





Extrait du numéro 95 de « L'Étain et ses Usages »

# FUSION ET COULÉE DES ALLIAGES D'ÉTAIN

« TIN RESEARCH INSTITUTE »

Publication T.R.I. n° 456 F

## THE INTERNATIONAL TIN RESEARCH COUNCIL

Le Conseil international de Recherches de l'Étain, fondé en 1932 en vue de promouvoir l'utilisation de l'étain, est financé par les principaux producteurs mondiaux de cassitérite, à savoir : Bolivie, Indonésie, Malaisie, Nigeria, Thaïlande et Zaïre.

Le siège et les laboratoires du Conseil constituent le TIN RESEARCH INSTITUTE, à Greenford, Middlesex, Angleterre. Le Conseil a également sous son contrôle les organismes créés pour développer la technique des emplois de l'étain dans les autres pays ci-après : Tin Research Institute Inc., Columbus, Ohio, E.U.A. ; Centre d'Information de l'Étain pour la Belgique et la France, à Bruxelles ; Centro de Informações sobre Estanho, Rio de Janeiro, Brésil ; Zinn-Informationsbüro, Düsseldorf, R.F.A. ; Technisch Informatie Centrum voor Tin, La Haye, Pays-Bas ; Centro d'Informazioni dello Stagno, Milan, Italie ; Japan Tin Centre Tokyo, Japon. L'ensemble de ces organismes patronnés par le Conseil s'occupe de la diffusion des connaissances relatives à l'étain à travers le monde. Cette mission est effectuée grâce à la publication des résultats de recherches, d'articles techniques dans la presse spécialisée et par l'édition de manuels pratiques, par des démonstrations de procédés utilisant l'étain et par toute aide sur le plan pratique, soit dans les laboratoires de l'Institut, soit dans les usines des utilisateurs. Les recherches de l'Institut, orientées vers le développement des usages de l'étain, sont basées sur l'étude scientifique du métal, de ses alliages, de ses dérivés et des procédés industriels utilisant l'étain, ou susceptibles de lui ouvrir de nouveaux débouchés.

# FUSION ET COULÉE DES ALLIAGES D'ÉTAIN

Les applications de l'étain sont très largement conditionnées par ses propriétés assez particulières dont, notamment, son bas point de fusion (232 °C), sa fluidité à l'état liquide, son aptitude à former des alliages avec d'autres métaux, sa dureté relativement faible (HB 3,9 à 20 °C) et sa bonne ductilité. Le métal n'est pas toxique, sa manipulation est facile et son point d'ébullition est très élevé (l'intervalle de température entre les points de fusion et d'ébullition dépasse celui de la plupart des autres métaux).

Les principales applications des alliages à haute teneur en étain se retrouvent dans la poterie, qui est faite essentiellement d'étain renforcé par de petites additions de cuivre et d'antimoine ; dans les alliages fusibles qui sont employés en bijoux de fantaisie peu coûteux, pour de petites figurines et autres articles décoratifs, et dans les métaux pour coussinets, comme les antifrictions, qui sont des alliages ternaires (SnSbCu).

Les soudures à base d'alliages Sn-Pb sont souvent coulées en billettes, puis extrudées en fil, ou découpées en formes appropriées, prêtes à servir à des applications d'assemblage.

## L'opération de fusion

La fusion et la coulée de l'étain et de ses alliages est en soi fort simple et, moyennant surveillance et des précautions normales, on peut obtenir des moulages de haute qualité par toute une série de différentes techniques de coulée. Grâce au bas point de fusion de l'étain, la refonte est relativement facile, car ce métal et ses alliages à haute teneur passent à l'état liquide dans de bonnes conditions sans risque de contamination soit par la cuve ou par l'air ambiant.

L'étain liquide ne dissout pas de gaz et, au contact d'une atmosphère oxydante, il se forme un oxyde d'étain qui ne se dissout pas dans le métal. De plus, ce film d'oxyde protège bien le métal sous-jacent parce qu'il est imperméable à l'oxygène.

C'est pourquoi l'étain et ses alliages riches sont d'habitude fondus à l'air libre et sans flux et la perte par oxydation reste faible, pourvu que le métal ne soit pas fortement surchauffé. Les couvercles de flux peuvent être utilisés dans des cas spéciaux ; cependant on couvre parfois la surface du bain de granules de charbon de bois ou de talc.

Un équipement assez sommaire suffit à la fusion de l'étain et des alliages riches ; celle-ci est réalisée à l'aide de n'importe quel moyen de chauffage réglé par thermostat pour éviter toute surchauffe.

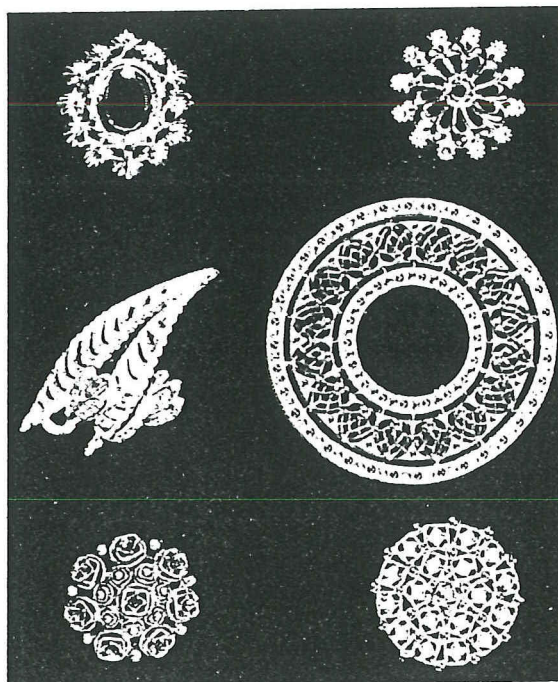


Fig. 1. Un choix de bijoux de fantaisie coulés en alliages Sn-Pb par centrifugation dans des moules en caoutchouc.

