

La métallurgie de la pétanque

Alexandre Fleurentin, Métallo Corner

Produit de haute technologie, la boule de pétanque présente un grand intérêt métallurgique. Sa qualité est soumise à la norme Afnor NF S 52-200. Une vingtaine d'opérations de fabrication (mise en forme, soudage, traitements thermiques, usinage, traitements de surface) sont nécessaires.

Avec l'arrivée des beaux jours, il est grand temps de se pencher sur un produit de haute technicité : la boule de pétanque (du provençal pèd : pieds, et tanca : planté ; le jeu à pieds-plantés) dont le diamètre est compris entre 70,5 et 80 mm et la masse entre 650 et 800 g^[1].

La qualité de ce produit est décrite par la norme Afnor (NF S 52-200) qui garantit aux utilisateurs un véritable produit de qualité défini par cinq critères principaux :

- boule creuse, sans corps étranger à l'intérieur ;
- acier durci par traitement thermique ;
- résistance à la corrosion et adhérence de la couche protectrice ;
- régularité de poids entre les boules d'un même jeu ;
- sphéricité et équilibrage.

En dehors de l'intérêt pour le sport/loisir en lui-même, si vous regardez l'ensemble de ces critères sous un angle technique, on comprend mieux que ce produit ait attiré notre attention d'un point de vue métallurgique et mécanique. Nous aborderons donc dans cet article le produit et ses caractéristiques pour ensuite s'intéresser à la gamme de fabrication des boules de « compétition » qui offre le plus d'intérêt technologique par rapport à la boule dite de « loisir ».

Le produit et ses caractéristiques métallurgiques et mécaniques

En faisant appel à notre mémoire, on se souvient qu'en métallurgie les aciers étaient

classés en différentes catégories : aciers doux, mi-doux, mi-durs, durs ou extra-durs. Dans le domaine de la pétanque, on retrouve une classification assez similaire pour balayer l'ensemble de la gamme de dureté : on parle, en fonction des fabricants, de boules : super tendre, très tendre, dureté+, tendre, demi-tendre, demi-dure, dure, très dure... Derrière ces appellations se cache, bien entendu, une gamme de dureté comprise entre 35 HRC (tendre / 1 100 MPa) et généralement 43 à 45 HRC (dure / 1 400 MPa) et plus pour quelques exceptions (dureté maximale de 55 HRC pour des raisons de sécurité). Une dureté minimale de 27HRC (900 MPa) pourra être tolérée au niveau du cordon de soudure^[1]. La tenue à la flexion par choc doit normalement être supérieure à 7 daJ/cm² lors d'un essai « mouton de Charpy » mené à température

ambiante sur éprouvette KCU. Il est également important de savoir que la surface interne de la boule (creuse) pourra présenter des reliefs ou aspérités constitués du même alliage que la boule. Cette orientation technique est l'un des axes de recherche et développement pour les boules d'aujourd'hui et de demain.

Des essais ont été menés en réalisant un réseau de stries circulaires à l'intérieur de la boule à l'image des parallèles et des méridiens du globe terrestre, mais ce choix n'a pas semblé apporter un effet signification au niveau de la limitation du rebond ou du recul de la boule. Par conséquent, le choix actuel s'oriente donc vers la réalisation de motifs en excroissance sur la surface interne du produit. Cette évolution doit permettre une meilleure atténuation de la propagation des ondes de choc. [Brevets : WO 1997043017 A1 ; WO 1993025284 A1] Les boules de pétanque sont composées de deux demi-sphères qui seront ensuite assemblées par soudage (**figure 1**). Au passage, si la boule était pleine, elle pèserait plus d'1,5 kg,



FIGURE 1 : Photo d'une coquille brut de forgeage.



FIGURE 2 : Passage au marbre : test d'équilibrage^[2].

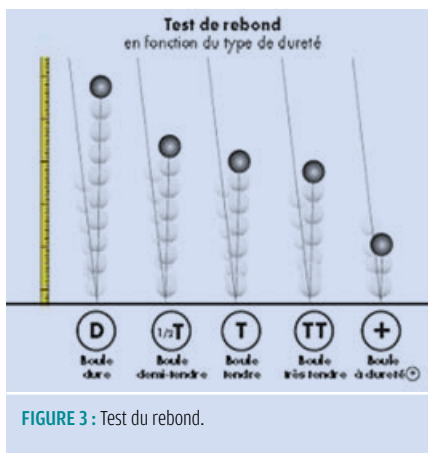


FIGURE 3 : Test du rebond.

