons
6. Passerelle de charge avec cellule de répartition
7. Grue à électro-aimant pour l'installation de charge
8. Trémies de pesage pour le matériel de charge
9. Paniers de chargement
10. Elévateur à plan incliné
11. Gueulard du cubilot
12. Cuve du cubilot
13. Conduite circulaire pour le vent chaud
14. Tuyères de soufflage
15. Sortie de la fonte et du laitier
16. Séparateur de laitier
17. Bassin récepteur
18. Poche de coulée
19. Aspiration des gaz de cubilot
20. Réchauffage du vent
21. Installation de dépoussiérage

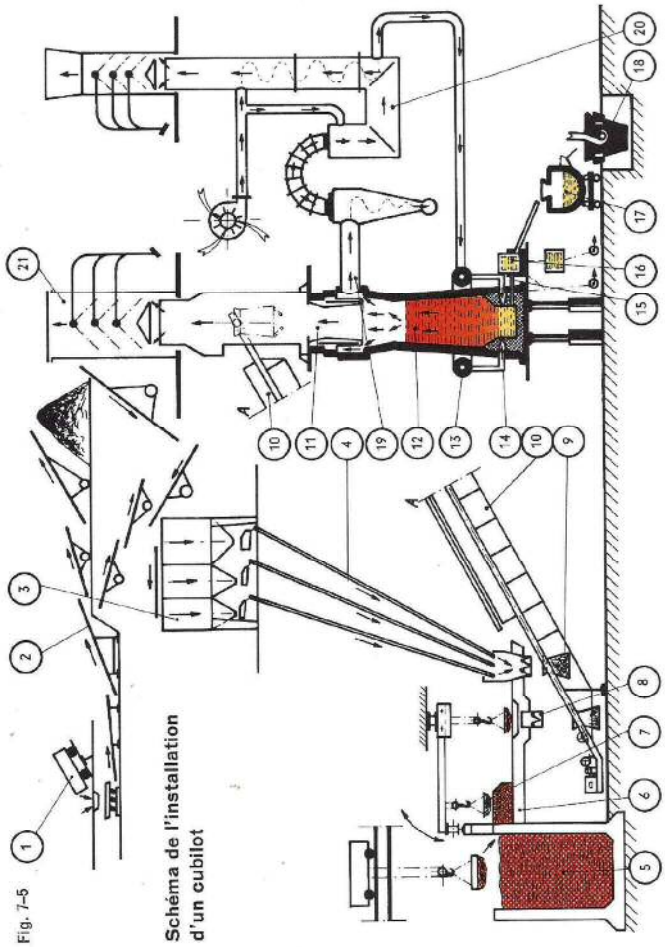


Fig. 7–5
Schéma de l'installation d'un cubilot

7

Fonte grise non alliée
(fonte à graphite lamellaire)

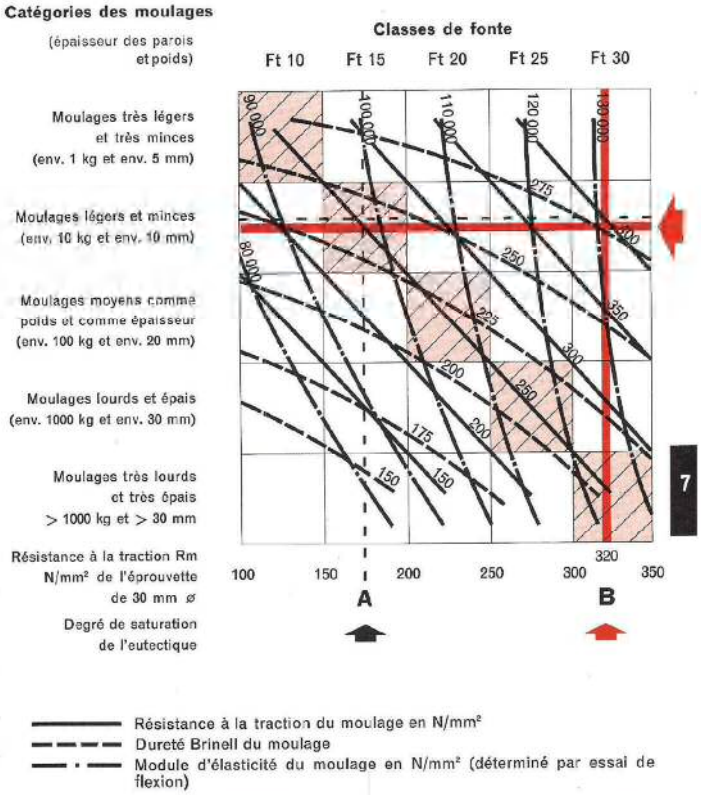
VSM 10 691

Classification et emploi des fontes grises		
Classe	**Résistance à la traction Rm min. N/mm²**	**Convient pour**
Ft 10	100	pièces à parois très minces de 3 à 8 mm d'épaisseur
Ft 15	150	pièces à parois minces > 5 mm d'épaisseur
Ft 20	200	pièces à parois d'épaisseur moyenne > 10 mm d'épaisseur
Ft 25	250	pièces à parois épaisses > 20 mm d'épaisseur
Ft 30	300	pièces à parois > 30 mm d'épaisseur

Tableau 7–6

Les différentes classes de fonte grise, groupées dans le tableau 7–6, sont définies par la résistance à la traction d'éprouvettes tournées dans des lingots de ⌀ 30 mm et provenant de la même poche de coulée que les pièces correspondantes et coulées séparément dans des moules en sable.

Diagramme Collaud permettant de déterminer les propriétés mécaniques des différentes catégories de moulages en fonction des classes de fonte (VSM 10 691) Fig. 7–7



Les champs hachurés correspondent à une microstructure essentiellement perlitique.

Il est exclu de couler une pièce avec une classe quelconque de fonte.

Exemple A juste

Moulage d'un couvercle de protection pour cage de roulements à billes avec parois minces (environ 9 mm). Selon le tableau de la norme VSM 10 691, la classe Ft 15 sera prescrite.

Exemple B faux

Le constructeur, désirant obtenir toutes garanties avec cette pièce, choisit la classe Ft 30!
Selon tracé en rouge du diagramme de Collaud (fig. 7–7), quelles seront alors les propriétés de ce couvercle?

- L'éprouvette coulée séparément donne par exemple une résistance à la traction de 320 N/mm²; le moulage coulé avec une fonte provenant de la même poche sera donc bien de la classe Ft 30;
- la résistance à la traction dans la pièce sera alors d'environ 380 N/mm²;
- la dureté Brinell sera d'environ 275;
- le module d'élasticité sera d'environ 130 000 N/mm².

Remarque

On se rend immédiatement compte que la **pièce coulée** avec une Ft 30 n'est pas usinable à l'état brut de coulée!

Fonte à graphite sphéroïdal

Dans la fonte grise lamellaire, le carbone graphitique est réparti (fig. 7–9) sous la forme de lamelles qui sont autant d'amorces de rupture qui rendent l'alliage cassant et peu flexible. C'est un inconvénient qui rend la fonte grise lamellaire impropre pour des moulages sollicités à hautes exigences.

Dans la fonte à graphite sphéroïdal (fig. 7–10), le graphite se présente sous la forme de sphères compactes insérées dans la matrice métallique.

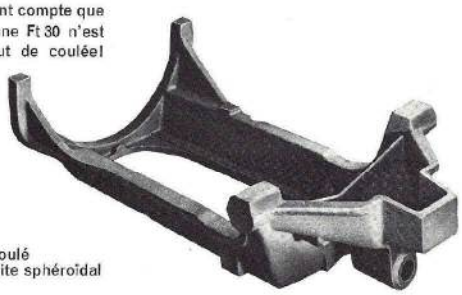


Fig. 7–8
Ce support de pont avant pour tracteur est coulé en série en fonte à graphite sphéroïdal

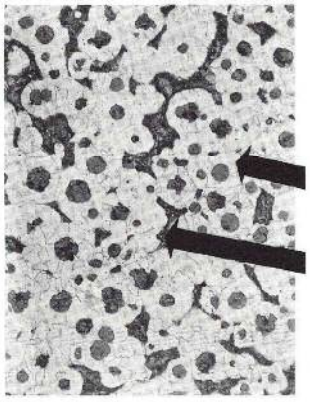
Exemples de structures primaires et secondaires de fontes grises lamellaires et sphéroïdales

Lamelles de graphite

Matrice perlitique

Eutectique phosphoreux

Fig. 7–9 gros. 400:1



Graphite en sphéroïdes

Ferrite

Perlite

Fig. 7–10 gros. 100:1

Le passage de la forme lamellaire du graphite à la forme sphéroïdale améliore considérablement les caractéristiques mécaniques de toute la gamme connue des fontes, de sorte qu'il est possible d'élaborer une fonte sphéroïdale pouvant atteindre une résistance de 700 N/mm²; un traitement thermique approprié peut porter ce chiffre à plus de 1000 N/mm²! Elle se prête particulièrement à la fabrication des pièces compliquées à parois minces et fortement sollicitées. Ces fontes sont obtenues en général en les traitant avec du magnésium.

