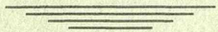




# **TRAVAIL DE TRANSFORMATION DU NICKEL ET DE SES ALLIAGES NON FERREUX**



I<sup>ER</sup> FASCICULE

## **CHAUDRONNAGE, RECUIT ET DÉCAPAGE DU NICKEL PUR, DU MONEL ET DES MAILLECHORTS**



Éditions du  
**CENTRE D'INFORMATION DU NICKEL**  
pour toutes Applications Techniques et Industrielles

7 et 9, Boul. Haussmann, PARIS (9<sup>e</sup>)

22, Place de Brouckère, BRUXELLES



ULTIMHEAT®  
VIRTUAL MUSEUM

# **TRAVAIL DE TRANSFORMATION DU NICKEL ET DE SES ALLIAGES NON FERREUX**



I<sup>ER</sup> FASCICULE

**CHAUDRONNAGE, RECUIT ET DÉCAPAGE DU  
NICKEL PUR, DU MONEL ET DES MAILLECHORTS**





ULTIMHEAT®  
VIRTUAL MUSEUM

## INTRODUCTION

Les ateliers de chaudronnerie sont de plus en plus amenés à travailler les métaux et alliages spéciaux pour satisfaire aux exigences des industries (industrie chimique, industrie des produits alimentaires, etc...) dans lesquelles les caractéristiques mécaniques et les qualités de résistance à la corrosion des appareils utilisés doivent être portées à un haut degré. Le nickel, le Monel et les maillechorts conviennent dans de nombreux cas et voient, de ce fait, leur utilisation, déjà étendue, s'accroître rapidement.

L'industrie des articles ménagers et la déco-

ration d'autre part emploient largement le nickel, le Monel et les maillechorts sous forme d'objets emboutis ou repoussés.

Les divers fabricants peuvent trouver dans le commerce les trois produits envisagés ici sous les formes les plus variés : planches, bandes, tubes, barres, fils, pièces coulées et forgées, etc...

Nous rappellerons brièvement les propriétés générales du nickel, du Monel et des maillechorts avant d'aborder les opérations courantes de chaudronnerie : emboutissage, cintrage, rivetage, etc...

## PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES

### NICKEL PUR

Le nickel associé à sa belle couleur blanche de bonnes propriétés mécaniques et de remarquables qualités de résistance à la corrosion, aussi l'utilise-t-on dans de nombreuses industries, particulièrement dans l'industrie chimique.

Ni + Co	Cu	Fe	C	S	Si	Mn
98,83	0,24	0,20	0,022	0,011	0,17	0,35
99,34	0,04	0,24	0,068	0,008	0,19	0,02
98,73	0,14	0,35	0,104	0,013	0,23	traces
99,67	0,05	0,20	0,019	0,011	0,01	0,35
97,27	0,46	0,39	0,132	0,066	0,23	0,37

Le nickel malléable qu'on trouve dans le commerce sous forme de planches, bandes, tubes, barres, etc..., a une teneur en nickel

plus cobalt variant généralement de 97,50 à 99,50 %. On peut le travailler à chaud et à froid. Nous donnons ci-contre quelques analyses types de nickel malléable de diverses provenances.

A l'état recuit, les caractéristiques du nickel malléable sont :

Charge de rupture.	42 à 52 kg/mm <sup>2</sup> .
Limite élastique	12 à 18 kg/mm <sup>2</sup> .
Allongement % ..	35 à 45.
Dureté Brinell ..	80 à 100.

L'écroutissage élève fortement la limite élastique et la charge de rupture du nickel qui peuvent atteindre respectivement 70 et 100 kg/mm<sup>2</sup>; par contre, il abaisse l'allongement. Le tableau ci-après donne les caractéristiques mécaniques de barres de nickel recuites, laminées à chaud et écrouies.

	Charge de rupture kg/mm <sup>2</sup>	Limite élastique kg/mm <sup>2</sup>	Allongement sur $l = \sqrt{66,67} s$
Barres recuites	44,0		48,5
	44,2	7,4	48
Barres laminées à chaud	52,5	35,8	31
	52,6	35	33
Barres demi-écrouies.	49,8		28
	49,2	37,4	31,5
Barres écrouies dur..	58,8	50,6	16,5
	58,8	50,6	17

La dureté du nickel croît rapidement avec l'écrouissage, comme on peut le voir dans la figure 1. Le nickel écroui est adouci par recuit; les bonnes températures de recuit vont de 750° à 950°.

### MONEL

Le Monel (1) est un cupro-nickel contenant environ 65 à 70 % de nickel et 25 à 30 % de cuivre, les autres éléments étant principalement du fer et du manganèse avec un peu de silicium et de carbone. Nous donnons ci-dessous quelques analyses types de Monel.

Ni	Cu	Fe	C	S	Si	Mn
66,68	29,42	3,05			0,15	0,55
66,85	28,67	3,64				0,51
67,32	28,73	1,74	0,31	0,035	0,19	1,66
66,58	29,57	1,78		0,06	0,09	1,79
67,22	29,12	2,94				0,32

D'une belle couleur blanche comme le nickel, le Monel résiste bien à l'oxydation et à de nombreux agents corrosifs. On l'utilise beaucoup dans l'industrie chimique, les installations de décapage, etc... Sa bonne tenue en présence de la vapeur surchauffée est bien connue (construction des aubes de turbine). Le Monel peut être travaillé à chaud et à froid. Ses caractéristiques mécaniques sont à l'état recuit :

Charge de rupture.	47 à 55 kg/mm <sup>2</sup> .
Limite élastique	20 à 25 kg/mm <sup>2</sup> .
Allongement %	30 à 45.
Dureté Brinell	100 à 120.

(1) La marque Monel est déposée.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs des caractéristiques mécaniques habituellement trouvées sur des barres, planches et fils de Monel.

	Charge de rupture kg/mm <sup>2</sup>	Limite élastique kg/mm <sup>2</sup>	Allongement % sur $l = \sqrt{66,67} S$
Barres laminées à chaud . . . . .	55 à 65	30 à 40	30 à 40
Barres étirées à froid. . . . .	74 à 80	70 à 75	11 à 16
Planches recuites . . . . .	47 à 55	20 à 25	30 à 45
Planches écrouies . . . . .	60 à 65	32 à 40	30 à 35
Fil écroui « dur » . . . . .	80 à 100	72 à 90	10 à 15

Sur les figures 1 et 2, on voit l'influence de l'écrouissage sur les propriétés mécaniques; on peut remarquer (fig. 1) que le Monel s'écrouit plus vite que le nickel. Le tableau ci-après montre l'influence de l'écrouissage sur la charge de rupture et l'allongement du Monel recuit, d'après Webster (2).

(2) WEBSTER : Influence de l'écrouissage sur les propriétés physiques des métaux. Proc. Intern. Assoc. Testing Materials, 1912, VII, 6.

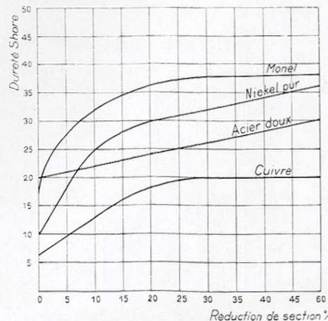


Fig. 1. — Influence de l'écrouissage sur la dureté du Nickel et du Monel.

	Charge de rupture kg/mm <sup>2</sup>	Allongement % (sur 100 mm)
Monel recuit . . . .	55	26
— écroui 20 %	74	4
— — 40	86	3
— — 60	96	2

Le Monel écroui est adouci par recuit, ce dernier se faisant aux mêmes températures que pour le nickel. Dans le tableau ci-dessous, on trouvera les duretés Shore et Rockwell correspondant à différentes qualités de planches commerciales de Monel et de nickel.