ce qui est beaucoup trop lourd pour pouvoir jouer correctement. Compte tenu du mode de fabrication, des problèmes de symétrie d'assemblage peuvent être constatés, ce défaut est appelé : le balourd. L'opération d'équilibrage, hautement stratégique, permettra de corriger ce défaut géométrique. Pour le repérer, la boule peut être placée dans un bain de mercure pour repérer la zone à éliminer par usinage successif. La quantité de matière ôtée ne pourra pas dépasser 1,3 % de la masse de la boule. Pour les boules très haut de gamme, le balourd pourra représenter 0,5 et 0,3 % de la masse de la boule. Ce défaut sera ensuite quantifié au marbre (figure 2). Concernant le repérage des boules, la profondeur des stries ou des creux ne devra pas excéder 1 mm de profondeur [1].

Information utile pour les joueurs (figure 3) : plus une boule est tendre, moins elle rebondit sur un sol dur ; moins elle « recule » lors d'un carreau ; ce dernier point est controversé sur les bouledromes car cela dépend beaucoup de la manière dont on tire. En revanche une boule tendre sera plus sensible à la déformation et à l'abrasion lors de chocs sur le terrain ou entre boules. Par conséquent, la boule tendre est celle qui est la plus avantageuse dans le jeu pour les pointeurs voir les tireurs, mais sa durée de vie est la plus courte. Il faudra donc choisir son type de boule en fonction du terrain mais également en fonction de votre style de jeu et de votre budget. Une chose est sûre « *ce n'est pas la boule qui fait le bon joueur mais elle y contribue !* », paroles de présidents de club.

Mais revenons à la métallurgie, les boules de pétanque normalisées sont en acier au carbone souvent associé au chrome et au molybdène (27CrMo4, C45S...) ou en acier inoxydable martensitique (X17Cr13, X40Cr13...). Il existe

une vingtaine de nuances distinctes utilisées par les différents fabricants dont les compositions chimiques sont relativement confidentielles. Chaque acier est caractérisé par ses propriétés intrinsèques qui influent dans le comportement de la boule : résistance aux efforts (limite d'élasticité, résistance mécanique), dureté, résistance aux chocs (tenue à la flexion par choc), résistance à l'usure abrasive, résistance à la corrosion. C'est essentiellement la teneur en carbone et la gamme de traitement thermique réalisé (austénitisation, trempe et revenu) qui confèrent à l'alliage les propriétés du métal. Il va donc falloir choisir la nuance en fonction de ces conditions d'utilisation mais également en prenant en compte les procédés de fabrication, que nous allons détailler dans le chapitre qui suit. En fonction de la nuance choisie, les produits seront protégés face la corrosion atmosphérique par des revêtements ou autres traitements, à l'exclusion de la plastification, de la peinture et de l'émaillage. Les boules peuvent être lisses (principalement pour les tireurs) ou striées (pour beaucoup de pointeurs). Ces stries sur la surface externe permettent de freiner la boule et d'augmenter son adhérence au sol.

Gammes de fabrication

Pour obtenir une boule de pétanque, on utilisera un semi-produit (barre ou tôle) qui sera mis en forme (à chaud ou à froid) puis soudé, usiné, poli (figure 4). Le produit sera ensuite traité thermiquement pour lui conférer la dureté puis protégé contre la corrosion par un traitement de surface.

Chaque année, ce sont plus de 4 000 à 5 000 tonnes d'acier qui sont utilisées pour la fabrication mensuelle d'environ 300 000 à 400 000 boules. Avec 4 500 000 boules de pétanque par an et 80 % du marché mondial, la marque Obut est le leader incontesté de la filière pétanque.

Mise en forme

En fonction de la qualité de la boule de pétanque (loisir ou compétition), les coquilles seront :

- soit issues de tôles de 10 cm de large (feuillard) qui seront ensuite découpées puis embouties (boules de loisir),
- soit issues de barres laminées (figure 5) qui seront cisailées en lopins (figure 6) puis forgées à chaud (figure 7) en 3 à 4 passes avec une phase intermédiaire qui permettra d'obtenir une galette juste avant l'opération « d'ogivage » (boules de compétition).



FIGURE 4 : Gamme de fabrication.



FIGURE 5 : Barres de diamètre 40 mm utilisées pour la fabrication des boules. (en arrière plan : presse utilisée pour réaliser les coquilles). [4]



FIGURE 6 : Lopins issus de l'opération de cisailage.