Fonte à graphite sphéroïdal
non alliée et faiblement alliée

VSM 10 693

Sortes	Caractéristiques mécaniques				Structures prédominantes
	Résistance à la traction Rm N/mm² mini.	Limite proportionnelle d'élasticité Rp 0,2 N/mm² mini.	Allongement à la rupture A_5 % mini.	Dureté Brinell HB Valeurs directives	
FGS 38	380	240	17	140–180	ferritique
FGS 42	420	280	12	150–200	ferritique
FGS 50	500	350	7	170–240	ferritique perlitique
FGS 60	600	400	2	210–300	perlitique
FGS 70	700	470	2	230–320	perlitique

Sur demande spéciale du commettant, celui-ci peut exiger, pour la sorte FGS 38, que le fondeur garantisse les valeurs de résilience suivantes:

Eprouvette VSM
(profondeur d'entaille 2,5 mm)

Valeur minimale moyenne de trois essais **K = 19 J/cm²**

Valeur minimale de chaque essai **K = 16 J/cm²**

Eprouvette ISO-V

Valeur minimale moyenne de trois essais **K = 17 J/cm²**

Valeur minimale de chaque essai **K = 15 J/cm²**

Tableau 7–11

Fontes alliées

L'addition de corps étrangers à la fonte augmente dans de grandes proportions ses propriétés. Les principaux éléments additionnels sont le nickel, le chrome, le molybdène, le silicium, le manganèse.

Fontes au nickel

Le nickel diminue les effets de corrosion et augmente leur dureté qui peut atteindre 300 unités Brinell. On obtient des fontes présentant une structure austénitique pouvant être moulées facilement et très résistantes à l'usure. Les fontes au nickel sont utilisées pour la confection de moules, de pièces de machines.

Fontes au chrome

L'addition de chrome augmente la dureté et la résistance à l'usure des fontes en stabilisant la cémentite et en augmentant la quantité de carbone combiné au fer. On en fait des cylindres de moteurs d'automobiles et d'avions, des pistons, segments, engrenages.

Fontes au molybdène

Le molybdène augmente aussi la dureté des fontes et la quantité de carbone combiné au fer. Ces fontes sont très utilisées dans les industries automobile et aéronautique en raison de leur grande homogénéité.

Fontes au silicium

Employées dans l'industrie chimique, elles sont à haute résistance aux acides, tels que les acides sulfuriques et nitriques, de toute concentration et température, lessives, solutions salines et autres réactifs. Le silicium améliore le coulage et donne une excellente usinabilité, car le silicium favorise la graphitisation.

Fontes au manganèse

Le manganèse augmente la solubilité du carbone dans le fer, il empêche la précipitation du graphite, son influence est comme on le voit opposée à celle du silicium. Le manganèse augmente donc la dureté des fontes. On en fait des tuyères pour jets de sable, socs de charrue, billes pour plaques tournantes et on l'utilise pour la préparation des fers et des aciers.

Fontes en coquille

C'est une fonte obtenue par moulage avec moule ou parties de moule en acier.

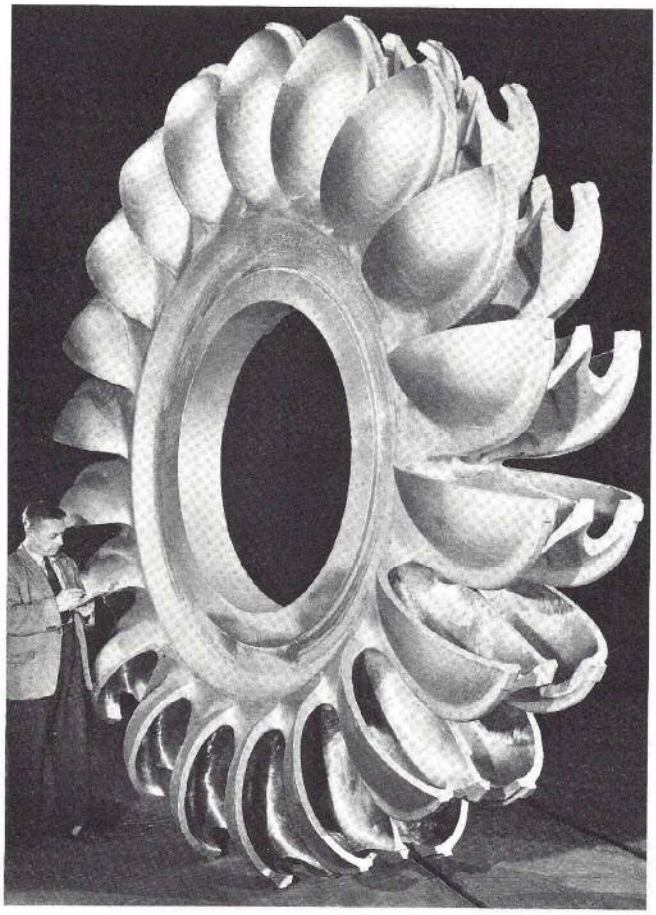


Fig. 7–12 Roue Pelton en acier coulé, masse = 15 tonnes

7. 1. 2. Acier coulé

(fonte d'acier)

Selon normes VSM 10 697

On désigne ainsi les produits de fer forgeable ou d'acier dont la forme est obtenue uniquement par la coulée et la solidification de l'acier liquide dans un moule en sable réfractaire.

Les moulages en acier, dégagés du sable adhérent, ne requièrent qu'un traitement thermique et un usinage souvent partiel pour être admis à remplir leur rôle définitif d'éléments de machines, en métal résistant, tenace et forgeable.

L'acier coulé est très visqueux, contrairement à la fonte de fer dont l'excellente fluidité permet le moulage de petites pièces à parois minces.

Cette différence dépend de la teneur en carbone qui est de 3 à 4% pour la fonte et de 0,2 à 0,4% seulement pour l'acier. Pour ce matériau, l'épaisseur des parois ne pourra donc être inférieure à une certaine limite : 5 mm représentent un minimum pour les petites pièces. Par contre, il n'existe pas de limites supérieures; la réalisation de moulages de 100 tonnes et plus est réalisable.

L'acier en voie de solidification accuse une tendance à la formation de retassures et se caractérise par une forte contraction durant le refroidissement dans le moule. Ces deux facteurs contribuent à augmenter les difficultés de la fabrication des moulages d'acier, de même que le retrait linéaire qui est de 2%.

Pour prévenir ces inconvénients, il faut prévoir un grand nombre de masselottes, qui ne peuvent être supprimées à coups de marteau comme c'est le cas pour la fonte grise.

La structure plus ou moins cristalline, dite structure de l'acier brut de coulée, doit être transformée en une texture à grains aussi fins que possible, indispensable pour acquérir la ténacité que l'on exige du moulage terminé. Elle se réalise uniquement par le recuit, qui consiste à chauffer les pièces à une température de 900° à 1000° C et à les laisser se refroidir dans le four.

Il est très important pour l'élaboration proprement dite de l'acier coulé, de s'entourer de toutes les garanties susceptibles d'assurer une fabrication impeccable. Le four de fusion dans ce cas joue un rôle primordial, d'où l'emploi de plus en plus répandu du four électrique à arc.

7. 1. 3. Fonte malléable

La feuille de normes donne les caractéristiques d'une telle fonte, qui est l'intermédiaire entre la fonte grise lamellaire et l'acier coulé. On part d'une fonte aisée à couler, exempte de graphite libre, dure, cassante, pratiquement non usinable à l'état brut (cassure blanche). On lui donne des caractéristiques identiques à celles de l'acier (ténacité, bonne usinabilité) par un traitement thermique (recuit oxydant ou recuit neutre).

On distingue: la fonte malléable à cœur noir et la fonte malléable blanche. Le choix du traitement thermique permet d'obtenir l'une ou l'autre de ces fontes.