Planches laminées à froid	Monel		Nickel	
	Dureté Shore	Dureté Rock- well	Dureté Shore	Dureté Rock- well
Recuites . . . . .	16	60	12	55
Légèrement écrouies . . . . .	17-20	61-73	13-16	56-70
Quart dures . . . . .	21-24	74-82	17-20	71-79
Mi-dures . . . . .	25-30	83-89	21-25	80-85
Trois-quart dures . . . . .	31-35	90-93	26-29	86-91
Dures . . . . .	36-40	94-97	30-35	92-95
Très dures . . . . .	40	98 et plus	35	95 et plus

### MAILLECHORTS

Les maillechorts sont des alliages de cuivre, de nickel et de zinc qu'on peut classer en deux catégories :

Les maillechorts du type laminable à froid contenant environ 60 % de cuivre;

Les maillechorts du type laminable ou filable à chaud contenant environ 45 % de cuivre.

Les maillechorts de la première catégorie ont une composition qui varie dans des limites assez étendues : le cuivre de 55 à 65 % le nickel de 7 à 30 % et le zinc de 10 à 35 %; les alliages les plus courants contiennent 60 % de cuivre avec une teneur en nickel qui varie de 10 à 25 %.

Les maillechorts de la deuxième catégorie ont une teneur en cuivre et en nickel variant respectivement de 40 à 55 % et de 8 à 18 %; le pourcentage cuivre + nickel n'excède

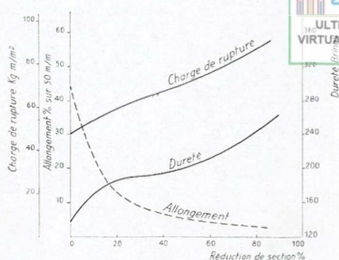


Fig. 2. Influence de l'écrouissage sur les propriétés mécaniques du Monel.

pas 60 % environ, car, pour un pourcentage plus élevé, la constitution de ces alliages ne se prêterait plus au travail à chaud. On les produit par filage à la presse à chaud sous forme de barres, tubes et profilés (voir fig. 3) qu'on utilise comme supports, encadrements, etc... Des compositions courantes de filage sont les suivantes :

Cu = 54	Ni = 8	Zn = 38
Cu = 48	Ni = 13	Zn = 39

Nous étudierons surtout les maillechorts de la première catégorie d'un emploi très étendu, particulièrement pour la fabrication des objets emboutis et repoussés. Il existe une grande variété de ces maillechorts; les compositions sont souvent mal définies, aussi a-t-on cherché, pour éviter des confusions aussi préjudiciables au fabricant qu'à l'utilisateur, à fixer des teneurs limites aux constituants des maillechorts utilisés le plus couramment. Une Com-

	Ni	Cu	Zn	Fe (Max.)	Mn (Max.)	Pb (Max.)	Autres impuretés y compris Sn (Max.)
10	10-15	60-65	Différence	0,25	0,30	0,03	0,30
12	11	60-65	—	0,25	0,30	0,03	0,30
15	11	60-65	—	0,30	0,50	0,03	0,30
18	11	60-65	—	0,30	0,50	0,03	0,20
20	11	60-65	—	0,30	0,50	0,02	0,20
25	11	60-65	—	0,30	0,75	0,02	0,20
30	11	60-65	—	0,30	0,75	0,02	0,20

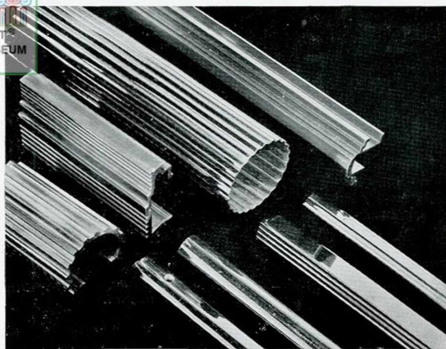


Fig. 3. — Barres et tubes de maillechort filés à la presse  
(ANACONDA NICKEL-SILVER)

mission de la British Standard Institution a étudié cette question et a proposé, pour les alliages laminés, les limites données en le tableau ci-avant <sup>(1)</sup>.

Les dénominations commerciales des maillechorts sont très nombreuses; nous donnons ci-dessous les plus courantes :

Maillechort contenant de :

6 à 8 %	de Ni	— Packfung III ou ordinaire.
10 à 12	de Ni	— Packfung II ou demi-blanc.
15	de Ni	— Packfung I ou blanc.
18	de Ni	— Alpacca ou extra-blanc.
22	de Ni	— Argentan.
25 à 30	de Ni	— Nickeline.

Ces maillechorts se travaillent à froid. Leurs caractéristiques mécaniques croissent avec leur teneur en nickel et ils ont en gros les propriétés des cupro-nickels à même teneur en nickel. Leur couleur est bien blanche lorsque les teneurs en nickel et en zinc sont suffisantes;

<sup>(1)</sup> M. COOK : **The physical properties and annealing characteristics of standard nickel silver alloys.** The Journal of the Institute of Metals, n° 1, 1936, vol. LVIII, pp. 151-171.

pour 60 % de cuivre, par exemple, pourcentage le plus courant, la blancheur est obtenue avec 18 % de nickel.

Bien que ces alliages n'aient pas une résistance à la corrosion aussi bonne que le nickel et le Monel, leur tenue, qui est fonction de leur teneur en nickel, est largement suffisante dans bien des cas et on les emploie beaucoup en orfèvrerie et en décoration. Dans le tableau ci-après <sup>(1)</sup>, nous donnons les caractéristiques mécaniques de quelques maillechorts recuits et écrouis.

On trouvera à la suite les caractéristiques mécaniques présentées habituellement par un maillechort à 62 % de cuivre, 18 % de nickel et 20 % de zinc (Alpacca),

type fréquemment utilisé en décoration et en orfèvrerie.

<sup>(1)</sup> Revue du Nickel, janvier 1934, pp. 16 à 33.

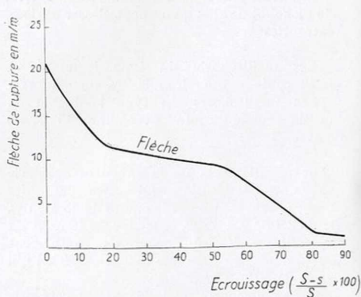


Fig. 4. — Influence de l'écroutissage sur les caractéristiques d'emboutissage d'un maillechort à 57,5 % de cuivre et 15 % de nickel (EMBOUTISSAGE GUILLERY épaisseur 1 mm.).



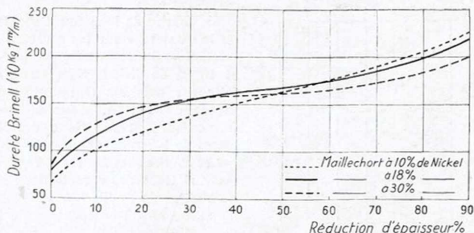


Fig. 5. Influence de l'écroissage sur la dureté des maillechorts.

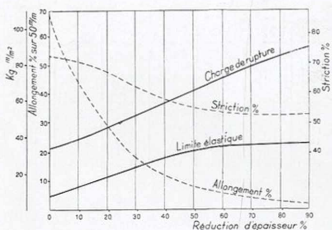


Fig. 6. Influence de l'écroissage sur les propriétés mécaniques d'un maillechort à 10 % de nickel.

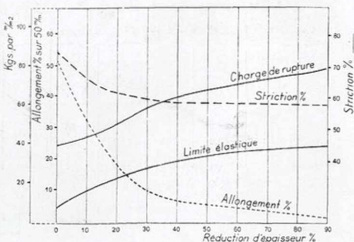


Fig. 7. Influence de l'écroissage sur les propriétés mécaniques d'un maillechort à 18 % de nickel.

La dureté des maillechorts à l'état recuit augmente avec leur teneur en nickel. Jusqu'à des valeurs d'écroissage de l'ordre de 40 % la dureté des maillechorts écrois est d'autant plus élevée que leur teneur en nickel est plus grande, mais pour les forts écroissages ce sont les maillechorts à faible teneur en nickel qui ont la plus grande dureté (voir fig. 5).