FIGURE 7 : (a) Lopins issus de l'opération de cisailage. Illustrations du procédé d'estampage - matriçage. (b) Illustrations du procédé d'estampage - matriçage. (c) Illustrations du procédé d'estampage - matriçage. [2]

En fonction du mode de mise en forme sélectionnée, il est clair que les caractéristiques mécaniques seront isotropes dans le cas des boules de compétition puisque le fibrage est répartie de façon homogène au niveau du semi-produit comme le montre la **figure 8**. Ce qui n'est pas le cas des boules « loisir » réalisés à partir d'un feuillard.

Les poinçons dans le cas de certaines boules de compétition peuvent être très complexes pour réaliser le relief de la surface interne de la boule. Dans la suite de l'article, nous poursuivrons la gamme de fabrication des boules de compétition : Après forgeage, l'épaisseur de la boule est de l'ordre de 8 mm et on peut réaliser un chanfrein pour améliorer la pénétration du métal lors de l'assemblage par soudage à l'arc (opération non nécessaire par exemple dans le cas d'un soudage friction).

Assemblage des coquilles

À ce stade, les deux hémisphères vont être assemblées par soudage. On utilise très souvent des systèmes automatisés à l'arc type M.A.G. (Métal Active Gaz) ou M.I.G. (Métal Inerte Gaz) (**figure 9**).

Pour cette opération réalisée par des moyens

de production classés dans la rubrique des procédés dit spéciaux, il faudra réaliser une étude poussée pour assurer un assemblage de qualité en prenant en compte :

- les paramètres électriques (intensité, tension, nature du courant (pulsé ou pas), vitesse d'avance et stick-out) ;
- les paramètres associés au gaz de protection (nature du gaz (CO₂), débit, diamètre de la buse) ;
- les paramètres liés au métal d'apport ;
- les paramètres géométriques du chanfrein.

En fonction de la valeur calculée pour le carbone équivalent (Céq) qui dépend de la composition de l'acier sélectionné, il sera plus ou moins conseillé de préchauffer les coquilles avant soudage.

$$Céq = C + (Mn/6) + ((Cr + Mo + V) / 5) + ((Ni + Cu) / 5)$$

Pour un carbone équivalent relativement bas (Céq < 0,3) et à condition que l'apport en énergie soit limité (< 60kJ/cm) et que le produit soit à une température supérieure à 15 °C, il est possible d'effectuer l'opération de soudage à l'arc sans préchauffage [6]. Une fois l'opération réalisée, il sera important de veiller que les opérations de mise en forme (forgeage et soudage) n'aient pas générées des défauts (fissuration, paille, retassure, défaut de pénétration...) que l'on retrouve très souvent après usinage ou traitement thermique. Cette opération peut également être réalisée par la technique du soudage sans métal d'apport comme le soudage friction (principaux paramètres sous contrôles : vitesse de rotation, pression d'accostage et pression de forgeage) ou le soudage L.A.S.E.R. CO₂ (paramètres sous contrôles : énergie de soudage (puissance et vitesse), diamètre du point focal,

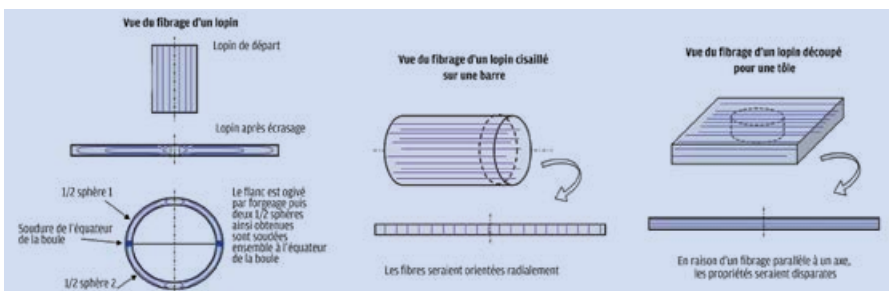


FIGURE 8 : Présentation du fibrage sur une boule issus de forgeage et comparaison du fibrage avec une boule loisir (découpé / emboutie) [3].

positionnement du point focal, gaz d'assistance (He pour les fortes pénétrations (> 2 mm) ou N), l'alignement du faisceau sur le plan de joint). Pour l'ensemble des techniques d'assemblage, la structure métallurgique est fortement hétérogène au niveau du cordon de soudure et dans les zones adjacentes que l'on nomme zone affectée thermiquement (Z.A.T.) :

- structure brute de solidification au niveau du cordon de soudure ;
- possible décarburation ;
- formation de phases dures (pour les aciers faiblement alliés) telles la martensite ou la bainite principalement dans le cas où le carbone est ségrégué. L'augmentation locale de la trempabilité (type veine de carbone ou structure en bandes) favorise la formation de ce type de phase hors équilibre.

