

Élève:

Date:

La fonte

La fonte des métaux précieux est un processus permettant de transformer les métaux sous forme solide en état liquide pour faciliter le moulage et la création d'alliage ainsi que la formation de pièces complexes et parfois reproductibles.

Fusion

La fonte commence par le chauffage du métal à des températures élevées, dépassant souvent les points de fusion des métaux. À ces températures, les liaisons métalliques entre les atomes se rompent, permettant au métal de passer de l'état solide à l'état liquide. Ce processus de fusion libère de l'énergie thermique qui est absorbée par les atomes, augmentant leur agitation et leur mobilité.

Oxydation

Lorsque les métaux précieux sont chauffés à des températures élevées pendant la fonte, ils entrent en contact avec l'oxygène de l'air, ce qui favorise leur oxydation. Ce processus peut se produire à la surface du métal fondu, où les atomes de métal réagissent avec les molécules d'oxygène pour former des oxydes métalliques. Les réactions d'oxydation peuvent être accélérées par une augmentation de la température et une exposition prolongée à l'air.

Pour minimiser l'oxydation, il est recommandé d'utiliser des techniques de coulée sous atmosphère contrôlée, telles que la coulée sous vide ou la coulée sous gaz inerte. Ces techniques permettent de créer un environnement sans oxygène autour du métal fondu, réduisant ainsi le risque d'oxydation.

Des agents de protection, tels que le borax, peuvent être ajoutés au métal fondu pour former une couche protectrice à sa surface.

Une flamme réductrice (pauvre en oxygène) permet d'éviter que le métal ne s'oxyde trop pendant la fonte.

Solidification

Une fois que le métal est fondu, il est coulé dans des moules appropriés pour former des lingots ou des pièces coulées. Pendant le refroidissement, le métal liquide perd de la chaleur à son environnement, ce qui diminue l'agitation des atomes et favorise leur réorganisation en une structure cristalline ordonnée. Ce processus de solidification commence par la nucléation, où des noyaux de cristallisation se forment dans le métal liquide, suivis de la croissance des cristaux à partir de ces noyaux.

Microstructure

La vitesse de refroidissement lors de la solidification influence la microstructure du métal. Un refroidissement rapide peut entraîner la formation de cristaux plus petits et plus homogènes, tandis qu'un refroidissement lent favorise la croissance de cristaux plus grands. Une microstructure fine et homogène est généralement préférée car elle confère au métal des propriétés mécaniques supérieures, telles que la résistance et la ductilité. Cette étape de refroidissement rapide est cruciale pour les alliages tels que l'argent, l'or jaune ou l'or rouge. À l'inverse, les alliages d'or gris et de platine auront besoin d'un temps de refroidissement plus lent.

Élève:

Date:

Rétrécissement, affaissement et porosité

Lorsque le métal passe de l'état liquide à l'état solide, ses atomes se réorganisent pour former une structure cristalline ordonnée. Ce processus de solidification entraîne une diminution de l'espace occupé par les atomes, ce qui se traduit par un rétrécissement du métal. On compte un retrait d'environ 2-5%.

Dans le processus de coulée, maintenir un réservoir de métal liquide est crucial pour compenser ce rétrécissement et assurer un flux continu de métal liquide vers la jonction du métal solide/liquide. Pour éviter les porosités, il est important que ce réservoir soit situé à l'extérieur de la pièce à couler, idéalement intégré à la conception de la pièce ou à travers un système de tiges de coulée bien conçu, tel qu'un cadre entourant la pièce à couler et permettant de distribuer le métal en fusion dans la pièce.

Il est également recommandé d'éviter les sections épaisses suivis d'angles brusques, susceptibles de provoquer une contraction inégale du métal lors de la solidification.

Réalisation d'alliages

La fonte des métaux précieux offre la possibilité de créer des alliages en mélangeant différents métaux pour obtenir les propriétés désirées.

La pureté d'un alliage est exprimée en pourcentage en poids du métal précieux pur dans l'alliage. Par exemple, l'argent 925 signifie que l'alliage contient 92,5% d'argent pur et 7,5% d'autres métaux, en l'occurrence du cuivre.

Le métal pur est généralement acheté sous forme de grenaille et fondu dans un creuset. Lors de la fonte, le métal le plus léger se retrouve au fond tandis que le métal le plus lourd se positionne au-dessus. Cette disposition facilite le mélange des métaux, permettant ainsi au métal le plus lourd de fondre et de traverser le métal plus léger grâce à la gravité.