Nous donnons à la fin de ce chapitre les duretés de maillechorts à teneur croissante en nickel à l'état recuit et à l'état écroi; ces chiffres sont extraits du travail de Maurice Cook (1) :

Maillechorts recuits et écrois	Recuit à 800°			Écroi à 40 %		
	60	60	60	60	60	60
	9	15	20	9	15	20
Charge de rupture (kg/mm <sup>2</sup> ).....	34	37	40	53	55	63
Limite élastique (kg/mm <sup>2</sup> ).....	12	14	16	32	35	37
Allongement %.....	60	54	52	2	1,5	1,5
Dureté Brinell.....	80	84	99	171	171	183

Maillechort à 62 % Cu, 18 % Ni et 20 % Zn	Charge de rupture kg/mm <sup>2</sup>	Allongement %	Dureté Brinell
Recuit ..	40-46	40-50	75- 95
Quart-dur ..	46-52	30-40	95-115
Demi-dur ...	50-56	20-30	115-140
Trois quart dur.	54-59	10-20	140-165
Dur... ..	57-63	5-15	155-175
Très dur ..	66-72	2- 5	175-185

(1) Loc. cit.

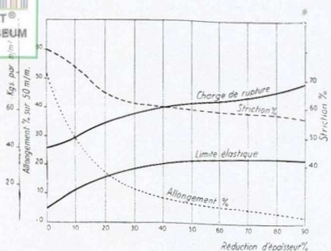


Fig. 8. Influence de l'écrouissage sur les propriétés mécaniques d'un mallechort à 30 % de nickel.

La courbe de la figure 4 montre l'influence de l'écrouissage sur les caractéristiques d'emboutissage d'un mallechort à 57,5 % de cuivre et 15 % de nickel; les essais d'emboutissage faits sur machine Guillery avec des éprouvettes de 1 mm. d'épaisseur étaient conformes aux prescriptions des Normes Françaises de l'Aéronautique.

Les courbes des figures 6, 7 et 8 font ressortir les variations des caractéristiques mécaniques de bandes de mallechorts à 10 %, 18 % et 30 % de nickel en fonction de l'écrouissage; ces indications sont extraites du travail de M. Cook précédemment cité.

Le recuit des mallechorts se fait à des températures variant de 750° à 900° maximum.

10 % de nickel		12 % de nickel		15 % de nickel		18 % de nickel		20 % de nickel		25 % de nickel		30 % de nickel	
Écrouissage %	Dureté Brinell (10/1)	Écrouissage %	Dureté Brinell (10/1)	Écrouissage %	Dureté Brinell (10/1)	Écrouissage %	Dureté Brinell (10/1)	Écrouissage %	Dureté Brinell (10/1)	Écrouissage %	Dureté Brinell (10/1)	Écrouissage %	Dureté Brinell (10/1)
0	68	0	76	0	72	0	76	0	82	0	86	0	83
19,7	122	20,2	129	19,4	132	20,1	140	19,5	142	19,2	150	18,2	146
38,7	156	40,2	165	40,1	163	40,7	168	39,9	170	40,3	168	39,4	159
61,3	181	61,0	184	60,6	182	61,5	181	61,2	185	61,2	185	61,6	173
81,0	207	81,7	204	79,0	200	79,5	200	79,4	196	79,4	194	79,1	184

## CHAUDRONNAGE

La chaudronnerie du nickel et de ses alliages ne nécessite pas un outillage différent de celui qui est utilisé pour l'acier et le cuivre, quelques précautions sont cependant à prendre en ce qui concerne la puissance des machines particulièrement en grosse chaudronnerie où l'on travaille des produits d'épaisseur relativement forte.

La petite chaudronnerie fait surtout l'emboutissage et le repoussage des objets de moyennes

ou faibles dimensions; de nombreux ateliers sont spécialisés dans l'emboutissage et le repoussage pour les travaux de série. Ici encore quelques précautions simples permettront de réussir dans le travail du nickel et de ses alliages.

On peut considérer, d'une façon générale, que le nickel, le Monel et les mallechorts s'écrouissent plus rapidement que les métaux et alliages courants, comme le cuivre et le

laiton; les déformations qu'on pourra leur faire subir seront donc plus faibles.

Le nickel pur bien recuit se rapproche beaucoup du laiton d'emboutissage courant; le Monel vient à peu près sur le même rang que l'acier doux mais s'écroute cependant plus vite (voir fig. 1); quant aux maillechorts, pour les basses teneurs en nickel, ils sont très proches des laitons, mais pour les hautes teneurs en nickel ils se comportent à peu près comme le nickel et le Monel.

Lorsqu'on fait subir des déformations par emboutissage au nickel, au Monel et aux maillechorts, il faut tenir compte de leur écroutissage rapide. La pratique a indiqué que le nickel pouvait être travaillé jusqu'à une dureté de 220 à 230 Brinell et le Monel jusqu'à une dureté de 250 à 280 Brinell; un maillechort courant (Ni = 15 à 18 %) peut être travaillé jusqu'à une dureté d'environ 200 Brinell. Ces chiffres sont à considérer comme des limites indiquant la nécessité du recuit car, lorsqu'ils sont dépassés, le métal peut présenter des criques qui, d'abord superficielles, deviennent profondes pour des déformations plus poussées. Tout recuit devient alors inutile vis-à-vis d'un métal détérioré. Il convient donc de régler les passes pour que les duretés dangereuses indiquées plus haut ne soient pas atteintes.

Dans les travaux de préparation comme le planage, ces duretés sont évidemment rarement atteintes; cependant lorsqu'on réduit des bosses très prononcées, soit au marteau, soit à la machine, on peut créer des écroutissages locaux assez importants; il faut détruire ces derniers en repassant les plaques au recuit avant de les travailler. Lorsqu'on dresse par légère traction au banc il faut veiller à ce que l'allongement réalisé reste le plus faible possible.

## DÉCOUPAGE, POINÇONNAGE

Les tôles planées et tracées sont d'abord découpées à la cisaille ou à la machine. Pour le nickel, le Monel et les maillechorts il est nécessaire d'opérer avec des machines de force largement suffisante; si cette force est insuffisante on n'obtient pas une coupe franche du

métal, car le bord des plaques se couche entre le taillant de la cisaille et la table; le métal subit ainsi un étirage et par suite s'écroute.

On peut poinçonner le nickel et le Monel comme l'acier doux mais une plus grande force est nécessaire. En règle générale il faut utiliser des plaques bien recuites, particulièrement lorsqu'on fait de petits trous. Jusqu'aux épaisseurs de l'ordre de 4 mm. il est recommandé de poinçonner des trous ayant un diamètre supérieur à l'épaisseur des plaques travaillées. Pour les épaisseurs supérieures à 4 mm. on peut exécuter des trous ayant un diamètre égal à l'épaisseur des plaques. Le tableau ci-dessous résume les diamètres des trous à utiliser pour différentes épaisseurs.

ÉPAISSEUR DES PLANCHES	DIAMÈTRE MINIMUM DES TROUS
0,5 à 1 mm	Épaisseur × 1,50 environ
1 à 2	Épaisseur × 1,50 environ
2 à 3	Épaisseur × 1,30 environ
3 à 4 —	Épaisseur × 1,20 environ

Pour les faibles épaisseurs, le jeu entre le poinçon et la matrice peut être le même que dans le cas de l'acier doux, mais pour les fortes épaisseurs (6 mm. et plus), il vaut mieux laisser un jeu légèrement plus fort dans le but d'obtenir des trous propres et sans bavures.

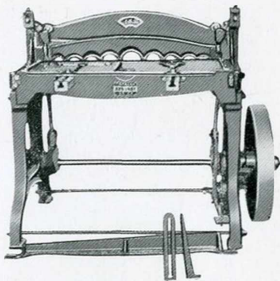


Fig. 9. — Cisaille.

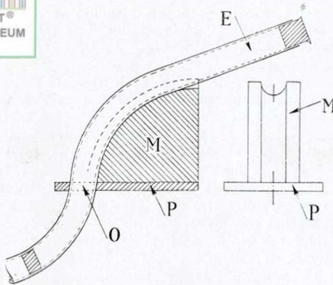


Fig. 10. — *Opération de cintrage d'un tube.*

On doit toujours tenir le poinçon et la matrice en bon état pour éviter les déchirures microscopiques sur le bord des trous.