Cliché : T.R.I.

On utilise d'habitude une cuve en fonte de forme hémisphérique, ou rectangulaire en acier soudé, car ces cuves sont suffisamment solides et résistantes et peuvent sans danger contenir une grande masse de métal fondu. L'attaque des parois par le métal liquide n'est pas un problème. En l'absence de flux, la surface de l'acier ou de la fonte doit être oxydée pour éviter le mouillage par l'étain. Cependant, en présence d'un flux puissant, comme le chlorure de zinc, un début d'étamage de la surface peut avoir lieu et il s'accompagne d'une formation d'un composé intermétallique  $FeSn_2$ . Mais dès que cette couche de composé commence à se former, la vitesse d'attaque devient très faible, vu les températures de travail relativement basses. Avant de mettre la cuve en service, on peut, par chauffage au rouge sous un jet de vapeur ou par dépôt d'une peinture d'oxyde de fer, provoquer à dessein une oxydation superficielle. En variante, un lait de chaux ou de craie peut être appliqué sur la surface pour prévenir ou réduire la contamination du bain par le fer.

Les alliages d'étain peuvent être refondus plusieurs fois sans inconvénients, mais certaines précautions doivent être prises. Quand on refond une masse de métal solidifié dans des cuves métalliques, l'apport calorifique doit être fait en surface de préférence au fond. Si l'inverse se produit, la dilatation qui survient pendant la liquéfaction peut donner lieu à de hautes pressions avec, comme conséquence, une projection violente de métal liquide, ou pour le moins, une distorsion de la cuve. Il est souhaitable de surmonter la cuve d'une hotte ou tout autre couvercle, lorsque les alliages à fondre contiennent du plomb.

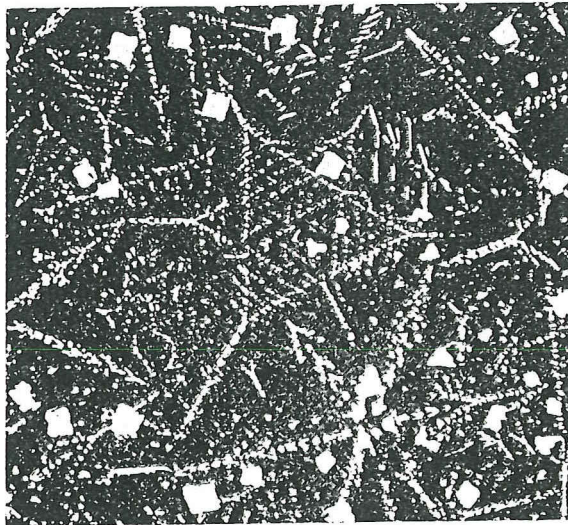


Fig. 2. Microstructure d'un alliage à 9,2 % Sn-4 % Sb-reste Cu, montrant des aiguilles de  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  et des cuboïdes SbSn dans une matrice de solution solide à noyau d'étain-antimoine ( $\times 100$ ).

Cliché : T.R.J.

Des creusets en réfractaire peuvent servir à fondre de petites quantités ou des compositions spéciales. Cependant, il ne faut pas les utiliser avec des flux contenant des matières hygroscopiques, tels le  $\text{ZnCl}_2$ , parce que le réfractaire peut en être imprégné et, lors d'un réchauffage ultérieur après un arrêt, il peut se former de la vapeur d'eau qui risque par conséquent d'endommager le réfractaire en s'échappant brusquement et qui constitue un danger pour l'opérateur.

#### Elaboration des alliages

Les points de fusion des métaux auxquels l'étain est d'habitude allié, tels le cuivre (1 083 °C), l'antimoine (630 °C) et le plomb (327 °C) sont comparativement plus élevés que celui de l'étain (232 °C), mais leur dissolution ne présente aucune difficulté si les opérations sont correctement conduites. Dans certains cas, où il faut obtenir des alliages à teneurs élevées, on recommande l'emploi d'un alliage-mère intermédiaire.

L'addition d'éléments tels que le cuivre, l'antimoine ou le plomb change le point de fusion de l'alliage et partant la température requise. Ce fait s'ajoute au problème de la formation d'alliages aux propriétés mécaniques voulues.

L'antimoine est parmi tous les éléments précités celui dont l'addition influence le moins la température du *liquidus* de l'alliage, car celle-ci ne s'élève que d'environ 15 °C, lorsque la teneur en Sb monte jusqu'à 10 %. D'autre part, dans le cas du cuivre, cette augmentation est sensible et un alliage contenant 10 % Cu n'est complètement liquéfié qu'à partir de 450 °C environ.

Dans l'intervalle de solidification compris entre le *liquidus* et le *solidus* d'un alliage riche en étain et contenant du cuivre, il se forme un composé  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  (fig. 2), dont la croissance en d'assez gros cristaux donne lieu à une phase pâteuse et à de sérieuses difficultés pendant et après la

coulée. Il est donc essentiel de maintenir le bain à une température suffisamment élevée pour être certain de la remise en solution dudit composé. Il est par conséquent clair que la teneur en cuivre doit être limitée (quelques % environ) si on veut éviter des températures de fusion relativement élevées, comme par exemple dans le cas de certains alliages à base d'étain pour moulage en coquille.

L'addition de plomb à l'étain pur abaisse progressivement la température du *liquidus* jusqu'à 183 °C, soit celle de l'eutectique SnPb (63/37 %). La fabrication des soudures en alliages d'étain-plomb ne présente donc aucune difficulté.