A la fonte blanche, on ajoute de la mitraille d'acier et des déchets de fonte malléable. La fusion de ces matières s'effectue au cubilot, au four à réverbère ou au four électrique. On coule dans des moules en sable.

Fonte malléable à cœur noir

Selon normes VSM 10 692
classe GTS 35–70

La fonte blanche est recuite en atmosphère neutre, sans l'aide d'un cément oxydant. La structure est parfaitement homogène dans toute la masse, indépendamment de l'épaisseur des parois. On fait passer totalement le C sous forme de graphite de recuit.
Par un traitement thermique, on peut de cette fonte, chauffée à 900° C, puis refroidie à l'air, modifier profondément les propriétés mécaniques. Elle peut subir également un durcissement superficiel par une trempe, ainsi que divers traitements de protection.
Son emploi: pièces d'automobiles, de chemins de fer, de lignes à haute tension, de machines agricoles.
Le graphite est sous forme nodulaire.

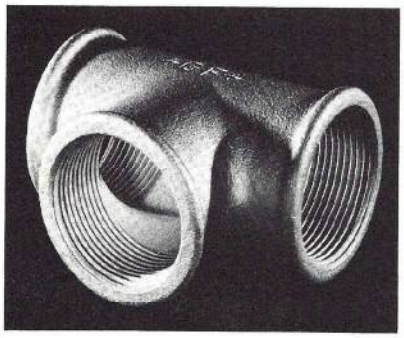


Fig. 7– 13
Fitting
Pièce de raccordement pour tuyaux
Fonte malléable GTW

Fonte malléable blanche

Selon normes VSM 10 692
classe GTW 40–45

La fonte blanche est recuite en atmosphère oxydante, ce qui provoque une décarburation. En dehors de la formation de carbone de recuit, il s'établit une migration du carbone vers les parties superficielles des pièces qui sont décarburées en premier lieu. Contrairement à la fonte malléable noire, il en résulte une structure hétérogène, totalement ferritique et sans carbone pour les zones marginales et les parties minces des pièces, perlitique et avec du carbone de recuit pour les zones centrales des parties épaisses. Entre deux se trouvent des zones intermédiaires perlitiques–ferritiques.
Cette fonte peut être durcie superficiellement aussi, mais par cémentation carburante suivie de trempe. Elle peut subir un traitement de protection, galvanisation ou étamage, par immersion dans le métal fondu.
Son emploi: pièces de tuyauteries, de cycles et de motocycles, de quincaillerie, de l'industrie textile. (fig. 7–13).

Le graphite est souvent sous forme de sphère.

On peut obtenir de la **fonte malléable soudable**, qualité spéciale issue de la fonte malléable blanche. Grâce à sa composition chimique particulière et à une décarburation complète jusqu'à 8 mm d'épaisseur, il est possible d'assembler ce matériau par soudage avec des éléments en acier.

7

7. 1. 4. Alliages non ferreux légers

Alliages d'aluminium

La petite mécanique a un vaste champ d'application dans les appareils et machines transportables, dont une des principales caractéristiques est la légèreté.
Les possibilités d'exécution sont très vastes; la construction de certaines pièces n'a été possible qu'en faisant appel aux métaux légers, l'utilisation de fonte de métaux lourds étant absolument exclue.
Les alliages d'aluminium se prêtent très bien au moulage. Ces alliages conviennent pour le matériel roulant ou de navigation, dans les industries chimiques et alimentaires, en construction mécanique et en architecture.
Ceux-ci subissent un traitement thermique qui leur donne leurs propriétés mécaniques. Ce traitement peut être un recuit, une trempe ou un vieillissement.
Ces alliages atteignent une charge de rupture de 220 à 350 N/mm².
On distingue dans la norme VSM 10 895:

L'**Anticorodal-64**
type G–Al Si 6 Mg Ti
Le **Silafont-25**
type G–Al Si 11 Mg
Le **Silafont-30**
type G–Al Si 9 Mg
L'**Alufont-42**
type G–Al Cu 5 Ti

D'autres types d'alliages contenus dans la norme VSM 10 895, dont:

Le **Silafont-14**
type G–Al Si 13
Le **Silafont-64**
type G–Al Si 10
Le **Peraluman-34**
type G–Al Mg 3 Ti
L'**Unifont-54**
type G–Al Zn 5 Mg Cr

sont des alliages de fonderie ne subissant pas de traitement thermique.
Leur charge de rupture est comprise entre 140 et 200 N/mm².
Ces alliages peuvent se mouler en sable pour des pièces de toutes formes et dimensions. On les moule aussi en coquille, ce qui est avantageux pour de grandes et moyennes séries. Les pièces moulées en coquille ont meilleure apparence, les tolérances sont plus serrées et les caractéristiques mécaniques plus élevées.

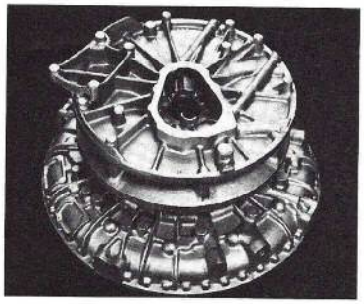


Fig. 7–14
Carter de moteur d'hélicoptère
— alliage de magnésium coulé en sable

7. 1. 5. Alliages de cuivre (bronzes et laitons)

Le moulage des pièces en **alliages de cuivre** s'effectue aussi par les mêmes méthodes que la fonderie de fonte de fer. On coule en sable à vert ou à sec, en coquille, par centrifugation. Les bronzes centrifugés en coquille d'acier ont une structure plus fine et compacte que ceux moulés en sable.

Les **alliages de cuivre – étain – zinc – plomb, – aluminium** (bronzes) sont employés pour l'exécution des coussinets et douilles de paliers, des glissières et pièces d'accouplement et de frottement, des roues dentées et vis sans fin, de la robinetterie, des pièces de turbines à pompes, des roues à aubes, des éléments de machines diverses.

Les **cuivres – zinc** (laitons) s'utilisent en fonderie pour des pièces de robinetterie, des collecteurs, des graisseurs, des lingots, des pièces d'ornement.

Composition (en général)
Les cuivres – étain (bronzes):
< 80% Cu + Sn + Zn + Pb

Les cuivres – zinc (laitons):
< 60% Cu; 35–40% Zn; Pb

7. 1. 6. Moulage sous pression

Plusieurs groupes d'alliages permettent l'exécution de moulage sous pression:

— les alliages d'aluminium;
— les alliages de zinc avec Al et Mg;
— les alliages de métaux doux à base de Sn et de Pb;
— les alliages de Cu – Sn (bronzes)
— les alliages du Cu – Zn (laitons)

Ces deux derniers peuvent être soudés à l'étain ou brasés.

Voir page N° 254

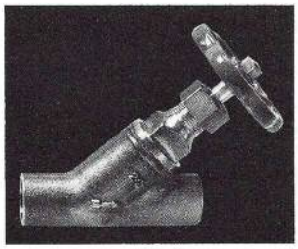


Fig. 7–15
— Vanne oblique
carter en Cu Sn (bronze)
— partie supérieure en Cu Zn (laiton)
— volant en alliage Al coulé en coquille

7

7. 2. Traitements thermiques

Les moulages de fonte grise doivent être refroidis lentement pour éliminer les tensions internes. Ces moulages, en fontes alliées ou non, sont normalement livrés à la consommation tels quels sans traitement thermique. Dans certains cas spéciaux, ils sont toutefois soumis aux traitements suivants:

7. 2. 1. Recuit adoucissant

Ce recuit facilite grandement l'usinage par enlèvement de copeaux. Ce traitement provoque par contre une décomposition avancée de la matrice perlitique; phénomène qui entraîne une diminution relativement importante des caractéristiques mécaniques. Le recuit adoucissant n'entre donc en ligne de compte que pour les qualités de fonte grise qui ne doivent pas satisfaire à des exigences élevées quant aux caractéristiques mécaniques.

7. 2. 2. Recuit de détente

Les pièces exigeant, après usinage, une stabilité dimensionnelle parfaite sont, en général, soumises à un recuit de détente afin d'éliminer toutes tensions indésirables. Il importe de ne stabiliser les moulages qu'après les avoir ébauchés.

7. 2. 3. Trempe

Pour obtenir une résistance plus élevée à l'usure, les moulages sont, selon les cas, trempés à l'eau, à l'huile ou au bain de sel.

7. 2. 4. Trempe superficielle

Pour obtenir une surface localement très dure, on recourt, après usinage, à la trempe superficielle par induction ou au chalumeau.