Les mêmes précautions sont à prendre pour le poinçonnage des maillechorts à haute teneur en nickel (20-25-30 %). Les maillechorts à faible et moyenne teneur en nickel (8-10-15 %), peuvent être poinçonnés de la même façon que le laiton.

**PLIAGE, CINTRAGE**

Le pliage se fait généralement au balancier ou à la molette. La raideur des tôles conduit à donner aux formes ou molettes des angles plus aigus que le produit final.

Le cintrage peut s'effectuer au marteau sur un tas ou au laminoir. On cintré quelquefois à chaud le nickel et le Monel, mais cette pratique n'est guère recommandable car souvent des criques apparaissent (les limites de température seront données dans une brochure spéciale). Le cintrage à froid reste la meilleure méthode. Lorsqu'on cintré au laminoir il ne faut pas oublier qu'il s'agit d'un cintrage et non d'un laminage. On effectuera donc un serrage sans trop de pression; si la pression est trop forte il y aura laminage et nécessité de recuire.

**Cintrage des tubes.** Il faut partir de tubes bien recuits et le cintrage à froid est seul recommandable. En règle générale le rayon de courbure doit être au moins trois fois le diamètre des tubes. Il y a toujours intérêt à remplir les tubes avant cintrage de résine ou de sable surtout lorsqu'ils sont minces; on évite ainsi tout affaissement pendant le cintrage. On voit sur la figure 10 comment l'opération est habituellement conduite : le tube étant bouché aux deux extrémités on l'engage dans le trou O de la plaque P puis on le couche sur la matrice M en pressant sur l'extrémité E, la pression pouvant être exercée à la main ou par un moyen mécanique quelconque.

Pour faire disparaître les plis qui se produisent sur le petit rayon de courbure de la partie cintrée, on fait parfois un léger martelage en évitant l'action directe du marteau par interposition de cuir. Après cintrage et fusion de la résine, ou extraction du sable, il faut toujours recuire. La résine et le sable doivent être enlevés avec soin.

Lorsque le cintrage à effectuer est très pro-

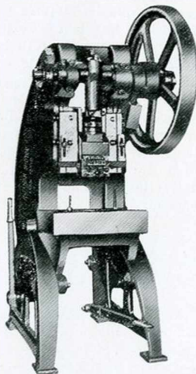


Fig. 11. *Presse à emboutir.*

noncé, il est préférable de faire plusieurs opérations avec recuits intermédiaires.

### EMBOUTISSAGE

D'une façon générale on peut suivre, pour l'emboutissage du nickel et des maillechorts, sensiblement les mêmes principes que pour l'emboutissage du laiton; pour l'emboutissage du Monel on peut suivre à peu près les mêmes principes que pour l'acier doux.

L'emboutissage se fait au marteau ou à la presse. L'emboutissage au marteau à la main est pratiqué par beaucoup de chaudronnier, car il évite, pour de petites séries, la mise au point d'outillages dispendieux. Le nickel et le Monel s'emboutissent rarement à chaud; les maillechorts courants à 60 % de cuivre avec différentes teneurs en nickel ne s'emboutissent pas à chaud.

Prenons le cas classique d'un emboutissage de fond de chaudron au marteau. Pour le cuivre, l'ouvrier emboutit par coups successifs en partant du centre du disque de départ et en décrivant une série de cercles s'éloignant de plus en plus de ce centre. Le principe est le même pour le nickel, le Monel et les maillechorts, cependant il convient de procéder par coups plus nombreux et rapprochés, on évitera en particulier de produire plus de travail à un endroit qu'à un autre. D'une façon générale,

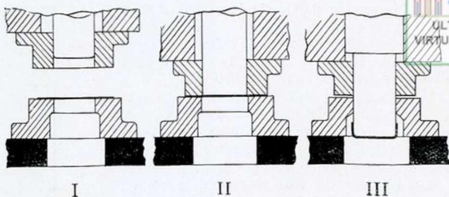


Fig. 13. Opération d'emboutissage. Double effet.

rale, les passes sont plus nombreuses et moins fortes que pour le cuivre et le laiton. On arrête le travail avant l'apparition de criques légères sur les bords qui indiqueraient que la limite de travail serait dépassée et on recuit avant de procéder à une nouvelle passe au marteau.

Lorsqu'on emboutit à froid à la presse du Monel, on adopte de préférence pour chaque opération une réduction de diamètre en même temps qu'une augmentation de profondeur. En première passe, la réduction de diamètre est habituellement de 30 à 35 % du diamètre de la planche initiale. Il y a lieu de noter que la variation de diamètre est en relation avec l'épaisseur de la tôle utilisée. Lorsqu'on emboutit des épaisseurs courantes 1 mm., 12/10, 15/10 on peut envisager des réductions de diamètre de 30 à 35 % en première passe, mais cette réduction de diamètre doit diminuer avec le nombre de passes; au bout de trois ou quatre passes, par exemple, cette réduction varie de 15 à 20 %. Pour les faibles épaisseurs 6/10 et 7/10 plus rarement utilisées, on réalise des réductions plus faibles.

Les passes d'emboutissage doivent être réglées de façon à ce que les criques indiquant l'extrême limite du travail n'apparaissent pas. On se base, comme nous l'avons dit précédemment, sur une dureté de 250 à 280 Brinell. Dès que cette dureté est

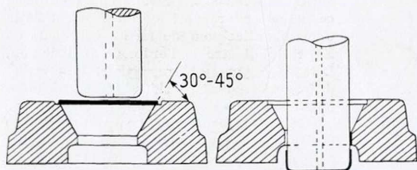


Fig. 12. Opération d'emboutissage. Simple effet.

atteinte par une partie de l'embouti il faut recuire.

On emboutit le nickel de la même façon que le Monel, toutefois on peut généralement envisager des passes plus importantes,

L'emboutissage des maillechorts à haute teneur en nickel s'effectue sensiblement comme celui du nickel. Pour les maillechorts à basse teneur en nickel on peut exécuter à peu près les mêmes passes que pour le laiton.

Les considérations de passes mises à part, divers facteurs interviennent dans l'emboutissage. Ces facteurs sont la constitution des poinçons et matrices, leur forme, leur état, leur lubrification. Les maillechorts, le nickel

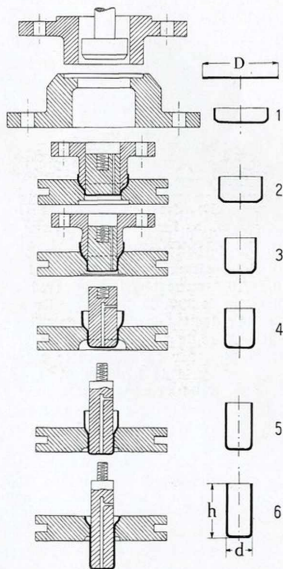


Fig. 14. Opération d'emboutissage (6 passes).

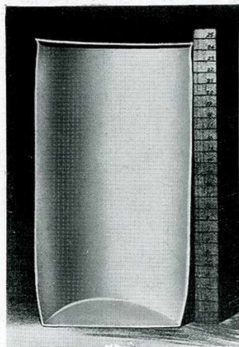


Fig. 15. — Possibilité d'emboutissage du Monel. Pot à crème de 630 mm. de profondeur.

et surtout le Monel ont tendance à adhérer aux outils : il est donc nécessaire d'éviter l'emploi de matrices en métaux ou alliages trop doux car des rayures ou des déchirures pourraient se produire à la surface des emboutis. Pour le Monel, les meilleurs résultats sont obtenus avec les matrices en acier trempé. D'autre part, les matrices utilisées doivent avoir de grands rayons; on évite ainsi tout effet d'arrachage et de cisaillement. Ces rayons interviennent aussi beaucoup dans l'effort à fournir pour l'emboutissage; un rayon insuffisant augmente cet effort. Un certain jeu est également à prévoir dans l'outillage, ce jeu est en rapport avec l'épaisseur de la tôle emboutie; pour de faibles épaisseurs en Monel il doit être de l'ordre de 1/10 de mm. Lorsque ce jeu est trop faible, la pression d'emboutissage est considérablement augmentée.

Lorsqu'on compare l'emboutissage de l'acier à celui du Monel, on constate que ce dernier demande plus de force et moins de vitesse.