#### POTERIES D'ÉTAIN ET ALLIAGES POUR COUSSINETS

Les alliages modernes destinés aux étains d'art contiennent environ 6 % Sb et 1 à 2 % Cu, le reste étant de l'étain pur. Pour les articles qui doivent être tournés, la teneur en antimoine est d'habitude limitée à 4 %, mais pour les pièces coulées, des teneurs allant jusqu'à 8 % Sb et 2 % Cu sont admises. Dans certains cas, de petites quantités de bismuth ou d'argent peuvent aussi être employées pour augmenter la dureté du métal.

Les alliages à haute teneur en étain pour coussinets contiennent des pourcentages en antimoine et en cuivre assez élevés, de l'ordre de 10 % Sb et 3 à 6 % Cu.

En vue du garnissage des coquilles de coussinets, on préfère couler séparément des lingots de la composition choisie et les refondre ensuite, au moment de s'en servir, car cette opération, même répétée, est sans danger, pourvu que toute surchauffe brutale soit évitée.

#### Additions de cuivre et d'antimoine

La préparation des alliages pour poterie ou d'autres à haute teneur en étain consiste à fondre tout d'abord l'étain sans couvercle de flux ; on y dissout ensuite les autres éléments d'addition. Le cuivre métallique est ajouté sous la forme de fil, de bande ou de feuille, de manière à le dissoudre facilement sans élévation trop forte de la température. L'antimoine peut être ajouté en bloc solide et dès qu'il est mouillé par l'étain, il s'y dissout tout à fait. Toutefois, en l'absence de mouillage, l'antimoine flotte et s'oxyde et, dans ce cas, il ne faut donc pas employer de la poudre, à moins de la brassier en présence d'un couvercle de flux au chlorure de zinc. Pour être certain du mouillage, le cuivre, tout comme l'antimoine, peuvent être trempés dans du flux juste avant leur introduction dans le bain d'étain liquide ; on prendra grand soin d'éviter les éclaboussures pendant cette dernière opération. Par cette méthode, et sans dépasser une température de 400 °C, on arrive à une dissolution complète. Comme il y aura encore des traces de chlorure fondu à la surface de l'alliage liquide, le métal à lingoter doit être prélevé sous le niveau du bain pour éviter la contamination.

En variante, au lieu de faire des additions

d'éléments individuels, on emploie souvent des alliages-mères, soit 50 % Sn—50 % Sb ou 90 % Sn—10 % Cu. Il est cependant important que tout alliage-mère à base de cuivre et d'étain soit suffisamment riche en étain pour que sa dissolution soit complète sans devoir trop élever la température. Ces alliages doivent être complètement dissous et il faut s'assurer que de petits morceaux d'éléments d'addition ne restent pas solides après s'être mélangés aux oxydes à la surface du bain fondu qui doit être soigneusement brassé à l'aide d'un râble en acier.

#### Eléments d'addition particuliers

Dans certains cas spéciaux, on peut additionner aux alliages riches en étain divers autres éléments comme l'argent, le cadmium, le zinc et le bismuth qui nécessitent des techniques spéciales.

La présence de zinc a par exemple un effet marqué sur la formation de mousse et la vitesse d'oxydation augmente considérablement, même s'il n'y a qu'un pour cent de zinc. C'est pourquoi, quand on veut obtenir un alliage à 20 % Zn (pour embase métallique de cartouche) la surface du bain doit être recouverte de flux, qui s'enlève avant la coulée en y ajoutant de la sciure de bois et en écumant la surface. Si le métal doit être exempt d'oxyde, il est préférable de le soutirer par le fond. La poche de coulée peut cependant convenir, à condition d'écumer le bain et de barrer l'orifice de sortie afin de retenir l'oxyde.

La température du bain doit être contrôlée pour éviter les surchauffes brutales, car elles entraînent des pertes excessives de métal par oxydation, et risquent d'occlure des particules dures d'oxyde dans l'alliage. Cependant, toute surchauffe raisonnable n'est pas grave et ne provoque normalement pas de perte sélective de l'un des constituants de l'alliage. Si, par inadvertance, le bain est quelque peu surchauffé, il faut laisser refroidir le métal sans y toucher, jusqu'à ce que la température correcte de coulée soit atteinte ; on écume alors soigneusement la surface et on brasse.

#### L'opération de coulée

Toute une série de techniques, comprenant le moulage à injection par gravité ou sous pression et la coulée centrifuge, permettent de couler aisément l'étain et ses alliages. La production de moulages aux dimensions précises est facilitée par l'absence de dégagement gazeux et par une faible contraction à la solidification. Le contrôle du film d'oxyde qui se forme à la surface du métal fondu est un facteur essentiel de l'opération de coulée de l'étain et de ses alliages riches. Il y en a cependant d'autres qui sont aussi importants, comme la nécessité de réduire la ségrégation et, pour les moulages qui ont un grand intervalle de solidification, les dispositifs convenables pour « nourrir » le métal d'appoint.

#### Coulée des étains d'art

Les recommandations générales relatives à la fusion et à la coulée des alliages à base d'étain

s'appliquent aussi aux poteries. Les moules sont constitués habituellement de deux coquilles en fonte et peuvent être refroidis extérieurement à l'eau. Les deux moitiés du moule peuvent s'ouvrir et se fermer comme un livre, parce que chacune est munie de tenons latéraux que l'on fore pour y intercaler des charnières. Pour pouvoir couler des pièces en forme, on doit prévoir des entrées et des trous d'évent conformes à la pratique. Les changements brusques d'épaisseur de la section transversale des pièces sont, dans la mesure du possible, à éviter et les entrées doivent être assez larges pour permettre au métal liquide de pénétrer librement dans toutes les parties du moule. L'alimentation en métal doit être très régulière jusqu'à la fin du remplissage du moule.