Élève:

Date:

Législation

En Suisse, les fabricant·es de boîtes de montres, bijoutier·ères, orfèvres, dentistes, etc. ne peuvent fondre les **déchets** de métaux précieux provenant de leurs activités que s'ils sont en possession d'une autorisation individuelle de fondeur (OCMP, article 171).

(OCMP, article 35a)

Sont réputés déchets provenant de la mise en œuvre des métaux précieux ou de leurs alliages au sens de l'article 1 alinéa 3 lettre b de la loi:

- Les limailles, bûchilles, rognures, déchets de polissage, d'argentage, de dorage, de platinage, de palladiage; les cendres et les balayures; les pièces travaillées ou ébauchées hors d'usage; les déchets de lingots, plaques, fils, rondelles, etc.; les déchets provenant de la fabrication d'ouvrages plaqués, etc.;
- Les déchets de métaux précieux provenant de la technique dentaire;
- Les déchets et résidus de métaux précieux provenant de tous autres industries et métiers (par ex. déchets d'argent provenant de l'industrie photographique, contacts électriques, circuits imprimés, bains galvaniques usagés, etc.).

Poinçon individuel de fondeur·euse

(OCMP, article 172 alinéas 1+2)

Les produits de la fonte, destinés à l'essai ou à la vente provenant de titulaires d'une autorisation individuelle de fondeur·euse doivent être munis du poinçon individuel de fondeur·euse.

Le poinçon individuel peut représenter une image, des lettres ou un nom; en général, il sera identique au poinçon de maître. Il n'est pas prescrit de forme spéciale, mais le terme «FONDEUR» ne doit pas y figurer (différence par rapport au poinçon de la patente de fondeur·euse).

L'image du poinçon insculpé sur les lingots de récupération doit mesurer au moins 5 mm dans sa plus petite dimension.

La durée de validité du poinçon individuel de fondeur·euse est de 20 ans; pour les titulaires d'un poinçon de maître, elle est limitée à la durée de validité dudit poinçon. Elles sont renouvelables.

L'autorisation individuelle de fondeur·euse est octroyée, sur demande, par le Bureau central.

Pour l'enregistrement du poinçon individuel de fondeur·euse, les dispositions concernant le dépôt d'un poinçon de maître sont applicables par analogie (OCMP, chapitre 4).

Dans l'exercice de son activité commerciale, le titulaire de l'autorisation individuelle de fondeur·euse doit se conformer strictement aux dispositions de la loi et des prescriptions d'exécution, ainsi qu'aux instructions spéciales du Bureau central, et éviter tout ce qui pourrait inciter des tiers à commettre une infraction.

Le titulaire de l'autorisation individuelle de fondeur·euse n'est pas autorisé à fondre pour des tiers. Seul·es les titulaires de la patente de fondeur·euse peuvent effectuer cette opération.

Élève:

Date:

Achat de vieil or pour recyclage

Dès 2024, les acheteur-euses de métaux précieux qui dépensent 50'000 CHF ou plus par an pour le rachat de vieil or seront surveillé-es par le Bureau central de contrôle des métaux précieux. Ils-elles doivent s'enregistrer ou obtenir une autorisation. L'enregistrement est gratuit pour les entreprises inscrites au registre du commerce, mais coûte 2'000 CHF tous les quatre ans ; pour les autres, l'autorisation coûte 2'500 CHF pour quatre ans.

Chaque achat de métaux précieux (or, argent, platine, palladium) doit être documenté avec :

- nom et adresse du-de la client-e ;
- vérification de l'identité du-de la client-e, en indiquant le type et le numéro de la pièce d'identité présentée (passeport ou carte d'identité) ou, si ce n'est pas possible, une copie ;
- date de réception de la marchandise ;
- description précise et, si elle est connue, composition de la marchandise ;
- poids de la marchandise ;
- prix d'achat ;
- signature du-de la client-e.

Recyclage chez Gyr métaux précieux

Les déchets de haute concentration de métaux précieux (limailles, fragments et vieil or) sont collectés après le travail et envoyés à la société de recyclage. Une fois reçus, leur poids est contrôlé et enregistré, puis ils sont documentés par des photos avant d'être envoyés en toute sécurité vers la fonderie.