Pour éviter tout plissement il faut exécuter

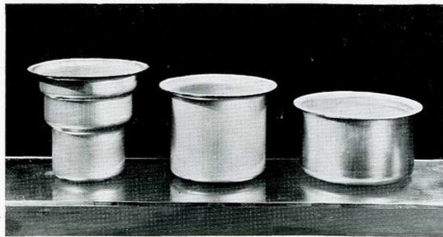


Fig. 16. — Emboutis de maillechort. (ANACONDA NICKEL-SILVER).

un bon réglage de la pression du presse-tôle et des dimensions de la matrice, cette pression

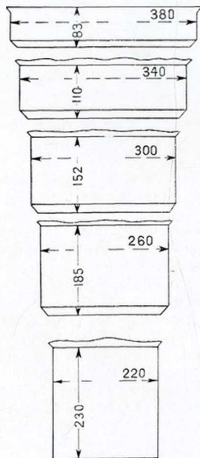


Fig. 17. Méthode d'emboutissage d'une marmite en Monel en 5 passes.

Diamètre 220 mm. Hauteur 230 mm., (flan de 530 mm.).

toutefois ne sera pas trop forte car elle empêcherait le métal de glisser sur l'axe de la matrice. La lubrification joue un rôle important : d'une façon générale on utilise des composés très visqueux comme le suif, la graisse graphitée, on trouve aussi dans le commerce des composés bien étudiés qui donnent de bons résultats.

## REPOUSSAGE

Le repoussage du nickel, du Monel et des maillechorts est intéressant pour les petites séries d'objets et se combine parfois avec l'emboutissage. Il est plus difficile que celui du cuivre, du laiton et de l'aluminium que l'on fait couramment, aussi demande-t-il des ouvriers bien



Fig. 18. Seau à lait embouti en Monel.

exercés; la méthode de travail n'est pas en elle-même sensiblement différente mais une plus grande force est nécessaire.

Avec le Monel on ne peut guère obtenir de formes compliquées par repoussage, aussi se borne-t-on à exécuter des formes simples. Avec un nickel bien recuit, on peut obtenir des



Fig. 19. — Irrigateur en Monel repoussé.

formes compliquées. Les maillechorts à basse teneur en nickel se repoussent à peu près aussi facilement que le laiton avec lequel on obtient des formes très compliquées; le repoussage des maillechorts à haute teneur en nickel est comparable à celui du nickel.

Le repoussage du nickel et du Monel se fait par fortes passes de façon à retoucher le moins possible aux surfaces travaillées; il faut donc déployer une grande force, augmentant avec l'épaisseur des feuilles. Pour diminuer l'effort nécessaire on emploie généralement un dispositif à double levier (fig. 22). Ce dispositif permet de faire pivoter l'outil formant levier sur un autre levier qui est actionné par la main gauche. En actionnant ce dernier levier on augmente la pression exercée par l'outil sur le métal à repousser.

Pour travailler dans de bonnes conditions, il faut toujours employer des mandrins; les meilleurs sont les mandrins durs en laiton ou acier; les mandrins en bois s'usent vite. Comme dans le repoussage du cuivre et du laiton, on utilise des séries de mandrins pour arriver à la forme désirée; pour le nickel et particulière-



Fig. 20. — Ustensiles de laboratoire en nickel repoussé.

ment le Monel, il est nécessaire de faire un plus grand nombre de passes, et par conséquent d'utiliser un plus grand nombre de mandrins. Pour effectuer le repoussage, on peut utiliser les outils courants en laiton, bronze ou acier; ces outils doivent toujours être bien polis. Certains repousseurs préfèrent les outils en bronze dur, d'autres les outils en acier dur, d'une façon générale, on n'utilise pas les outils en acier doux qui ont tendance à gripper et à rayer. La lubrification joue un rôle important; le sulf convient bien, mais les meilleurs résultats sont obtenus avec certains produits spéciaux qu'on trouve dans le commerce.



Fig. 21. — Bassines en Nickel repoussé.

La vitesse du tour intervient dans la réussite du travail. Certains repousseurs emploient des vitesses plus faibles que celles utilisées pour les métaux ou alliages de dureté moins élevée, mais on peut travailler avec les mêmes vitesses. Les vitesses employées varient de 1.000 à 2.000 tours par minute.

La figure 23 donne un exemple de repoussage courant. L'opération est menée de la façon suivante: l'ouvrier tenant l'outil à repousser (voir outils A de la fig. 24) solidement sous le bras, l'appuie sur le flan C en rotation, puis exerce une pression progressive qui amène le flan à épouser la forme du mandrin comme il est représenté en X, mais avant d'obtenir cette forme, il est presque toujours nécessaire de couper le bord du flan pour le rendre régulier; cette opération se fait avec un outil à pointe de diamant (voir outil C de la fig. 24). La forme obtenue en X est recuite, puis subit un nouveau repoussage qui permet d'obtenir



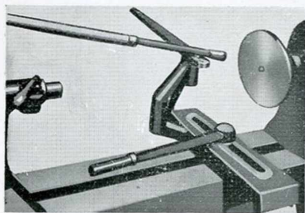


Fig. 22. Tour à repousser avec appareillage à double levier.

la forme donnée en Y. Finalement on plane et adoucit la surface avec un outil spécial (voir outils B de la fig. 24) et on roule le bord avec un outil portant à son extrémité une roulette à gorge (voir outil D de la fig. 24).

La figure 25 montre le procédé suivi pour le repoussage d'une pièce nécessitant deux mandrins. La figure 26 montre l'appareillage utilisé pour le repoussage d'un vase (V),

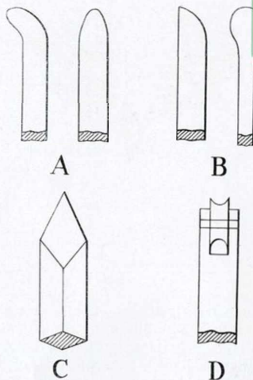


Fig. 21. Outils de repoussage.

avec disposition des outils de repoussage (A), cisailage (B), roulage du bord (C). La figure

27 donne un exemple de fabrication d'un vase par repoussage avec opérations de cisailage, roulage du bord, formage du col et du corps de la pièce.

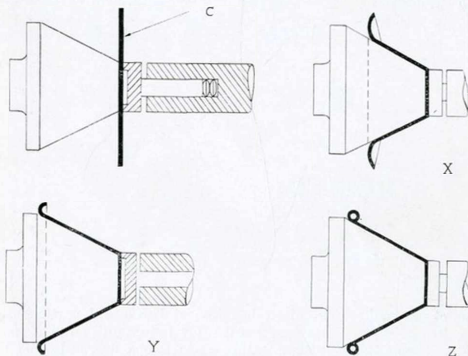


Fig. 23. — Repoussage d'un vase.

## RIVETAGE

Nous n'envisageons ici que le rivetage à froid, c'est à dire le rivetage exécuté avec des rivets ayant en général un diamètre maximum de 8 mm. Pour la préparation des trous, on peut suivre les mêmes règles que pour l'acier. En particulier, les trous doivent être bien ronds et sans bavures. D'autre part, il est néces-

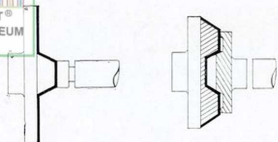


Fig. 25. Repoussage avec deux mandrins.

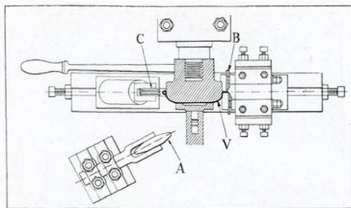


Fig. 26. — Appareillage de repoussage.

saire que les rivets soient bien recuits et prélevés dans un alliage de bonne qualité. On notera, en effet, que la déformation à froid ayant lieu pendant la pose du rivet, cause un écrouissage qui peut devenir trop grand avant que la tête ne soit complètement fermée. On voit donc qu'un métal bien recuit et sain est nécessaire. D'autre part, le jeu du rivet dans le trou doit être suffisant, mais pas excessif. Les mêmes précautions sont à prendre pour les rivets tubulaires; un métal bien recuit est nécessaire pour permettre le rabattement facile de la collerette sans formation de criques.