L'ensemble des structures décrites après forgeage et après soudage (ségrégation du carbone, phases dures, présence de carbure) n'est pas propice en vue d'un usinage optimisé, il va falloir, par le biais d'un traitement thermique, modifier la structure pour améliorer l'usinabilité.

L'usinage

Pour pouvoir usiner correctement les boules de pétanque, il est possible à ce stade, de réaliser un recuit (chauffage de 30 à 35 minutes dans un four à AC3+50°C pour les boules en acier faiblement allié et AC1+50°C pour celles en acier inoxydable. Cette opération sera suivie d'un refroidissement lent et contrôlé. Avec pour les aciers faiblement alliés (C%<0,6) :

AC3 ~ 910-203/C-15,2Ni + 44,7Si + 104V + 31,5Mo + 13,1W - 30Mn - 11Cr - 20Cu + 700P + 400Al + 120As + 400Ti

Et pour les aciers inoxydables martensitiques^[7] :

AC1 ~ 310 + 35Cr + 3,5 (Cr-17) + 60Mo + 73Si + 170Cb + 290V + 620Ti + 750Al + 1400 B - 250C - 280N - 115Ni - 66Mn - 18Cu.

L'utilisation de technologies sous vide ou à atmosphères contrôlées est indispensable, cela permettra d'éviter le phénomène de décarburation synonyme d'un abaissement de la quantité de carbone en surface et donc préjudiciable à l'obtention de la dureté souhaitée en vue d'une utilisation optimale.

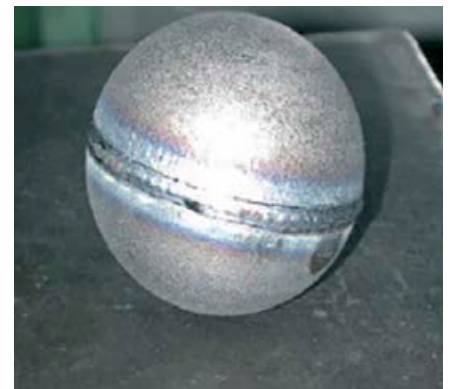


FIGURE 9 : Illustration de deux hémisphères assemblées^[9].

Ce traitement a pour objectif d'adoucir et d'homogénéiser la structure métallurgique afin d'améliorer grandement l'usinabilité des aciers : amélioration du rendement de coupe, de l'état de surface, de la précision dimensionnelle et réduction de l'usure des outils. Pour les aciers inoxydables martensitiques, le recuit d'adoucissement complet permettra une globulisation optimisée des carbures. Il sera ensuite pratiqué les opérations

CARBOLITE®

Leading Heat Technology

Fours & Etuves jusqu'à 3000 °C

Fours de haute qualité à chambre, tubulaire ou pour application spécifique & étuves



part of **VERDER** scientific

www.carbolite.fr



FIGURE 10 : (a) Illustration des opérations de tournage et striage. (b) Illustration des opérations de tournage et striage.

suivantes : le tournage (pour assurer une géométrie et un équilibrage de la boule), le striage (pas systématique) (figure 10), le poinçonnage et le marquage.

Le traitement thermique de renforcement des caractéristiques mécaniques

L'objectif de cette étape est de fournir les caractéristiques mécaniques nécessaires à l'utilisation du produit (globalement $R_m \in [1100 \text{ MPa} ; 1400 \text{ MPa}]$) en obtenant la phase métallurgique que l'on appelle la martensite, cette opération sera décomposée en trois parties :

1. L'austénitisation qui permet d'obtenir la phase cubique face centrée de l'acier (l'austénite) et la remise en solution des carbures (principalement pour les aciers inoxydables). Le chauffage s'effectue sous vide ou sous atmosphères contrôlées, pour les raisons déjà évoquées, à des températures proches de celles des recuits avant usinage.
2. La trempe qui correspond à un refroidissement plus ou moins rapide (gaz, huile, eau + polymère) selon la trempabilité de l'acier est réalisée souvent unitairement pour les boules de haute qualité. A ce stade, le matériau s'est fortement durci grâce à la transformation de l'austénite en martensite mais cette phase est trop fragile pour être utilisée en état.
3. Le revenu, qui se positionne juste après la trempe a pour objectif d'adoucir et de rendre plus tenace la structure martensitique brute de trempe en réchauffant le produit entre 260 à 450 °C. Ce traitement permettra également de relaxer les contraintes résiduelles de traction associées à la trempe dans la masse. Concrètement sur le produit, ce traitement permettra de limiter les

reculs lors des « tirs au fer » et les rebonds lors des pointés au moment du contact avec le terrain.