Certaines pièces sont souvent coulées séparément, puis assemblées par soudage avec des alliages à bas point de fusion. Les petits accessoires, comme les becs et les poignées, ne sont pas pleins, mais coulés dans des coquilles articulées en fonte par la méthode dite du « moulage au renversé ». Dans cette technique, les deux moitiés du moule sont appliquées l'une contre l'autre, le métal liquide y est versé et, après un court intervalle, le moule est retourné pour transvaser le métal non encore solidifié dans la poche de remplissage. Sous l'effet du refroidissement au contact des parois du moule, le métal se solidifie en une mince carapace.

#### Lingots pour laminage

En dépit des méthodes traditionnelles de production d'étains d'art par moulage, les techniques actuelles font appel aux excellentes propriétés que possède l'étain à se laisser étirer et tourner, et elles permettent de fabriquer des articles en utilisant des tôles d'alliage « pewter » laminées au départ de plateaux coulés horizontalement ou dans un moule vertical en deux pièces refroidies à l'eau.

Une machine de coulée continue est à l'essai pour obtenir des plateaux d'alliages destinés au laminage.

Dans les lingotières horizontales, la solidification est dirigée par refroidissement à l'eau ou à l'air vers la partie inférieure du moule et une retassure due au retrait apparaît en haut du lingot. Elle peut être supprimée en « nourrissant » le métal avant sa solidification. Pour avoir une excellente finition de la surface, il faut écrouter le lingot avant de le laminer. Pour éviter que des mousses et de l'oxyde ne soient occlus dans le métal, la poche doit être écumée avant basculage et le métal doit de préférence être prélevé sous la couche superficielle. La coulée d'alliages présentant un grand intervalle de solidification exige un écoulement lent par la base d'un avant-creuset muni d'une série de trous dans le fond pour améliorer l'alimentation en vue d'une plus grande homogénéité. Ce dispositif permet naturellement de retenir toute écume. La température de coulée sera choisie en fonction de celle du *liquidus* en la relevant d'environ 50 °C et pas davantage pour éviter toute grosseur du grain dans les lingots, ce qui augmente la ségrégation. Au cours de la solidification des

alliages à teneur en antimoine supérieure à 7 %, le composé intermétallique  $SbSn$  cristallise d'abord et, comme sa densité est inférieure à celle du liquide, il aura tendance à surnager. La présence de cuivre et un refroidissement très rapide ont pour effet d'éviter cet inconvénient.

Quand on coule verticalement le métal dans des moules articulés en deux pièces, toute éclaboussure pendant le remplissage du moule doit être évitée afin de prévenir la formation de « gouttes froides ». Diverses méthodes de coulée verticale sont utilisées en vue d'obtenir des lingots sains. L'attaque du moule peut se faire soit par un tube, soit par une fente latérale ou par une série de trous. Pour couler en source, on incline le moule presque à l'horizontale au début du remplissage et on le redresse ensuite progressivement à la verticale. La plombagine, le graphite colloïdal, un lait de chaux ou de craie, etc. sont parmi les divers poteyages utilisés ; le moule une fois garni peut être réutilisé à diverses reprises sans retouche. Le préchauffage des moules à  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  au moins est nécessaire pour éliminer l'humidité superficielle, responsable de défauts de coulée.

#### BILLETTES POUR EXTRUSION

Des billettes d'étain ou d'alliages riches pour extrusion peuvent être coulées directement dans le réservoir de la presse, d'où elles seront extrudées après solidification. Malgré les soins attentifs pris contre l'inclusion d'oxydes, par une surveillance de l'opération de coulée du métal encore liquide et en dépit de la simplicité du procédé, des films internes d'oxyde peuvent créer des difficultés.

L'extrusion de pareilles billettes d'étain ne donnera pas nécessairement lieu à un défaut visible mais, à titre d'exemple, s'il y avait un manque de cohésion interne dans un tube en étain, cela n'apparaîtrait sans doute qu'à l'usage. Il vaut donc mieux procéder par élimination de l'oxygène dans la machine en aspirant le métal sous

le niveau du pot d'attente par l'intermédiaire d'un clapet s'ouvrant après chaque course du piston. Le réservoir peut ainsi être plus ou moins à l'abri de l'air extérieur.

#### COULÉE D'ANODES POUR LA FABRICATION DU FER-BLANC ÉLECTROLYTIQUE

Le seul usage réellement important de l'étain est celui du revêtement électrolytique de l'acier. Le fer-blanc ainsi obtenu représente un pourcentage élevé de la production mondiale. Au cours du déroulement de l'opération, les anodes d'étain se consomment et par conséquent de grandes quantités d'étain sous forme d'anodes coulées sont nécessaires.

La plupart des fabricants de fer-blanc électrolytique ont une installation pour couler leurs propres anodes, bien que certains les achètent à l'extérieur. Dans une installation classique de fer-blanc, les anodes d'étain sont produites sur place à l'aide de machines spéciales qui coulent des anodes prêtes à l'emploi en partant de lingots d'étain vierge. Ceux-ci, de même que des anodes épuisées et des chutes de coulée, sont chargés dans un creuset pressurisé et une fois fondu, l'étain est siphonné au bas du creuset (pour éviter la mousse) vers les moules à anodes qui sont montés sur un carrousel. Les crochets de suspension et les espaceurs sont prévus au modelage des anodes. Après remplissage d'un moule, le suivant se place dans l'alignement du creuset par la rotation de la roue et se remplit à son tour, et ainsi de suite (fig. 3). Après solidification des anodes, leur démoulage s'effectue par accrochage à une poignée en fonte venue de coulée. Ce crochet est récupéré par sciage de la tête et l'étain qui l'entoure est refondu.