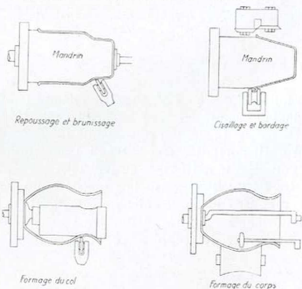


Fig. 27. Opérations de repoussage, cisailage, etc., sur un vase.

## RECUIT

Le recuit du nickel, du Monel et des maillechorts ne présente pas de difficultés spéciales, toutefois, ce recuit demande plus de soin que celui des métaux ou alliages courants comme

le cuivre, le laiton et l'acier. En particulier, il est nécessaire que l'atmosphère des fours, la température et le temps de recuit soient surveillés de près.

Un nickel recuit présente une dureté qui varie de 80 à 100 Brinell et celle d'un Monel recuit s'échelonne entre 100 et 120 Brinell. Les maillechorts recuits ont une dureté qui peut varier de 70 à 90 Brinell (maillechort à 10 % de nickel : 70 Brinell environ; maillechort à 25 % de nickel : 85 Brinell environ).

Les courbes de la figure 28 montrent, d'après Price et Davidson (1), l'influence du recuit sur les propriétés mécaniques de plaques de nickel ayant subi par laminage à froid une réduction d'épaisseur de 60 % (8,2 mm. à 3,3 mm.).

Le tableau ci-dessous est extrait du travail de M. Cook (2); il donne l'influence du recuit sur la dureté (Vickers) de bandes de maillechorts à 10, 18 et 30 % de nickel (Cu = 60 %) ayant subi des réductions d'épaisseur de 20, 35 et 60 % par laminage à froid. Le recuit a été effectué à différentes températures.

On peut constater qu'aux environs de 300° un durcissement se produit, ce durcissement étant d'autant plus marqué que l'écroutissage est plus prononcé. Ce phénomène est général pour les maillechorts.

Les courbes des figures 29, 30 et 31 montrent l'influence du recuit sur les caractéristiques mécaniques (charge de rupture et allongements) de bandes des trois alliages précédemment cités ayant subi une réduction d'épaisseur de 60 %.

(1) PRICE et DAVIDSON : **Nickel and its alloys**. Circulaire n° 100 du Bureau of Standards, 2<sup>e</sup> édition, 1924, p. 46.  
(2) *Loc. cit.*

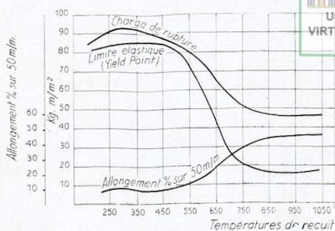


Fig. 28. Influence du recuit sur les caractéristiques mécaniques de plaques de nickel écrouies (réduction d'épaisseur 60 %, d'après Price et Davidson.

## FOURS ET ATMOSPHÈRE

Le recuit du nickel, du Monel et des maillechorts peut être fait dans tous les types de fours habituellement utilisés. D'une façon générale, il faut éviter les atmosphères chargées de soufre à l'action duquel ces produits, particulièrement le nickel et le Monel sont sensibles (fragilité intercrystalline). Les atmosphères trop oxydantes et le contact des produits siliceux sont également à éviter. Il y a donc toujours intérêt à utiliser les fours dans lesquels le métal ne peut se trouver en contact avec les gaz de combustion, c'est-à-dire les fours à moufle, les fours à marmite et les fours à bain de sel. Les fours électriques donnent d'excellents résultats.

Les fours à charbon ou à coke à feu nu ne

Température °C.	20 % de réduction d'épaisseur			35 % de réduction d'épaisseur			60 % de réduction d'épaisseur		
	Maillechort à			Maillechort à			Maillechort à		
	10 % de nickel	18 % de nickel	30 % de nickel	10 % de nickel	18 % de nickel	30 % de nickel	10 % de nickel	18 % de nickel	30 % de nickel
...	135	154	158	168	174	178	210	209	196
100	135	156	160	169	176	180	213	210	198
200	137	157	162	170	180	183	222	214	203
300	134	159	165	170	182	183	224	218	203
400	127	152	163	158	174	180	214	210	196
500	115	140	150	125	155	163	121	133	181
600	80	98	131	86	97	108	94	110	115
700	74	88	135	75	90	96	80	97	100
800	69	84	92	69	86	91	72	89	94
900	67	82	88	66	82	88	69	83	87

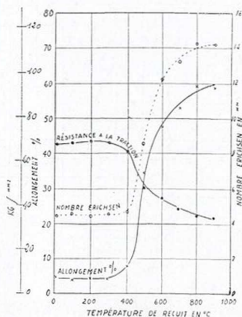


Fig. 29. Influence de la température de recuit sur les caractéristiques mécaniques d'un maillechort à 10 % de nickel, écroui (réduction d'épaisseur 60 %), d'après M. Cook.

sont pas recommandables car ces combustibles contiennent de plus ou moins fortes quantités de soufre. Le chauffage sur un feu de forge au charbon ou au coke est absolument à éviter. On peut obtenir de bons résultats avec les

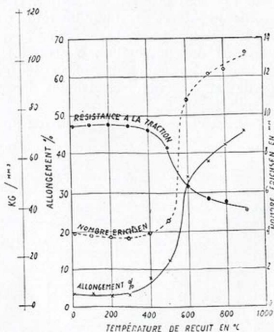


Fig. 30. Influence de la température de recuit sur les caractéristiques mécaniques d'un maillechort à 18 % de nickel, écroui (réduction d'épaisseur 60 %) d'après Cook.

fours à gaz et les fours à huile; dans ce dernier cas, il est nécessaire d'utiliser une huile contenant le minimum de soufre ( $S < 0,50 \%$ ). Les fours à feu nu présentent l'inconvénient de nécessiter une surveillance de la qualité du combustible; ils amènent aussi la nécessité de veiller à la position des pièces dans le four, ces dernières ne devant pas, en effet, se trouver trop près de la flamme qui les brûlerait. D'une façon générale, la distribution des pièces dans un four n'est pas sans importance, surtout lorsqu'il s'agit de produits de grande largeur; il ne faut pas oublier en effet que le nickel, le Monel et les maillechorts ont une conductibilité calorifique relativement faible (0,14 cal/cm<sup>2</sup>/cm/s/O° pour le nickel, 0,06 pour le Monel et 0,07 en moyenne pour les maillechorts). On ne fera donc pas de gros paquets, qui pourraient ne pas être suffisamment recuits dans leur partie centrale, mais on fera plutôt une série de paquets séparés par des interstices permettant à la chaleur de circuler.

## TEMPÉRATURE ET TEMPS DE RECUI

Le recuit du nickel et du Monel se fait à une température qui peut varier de 750° à 950°. Le recuit des maillechorts se fait à une température qui peut varier de 700° à 900° suivant leur teneur en nickel.

On recuit généralement les maillechorts contenant de 8 à 12 % de nickel vers 700°-750°, les maillechorts contenant de 15 à 20 % de nickel vers 750°-800° et les maillechorts contenant de 22 à 30 % de nickel vers 800°-850°. On recuit quelquefois les maillechorts à haute teneur en nickel (30 % de nickel) à une température légèrement supérieure à 850°, mais en aucun cas la température de 900° ne doit être dépassée.