Les fontes trempables contiennent généralement moins de 20% de ferrite et sont faiblement alliées au Ni, Cr, Mo.

7. 2. 5. Nitruration

C'est la seule méthode de durcissement superficiel des fontes par traitement chimique.

Ces fontes contiennent du Cr et de l'Al, éléments qui favorisent le durcissement par l'azote.

La technique est en principe la même que pour la nitruration de l'acier, avec cette différence toutefois que la fonte à nitrurer doit avoir une structure fine où le graphite doit se trouver en élément fin.

Une des applications principales est la nitruration des chemises de cylindres de moteurs, les chemises étant obtenues par centrifugation, ce qui donne une fonte blanche ou légèrement truitée qui est soumise à un chauffage graphitisant vers 900° C, il se forme ainsi du graphite fin en nodule qui n'affaiblit pas trop la nature de la fonte. Une composition employée est:

C = 2,5 à 2,75%
Si = 2,5 à 2,7 %
Mn = 0,5% environ
Cr = 1,4 à 1,6 %
Al = 0,7 à 1 %

Après graphitisation et revenu vers 800° C, les pièces sont usinées puis subissent le durcissement par nitruration en les chauffant à 525° C pendant soixante-cinq heures dans des caisses étanches, en acier, parcourues par un lent courant de gaz d'ammoniac. L'épaisseur de la couche nitrurée est de 0,2 à 0,3 mm et la dureté Vickers varie entre 850 et 900 (voir chap. 4).

7. 3. Modelage

Introduction

Le modelage mécanique a pour but la confection du modèle utilisé à faire le moule, d'où sortira la pièce coulée.

7. 3. 1. Qualités d'un bon modèle

Le modèle est l'outil du mouleur, il doit être établi de telle sorte que parmi les différentes solutions de moulage possibles, mais de valeurs inégales, il fournisse celle qui simplifie le travail du mouleur et donne à la coulée le maximum de succès.

Il doit être solide, précis et conserver cette précision d'origine malgré les manipulations répétées et l'influence néfaste pour le bois de l'humidité du sable de fonderie.

Les modèles en bois se prêtent mal à l'exécution d'un grand nombre de moulages parce qu'insuffisamment résistants.

Avec l'emploi de plus en plus répandu des machines à mouler, on exécute les modèles en métal ou en parties métalliques, en plâtre, en résine synthétique.

La fonte, l'aluminium, le bronze, le laiton sont les métaux et alliages utilisés. De tels modèles sont toujours d'un prix de revient élevé.

Essences utilisées en modelage

Le bois est utilisé pour son prix modique et ses facilités de mise en œuvre.

Le bois sur pied ou bois vert a une teneur en eau, selon les essences, de 35 à 50% de son poids. Abattu, il sèche et perd une grande partie d'eau, mais il n'a jamais une parfaite siccité, qui varie avec l'état hygrométrique de l'air.

Le bois sec et convenablement verni est soustrait à ces variations d'humidité de l'air; c'est sous cette forme qu'il trouve son emploi en modelage, et peut être considéré comme une matière stable, présentant de suffisantes garanties d'indéformabilité.

Les bois se classent suivant leur dureté en bois durs, bois demi-durs, bois tendres, bois résineux.

Les essences destinées à la confection des modèles sont celles qui sont peu sujettes aux déformations et qui se travaillent aisément à l'outil.

Le sorbier, le poirier, le noyer, le chêne, l'orme dans la catégorie des bois durs, ont un grain fin et serré, ils se laissent travailler dans tous les sens, et sont susceptibles d'un beau poli.

On exécute avec ces bois des modèles de série, c'est-à-dire pour la réalisation de plusieurs centaines de pièces.

Pour les modèles de demi-série, c'est-à-dire quelques dizaines de pièces à mouler, et de petites dimensions, l'aune est utilisé tandis que les détails se font en noyer.

Les modèles de plus grandes dimensions se font en chêne, en hêtre ou en orme.

Les modèles légers servant à exécuter quelques pièces se font en pin ou en sapin.

On utilise de plus en plus des bois améliorés, soit Multiplis, bois imprégnés, ainsi que des résines synthétiques.

Exécution des modèles en bois

Il n'est pas de pièces de formes si complexes soient-elles qui ne puissent être moulées. Mais il est utile que le dessinateur, le modeleur et le mouleur, lors de certains cas délicats, s'enten-

dent pour étudier les formes les plus rationnelles.

En général, un modèle établi pour un sens de moulage ne peut être moulé que dans la position inverse (fig. 7–16). Sur six sens de moulage d'une pièce, trois sont pris en considération.

Retrait

En réalité le modèle n'est pas l'exacte reproduction de la pièce. Un examen détaillé montre que les dimensions de la pièce moulée sont inférieures à celles du modèle. Ces différences proviennent du retrait du métal au refroidissement.

Le retrait se manifeste dans toutes les directions et varie avec la nature du métal et le volume de la pièce. Les valeurs moyennes du retrait des métaux et alliages usuels adoptés sont les suivantes, généralement:

Fonte	10 mm par m	10‰
Aluminium	12 mm par m	12‰
Bronze	15 mm par m	15‰
Acier coulé et fonte malléable	20 mm par m	20‰

Le modeleur utilise pour ses mesures un mètre à retrait qui lui évite les calculs que nécessiterait un mètre ordinaire.

Un mètre à retrait de 10 a une longueur de 1000 + 10 = 1010 mm divisé en 1000 parties égales.

Un réglet de 500 mm, au retrait de 15, a une longueur de 500 + 7,5 = 507,5 mm divisé en 500 parties égales.

Surépaisseurs d'usinage

Les surfaces devant satisfaire à de rigoureuses conditions de position et de précision sont usinées. Cet usinage se fait toujours par enlèvement de métal à froid à l'aide d'outils tranchants. Il est donc nécessaire de prévoir des surépaisseurs d'usinage.

La valeur de ces surépaisseurs ne peut être fixée d'une manière absolue. On adopte généralement l'ordre de grandeur suivant: 3 à 12 mm pour les moulages en fonte et en acier, 1 à 6 mm pour les moulages en aluminium et en alliages de cuivre.

Les surépaisseurs d'usinage varient en fonction des dimensions des pièces à réaliser.

Elles peuvent aussi être utilisées pour corriger certain défaut de fonderie, difficile à prévoir, tel que le voilage des pièces longues et minces.

Masselottes

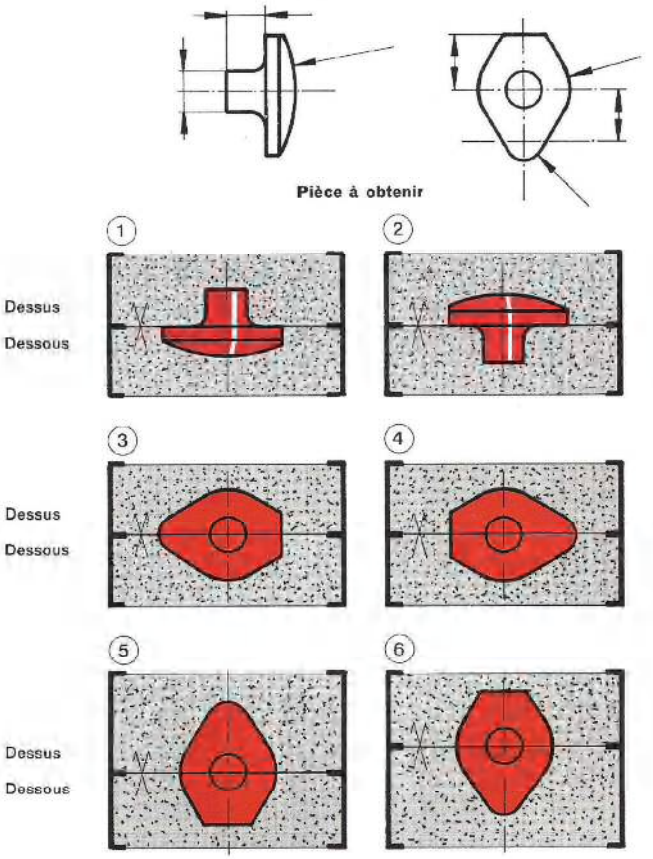
Les parties extérieures des pièces volumineuses se solidifient les premières. Le retrait se fait au détriment de la partie centrale où peut se produire un manque de matière nommé retassure (fig. 7–17). On peut éviter cet inconvénient en prévoyant des formes comportant des épaisseurs aussi régulières que possible en évitant des masses importantes de métal.