Finition, traitement de surface

Après traitement thermique, les boules en acier inoxydables martensitiques sont pratiquement prêtes à l'emploi, on réalisera juste un polissage de finition. En revanche, pour les boules en acier faiblement allié, deux choix s'offrent aux praticants : le polissage / vernissage ou la réalisation d'un traitement de surface par voie chimique ou électrochimique (figure 11).

On retrouve un large choix de traitements de surface pour la protection face à la corrosion atmosphérique des boules de pétanque en acier au carbone : zingage, nickelage, nickel chimique et l'ensemble de la gamme des dépôts de chrome : décoratif, mat, brillant ou noir, qui sont les plus utilisés. Nous rappelons qu'il est interdit d'utiliser des techniques telles que la plastification, la protection par peinture et l'émaillage.

Prenons l'exemple du dépôt de chrome noir qui est un dépôt à vocation technique et décoratif, il peut être composé d'une ou plusieurs sous couches (Cu+Ni, Ni de Wood + Ni, Ni seul) avec une finition grasse ou sèche. Ce dépôt est obtenu par voie électrolytique en milieu acide ; de par son faible rendement cathodique, il ne peut être réalisé qu'en bain mort. L'épaisseur du chrome noir peut varier entre 0,2 et 0,8 μm pour un revêtement qui pourra atteindre 15 à 20 μm d'épaisseur.

Conclusions

Comme nous avons pu le constater, la boule de pétanque de compétition qui possède sa norme NF fortement inspirée du cahier des charges très précis de la Fédération Française de Pétanque et Jeu Provençal (matière, dureté, équilibrage, poids, diamètre, marquage réglementaire...) est un produit très technique avec une vingtaine d'opérations de fabrication (mise en forme, soudage, traitements thermiques, usinage, traitements de surface).

À l'image d'une gamme de fabrication d'un organe de boîtes de vitesses ou d'un élément de transmission pour l'automobile, on retrouve de nombreuses opérations réalisées par des procédés dits spéciaux. À cela, on peut ajouter la difficulté de taille associée à la préhension du produit sphérique pour chaque étape de la gamme.



FIGURE 11 : Support en vue des traitements de surface [2].

Le produit doit satisfaire à de nombreuses exigences qualité qui seront validées par des tests (test du rebond, le test de l'encaissement de coups) et des contrôles (de la dureté, de l'équilibrage (passage au marbre), du diamètre, du poids...).

C'est pour l'ensemble de ces raisons que les fabricants de boules de pétanque sont sans cesse tournés vers l'innovation et les hautes technologies pour améliorer la qualité et les performances de leurs produits avec comme dernier exemple en date la boule à « rebond contrôlé » qui grâce à un traitement thermique approprié et une nuance adaptée permet d'atténuer grandement l'effet de résonance interne du produit [2]. À cela on peut ajouter l'innovation associée à la modification de la morphologie de la surface interne de la boule.

Nous aurions également pu parler des spécificités de la « boule lyonnaise » beaucoup plus grosse en cupro-aluminium (souvent dénommé : bronze alu) qui est élaborée par fonderie à l'aide d'un noyau sable. Peut-être l'occasion d'un prochain article, en attendant bonne partie !

Bibliographie

- [1] Cahier des charges « Conditions requises pour l'homologation de boules de pétanque de compétition Fédération internationale de pétanque et jeu provençal ».
- [2] Catalogue Obut Pétanque Everywhere, Collections 2014 et 2015.
- [3] André Dupuy, « La boule de pétanque », La forge n° 44, avril 2001.
- [4] <http://www.cad-schroer.fr>
- [5] <http://petanquepyrenees.or.free.fr/boule/boule.htm>
- [6] « Guide de la réparation et maintenance par soudage », ESAB, 2^e édition.
- [7] O. Betton, « Les aciers inoxydables martensitiques », issu du recueil les aciers inoxydables de Lacombe, Baroux et Béranger, Edition 1990.
- [8] <http://cbmonaco.online.fr>