#### ALLIAGES D'ÉTAIN POUR MOULAGE PAR INJECTION

Les alliages à base d'étain ont été les premiers matériaux moulés par injection, leur bas point de

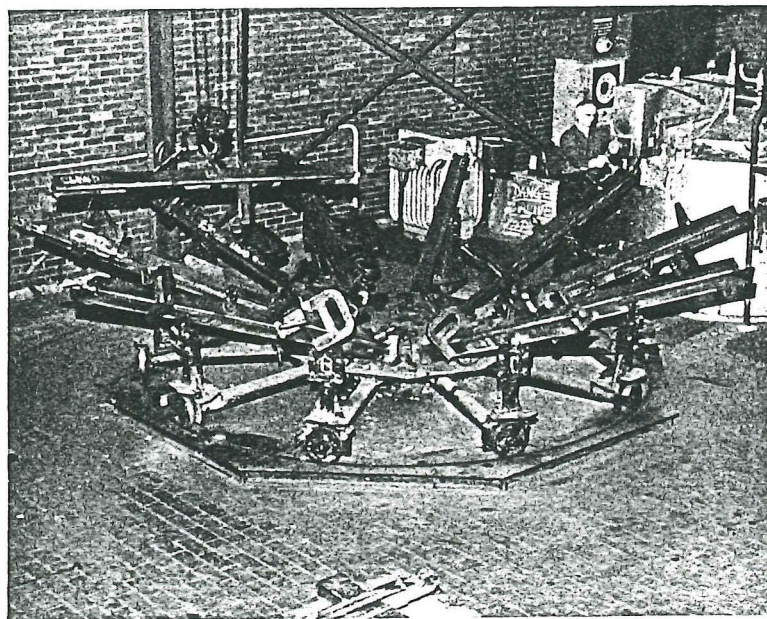


Fig. 3. Coulée des anodes en étain servant à la fabrication du fer-blanc électrolytique.

Cliché : British Steel Corp.

fusion et leur très grande fluidité facilitant la coulée de pièces saines sans abîmer le moule. L'antimoine, le cuivre et le plomb sont les principaux métaux alliés à l'étain. La coulée par injection de ces alliages s'effectue surtout par gravité, ou sous pression. Dans la coulée par gravité, les moules sont d'habitude usinés ou matricés dans une fonte à bas phosphore et à grain serré, et les moules sont légèrement badigeonnés d'ocre rouge pour ne pas être mouillés par le métal liquide. Les moules sont préchauffés à une température suffisante que pour maintenir le métal à l'état liquide pendant la durée du remplissage. Ensuite, on pulvérise de l'eau ou l'on applique des torchons humides pour les refroidir. On doit orienter la solidification pour éviter les alvéoles de retrait et les criques. L'épaisseur de paroi des pièces ainsi coulées ne dépasse guère plus de 3 mm et bien que bon, l'état de surface n'atteint pas le degré de perfection réalisable avec la coulée sous pression.

Le moulage par injection sous pression s'effectue normalement au moyen de machines du type à plongeur qui sont commandées à la main ou à l'air comprimé ou à l'huile sous pression. Dans ce type de machine, le métal fondu passe dans un cylindre dont le piston est relevé et quand on l'enfonce, il chasse le métal vers la matrice. L'injection se fait normalement sous 25 kgf/cm<sup>2</sup> environ, mais des pressions plus fortes peuvent être employées à condition de prendre des précautions lors de la préparation des surfaces de travail, pour ne pas que le métal liquide les corrode. Les matrices sont souvent bleuies pour les recouvrir d'un film d'oxyde résistant à l'étain et ensuite trempées dans du saindoux. Il ne faut les graisser qu'au moment de leur mise en service.

Une multitude de bijoux de fantaisie relativement bon marché, et d'autres articles décoratifs, en alliage à bas point de fusion, sont coulés dans des moules en caoutchouc. Un caoutchouc synthétique, à base de néoprène, qui peut supporter un millier de coulées à 300 °C sert souvent à la fabrication de ces moules. Après l'opération de modelage, le moule en caoutchouc est vulcanisé, puis mis en service. L'injection du métal liquide s'effectue par force centrifuge en faisant tourner le moule à grande vitesse. Après démoulage des pièces, les jets sont cassés et les pièces sont ébarbées avant finition par galvanoplastie (fig. 4).

Les alliages fusibles sont utilisés dans cette application, et au Royaume-Uni, un fabricant renommé de bijoux de fantaisie emploie l'alliage à 98 % Sn, l'alliage pour poterie et même un alliage 50 % Sn—50 % Pb.

## FABRICATION DE SOUDURES

Les soudures méritent un paragraphe séparé, car leur coulée met en œuvre un demi-produit utilisé dans des travaux d'assemblage.

La soudure est presque toujours coulée à l'air libre soit en moules individuels, soit à l'aide d'une roue de coulée. Les billettes de soudure destinées à l'extrusion ultérieure en fil sont cou-

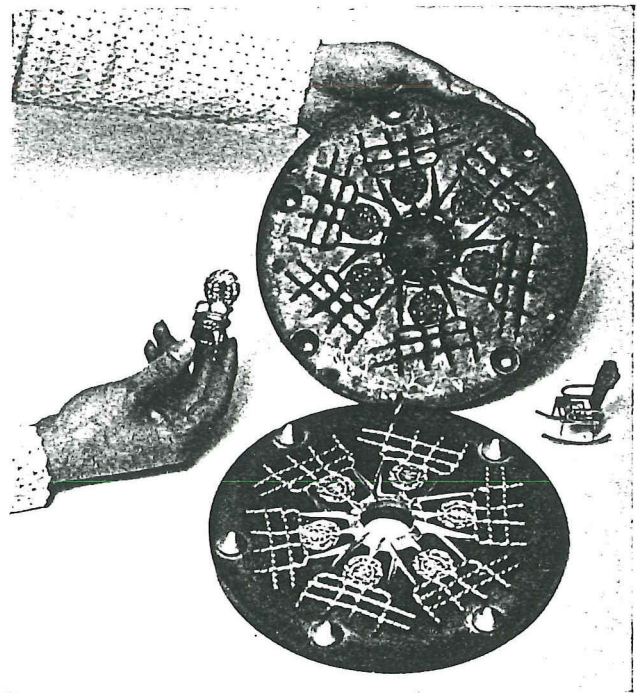


Fig. 4. Fabrication d'objets décoratifs par coulée centrifuge dans des moules en caoutchouc.

