



Septembre 2018

Métallurgie de la boule lyonnaise : des cuivreux aux procédés de fonderie 2^{ème} partie : Approche gamme de fabrication

II.1. Description de la gamme de fabrication

L'observation de la structure aciculaire (Cf. figure 6, voir Newsletter N°33) nous prouve que la sphère a été réalisée en utilisant des technologies issues du monde de la fonderie : le moulage en coquille pour la partie extérieure et le moulage sable pour la forme intérieure. Le site petanqueeurope.com nous propose une description des principales étapes de fabrication (Cf. Figure 7).



Figure 7 : Principales étapes de fabrication d'une boule lyonnaise [2]

Une fois coulée dans le moule, la sphère ainsi formée est ensuite refroidie. Le diamètre et le poids (donc l'épaisseur) sont fonction de la coquille utilisée et du noyau de sable central inséré entre les deux coquilles (Cf. figure 8).



Figure 8 : Moules métal / sable utilisés pour les boules lyonnaise [2 ; 3]



Septembre 2018

On obtient une boule creuse qui, pleine, aurait pesé de 6 à 7 kilos. Après démoulage, un ébarbage à la tronçonneuse est ensuite réalisé, cette opération permet d'éliminer l'entrée de coulée (voir les masselottes et le liquide solidifié dans les événements). Le sable à l'intérieur est brisé à coup de marteau pneumatique et extrait grâce à un aspirateur à air comprimé. Cette opération dite de débouillage est d'autant plus aisée à réaliser que le sable se trouve calciné lors de l'introduction du métal fondu. Cette étape n'est donc pas un problème pour les cupro-aluminiums injectés à une température supérieure à 1100°C, en revanche cette technique est beaucoup plus délicate pour les pièces en aluminium silicium dont la température de coulée est inférieure à 700°C pour un point eutectique à 577°C.

La sphère est ensuite usinée en plusieurs passes de tournage pour assurer une parfaite sphéricité et un équilibrage digne d'une boule de compétition. Pour identifier la zone à reprendre, la boule est placée dans un bac contenant du mercure sur lequel elle flotte comme un bouchon, la partie la plus lourde (le balourd) basculant vers le bas. Le sommet de la boule est alors marqué pour usiner la partie opposée. Par passes successives, on élimine le balourd pour obtenir un équilibrage parfait garantissant une trajectoire rectiligne. Le mercure étant très toxique, il est recouvert d'un liquide protecteur qui isole la boule du contact du mercure et par conséquent l'opérateur.

L'absence de croûte après solidification permet de faciliter les opérations d'usinage. Il est possible d'obtenir des états de surface « super fin ». L'usinage des alliages cupro-aluminium est très similaire à celui des aciers C30 à C45 dont la résistance mécanique évolue entre 500 et 700MPa.

On finira par les opérations de striage (Cf. Figure 9), marquage et polissage mécanique, classiques à l'ensemble des boules de compétition. Les deux trous diamétralement opposés au niveau de la sphère sont ensuite filetés pour pouvoir y visser les 2 bouchons en laiton, une fois que la boule est débarrassée du sable du noyau.



Figure 9 : Opération de finition : striage [4]

II.2. Focus sur le procédé de moulage coquille avec noyautage.

Cette technique d'élaboration associée aux cupro-aluminiums entre dans la catégorie des procédés dits « netshape » avec l'obtention de pièces complexes aux tolérances



Septembre 2018

dimensionnelles serrées. Cette technologie permet d'optimiser la quantité de matière de la pièce brute et de minimiser le temps d'usinage. De façon générale, il est possible de mouler des pièces de quelques grammes à 7 kg voire parfois plus. L'épaisseur minimale est généralement comprise entre 2,5 et 3 mm et peut dans certains cas être réduite à 1,5mm, ce qui en fait un procédé idéal pour la réalisation de la boule lyonnaise. Ainsi, on peut travailler sur des productions de petites à grandes séries (500 à 50 000 pièces). Avec ce procédé, la coulée se fait par gravité, directement dans le godet de coulée. Il existe au passage d'autres technologies « coquille » : le moulage sous pression, le moulage sous très haute pression (appelé forgeage liquide) ou le moulage en coquille centrifugée.

Cette technologie est généralement orientée pour la fabrication d'alliages non-ferreux car les alliages ferreux (aciers, fontes) ont des températures de fusion trop élevées ce qui tend à réduire fortement la durée de vie des outillages (coquilles). On peut donc voir facilement des pièces en cupro-aluminium mais également en bronze (Cu-Sn), en laiton (Cu-Zn) et cupro-nickels. On retrouve également beaucoup de pièces en alliages aluminium-silicium et certains aluminium-cuivre (Al Cu 5 Mg), voir des produits à base de zinc (les fameux Zamac Zn-Al). On trouve quelques pièces en acier ou en fonte principalement dans le monde automobile, telle que des cylindres de frein ou des collecteurs.

