



Septembre 2017

De la physique des gaz à la fabrication des bouteilles de plongée sous-marine 3^{ème} partie : La fabrication des bouteilles de plongée (en acier).

C'est la rentrée, avec cette 28^{ème} newsletter nous allons clôturer notre thématique sur la plongée sous-marine en décrivant les différentes techniques pour fabriquer une bouteille de plongée.

Les bouteilles de plongée sous-marine représentent environ entre 3 et 7% de la production totale de bouteille de gaz comprimé. Les blocs sont généralement en acier ou en aluminium, en fonction des fabricants. Il existe 3 grandes familles de semi-produit qui permettent d'obtenir des bouteilles d'air comprimé : des tubes, des tôles et des barres. Pour chaque demi-produit est associé un procédé de fabrication bien particulier, que nous vous proposons de décrire au sein de cet article.

La prochaine newsletter nous permettra d'aborder la fabrication des bouteilles en aluminium, essentiellement utilisées dans les eaux chaudes. De plus, nous évoquerons les traitements de surface anticorrosion et la réglementation associée à la qualification d'équipement sous pression.

LES BLOCS EN ACIER

Le tableau 2 nous permet de constater que :

- L'épaisseur des blocs augmente avec la capacité et la pression de service,
- En fonction du fabricant, l'épaisseur du tube peut varier ou pas, par rapport à celle du fond du bloc. Ce constat est directement lié aux techniques de fabrication utilisées : fluotournage, emboutissage ou filage.

Tableau 2 : Caractéristiques de quelques blocs en acier

Matériaux	Capacité (en litre)	Pression de service (en bar)	Epaisseur du tube (en mm)	Epaisseur du fond (en mm)	Fabricant
Acier	12	177	4	6	Roth
Acier	12	200	4,9	7,35	Roth
Acier	12	200	4,5	4,5	Faber
Acier	18	220	5,3	5,3	Faber
Acier	12	200	4,2	4,2	Mannesmann
Acier	15	200	5,1	5,1	Mannesmann



Septembre 2017

a) Nuance, traitement de durcissement et caractéristiques mécaniques

L'alliage utilisé est généralement un 34CrMo4 (avec 0,34% de Carbone et 1% de Chrome et 0,2% de Molybdène). Pour obtenir les caractéristiques mécaniques d'utilisation, on effectue un traitement thermique de durcissement dans un four sous atmosphère de protectrice pour éviter la décarburation. La première étape consiste à chauffer jusqu'à 850°C (austénitisation), puis ensuite on plonge la pièce dans l'huile pour la refroidir brutalement (la trempe) ; cette dernière phase permet de durcir fortement l'acier mais celui-ci est également très fragile, il va donc falloir le « détendre » en réalisant une remontée en température aux alentours de 600°C (le revenu). Ce cycle thermique va permettre d'obtenir des duretés comprises entre 35 et 40HRC (soit une résistance mécanique de 1100 à 1260MPa) tout en garantissant un allongement à rupture supérieur à 16% (valeur définie par la législation française).

b) Focus sur les blocs fluo-tournés de chez ROTH

Cette entreprise utilise, comme demi-produit, des tubes. La bouteille de plongée faisant partie des équipements sous pression, ROTH utilise des tubes extrudés pour des questions d'homogénéité de structure métallurgique et de caractéristiques mécaniques.

Remarque : nous en profitons pour rappeler qu'il existe d'autres tubes qui sont roulés puis soudés par chauffage par induction haute fréquence. Ce type de demi-produit (Cf. figure 5) n'est pas utilisé pour des pièces fortement sollicitées comme peuvent l'être les équipements sous pression. On les retrouve principalement dans l'automobile au niveau du système d'échappement, des sièges et des éléments de structure (bras de berceau, planche de bord, arceau de volant, traverse stabilisatrice, ...)

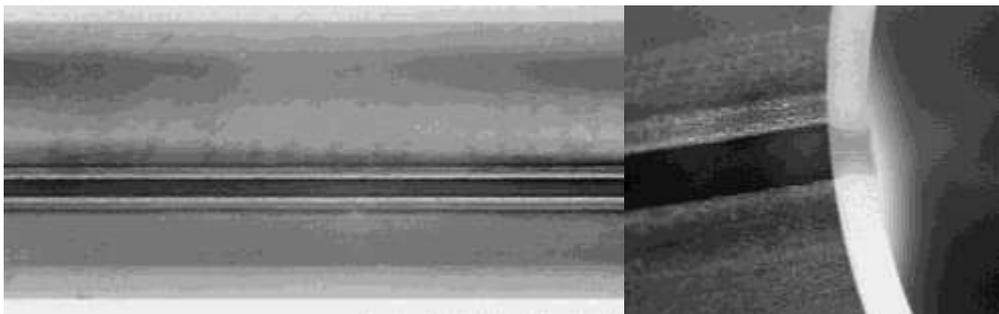


Figure 5 : Tube roulé – soudé.

Un exemple de gamme de fabrication incluant le fluotournage de tube est présenté avec la figure 6. Cette technique consiste à réaliser principalement des pièces creuses de grande longueur à partir d'une ébauche dont on réduit l'épaisseur radiale en une ou plusieurs passes par l'action de plusieurs molettes.