Cliché T.R.I.

lées dans des moules verticaux à mince paroi et refroidis à l'eau. Pour éviter une texture foliacée et des défauts superficiels, ils doivent être soigneusement remplis. L'équipement de coulée, tant horizontale que verticale, des billettes doit comprendre une masselotte pour nourrir le lingot d'alliage pendant qu'il se solidifie, afin d'éviter une retassure superficielle.

Les baguettes ou les barres de soudure sont souvent coulées à la louche dans des moules en fonte. Pour fabriquer un ruban continu de soudure ou des baguettes plates, on alimente le métal régulièrement dans des rainures concentriques d'une roue de coulée en fonte tournant dans un plan horizontal autour de son axe.

La soudure en fil est obtenue par extrusion d'une billette usinée en fonction de la section, de la forme et de la dimension requises. Les plus petits diamètres sont étirés à froid par les méthodes normales, en partant du produit extrudé (fig. 5).

La fabrication d'une soudure à âme décapante exige un diamètre d'extrusion du fil plus grand (par ex. 12 mm) et la filière en pont utilisée présente des ouvertures pour le passage du flux dans l'âme de la baguette. Les flux à base de résine sont portés à environ 90° ou 100 °C pour les rendre suffisamment fluides et faciliter leur passage par la filière. De plus, outre l'addition d'activateurs de flux, ceux-ci contiennent un agent plastifiant pour garder leur souplesse à l'intérieur de la soudure tréfilée, après refroidissement à température ambiante.

Pour éviter toute rupture du fil au cours de l'extrusion, la billette de soudure originale doit être exempte de porosité, et pour être certain de la



qualité du soudage au moment de l'emploi, l'âme de flux doit être continue.

Toute ségrégation dans la billette coulée se traduit par une variation de composition sur la longueur du fil extrudé, et il faut veiller à maintenir cette variation dans les limites de spécifications requises.

## TRAVAIL DE LA POTERIE D'ÉTAIN

### Laminage

A côté des étains d'art coulés, beaucoup d'articles sont tournés ou emboutis en partant d'une mince tôle d'alliage, dont les propriétés mécaniques après laminage, doivent être aussi uniformes que possible. En particulier, ces propriétés seront toujours similaires quelle que soit l'orientation des éprouvettes de mesure, c'est-à-dire que les témoins parallèles ou ceux perpendiculaires au sens du laminage, doivent donner des résultats équivalents. Des propriétés mécaniques divergentes, comme toute allotropie, entraînent une irrégularité d'épaisseur de paroi des articles façonnés, ou donnent lieu à des protubérances régulières ou « oreilles » tout autour des bords de la pièce, ce qui est à la fois un inconvénient et une perte de matière. De plus, le formage de pièces complexes est rendu très difficile quand l'allotropie est exagérée.

L'Institut a fait beaucoup de recherches en vue de réduire cette allotropie. De manière générale, les tôles d'alliage destinées au tournage et à l'emboutissage pour obtenir des vases, des cruches ou des gobelets, sont produites par laminage de planches d'environ 50 mm d'épaisseur jusqu'à celle désirée, soit environ 1 mm, en opérant de façon à éviter les « oreilles » au cours du tournage ultérieur. Les méthodes utilisées comprennent, soit une giration à 90° du lingot, à un stade prédéterminé des séquences de réduction d'épaisseur, soit un recuit à 175 °C pendant 10 mn avant de passer au laminage final (fig. 6).

La composition de l'alliage et le taux global de réduction du lingot coulé jusqu'à l'épaisseur

voulue, déterminent pour chacune des deux méthodes précitées, le dernier taux de réduction qui corresponde au minimum d'allotropie. On peut donc atteindre ce niveau minimal qui est en général fonction des teneurs en cuivre et antimoine et qui varie à l'inverse de celles-ci jusqu'à environ 8 % Sb et 3,5 % Cu. La meilleure composition est celle communément utilisée (92 % Sn, 6 % Sb, 2 % Cu) qui donne à ces tôles d'alliage des propriétés optimales, avec un faible degré d'allotropie.

En intercalant un recuit en cours de laminage, on obtient une dureté supérieure à celle résultant du laminage en sens croisé, sans traitement thermique, et les aptitudes au tournage sont excellentes. Pour certaines applications, cette dureté accrue peut être avantageuse.

Le poli superficiel des cylindres est essentiel, surtout au stade final du laminage. Il faut éviter tout grain et même toute poussière, car à tous les stades de manipulation des feuilles, leur surface tendre doit être à l'abri des inclusions de particules. Celles-ci, ou des inclusions d'oxyde, ou encore des éléments d'alliage non dissous, et même des défauts de coulée, doivent être éliminés par usinage de la surface de la planche d'alliage avant son laminage. En effet toute irrégularité peut laisser des empreintes superficielles sur la feuille terminée, qui se marqueront surtout dans les étains tournés.

### Déformation à froid

Cet alliage pour poterie surpasse en ductilité la plupart des métaux ; il peut être corroyé, comprimé, martelé et cintré, pour obtenir n'importe quelle forme. Comme il ne s'écrouit pas, on ne doit pas le recuire. A cet égard, il convient parfaitement au petit artisan et se prête également aux techniques modernes de fabrication.