Le moulage coquille permet de remplir la coquille par la seule gravité du métal liquide. La coquille est un moule métallique divisé en deux parties suivant le plan de joint et contenant une ou plusieurs empreintes qui imposent les formes extérieures de la pièce. Pour obtenir les formes intérieures, les trous et les orifices de la pièce, on emploie des noyaux qui sont métalliques ou destructibles (sable dans le cas de la boule lyonnaise). On coule directement le métal liquide à l'aide d'une louche ou d'une petite poche de coulée par gravité dans l'empreinte du moule métallique. Le remplissage de la coquille se fait soit sous la seule action de la gravité, soit par coulée directe (coulée en chute ou par gravité) de haut en bas, soit suivant le principe des vases communicants, de bas en haut (coulée en source).

Au cours de la solidification, le métal subit un retrait. Cette réduction de volume associée à la transition de phase (liquide => solide) doit être compensée par un apport de matière : cet apport est réalisé par des masselottes qui constituent des réserves de métal liquide. Au niveau de la conception du moule et de la maîtrise de la coulée, le jet de coulée et les masselottes doivent être les parties qui se solidifient en dernier. Cet objectif permet de récupérer les impuretés du moule et absorbe le retrait de la matière lors du refroidissement afin d'éviter de se retrouver avec des retassures (trous dans la matière) au niveau des parties fonctionnelles du demi-produit obtenu.



Septembre 2018

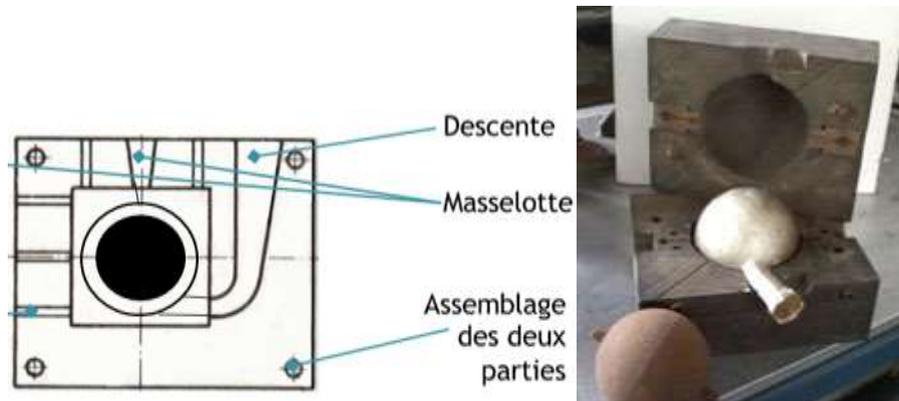


Figure 10 : Description d'un moule type (exemple associé à la boule lyonnaise) [3]

On retrouve pour un moule dédié à la fabrication de boules lyonnaises (Cf. figure 10) :

- Des portées qui permettent d'établir la liaison noyau-coquille afin d'assurer la mise en place de la boule de sable aggloméré dans la matrice métallique,
- La descente ou le trou de coulée,
- Les événements, de fins trous généralement qui permettent l'échappement de l'air lors du remplissage et évitent ainsi les bulles d'air et le mauvais remplissage du moule.

Ces moules doivent avoir un certain nombre de parties mobiles qui permettra l'extraction de la pièce. Pour faciliter cette étape, on effectue un poteyage des surfaces moulantes (couche d'enduit isolante). Cette opération présente d'autres intérêts : la protection de la coquille, le retardement du processus de solidification et l'amélioration de l'état de surface. [5]

Toutes les parties « moulantes » sont en général usinées sur des fraiseuses ou au moyen de machine à électroérosion. Elles peuvent aussi être brutes de fonderie.

Pour des questions de limitation du choc thermique de l'outillage, il est préférable de chauffer entre 200 et 400°C (selon le matériau coulé) l'outillage à l'aide de brûleurs, cela permet également de laisser suffisamment de temps au métal en fusion pour remplir complètement l'empreinte avant solidification. [5]

Les matériaux utilisés pour les coquilles sont très souvent des fontes lamellaires ou à graphites sphéroïdales, faciles à couler et à usiner. Pour les parties les plus sollicitées, on a tendance à choisir souvent des aciers de construction trempés revenus (nuances proposées à titre d'exemple : 35 NiCr 15, 35 CrMoSV 5, 25 CrMo 4). [5]

II.3 Et les traitements thermiques dans tout cela !