D'une façon générale, la température de recuit à adopter dépend des dimensions du produit, du type de four et du poids de la charge recuite. Il ne faut pas se tenir au-dessus de la limite supérieure de température (au-dessus de 950°, par exemple, dans le cas du nickel et du Monel), car on obtient un grain grossier qui fait perdre au métal une partie,

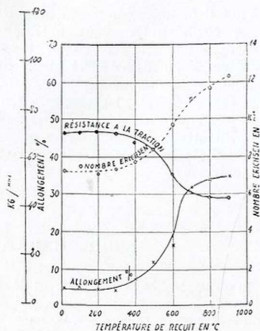


Fig. 31. Influence de la température de recuit sur les caractéristiques mécaniques d'un maillechort à 30 % de nickel, écroui (réduction de section 60 %), d'après Cook.

parfois très importante, de sa ductilité; d'autre part, les opérations ultérieures de travail à froid accusent l'aspect désagréable de la peau de crapaud qui rend le polissage difficile. Inversement, il ne faut pas se tenir au-dessous de la limite inférieure de température (au-dessous de 750° par exemple dans le cas du nickel), car on obtient un métal insuffisamment ou même pas du tout adouci. En principe, il n'y a jamais intérêt à se tenir sur les limites inférieures ou supérieures de recuit ou même très près de ces limites car elles peuvent être déplacées par suite de la présence de quelques impuretés dans l'alliage : on constate fréquemment que la limite inférieure est relevée ou que la limite supérieure est abaissée. Il ne faut pas oublier, d'autre part, que le régime de température d'un four varie avec son mode de chauffage; les fours électriques, par exemple, donnent une température constante alors que les fours à charbon ont des alternatives de montée et de descente de température plus ou moins prononcées, l'abaissement de température se produisant en général quand on charge le foyer. Par conséquent, si l'on veut recuire dans un four à charbon du nickel à 770°,

c'est-à-dire près de la limite inférieure de température, il est prudent de se baser sur la température un peu supérieure, c'est-à-dire environ 800°. Il y a toujours intérêt à munir les fours de pyromètres et à loger convenablement ceux-ci. Suivant sa position dans un four, un pyromètre pourra donner la température des produits, la température de la sole ou la température des gaz. Dans les fours tunnel de grande capacité, il est recommandé de placer des pyromètres, à intervalles réguliers, sur toute la longueur.

Le temps de recuit est lié essentiellement à la température de recuit mais dépend aussi, comme cette dernière, des dimensions du produit, du type de four et du poids de la charge. En règle générale, le temps de recuit doit être suffisamment prolongé pour que les produits puissent être portés à la température de recuit dans toute leur épaisseur. Ceci ayant eu lieu, il n'y a pas intérêt à prolonger le chauffage.

Le recuit peut être fait de deux manières différentes : a) Les produits à recuire sont chargés dans un four à la température à laquelle on désire les porter; b) le chargement a lieu dans un four froid, ou moins chaud que la température de recuit, et que l'on chauffe progressivement. Quelle que soit la méthode utilisée, on peut considérer deux périodes. Dans la première, les produits à recuire sont chauffés progressivement et amenés plus ou moins rapidement à la température de recuit. La seconde période est la période de maintien à la température que l'on s'est fixée pour le recuit. Ceci est expliqué par les courbes de la

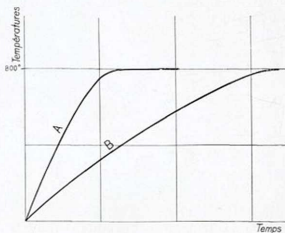


Fig. 32. — Diagramme Temperature. Temps.



Figure 32 se rapportant à des conditions différentes de recuit; la courbe A correspond à un échauffement rapide jusqu'à la température de recuit, 800° par exemple, suivi d'un maintien prolongé à cette température. Dans la courbe B, au contraire, le chauffage a été beaucoup plus lent et la durée de maintien à température beaucoup plus courte. Un recuit convenable peut être obtenu en suivant ces deux courbes, car il est évident que si le chauffage a été très lent, comme pour la courbe B, il suffira d'un temps de maintien à température beaucoup plus court.

### RECUIT A FEU NU

Pour les raisons que nous avons données précédemment, ce recuit se fait généralement au four à gaz ou au four à huile (huile contenant très peu de soufre :  $S < 0,5 \%$ ). Dans ce dernier cas, on veillera à ce que la combustion soit complète à proximité des brûleurs; aucune combustion ne doit se produire auprès du métal. Il faut donc tenir compte de cette considération dans la construction des fours : un espace suffisamment grand est à prévoir entre les brûleurs et la partie de la sole où sont placées les pièces. Cette distance est évidemment plus grande pour un four à huile que pour un four à gaz.

On a souvent intérêt, surtout dans les fours à huile, à construire un pertuit mur de briques qui sépare la zone de combustion des produits à recuire.

Lorsqu'on utilise une huile contenant très peu de soufre, on peut chauffer avec une atmosphère légèrement réductrice qui permet d'éviter la formation d'oxydes à la surface du métal, mais lorsqu'on peut craindre une teneur assez forte en soufre, il vaut mieux chauffer avec une atmosphère légèrement oxydante, car l'absorption de soufre par le nickel et le Monel est moins facile en milieu oxydant qu'en milieu réducteur. Dans le cas des maillechorts, il vaut mieux éviter les atmosphères réductrices qui occasionnent une volatilisation du zinc.

Pour obtenir une atmosphère réductrice, on règle les brûleurs de façon à ce qu'ils pro-

duisent une flamme légèrement fumeuse (léger excès de combustible); pour obtenir une atmosphère légèrement oxydante, il suffit d'augmenter graduellement le débit d'air jusqu'à ce que la flamme devienne claire.

D'une façon générale, les recuits à feu nu doivent être conduits rapidement; dès que les produits ont atteint la température de recuit fixée dans toute leur masse, il y a intérêt à les retirer du four.

### RECUIT EN BOITE.

#### RECUIT BRILLANT

Lorsqu'on veut obtenir des surfaces dépourvues d'oxydes on peut recuire dans des marmites ou boîtes en fonte ou acier.

Les gros producteurs d'alliages de nickel en planches, bandes, barres, etc..., utilisent parfois des fours continus à recuit brillant dans lesquels les produits entraînés par une courroie métallique sont recuits dans une atmosphère réductrice (butane ou gaz de ville brûlé à 90 %), le chauffage du four se faisant au moyen de résistances électriques. La figure 33 montre un four de ce genre.

Lorsqu'on a à recuire des produits de faible volume en petite quantité (emboutis, objets repoussés par exemple), on peut opérer de la façon suivante on prend une cuve ou marmite en fonte ou acier dans laquelle on empile les produits à recuire puis on les recouvre avec une cloche également en fonte ou acier. L'espace restant entre le bord de la marmite

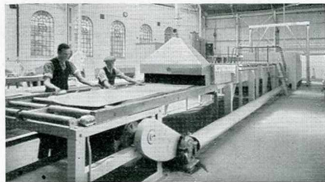


Fig. 33. Four à table convoyeuse pour le recuit brillant de planches de nickel, Monel et maillechorts (BIRMINGHAM ELECTRIC FURNACES, Ltd.).

et la cloche est rempli avec du sable fin formant joint (fig. 35). Il est recommandé de ne pas poser les produits directement sur le fond de la marmite mais sur une feuille de nickel ou de Monel placée elle-même sur une ou deux plaques d'acier; on évite ainsi tout contact des pièces avec le sable qui peut passer sous la cloche. On charge l'ensemble dans le four et on porte à une température variant de 750° à 850° pendant six à dix heures. Lorsqu'on recuit au maximum de température, c'est-à-dire 900° à 950° (nickel et Monel), il faut diminuer la durée de recuit, c'est-à-dire maintenir au four seulement pendant deux heures environ. Après recuit, on sort le montage du four, on tasse le sable et on refait le joint avec un peu de terre glaise et on attend que la température soit tombée au-dessous de 150° avant d'enlever le couvercle pour retirer la charge. Cette méthode donne, dans l'ensemble, de bons résultats, cependant les produits obtenus sont le plus souvent légèrement oxydés par suite des rentrées d'air toujours possibles. On peut obtenir des produits bien brillants en faisant passer un courant de gaz (gaz de gazogène ou gaz de ville), pendant le recuit et le refroidissement. Dans ce but, on introduit sous la cloche (fig. 35) un tube de fer recourbé de 30 à 35 mm. de diamètre environ qu'on relie à l'arrivée de gaz (Le gaz

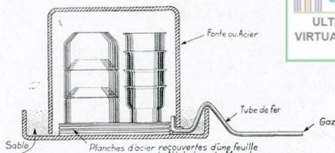


Fig. 35. Montage de boîte à brillant recuit.

doit être exempt de soufre). Il faut bien prendre soin de chasser tout l'air de la cloche pour éviter toute explosion au chauffage. Pendant le chauffage on laisse passer un léger courant de gaz de façon à avoir une petite flamme sur le joint de sable ou au trou d'échappement qu'on peut percer sur la cloche. Le recuit fini, on sort la boîte du four et on laisse passer le gaz jusqu'à ce que la température soit tombée au-dessous de 150°; on peut alors enlever la cloche et décharger. On obtient ainsi des produits brillants.

