

3.4
JXW

类号: U619.421.041.1

国外銅合金熔铸经验选編

内部資料 注意保存

第一机械工业部新技术先进经验宣传推广联合办公室

1965.6

編 者 的 話

十几年来,在党的三面紅旗的光輝照耀下,我国的鑄銅技术有了很大的发展,有色金屬零件在机器行业中的应用日益广泛,無論在生产規模、品种方面都采用了新技术、新工艺已取得了显著的成就。鑄銅件的质量要求很高,在我国还不能完全适应生产和建設的需要。但与其他工业先进的国家比較起来还差得較远。为了适应我国社会主义建設事业不断发展的需要,迅速地赶上和超过国际先进水平,就必须大力采用新技术、新工艺。为此,根据我部1963年11月在杭州召开的鑄銅经验交流会上大家提出的要求,会后由北京市机械工程学会鑄工組組織了有关方面的力量,根据需要,选择了苏、英、美、日、法等国家的1959~1964年的近期杂志42篇文章进行了翻譯工作。

本册主要内容包括:銅合金的发展概况、熔炼和工艺等部分。根据文章的内容可以看出:由于各国的資源条件不同,所采取的发展道路也有所不同,如英国用鋁青銅来代替不銹鋼,东欧各国用黃銅代替青銅,苏联則利用低銅黃銅来制造矿山机械上的軸承、齿輪和管配件等。在熔炼和工艺方面,各国广泛采用惰性气体去气、真空处理、电炉熔炼、离心澆注等工艺,并向快速熔炼低压鑄造等方向发展。因此,应如何結合我国的資源和生产条件,采用最经济、最合理的先进工艺,是我們鑄銅工作者的一項重要任务。

本选編可供科学研究、教学和生产等部門的工程技术及其他有关人員参考使用。

本册选編承蒙北京市机械工程学会鑄工組的大力协助,积极地进行了組、譯工作。为此,表示感謝。

由于人力、時間与水平所限,在編輯中难免有不当之处,敬希讀者批評指正。

編者 1964年11月

目 录



第一部分

1. 国外铸铜技术发展概况	(1)
✓2. 铝青铜铸造的发展近况	(11)
3. 低铜黄铜	(18)
✓4. 铝青铜铸件的性能及其金相组织	(21)
5. 高强度黄铜铸件的机械性能	(37)
6. 铝青铜—不锈钢的代用品	(44)

第二部分

7. 有色金属熔炉控制和熔化操作	(49)
8. 可调节气氛的有色金属煤气炉	(55)
⑨9. 高强度黄铜的冶金学	(56)
10. 稀土金属在铝青铜中对铅的分布影响	(64)
11. 用液态金属的温度加工方法提高铸件的机械性能	(68)
⑪12. 加入微量的钒、钨、硼对 Бр HАМЦ12—9—2 青铜的组织结构和机械性能的影响	(72)
⑬13. 铜合金铸件的晶粒细化	(75)
14. 铸造用铜合金的二次熔炼	(85)
15. 获得等强度铜合金铸件的条件	(90)
16. 熔化条件对Бр·АМЦ 9—2 青铜质量的影响	(96)
17. 清除铜合金的氧化夹杂方法	(99)
18. 基本成分对砂型炮铜铸件性能及质量的影响	(101)
19. 铋、铁、砷和镉对砂型青铜铸件性能的影响	(110)
20. 杂质对青铜铸件的影响	(132)
21. 影响锡青铜性能的因素	(140)
22. 炮青铜含铅量对抗气压性的影响	(143)
23. 铜合金中的气体	(150)
24. 关于铝青铜的吸气问题	(162)
25. 锡青铜气密铸件的浇注温度	(169)
26. 熔渣保护剂用于铜基合金的熔炼	(174)
27. 采用活性熔剂熔炼铝青铜	(178)
28. 冰晶石—熔炼黄铜的有效熔剂	(179)
29. 在石灰石复盖下熔炼青铜	(179)

30. 硼砂在BP·OC—10—10青銅熔煉中的應用	(180)
----------------------------------	---------

第三部分

31. 鑄型反應和斷面厚度對炮青銅鑄件性能的影響	(181)
32. 錳青銅鑄件的設計、製造和應用	(192)
33. 鋁青銅鑄造工藝的新方法	(195)
34. 用於鋁青銅的節流式澆注系統	(198)
35. 銅合金鑄件的發熱冒口	(200)
36. 銅合金閥門鑄件的热脆性	(206)
37. 用真空吸鑄法澆注鑄件	(208)
38. 銅合金的离心鑄造	(211)
39. 有色金屬离心鑄造發生的缺陷	(217)
40. 大型鋁青銅套的离心鑄造	(220)
41. 离心鑄造大型黃銅端蓋	(228)
42. 預防鋁青銅中氧化膜的形成立	(230)

第一部分

国外鑄銅技术发展概况

沈阳铸造研究所 付立土

銅合金是最古老的一种铸造合金，它具有很多优点，不仅耐磨、耐腐蚀性能良好，具有高的导电和导热性能，而且在低温下仍能保持机械性能不变，由于原材料成本较高，一般只用作其他材料不能满足要求的重要另件。因此它对机器性能和使用寿命影响很大。例如，更换和修理轴承要占设备停工维修的大部分时间，因此，铸铜件在机械制造中所占比例不大，人们却很注意研究采用各种先进技术和设备，以提高铸件质量，减少材料消耗。近几十年来，在熔炼设备和熔炼方法上有了很大进展，出现了各种高效率的用气体或液体燃料以及电加热的熔化炉；在铸造工艺方面，砂型铸造在铜合金铸造中所占的比例越来越小，如美国在1958年以前几乎90%以上的铸件用砂型铸造，到1962年就下降到74.4%，匈牙利在1961年用砂型铸造的铸铜件为78.5%，而西德只占47%，到1962年减少到44.8%。