Pour augmenter la résistance à l'abrasion des boules lyonnaises, il est recommandé de pratiquer un traitement thermique de durcissement afin d'augmenter de 15 à 20 % la



Septembre 2018

résistance mécanique de l'alliage par rapport à un état brut de fonderie ou d'améliorer la plasticité du produit.

Ce traitement thermique est identique à celui que l'on connaît avec les aciers : il se compose d'une mise en solution au-dessus de 850°C suivi d'une trempe drastique et d'un revenu haute température. Le constituant obtenu, après trempe, est nommé alpha aciculaire ou β' (que certains nomment « martensite » de par sa configuration en aiguille Cf. figure 12). On note aux joints la présence de grains d'une phase γ_2 . Cette dernière est d'autant plus présente que la température de revenu est élevée. La présence de ce précipité est le signe d'une amélioration de la plasticité de l'alliage.

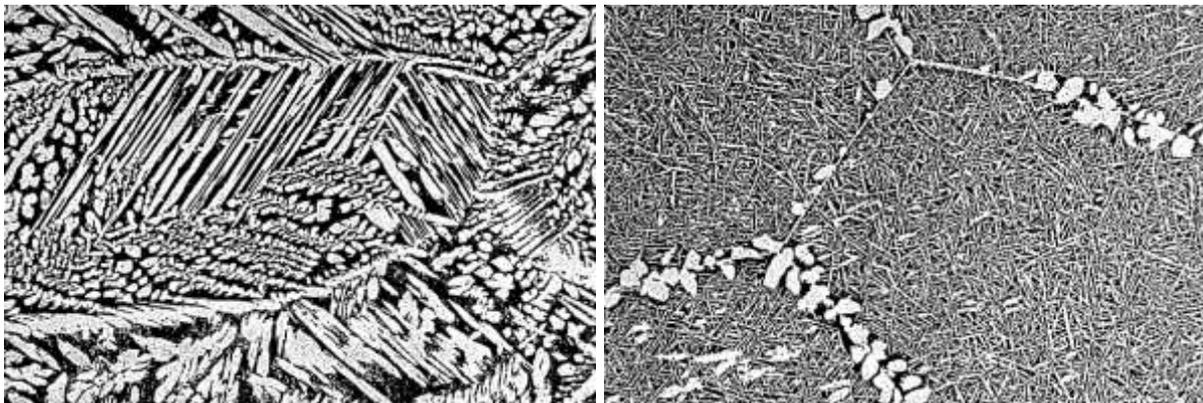


Figure 11 : Structure brut de coulée (CuAl9 Y30) [6] Figure 12 : CuAl9 Y30 après trempe et revenu [6]

Si l'on observe la figure 12 et qu'on la compare à la structure obtenue après observation au microscope optique (Cf. figure 6), on peut émettre l'hypothèse que la boule expertisée a subi un traitement thermique pour modifier les propriétés mécaniques obtenues à l'état brut de trempe.

III. Epilogue ou « fin de partie ».

Ces 2 newsletters nous ont permis par le biais de la boule lyonnaise d'aborder l'intérêt des cupro-aluminiums dans le monde de la mécanique et celui du moulage en coquille :

- Précision et constance dans les dimensions des pièces fabriquées,
- Une simplification et une réduction de l'usinage,
- La possibilité d'utiliser des noyaux en sable afin de réaliser des pièces creuses,
- L'obtention de caractéristiques mécaniques supérieures à celles que l'on peut obtenir avec un moulage sable.

Vous voici, maintenant davantage éclairés sur le sujet au moins d'un point de vue métallurgique et mécanique, il ne vous reste plus qu'à découvrir ce sport, si ce n'est déjà fait. Bonne partie...



Septembre 2018

Remerciements :

Nous tenons à remercier Bernard Cannes, toujours de bonne humeur et spécialiste de la lyonnaise, pour ses conseils avisés et pour la boule qu'il nous a confiée, ainsi que les élèves et les professeurs du BTS traitement thermique du Lycée Diderot à Paris qui nous ont permis d'observer les structures métallurgiques au microscope optique.

Bibliographie :

- [1] A. Fleurentin, « La métallurgie de la pétanque », Traitements et Matériaux N°434, Mai-Juin 2015.
- [2] <http://petanqueurope.fr/choisirvosboules.html>
- [3] Site internet « All about pétanque », <https://petanque.wordpress.com/2012/08/20/la-boule-integral-and-the-invention-of-the-metal-boule/>
- [4] <http://lyon.monplaisir.free.fr>
- [5] B. Anglade, H. Horsin Molinaro, P. Mella, Y. Qunisat, “Le moulage en coquille : procédé de réalisation de pièces métalliques”, ENS Paris Saclay, Septembre 2016.
- [6] D. Arnaud, « Traitement thermique des cupro-aluminiums », Traitement Thermique N°125, Mai 1978.