- À la fonderie : Le poids des déchets est vérifié à nouveau. Ils sont fondus dans un creuset où les impuretés brûlent, réduisant le poids d'environ un tiers. Après la fonte, trois éléments apparaissent : les scories (impuretés), des résidus de fer, et un lingot homogène contenant les métaux précieux et non précieux. Des échantillons sont prélevés de ce lingot pour analyse.
- L'analyse : Les échantillons sont analysés d'abord par fluorescence des rayons X pour une première estimation. Ensuite, les échantillons passent par des procédés chimiques pour isoler les métaux précieux. Les impuretés sont brûlées, et les métaux précieux (or, argent, platine, palladium) restent sous forme de grains de métal. L'or est séparé des autres métaux grâce à un bain d'acide nitrique, et le poids final est mesuré pour calculer les teneurs exactes en métaux précieux.
- Crédit et Raffinage : Les résultats d'analyse sont notés sur un certificat, et un crédit est attribué au client, soit sous forme de valeur en métal, soit par un paiement. Les lingots individuels sont ensuite fondus en grands lots et raffinés pour obtenir des métaux purs. Ces métaux sont coulés en lingots, fils ou grenailles, et réintègrent le circuit de production pour la fabrication d'alliages et autres produits en métaux précieux.

Les déchets de basse concentration, comme les chiffons, gants, résidus de polissage et autres matériaux ayant touché des métaux précieux, peuvent aussi être recyclés. La société Gyr Métaux Précieux accepte ces déchets pour recyclage à partir de 5 kg.

Élève:

Date:

Histoire

Il est certainement utilisé depuis au moins 4500 ans. Il existe de magnifiques exemples de pièces moulées à la cire perdue réalisées par des cultures aussi variées que les nomades sibériens du Kazakhstan, les Sumériens d'Ur au Moyen-Orient, les Égyptiens, les Grecs et les Chinois. À une date ultérieure, à partir d'environ 400 apr. J.-C., le processus a été développé de manière indépendante dans les Amériques par les Indiens précolombiens d'Amérique du Sud et les civilisations aztèque et maya d'Amérique centrale. L'un des plus célèbres représentant de l'art était le célèbre orfèvre italien Benvenuto Cellini (XVI^e siècle), qui a apporté plusieurs améliorations à la technique et a laissé des écrits sur ses méthodes. Ensuite, le processus est largement tombé en désuétude pendant environ 400 ans, bien qu'une exception fût son utilisation par Carl Fabergé, qui fabriquait des bijoux exquis pour la cour russe au tournant des XIX^e et XX^e siècles. Étonnamment, c'est principalement la profession dentaire qui est responsable de la résurgence du processus, car il a été découvert vers 1910 comme méthode idéale pour la fabrication de dents en or, de couronnes et de prothèses dentaires. Dans les années 1930, il a été adopté par les bijoutier-ères qui ont reconnu que c'était un processus idéal pour la fabrication de petites pièces moulées ayant une bonne reproductibilité de surface et un contrôle dimensionnel raisonnablement bon, de sorte qu'aujourd'hui, c'est le processus de production le plus important pour la fabrication de bijoux.

Procédé

Le terme «cire perdue» vient du fait que le modèle utilisé pour la coulée est fabriqué en cire, et ce modèle sera détruit ou «perdu» pendant le processus. Autrefois, le modèle en cire était enveloppé dans de l'argile qui séchait ensuite. En chauffant, la cire fondait et s'écoulait de l'argile, laissant un moule en argile avec une cavité dans laquelle le métal en fusion était versé. Dans le processus moderne, l'argile est remplacée par des types spéciaux de plâtre.

Étapes

- **Réalisation du modèle en cire:** Ce modèle en cire est une réplique précise de la pièce finale désirée.
- **Assemblage de l'arbre en cire:** Plusieurs modèles en cire sont attachés à une tige centrale en cire pour former un «arbre» en cire. Cela permet de couler plusieurs pièces en une seule fois, économisant du temps et de la matière.
- **Plâtrage du moule:** L'arbre en cire est ensuite enveloppé dans un matériau réfractaire, généralement du plâtre, pour former le moule. Ce matériau solide résistera à la chaleur du métal fondu.
- **Élimination de la cire:** Une fois que le moule est sec, il est chauffé dans un four, ce qui fait fondre la cire à l'intérieur, laissant une cavité exactement de la forme de la pièce à couler.
- **Coulée du métal:** Avec la cire éliminée, le moule est prêt à être utilisé pour la coulée. Du métal fondu est versé dans la cavité laissée par la cire.
- **Refroidissement et retrait du moule:** Une fois que le métal a refroidi et solidifié, le moule est cassé, révélant la pièce métallique finale. Les pièces sont séparées de leur tige de coulée à la pince.
- **Finition:** La pièce coulée est ensuite nettoyée et reprise pour éliminer les imperfections et obtenir la texture et la brillance souhaitées.