Si des parties massives s'imposent, on évitera la retassure en utilisant des masselottes dont le métal encore liquide servira à alimenter la pièce jusqu'à solidification complète; ainsi la retassure s'effectue au détriment de la masselotte et non pas à celui de la pièce.

La masselotte est donc une forme pleine, massive, que le modeleur prévoit raccorder à la pièce par une section de rupture.

On prévoit aussi des masselottes lorsqu'on exige des parties parfaitement saines; les impuretés se rassemblent dans les masselottes et sont ainsi éliminées de la pièce (lavage).

Différents sens de moulage d'une pièce Fig. 7–16

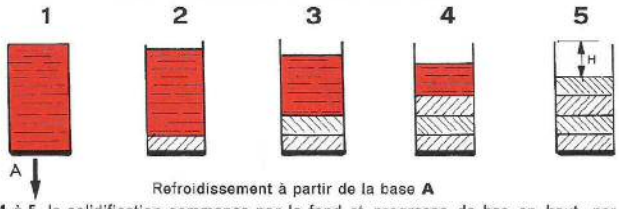


Le choix du bon sens de moulage est établi en fonction des impératifs de la pièce, ainsi que des techniques de fabrication de la fonderie devant exécuter la pièce

Théorie du refroidissement d'un bain

Fig. 7–17

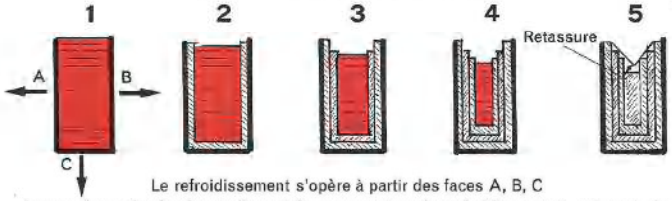
Refroidissement par couches horizontales



Refroidissement à partir de la base **A**

De **1** à **5**, la solidification commence par le fond et progresse de bas en haut, par couches. Le niveau du métal liquide baisse; ceci est dû au retrait du métal se solidifiant. En 5, tout le métal s'est solidifié; H représente le retrait pris par le métal au cours de son refroidissement.

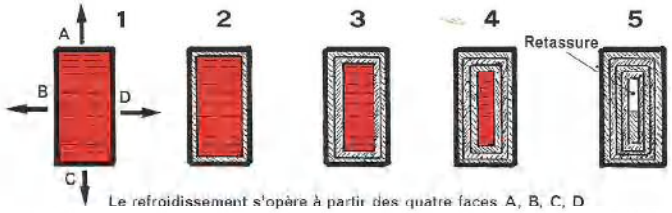
Refroidissement d'un bain découvert



Le refroidissement s'opère à partir des faces A, B, C

Les surfaces hachurées indiquent la progression du refroidissement qui part de l'extérieur, par couches successives, et avance vers le centre du bain suivant trois directions, chaque couche prenant son retrait à sa solidification en 5. Le retrait des différentes couches a créé une cavité en V (retassure).

Refroidissement d'un bain fermé

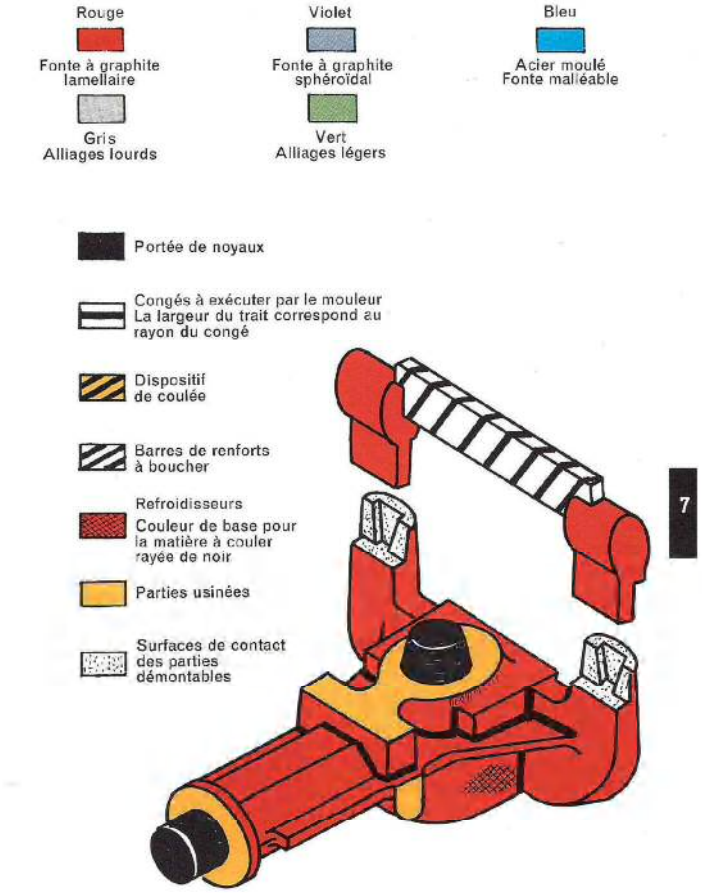


Le refroidissement s'opère à partir des quatre faces A, B, C, D

Le refroidissement se produit par couches parallèles à partir des quatre faces. A la fin du refroidissement, il reste une cavité intérieure vide de métal appelée retassure interne.

7. 3. 2.
Couleurs conventionnelles des modèles et des boîtes à noyaux

VSM 16 500



7

Si des masselottes ne peuvent se faire, le mouleur place des évents convenablement disposés jouant le rôle de masselottes.

7. 3. 3. Dépouille

La dépouille des modèles, de 2% environ, est nécessaire de chaque côté du joint pour faciliter le démoulage (fig. 7–18).

La dépouille varie en fonction de la hauteur des pièces: plus les pièces sont hautes, plus les angles de dépouille diminuent.
Selon les impératifs du dessin et d'entente avec le constructeur, le modeleur répartira les dépouilles comme suit:

— dépouille en plus;
— dépouille en moins;
— dépouille partagée (fig. 7–19).

Modèles démontables ou en partie démontables

Les exigences du moulage peuvent conduire à fractionner le modèle. Il peut présenter deux dispositions:

a) le modèle en deux parties;
b) le modèle démontable ou en parties démontables par nécessité de moulage.

Il n'est pas toujours indispensable de prévoir un modèle en deux parties, mais celui-ci facilite la confection du moule. Le modèle démontable par nécessité de moulage est indispensable lorsque le moulage avec chape est adopté, ou lorsqu'une partie du modèle s'oppose au démoulage (contre-dépouille).

Le fait pour un modèle d'être démontable permet de laisser dans le sable la partie démontable lors du démoulage de la partie principale. La partie démontable est ensuite retirée du moule.
Pour le moulage en grande et moyenne série, les parties démontables seront remplacées soit:

— par des noyaux (qui renchérissent le prix de la pièce);
— par un faux joint creusé dans la plaque modèle;
— quelquefois, par une petite modification de la forme d'un bossage, on peut amener ce dernier dans le plan de joint.

Portées de noyaux

Ce sont des adjonctions au modèle qui imprimeront dans le moule des logements pour recevoir et positionner les noyaux.
Les appuis doivent avoir une section suffisante pour supporter le poids du noyau et pour résister à la poussée ascendante du métal liquide au moment de la coulée. Les portées doivent être établies de telle sorte que le noyau trouve aisément sa place dans les empreintes laissées dans le moule, et ceci sans erreur possible (fig. 7–21).

Outre le rôle de positionnement, les portées de noyaux ont une autre fonction très importante pour la santé de la pièce: en effet, c'est la seule liaison entre les parties intérieures et extérieures du moule qui permette de canaliser et d'évacuer à l'extérieur du moule les gaz créés au moment de la coulée du moule.