Septembre 2017

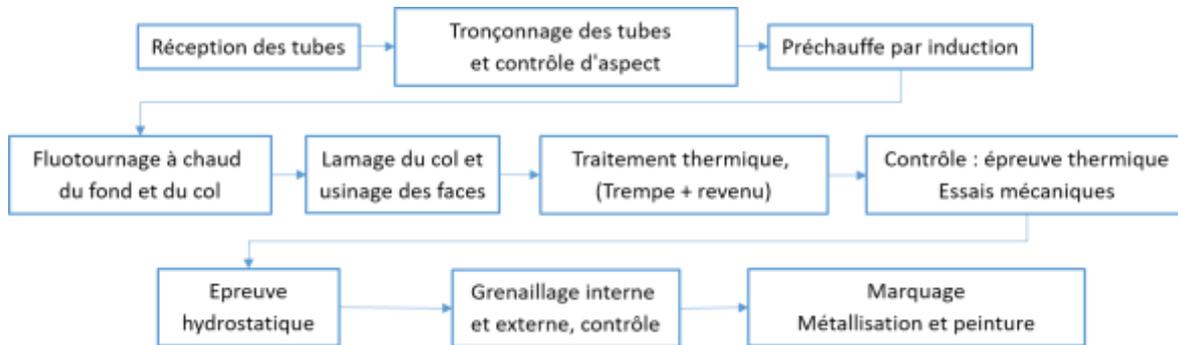


Figure 6 : Image d'une gamme de fabrication utilisant le fluotournage.

Sous l'action des molettes, le métal préchauffé flue, jusqu'à la fermeture complète du fond de la bouteille de plongée. On réalise ensuite un perçage à chaud à l'aide de sous gaz neutre afin de finaliser le col, un lamage sera ensuite réalisé. Un tournage final est réalisé afin d'éliminer les irrégularités et replis engendrés par la technique de mise en forme.

c) Focus sur les blocs emboutis en acier (Faber, Worthington, Mannesmann)

Cette technique de fabrication de la plaque emboutie est utilisée par les Sociétés Faber, Worthington et Mannesmann. Le produit fini a une même épaisseur partout. La figure 7 permet d'avoir une image d'une gamme type pour la réalisation de tels blocs.

Des flasques circulaires sont obtenues par découpage dans une bande qui a été préalablement redressée. Ces flasques sont ensuite revêtues d'une couche de phosphate (opération de phosphatation) en vue de réduire le coefficient de frottement entre les outils de mise en forme (poinçon et matrice) et la tôle. En l'absence de ce traitement de surface, il serait impossible de mettre en forme la tôle sans rencontrer des problèmes de grippage.

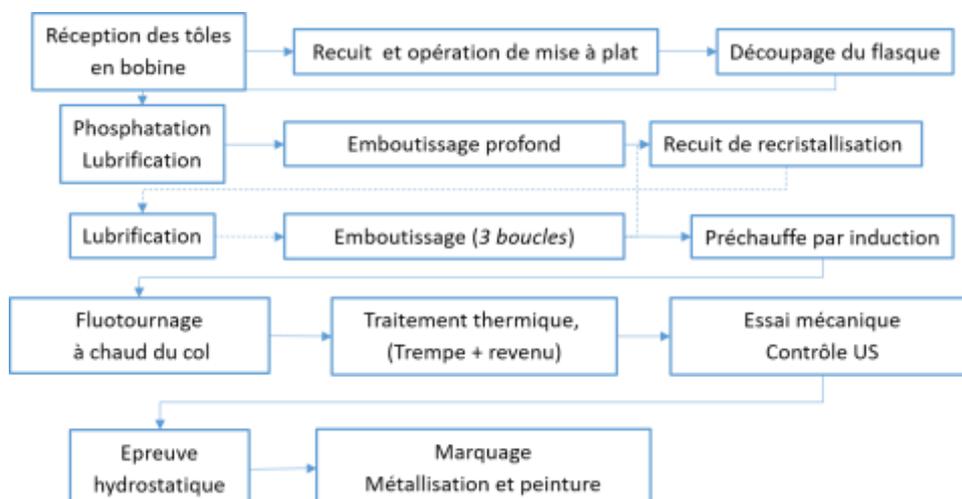


Figure 7 : Image d'une gamme de fabrication utilisant l'emboutissage.

**Septembre 2017**

L'opération de mise en forme sera effectuée en plusieurs passes à l'aide d'une presse d'environ 700kg. Après chaque opération de déformation, l'acier est fortement écroui, sa dureté a considérablement augmenté et son allongement à la rupture a fortement diminué. Il est donc nécessaire de réaliser un recuit de recristallisation à 720°C de la structure déformée afin de rendre l'ébauche d'emboutissage à nouveau apte à une deuxième opération de mise en forme. Cette opération peut être répétée 3 ou 4 fois afin d'obtenir les dimensions souhaitées. On constate que le col peut être réalisé à l'aide d'une opération de fluotournage.

Rendez-vous en novembre pour développer le dernier volet de notre série aquatique avec les blocs en aluminium, en attendant bonne reprise !