Les feuilles de « pewter » et tôles fines d'alliage (jusqu'à 0,2 mm d'épaisseur) peuvent être facilement modelées à l'aide d'un barreau de verre, arrondi d'un côté et conique de l'autre. En plaçant cette mince feuille sur une surface bien lisse, on peut la bosseler, la marquer, et en uti-

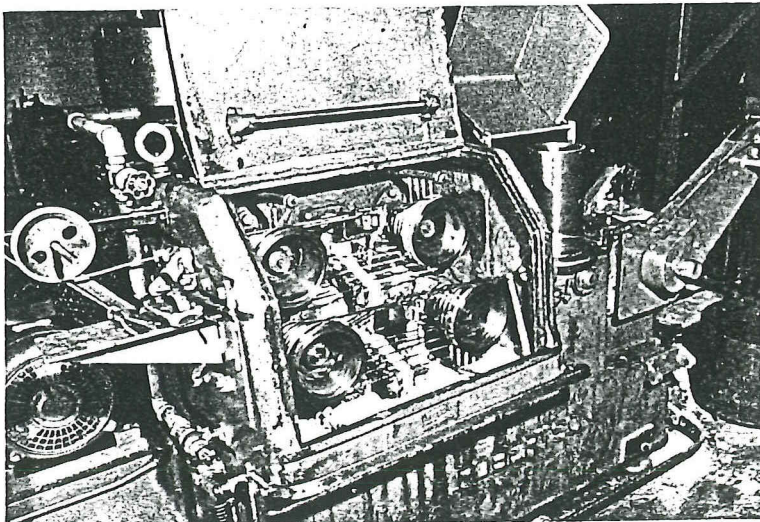
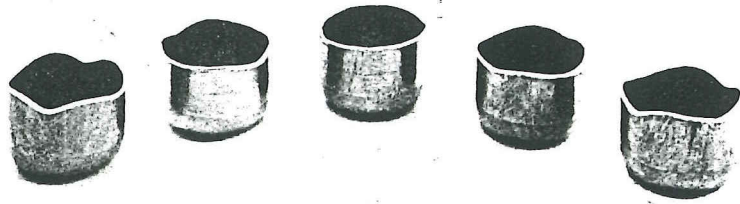


Fig. 5. Le fil de soudure est étiré à froid à la section définitive par passages successifs dans une série de filières.

Cliché : Fry's Metals Ltd. et T.R.I.

Fig. 6. Effet du régime de laminage sur l'allotropie de l'alliage. Les étapes successives montrent de gauche à droite les résultats obtenus après un laminage en travers de 96 %, 85 %, 70 %, 30 %, 0 %.

Cliché T.R.I.



lisant l'outil en verre, le métal étendu peut être modelé à la forme désirée. Beaucoup d'articles sont martelés en forme, et on dispose de marteaux pour aplatir (raidir) et façonner le métal. Le formage à froid sur des matrices en bois ou en métal permet d'obtenir quantité d'objets. Des bols, des compotiers et des vases sont réalisés en utilisant une technique procédant à la fois de l'étirage et de la compression du métal pendant qu'on dresse les bords vers le haut.

### Tournage

C'est une des plus importantes techniques de fabrication des poteries d'étain, dans laquelle on déplace le métal d'une mince feuille par application d'une force extérieure dirigée suivant un certain angle.

Dans ce procédé on engendre, à l'aide d'un tour entrepointes, une surface de révolution en partant d'un disque en métal entraîné par le mandrin dans lequel on a fixé un noyau d'ébauchage. On amorce la mise en forme en exerçant une pression sur le disque à l'aide d'un outil en bois. Le savon gras, le suif ou l'huile d'olive servent de lubrifiant. On repousse progressivement le métal en le forçant à épouser la forme du noyau. On doit prévoir l'épaisseur du flan initial en fonction du travail à réaliser car la paroi du cylindre s'amincit progressivement au cours du tournage. La vitesse de rotation du mandrin varie de 800 tpm, pour les grands diamètres, jusqu'à 1 200 tpm.

L'emploi d'un tour à vitesse variable rend le travail plus souple car il permet de réaliser des pièces d'épaisseur et de conception différentes.

Une importante firme, fabricant en série des chopes en étain, utilise une tôle coupée à dimension pour former un cylindre dont les génératrices sont soudées bord à bord, et réalise ainsi un tube ouvert à ses extrémités et dénommé « col ». Il est ensuite mis en forme sur un mandrin fixé dans les mors du tour, pour pouvoir tourner des collerettes, modifier les contours s'il y a lieu, entailler des rainures additionnelles et décoller le métal en excès. Un fond adéquat, également tiré par tournage, d'un disque d'alliage, est ensuite soudé au col. Ce procédé rapide et efficace permet d'obtenir de grandes quantités de chopes.

On trouve dans le commerce des machines automatiques pour tourner des vases en étain et autres alliages, réalisant ainsi une économie de temps (fig. 7). Sur une vue, le flan est d'abord formé par un cylindre tournant, guidé par un gabarit à rotule du singe. Une fois tournée sur le mandrin cylindrique, la pièce est lissée et ébarbée sur les bords. Cette préforme est ensuite montée sur un mandrin fendu, appuyée contre le rouleau de tournage, et profilée dans la zone d'appui par un rouleau de formage. Toute l'opération dure environ trois minutes.

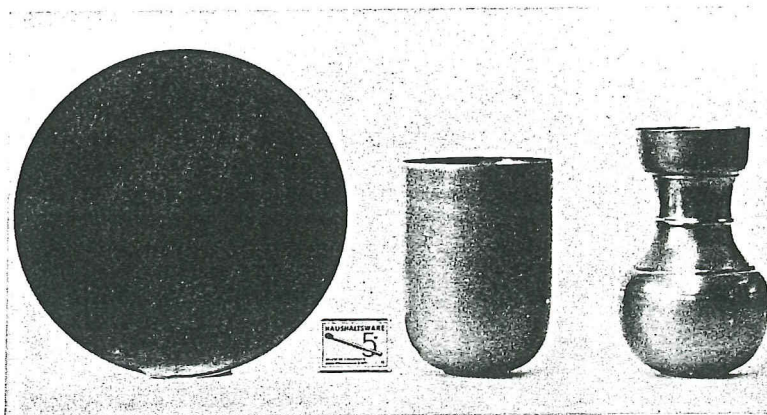


Fig. 7. Différents stades du tournage automatique d'un vase en partant d'un disque d'alliage.