Élève:

Date:

Modèle

Par modèle, on entend en principe le modèle à couler, en relief ou en volume, le positif. Le modèle peut se présenter sous différentes formes : objet modelé en argile ou en cire, en plâtre, en plastique, en métal ou en bois. On distingue deux types de modèles : les modèles perdus sont tous ceux qui sont détruits lors du processus de coulée comme les modèles en cire.

Les modèles permanents sont des modèles réutilisables, conçus pour des coulées en série. Un moule en silicone ou en caoutchouc est réalisé puis de la cire est injectée dans le moule afin d'obtenir un modèle utilisable avec le processus de cire perdue.

Réalisation d'un moule pour reproduire un modèle

Les modèles originaux qui résistent à la chaleur peuvent être moulés dans le **caoutchouc**. Ce procédé s'appelle la vulcanisation. Le modèle est alors chauffé à 150°. Les modèles originaux qui ne supportent pas la chaleur (cires, pièces naturelles, matières plastiques, etc.) sont en revanche moulés dans du **silicone**. Contrairement à la vulcanisation, ce procédé est froid et permet de mouler des originaux non résistants à la chaleur.

Retrait des moules

Le retrait ne peut pas être généralisé, car il varie selon le modèle et l'alliage. Toutefois, on peut dire en gros que le retrait du silicone est de 2% maximum et celui du caoutchouc de 4% maximum.

Coulabilité des modèles en cire

Épaisseurs de matériaux ou interstices d'au moins 0,4mm.

Les creux et les espaces ne doivent pas être plus grands que la hauteur. Pour un trou de 1 millimètre de diamètre, sa profondeur ne doit pas dépasser ce millimètre.

Types de coulée

- **Coulée à la main**: Dans cette méthode traditionnelle, le métal fondu est versé manuellement dans la cavité du moule à l'aide d'un creuset.
- **Coulée par gravité**: Le métal fondu est versé dans le moule en plâtre à partir d'une certaine hauteur, exploitant la force de gravité pour remplir la cavité du moule.
- **Coulée sous pression**: Dans ce processus, le métal en fusion est injecté dans le moule sous la pression d'un piston. Cela permet d'obtenir des pièces avec une densité et une structure plus uniformes.
- **Coulée sous vide**: Cette méthode implique l'utilisation d'un vide pour aspirer l'air du moule avant et pendant la coulée du métal fondu. Cela aide à éliminer les bulles d'air et à améliorer la qualité des pièces coulées.
- **Coulée centrifuge**: Dans ce processus, le moule est fixé à un bras rotatif et le métal fondu est versé dans le moule pendant qu'il tourne à grande vitesse. La force centrifuge assure une distribution uniforme du métal fondu dans le moule, produisant ainsi des pièces avec une densité et une structure uniformes.

Finitions

Le retrait dû au casting peut-être estimé entre 2% et 5%. La reprise du casting diminue l'épaisseur du métal, penser à la prendre en compte. Pour une bague avec une taille spécifique, réaliser la bague aux bonnes dimensions en cire, le retrait va diminuer la taille mais la reprise va l'agrandir, les deux s'annulent.

Élève:

Date:

Préparation du creuset

Si l'on veut fondre de l'argent ou de l'or de couleur, choisir un creuset en pierre réfractaire ou en graphite.

Pour l'or blanc, préférer la pierre réfractaire.

Pour les platinoïdes, choisir un creuset spécial pour fonte à très haute température. Bannir le charbon et le graphite qui contiennent du carbone.

Pour les creusets neufs en pierre réfractaire, faire vitrifier une fine couche de borax au fond du creuset pour que le métal n'accroche pas une fois fondu. Préférer du borax en poudre que liquide, pour qu'il ne s'infiltre pas dans la pierre.

Préparation matière à fondre

Choisir du métal propre, non-oxydé, sans soudure, sans colle, sans stylo indélébile et en petit morceau. Bannir les limailles, les chaînes, les services en argenterie (Ag 800) qui risquent de baisser le titre de l'alliage et qui contiennent trop d'impuretés.