Si l'emploi du gaz n'est pas possible, on peut mettre à l'intérieur de la cloche du charbon de bois (préalablement débarrassé de ses gaz par recuit en boîte à 950°) qui donne une atmosphère réductrice; toutefois les résultats sont loin d'être aussi bons qu'avec le gaz.

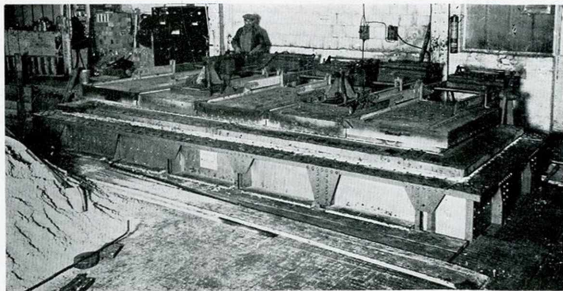


Fig. 34. — Four électrique à bains de sels pour traitements thermiques de pièces en alliages légers.

## RECUIT AU BAIN DE SEL

La figure 34 montre un four électrique à bains de sel pour le traitement thermique de pièces en alliages légers.

Ce recuit exige un matériel spécial; il est parfois préféré aux autres procédés en raison de sa régularité et de la bonne qualité des produits qu'il permet d'obtenir.

On peut utiliser comme bain un mélange à parties égales de chlorure de sodium et de

chlorure de potassium auquel on ajoute 1 à 2 % de chlorure de calcium. On purge soigneusement ce bain des traces de soufre qu'il pourrait contenir en brassant lorsqu'il est fondu avec une petite quantité de poudre de charbon de bois ou de borax.

Le bain de sel est maintenu à une température voisine de 750° à 800° et la durée de recuit varie entre 15 et 20 minutes.

Au sortir du bain, les produits sont lavés à l'eau, puis décapés.

## DÉCAPAGE

Le décapage est une opération importante. Il permet en effet de débarrasser les pièces de la couche d'oxyde qui se forme à leur surface pendant le recuit ou simplement pendant un contact prolongé avec l'air; il permet aussi de repérer plus facilement les défauts existant à la surface du métal ou pouvant apparaître pendant le travail de celui-ci. Le décapage du nickel, du Monel et des maillechorts doit être fait avec soin car les oxydes formés à leur surface sont très adhérents, particulièrement pour le nickel et le Monel.

### DÉCAPAGE DES PIÈCES NON FINIES

Dans ce cas, on cherche à obtenir des surfaces bien nettoyées mais pas nécessairement claires ou brillantes. Les pièces peuvent être décapées plusieurs fois en cours de travail suivant le nombre de recuits qu'elles subissent. D'une façon générale, il y a intérêt à décapier après chaque recuit surtout lorsqu'il s'agit de pièces embouties. Il ne faut pas oublier en effet que la ductilité est fortement abaissée par les oxydes adhérent à la surface et par les différents défauts superficiels (pailles, souf-

flures, inclusions, etc...). Ces derniers défauts, apparaissant plus nettement après décapage, peuvent être enlevés facilement par grattage.

Pour le nickel, le Monel et les maillechorts, on utilise généralement une solution contenant 8 à 10 % d'acide sulfurique à 66° B. en poids. Pour activer le décapage, on y ajoute souvent 2 à 3 % d'acide nitrique. On chauffe aussi souvent la solution vers 70° ce qui accélère considérablement le décapage. Éventuellement il y a intérêt à dégraisser les pièces avant décapage avec de l'essence ou dans un bain de soude chaude; il est souvent plus simple de mettre les pièces quelques instants au four pour brûler l'huile qui les recouvre.

Lorsque les produits recuits sont recouverts d'une forte couche d'oxyde (produits recuits à feu nu par exemple) il y a toujours intérêt à les plonger chauds (au-dessus de 800°) dans une solution d'alcool méthylique (1 à 5 %). L'action combinée de l'alcool et de l'eau favorise la réduction des oxydes et leur enlèvement; cette pratique n'est toutefois pas recommandable pour les maillechorts car ils se couvrent de taches rouges. On complète ensuite par un décapage dans la solution signalée précédemment.



## BRILLANTAGE

Après décapage, on lave les pièces à l'eau (de préférence à l'eau courante); on fait aussi quelquefois une immersion dans une solution d'ammoniaque (1 %) pour éliminer les dernières traces d'acide.

### DÉCAPAGE DES PIÈCES FINIES

Dans ce cas, la question présentation intervenant, on cherche à obtenir un décapage uniforme et suffisamment clair.

Pour le nickel, le Monel et les maillechorts on utilise généralement les solutions suivantes :

a) Eau. ....	100 litres
Acide sulfurique à 66° B..	15 kg
Nitrate de soude	6
Sel marin	7 —
b) Eau. ....	100 litres
Acide sulfurique à 66° B..	12 kg
Bichromate de sodium.	13

Le décapage peut être fait à froid mais il est beaucoup plus rapide à une température de 70° à 80°. Il y a aussi intérêt à agiter la solution pendant le décapage. On obtient particulièrement de bons résultats avec la solution à base de bichromate de sodium qui donne des surfaces bien blanches et dépourvues de toute tache (taches rouges). On peut maintenir l'activité des bains de décapage en ajoutant de temps en temps, pour le bain a) 1 % d'acide nitrique à 36° B, et pour le bain b) 500 gr. à 1 kg. de bichromate. On remarque souvent que ces bains fraîchement préparés décapent très lentement ou mal, dans ce cas il convient de les amorcer en ajoutant un peu de solution usagée.

Les bains au nitrate de soude et au bichromate peuvent être contenus dans des bacs en produits céramiques ou garnis d'enduit inattaquable mais ces bacs ont l'inconvénient d'être assez fragiles; les revêtements de plomb, moins coûteux et faciles à réparer, présentent une résistance suffisante.

Pour les produits finis on désire parfois obtenir un aspect bien brillant, qui facilitera la vente (dés, étuis, par exemple).

Pour le nickel on emploie généralement la solution suivante :

Acide sulfurique à 66° B..	27 kg
Acide nitrique à 37° B..	30
Sel marin	0,300
Eau.	10 litres

On ajoute le sel marin dans la solution froide; on peut ajouter également un peu de suie. Les pièces en nickel sont immergées dans ce bain pendant quelques secondes après avoir été dérochées dans une solution sulfurique (8 à 10 %), puis sont lavées à l'eau courante. Plus fréquemment on passe les pièces dans une solution sulfurique puis dans un bain usagé (dix à vingt secondes) et enfin dans un bain neuf (quelques secondes). On sèche les pièces par immersion dans l'eau chaude ou par passage dans la sciure chaude qui doit être dépourvue de matières résineuses.

Pour le Monel on utilise deux solutions :

a) Acide nitrique à 36° B..	14 kg
Sel marin	0,600 à 0,900 kg
Eau.	10 litres
b) Acide nitrique à 36° B..	14 kg
Eau.	10 litres

Les pièces sont immergées dans la solution a) suffisamment longtemps pour permettre un bon nettoyage; elles sont ensuite rincées dans de l'eau chaude puis immergées dans la solution b) pendant quelques secondes. Finalement on les rince à l'eau courante ou par immersion dans de l'eau ammoniacale (1 à 2%).

Le séchage se fait comme précédemment indiqué pour le nickel.

Pour les maillechorts la solution indiquée pour le nickel convient bien.

Les bains de brillantage dégagent d'abondantes vapeurs nitreuses, on les monte donc généralement sous hotte d'aspiration.





ULTIMHEAT®  
VIRTUAL MUSEUM