Cliché T.R.I.

Le lustrage des articles en étain leur donne un aspect agréable. On l'obtient par polissage d'abord au sable spécial imprégné d'huile, ensuite au tampon sur une machine à grande vitesse. Certaines finitions décoratives sont réalisées par traitement chimique.

#### Fabrication de tuyaux d'orgues à partir de tôles d'alliage

La fabrication de tuyaux d'orgues s'est récemment perfectionnée grâce à l'emploi de feuilles d'alliages à 95 % Sn laminées à froid et dont les propriétés uniformes et l'épaisseur constante ont largement contribué à l'accroissement de l'efficacité et de la rapidité d'exécution des tubes.

L'alliage est livré en tôles de 3,60 m de long sur 90 cm de large, et en épaisseur allant de 1,4 mm pour les plus grands tuyaux jusqu'à 0,38 mm pour les plus petits. La tôle est tracée suivant les données du plan, en se servant de gabarits et d'échelles spéciales. Le corps cylindrique est obtenu par formage manuel autour d'un mandrin de dimension appropriée. On utilise des battoirs traditionnels tirés du bois dur de cocotier. Le tube formé est ensuite soudé longitudinalement bord à bord, et dans le cas de grandes longueurs, plusieurs sections sont soudées bout à bout sur leur pourtour. Un battage complémentaire sur des mandrins de forme appropriée, est ensuite pratiqué pour aplatir dans sa longueur certains endroits du tube dont la paroi doit avoir une section transversale rectangulaire selon la fonction du tuyau d'orgues (fig. 8).

L'utilisation par des mains expertes de tôles laminées pour fabriquer des tuyaux d'orgues présente de nombreux avantages tant du point de vue du rendement de l'opération que de celui de l'aspect des pièces finies donnant à ces tuyaux un lustre incomparable.



Fig. 8. Formage du « pied » de tube sur un mandrin spécial.

Cliché T.R.I.

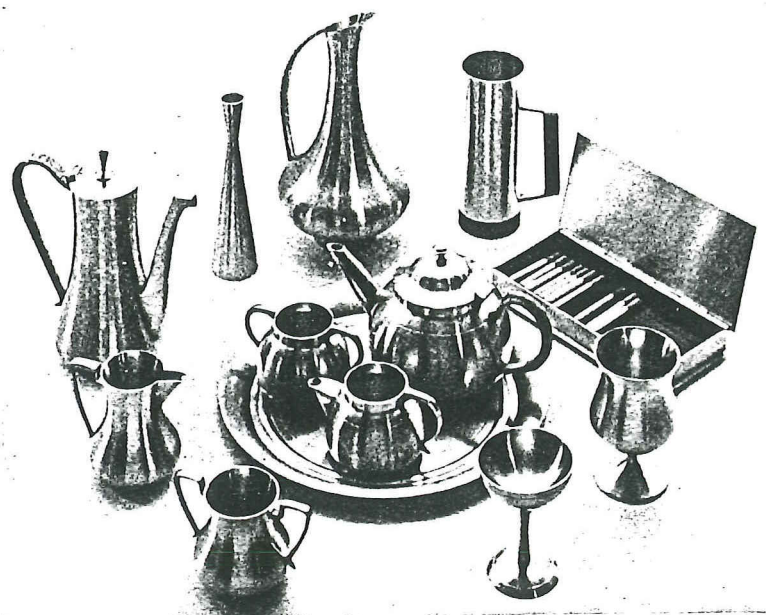


Fig. 9. Un choix d'articles modernes d'étains d'art coulés.

Cliché T.R.I.

# « TIN RESEARCH INSTITUTE »

## SIÈGE SOCIAL ET LABORATOIRES

Tin Research Institute, Fraser Road, Greenford, Middlesex, England  
Téléphone : 01-997 4254

## BELGIQUE ET FRANCE

Centre d'Information de l'Etain, rue du Marais 56, 1000 Bruxelles  
Téléphone : (02) 17.57.56

## BRÉSIL

Centro de Informações sobre Estanho, Rua do Carmo 43, 10º And ZC-00  
Rio de Janeiro, G.B.  
Téléphone : 42-8155

## ALLEMAGNE OCCIDENTALE

Zinn-Informationsbüro, Kasernenstraße 13, 4000-Düsseldorf 1  
Téléphone : 1 68 14

## PAYS-BAS

Technisch Informatie Centrum voor Tin, Louis Couperusplein 19,  
The Hague  
Téléphone : 62.46.91

## ITALIE

Centro d'Informazioni dello Stagno, Via Manzoni 41, I. 20121, Milano  
Téléphone : 632-089

## JAPON

Japan Tin Centre, Shin-Hibiya Bldg., 3-6, 1-Chome, Uchisaiwai-cho,  
Chiyoda-ku, Tokyo  
Téléphone : (502) 7451, (502) 0874 (direct)

## 日本

日本錫センター 東京都千代田区内幸町1-3-6 新日比谷ビル 日本鉱業協会内  
電話 (502) 7451 (代表)  
(502) 0874 (直通)

## ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

Tin Research Institute, Inc., 483 West Sixth Avenue, Columbus, Ohio 43201  
Telephone: (614) 294-3341  
and 2600 El Camino Real, Palo Alto, California 94306  
Telephone: 327-6650