Dérocher la matière, passer à l'ultrason, à l'alcool.

Préparation lingotière

Nettoyer la lingotière au savon et à l'alcool pour se débarrasser de toutes graisses et impuretés.

Déposer de la suie en passant avec la flamme de propane sous la lingotière pour éviter que le lingot ne colle au fond.

Tempérer la lingotière au four à 300°C ou avec la flamme du chalumeau.

Mettre un morceau de papier plié dans la fente de la lingotière pour délimiter la taille du lingot souhaité.

Sécurité

- Lunettes obscurcissantes, blouse, gants.
- Ventilation.
- Extincteur et couverture anti-feu proches.

Fonte

Mettre une tombée de borax sur le métal.

Choisir une flamme réductrice en oxygène (riche en propane) et de très grande taille pour bien englober la matière à fondre.

Mettre la flamme sur le métal et ne jamais l'enlever.

Plus on chauffe vite, moins le métal n'a le temps de s'oxyder.

Une fois la matière fondue, et en boule, la matière semble rouler sur elle même.

Mettre un petit morceau de papier dans le creuset pour apporter du carbone à la fonte, ce qui va attirer les oxydes métalliques vers l'extérieur (ou mélanger avec une tige en acier pour l'argent/graphite pour l'or de couleur) puis faire rouler la matière pour permettre à la goutte de borax de piéger les impuretés.

Juste avant de verser, essayer de faire accrocher le borax sur le bord du creuset.

S'approcher au plus près de la lingotière et verser d'un coup sec et assuré, sans enlever la flamme du métal.

Avec l'argent et les ors de couleur, choquer au plus vite le lingot.

Avec l'or blanc, attendre que la matière soit redevenue noire avant de choquer.

Élève:

Date:

Choix du modèle

Plusieurs matériaux possibles:

- Métal, par exemple pour reproduire un bijou existant.
- Impression 3D plastique ou résine, d'après modèle créé sur un logiciel de 3D.
- Cire à caster, travaillée à la main ou par impression.
- Matière organique, type bois.
- Toute autre matière suffisamment rigide pour supporter la pression de la terre tassée.

C'est principalement la forme du modèle à reproduire qui détermine sa faisabilité. Elle doit pouvoir être retirée de la terre verticalement en ligne droite, être assez compacte, de taille adaptée au moule et sans partie trop fine.

Matériel

Anneau en alu avec ou sans trou sur le côté

Terre de Delft

Talc

Réglette

Marteau

Pointe à feu

Lame peu aiguisée

Matériel pour la fonte

Métal à fondre, dont le calcul peut être fait en connaissant le poids et la masse volumique du matériau de départ et d'arrivée, en y ajoutant de la marge pour garder du poids qui aide la coulée.

Erreurs communes

- **Angle de coulée trop ouvert**: le métal doit pouvoir couler sans embûche dans la terre. Plus l'angle est ouvert, plus le métal va s'écraser contre la terre avant de couler dans le moule.
- **Trou pour la tige de coulée trop petit**: le métal refroidissant très vite va se solidifier dans le trou de tige de coulée et ne va plus permettre au métal en fusion de couler dans le moule.
- **Le métal n'est plus assez chaud au moment de verser**: la flamme doit accompagner le métal en fusion jusqu'au dernier instant.
- **Trop de borax lors de la fonte**: si trop de borax est présent lors de la fonte, une goutte peut couler avec le métal et entrer dans le moule.
- **Pas assez d'évents**: les évents servent à chasser l'air du moule, ils doivent être placés stratégiquement, si possible dans le sens de la coulée. Un à l'opposé de la tige de coulée et un de par et d'autre du modèle.
- **Terre pas assez tassée**: plus la terre est tassée, plus la surface de la pièce sera lisse. Une terre mal tassée au niveau du cône de coulée risque de se faire emporter dans le moule lors de la coulée.
- **Placement de la tige de coulée**: penser à utiliser la gravité pour aider la coulée.
- **Mauvais choix du modèle**: parties trop fines, trous dans deux axes différents, matière trop tendre, repli de la forme.
- **Mauvaise estimation de quantité de matière**: penser à fondre plus de matière que nécessaire pour que le poids du métal en fusion aide à pousser la matière dans tous les recoins du moule.