Dépouilles

Extraction du modèle

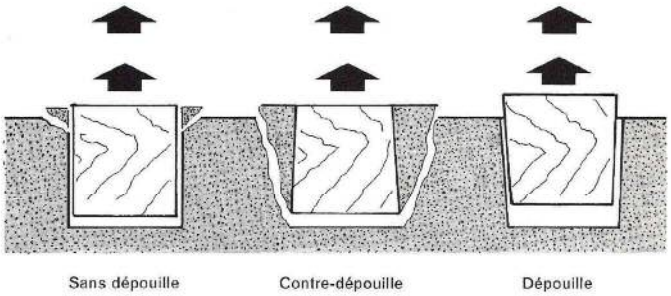


Fig. 7–18

Répartition des dépouilles

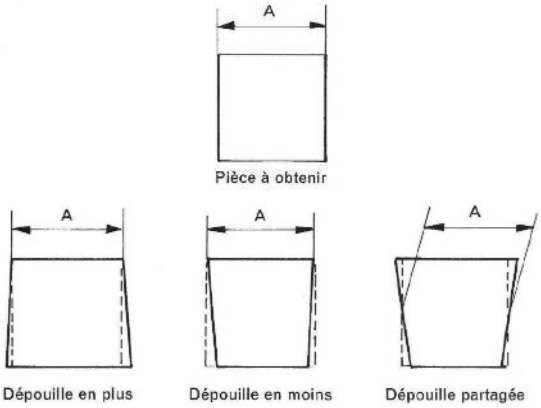


Fig. 7–19

7

7. 3. 4. Les boîtes à noyaux

Ces boîtes sont des formes, généralement en bois, destinées à la fabrication des noyaux.
Ces boîtes à noyaux comprennent l'empreinte en négatif de la portion de la pièce à obtenir et celle de la ou des portées (fig. 7-20).
Ces empreintes sont établies avec les dépouilles nécessaires pour permettre le déboîtage des noyaux.

Matériaux utilisés pour la construction des boîtes à noyaux

Les boîtes en bois sont le plus couramment employées en fonderie. Ce sont les mêmes essences de bois utilisées pour les modèles qui sont employées pour la construction des boîtes à noyaux.
Pour le noyautage en grande série, les boîtes sont métalliques, généralement en fonte ou en acier.
Pour des séries moins importantes, les résines synthétiques sont employées pour leur facilité de mise en œuvre et un prix de revient plus bas qu'une boîte métallique.

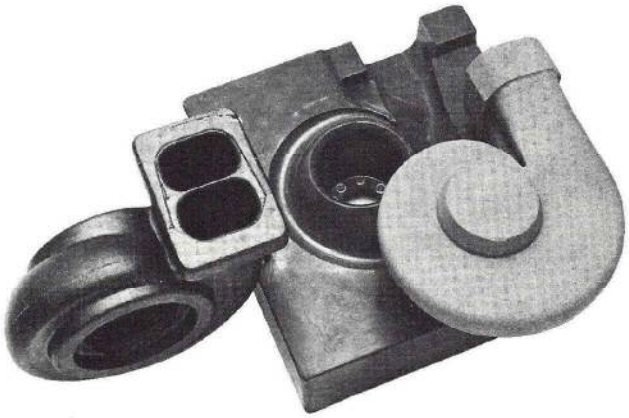


Fig. 7-20 Noyau et demi-boîte à noyau de corps de turbocompresseur

7. 4. Noyautage

7. 4. 1. Les noyaux

Un noyau est une pièce en sable confectionnée dans une boîte à noyau et que l'on met en place dans le moule au moyen de portées.

Les noyaux ont pour but:

- d'obtenir des évidements dans la pièce (intérieur de la pièce);
- de faciliter le moulage, en remplaçant les parties démontables d'un modèle ou les parties en contre-dépouille.

Les qualités requises à un bon noyau sont:

- la solidité, la réfractairité, la facilité de laisser échapper librement et rapidement les gaz au moment de la coulée;
- de permettre le retrait du métal;
- la cohésion, ou l'aptitude à garder la forme donnée.

De nombreux défauts sont engendrés par des noyaux défectueux. Soufflures, criques, casse du noyau, etc. Très souvent, ces défauts sont à l'origine du rebut de la pièce.

Sable à noyaux

Pour obtenir toutes ces qualités, plusieurs sables peuvent être utilisés.

- Sable au silicate de soude, qui durcit par injection de gaz CO_2. Durcissement par gazage.
- Sable aux résines phénolique ou furanique; toutes deux se durcissent à l'air ambiant par adjonction d'un durcisseur.
- Sable préenrobé pour le procédé « croning », ou sable thermodurcissable pour le noyautage en grande série et de précision. Ce genre de procédé, exécuté exclusivement avec des outillages métalliques, a l'avantage de donner des noyaux creux, plus légers et donc plus faciles à manipuler.

La fabrication des noyaux, appelée noyautage, doit être très soignée, car la réussite de la pièce dépend en grande partie d'elle.

Le remmoulage

C'est l'opération qui consiste en la pose des noyaux dans le moule et dans l'ordre défini par le sens de moulage.
Cette opération exige une grande attention, et la position des noyaux doit être vérifiée très soigneusement. C'est ici que l'on apprécie les portées de noyaux qui ont imprimé dans le sable le positionnement du noyau. Le nombre de noyaux dans un moule pouvant être illimité selon la complexité de la pièce, il est souhaitable d'établir un projet de construction avec le fondeur pour abaisser le prix de revient d'une pièce difficile.

7. 5. Moulage

Cette opération consiste à exécuter l'empreinte de la pièce à obtenir (cette empreinte se nomme moule), puis à couler le métal en fusion. Les moules sont réalisés en sable serré autour du modèle dans des châssis. Le serrage a pour but de transformer le sable meuble en un moule gardant l'empreinte d'un modèle donné et résistant aux efforts engendrés par la coulée.
L'opération de serrage est très importante et doit être conduite avec beaucoup de soins.

Une grande partie de la réussite d'une pièce dépend du serrage.

Notions de rigidité du moule.

7. 5. 1. Les châssis

Les châssis sont des cadres, généralement en fonte, qui servent à maintenir le sable du moule et à faciliter ses manipulations. Ils sont carrés ou rectangulaires, normalisés pour une utilisation rationnelle. Les châssis comprennent: le dessus, le dessous et une ou plusieurs parties intermédiaires ou chapes. Ils portent à l'intérieur des nervures qui retiennent le sable et, à l'extérieur, des oreilles qui reçoivent des goujons permettant l'assemblage précis des différentes parties du moule. Des poignées facilitent la manutention (fig. 7-22).

7. 5. 2. Le sable de fonderie

Les qualités exigées d'un sable de fonderie sont les suivantes:

a) la **réfractairité** lui confère la résistance aux températures élevées. C'est la silice qui, utilisée en forte proportion de 75 à 90%, lui donne cette qualité;

b) la **plasticité**, ou aptitude à épouser les formes du modèle. Elle s'obtient par malaxage des éléments constitutifs du sable, silice+argile+eau;

c) la **cohésion**, ou l'aptitude à conserver les formes;

d) la **perméabilité**, ou aptitude à permettre l'évacuation des gaz formés pendant la coulée. La perméabilité dépend de la grosseur des grains, mais aussi de l'intensité avec laquelle le sable est serré. On l'améliore en y ajoutant de la houille pulvérisée.

Différents sables de moulage utilisés en fonderie

1. **Sable à vert** (silico-argileux). C'est le sable le plus couramment employé pour le moulage dit mécanique.
2. **Sable autodurcissant.** Sable à base de résines furanique ou phénolique qui ont la propriété de durcir à l'air lorsqu'elles sont mélangées avec un durcisseur.
3. **Sable thermodurcissable.** Sable à base de résine phénolique qui durcit au contact de la chaleur. (Procédé « croning ».) Pour utiliser ce sable, il est nécessaire de posséder un outillage métallique.
4. **Sable au ciment.** Utilisé pour le moulage de grosses pièces en acier ou en fonte à graphite sphéroïdal.

7. 5. 3. Moulage à vert

Procédé utilisé pour les petites pièces ou pour celles qui ne subiront que peu d'usinage.
Il faut un sable assez poreux, car toute l'humidité reste dans le moule et sera dégagée lors de la coulée. On ajoute au sable de la houille pulvérisée (appelée noir animal) dans une proportion de 1 à 10 pour les pièces minces et 1 à 8 pour les grosses pièces. Il faut plutôt un sable maigre, puisque l'argile ne facilite pas l'évacuation des gaz.

7. 5. 4. Moulage avec modèle

A. Moulage à découvert

Ces moules s'exécutent en général sur le sol même de la fonderie. On refoule le sol qui a déjà servi pour les précédentes coulées et on passe le sable dans un crible, on y ajoute du sable à mouler frais et l'on aplanit la surface qui doit être parfaitement nivelée.

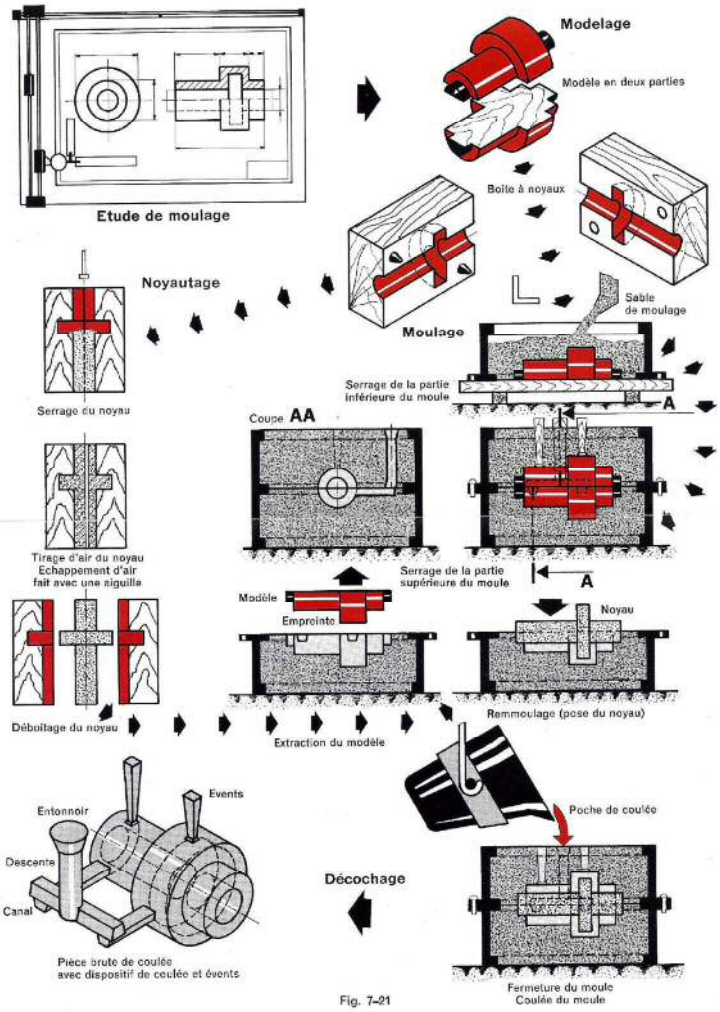


Fig. 7-21

Chantier de moulage mécanique

Fig. 7-22

Ensuite on imprime le modèle dans le sable à l'aide d'un maillet, on vérifie avec un niveau que le modèle soit bien horizontal et on enlève le sable qui s'est soulevé autour du modèle. Il suffit alors de retirer le modèle pour avoir confectionné le moule.
Pour retirer le modèle, il faut d'abord l'ébranler en frappant à petits coups avec un maillet, puis on le soulève avec un crochet ou à l'aide de pitons fixés dans le modèle.
Le modèle étant enlevé, on répare avec la spatule l'intérieur du moule qui est toujours plus ou moins détérioré, puis on perce avec une aiguille de 3 mm des petits trous dans le sable qui pénètrent aussi loin que possible pour le dégagement des gaz, enfin on saupoudre de graphite en poudre. Ce moulage dans le sol de la fonderie est le procédé le plus économique pour les objets de forme simple. La partie de la pièce exposée à l'air doit naturellement être plane; elle est rarement exempte de dartres, bosses et soufflures.

B. Moulage conventionnel

On conçoit aisément que, pour mouler une pièce (voir fig. 7-21), il est nécessaire d'avoir un moule en deux parties, divisé suivant l'axe de la pièce. On dit que le joint passe par l'axe.
Dans un châssis posé sur la planche à mouler, on pose le demi-modèle, on remplit le châssis de sable que l'on serre. On le retourne, et la surface de ce châssis est bien aplanie, puis passée au graphite en poudre.
La deuxième moitié du modèle est mise en place sur la première.
Le deuxième châssis est posé et repéré sur le premier. On remplit de sable bien serré. On enlève les goujons de repérage des châssis. On soulève, puis retourne ce deuxième châssis dont la surface est également passée au graphite. Le modèle est retiré des deux châssis. Il reste à façonner le trou de coulée ainsi que les évents, et l'on peut remettre les deux châssis ensemble; le moule fermé est prêt pour la coulée.

7. 5. 5. Moulage de grosses pièces en fonte grise ou en acier coulé

Ces pièces, d'un poids jusqu'à 120 tonnes et de grandes dimensions, sont coulées dans des fosses de moulage bétonnées et dans de robustes châssis. Les moules sont construits pour résister à la poussée montante du métal par des traverses disposées sur les châssis et fixées au bord de la fosse par des tirants. Un distributeur de sable mobile, alimenté par un silo transportable, remplit le châssis.

7. 5. 6. Moulage en coquille

Il existe d'autres moules que ceux en sable. Ce sont les moules en fer ou en acier, pour obtenir de la fonte trempée ou durcie.
Lorsque la fonte en fusion arrive brusquement sur des surfaces de métal froides, il se forme une couche de 10 à 35 mm de fonte dure et brillante, résultant de la transformation de la fonte grise de moulage en fonte blanche beaucoup plus dure et inattaquable à l'outil.
Ce procédé est utilisé pour des pièces devant résister au feu ou devant être très dures, telles que les barreaux de grilles, les cylindres de laminoirs, les croisements et les pointes de cœur pour chemin de fer.

7. 5. 7. Moulage mécanique

(fig. 7-22)

Afin d'effectuer plus rapidement et plus régulièrement les principales opérations de moulage, on a conçu des machines à mouler. Elles réalisent en général le pressage du sable et le démoulage. Elles utilisent des modèles spéciaux: les plaques modèles et les châssis spéciaux. Plusieurs types de machines sont utilisés. Les machines à compression genre presse: le plateau serreur est commandé soit à la main, soit par pression hydraulique (50 bars), soit à l'air comprimé.
Les machines à secousses, généralement mues à l'air comprimé, qui pressent le sable par tassement.
Les machines mixtes, qui agissent par secousses et par compression.
Le démoulage s'effectue par effacement convenablement guidé de la plaque modèle ou du châssis.
Selon les séries à effectuer, les modèles sont exécutés avec des matériaux différents: la fonte, le bronze, l'aluminium, le régule (alliage de plomb et d'antimoine), la résine époxyde ou le bois; le plâtre est quelquefois encore utilisé.

7. 5. 8. Moulage en carapace

Ce procédé de moulage utilise un sable thermodurcissable. Les modèles et les plaques modèles sont métalliques et chauffés au gaz ou à l'électricité, à une température avoisinant 250° C. Le sable est versé sur la plaque modèle et se durcit au bout de quelques secondes (temps de cuisson qui varie en fonction de l'épaisseur de la carapace pour résister aux pressions engendrées par la coulée).
Le sable non durci est enlevé par retournement de la plaque modèle, et la carapace est démoulée par des poussoirs, ensuite assemblée pour donner le moule.
Ce genre de moulage n'utilise aucun châssis, les carapaces pouvant être coulées sans être noyées dans du sable de moulage conventionnel.
La précision obtenue par ce genre de moulage est de l'ordre de 0,3 mm. Ce procédé n'est utilisé que pour la très grande série de pièces de petites dimensions.

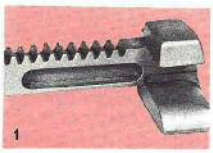
Fonte de précision SULZER

Le procédé de la fonte de précision se caractérise par la coulée des charges dans des moules monoblocs chauds en céramique. Ces moules sont confectionnés à l'aide de modèles en urée solubles dans l'eau.
La fonte de précision offre au constructeur de nombreux avantages.

Procédé

Pour toutes les pièces en fonte de précision, il faut d'abord mouler des « modèles perdus », à l'aide d'un moule à transfert, sur une presse à matières plastiques (A). La stabilité et la précision dimensionnelle de ces modèles sont des conditions essentielles pour l'obtention d'un moulage conforme aux cotes prescrites. Par exemple, la maison Sulzer a mis au point un matériau de modelage spécial, à base d'urée, qui présente les caractéristiques précitées et qui est de surcroît soluble dans l'eau. Les différentes parties du modèle sont ensuite assemblées sous forme d'unités complètes (B). Les grappes ainsi formées sont, alternativement et plusieurs fois de suite, immergées dans une masse de céramique (C) et enrobées de matériaux réfractaires (D) jusqu'à ce que les modèles soient entourés d'une coquille résistante (E). Au cours de cette opération, un manipulateur d'immersion assure une qualité constante de coquilles.
Après le durcissement complet des coquilles à l'air, les modèles en urée sont dissous avec de l'eau et cuits à une température d'environ 1050° C (F).
Le métal en fusion est coulé dans les coquilles chaudes, ce qui a l'avantage de permettre un bon remplissage des sections minces et complexes (G).
Après le refroidissement, la fonte est débarrassée de la coquille par martelage ou vibrage (H), les différentes parties sont séparées (I), puis il est procédé, suivant la nature de la pièce et de l'alliage, à divers traitements complémentaires et contrôles.

7. 6. Moulage de précision ou moulage à la cire perdue



1

2

1 à 5. Diverses petites pièces, soumises à de hautes sollicitations, pour la construction d'appareils.

6. Les endoprothèses d'articulations coxales fabriquées en métal à base de cobalt-nickel, allié au chrome-molybdène et compatible avec l'organisme humain.

7. Deux roues à aubes pour turbosoufflantes de suralimentation à gaz d'échappement; diamètres 80 et 94 mm, vitesses jusqu'à 80 000 t/min, à des températures de service d'environ 800° C; matériau: alliage à base de cobalt résistant aux températures élevées, poids unitaires 325 et 600 g.

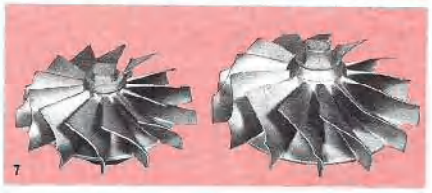
8. Châssis de magnétophone; matériau: G-X 6 CrNiMoNb 18 12, poids 790 g, longueur 200 mm.

3

4

5

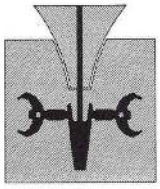
6



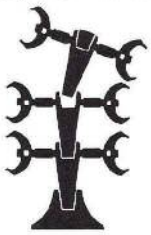
7

8

Un exemple, d'après le procédé de la fonte de précision Sulzer, de levier pour la construction d'appareils électriques (représentation schématique des diverses phases de travail):

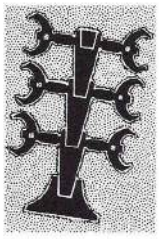


A) Moulage par injection des modèles en urée

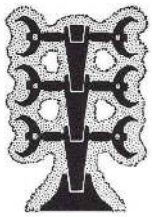


B) Assemblage des diverses parties du modèle sous forme de grappe

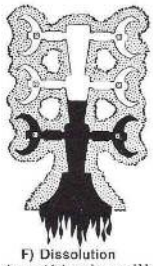
C) Immersion par manipulateur dans la masse de céramique réfractaire



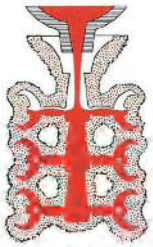
D) Enrobage de sable par manipulateur



E) Formation de la coquille après plusieurs immersions et enrobages de sable

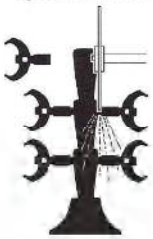


F) Dissolution du matériau du modèle — cuisson de la coquille



G) Coulée du métal dans la coquille incandescente

H) Enlèvement par martelage ou vibrage de la coquille devenue friable



I) Séparation et meulage des pièces finies — contrôles

7

7. 7. Moulage sous pression

(fig. 7-23)

Ce moulage se fait dans un moule métallique dont le remplissage s'effectue par une machine qui injecte le métal à l'état liquide (pâteux pour l'alliage Cu-Zn — laiton). Ces moules sont en aciers spéciaux et d'un usinage coûteux. Seules des séries de 5000 à 10 000 pièces sont avantageusement coulées sous pression.

L'usinage est négligeable: filets, moletage, marques viennent directement de fonderie. La planéité des faces est de l'ordre de 0,02 mm. Les pièces ont une forte résistance mécanique. Les surfaces se polissent facilement et se prêtent à la peinture. Les parois de 1 mm d'épaisseur peuvent être obtenues aisément. L'injection se fait au moyen d'un piston, commandé pneumatiquement ou hydrauliquement. Le fluide utilisé réalise aussi la fermeture des coquilles et l'éjection des pièces. Ces machines sont manœuvrées à la main ou automatiquement. Elles ont un four pour la fusion de l'alliage à température constante.

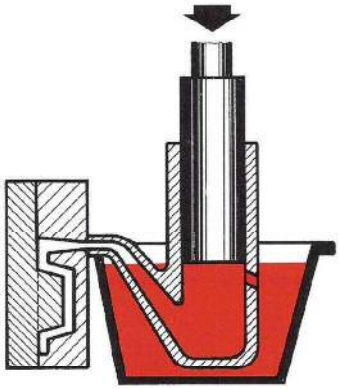
La pression est de l'ordre de 8 à 15 bars pour les alliages plomb-antimoine-étain; plus forte pour les alliages de zinc ou d'aluminium et jusqu'à 120 bars pour l'alliage Cu-Zn (laiton).

Le moulage sous pression offre les avantages suivants

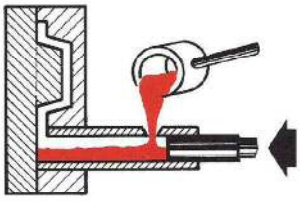
1. Fabrication en série de pièces simples ou compliquées.
2. Poids unitaire jusqu'à plusieurs kilos.
3. Propreté des surfaces et des arêtes.
4. Parois minces.
5. Uniformité et précision élevées, interchangeabilité.
6. Possibilité de mouler sans usinage subséquent des évidements, trous, inscriptions, nervures, rainures, bossages, œillets, etc.
7. Insertion de corps étrangers tels que coussinets, chevilles, axes, etc., aux endroits soumis à des efforts mécaniques élevés, ce qui augmente considérablement les possibilités d'application.
8. Production de grandes séries sans renouvellement du moule.
9. Minimum d'usinage des pièces moulées.
10. Economie maximale de travail, de matière, d'espace et de temps.

Alliages		Aluminium	Cuivre	Zinc
Masse volumique	kg/dm³	2,7	8,5	6,6
Poids maximal	kg	12	1	5
Section projetée maximale de la pièce	cm²	3000	120	1500
Hauteur maximale de la pièce direction démoulage	mm	400	100	200
Epaisseur moyenne des parois	mm	2,5	2,0	2,0
Epaisseur minimale des parois	mm	1,2	1,0	0,6
Module réalisable minimal	module	0,5	1,0	0,3

Principaux procédés de moulage sous pression



Moulage sous pression à chambre chaude
Machine à piston plongeur
Alliages de zinc, de plomb et d'étain

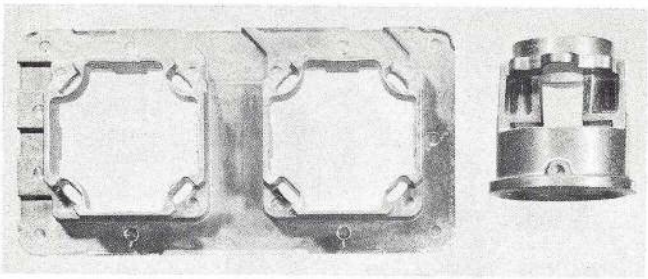


Moulage sous pression à chambre froide

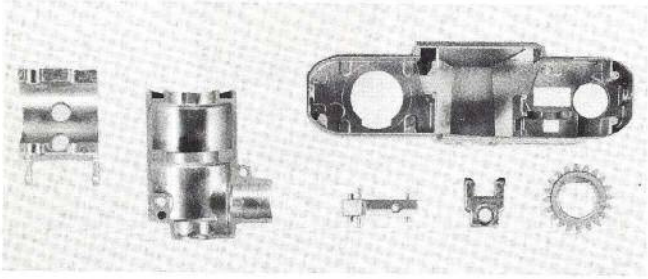
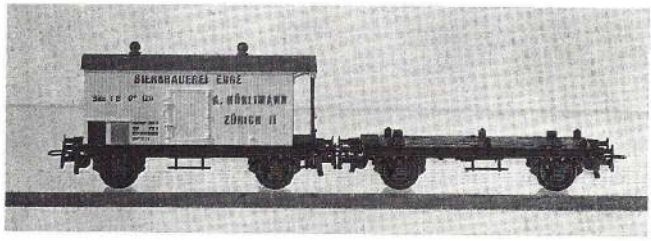
7

Fig. 7-23

Pièces coulées sous pression en alliage d'aluminium



Pièces coulées sous pression en alliage de zinc



Combinaison de pièces moulées sous pression en métal et en matière synthétique (Jouets)