专业化集中生产也是铜合金铸造发展的一个重要趋势，它的特点是不仅按产品、按工艺集中，而一些工业先进的国家还按工序组织集中生产，由专门的熔炼厂进行合金的配制和精炼，铸成各种牌号的合金锭，铸造车间只须进行熔化和补加部分烧损量即可浇注；由于集中大量生产，熔炼厂有条件不断研究并采用各种先进的熔炼设备和精炼去气方法，以保证合金质量，减少在熔炼过程中的合金损失，也可以合理的利用再生金属；因此，苏联规定：一般铸造车间只有经过总锻造师批准才能自行配料熔炼合金。

随着集中大量生产的发展和先进工艺的应用，机械化程度越来越高，劳动生产率普遍提高，一般每个生产工人的年产量为20~40吨，每个造型工人的年产量达40~100吨，每平方米造型面积的指标为1.8~6吨/年、生产面积指标则为0.7~2吨/年。

在合金种类方面以青铜最多，据日本在1963年8月统计，青铜件为70%，由于加铅能改

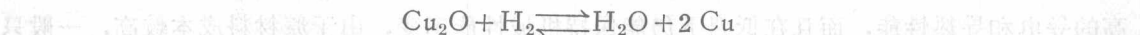
善青銅的铸造性能和加工性能，因此各国广泛采用加鉛的銅合金，如美国1958年統計；銅铸件中炮青銅（即含鉛的錫鋅青銅）占54%，錫青銅占25%，黃銅8%，其他13%；但是近年来发现鋁青銅的机械性能和耐腐蝕性能都比錫鉛青銅好，越来越广泛的应用于造船和化工机械上，如1958年布鲁塞尔国际展覽会上荷兰展出的重24.65吨的螺旋桨推进器合金成分为：Al6.5~9%；Mn10~15%；Fe2~4%；Ni1.5~6%。西德用含Al10%；Fe5%；Ni5%的鋁青銅作直径为850毫米；高1000毫米的空压机工作輪；1961年，英国銅合金铸造协会提出在造船工业中广泛用鋁青銅代替黃銅和錫鉛青銅，1961年日本用鋁青銅铸造了重达40吨的船用螺旋桨。

最近美国又提出用鋁铁青銅代替不銹鋼，他們在含Al14%的鋁铁青銅中，加入某些变质剂，使抗拉强度达83公斤/毫米²；延伸率1~2%；布氏硬度达400公斤/毫米²。由于氧化鋁薄膜比氧化鉻更稳定，所以耐蝕性比不銹鋼还强。

苏联和东欧社会主义各国，为了节约貴重的銅和錫，尽量利用黃銅来代替青銅，1962年克拉科夫矿山冶金研究所研究出含銅46~50%的低銅黃銅，热处理后抗拉强度为57~58公斤/毫米²；延伸率20~23%。可以作矿山机械上的軸承，齒輪和管配件等，也适用于电器、化工和造船工业上的各种零件。

一、熔炼方面

近五十年来对銅合金的冶金原理进行了大量的研究，提出了各种熔炼方法。最初，为了减少合金氧化損失，都采用还原法熔炼，并用木炭作复盖剂；1930年以来，英国有色合金研究学会，对造成铸件气孔的氢气在銅中的溶解規律进行了系統的研究，发现銅液中氢的含量与温度和接触时间成正比，得出銅中氢和氧的平衡关系式为：



因此，随着合金中氧含量的增加氢的溶解度降低，在此基础上提出了各种熔炼去气的方法。

国外首先广泛应用的是氧化还原法，即控制炉内气氛为弱氧化性，使熔化的合金中含有适量的氧气，以排除氢气，然后用脱氧剂，如磷銅去氧，由于木炭很容易受潮，受热后析出大量水蒸气，并且在合金表面与空气中的氧发生作用，生成还原性的一氧化碳，对去氢不利。因此提出采用各种惰性复盖剂，如废坩埚碎片。据苏联П·А·Лакисов試驗，经过同样条件处理的木炭中的潮气含量竟为坩埚碎片的200倍，欧洲各国广泛采用CuO、MnO₂、KMnO₄等氧化物与硼砂、石英砂或玻璃的混合物作熔剂，效果很好。如英国Hudson认为用氧化性熔剂与控制炉子气氛效果更好，如果用1.5%CuO作熔剂，最后加磷銅去氧，可使合金抗拉强度提高80%，烧損由4%降到0.1~0.2%。一般熔化錫青銅时熔剂中活性氧化物的含量为20%，熔化鋁青銅时用25~30%，而鉛青銅則用50%，黃銅中因鋅在高温下产生蒸汽压力，可以防止吸收氢气不必使用熔剂。

氧化性熔剂的缺点是成本高，对炉壁和坩埚有侵蝕作用，氧化渣容易残留在合金中，用坩埚熔化时因合金液与溶剂的接触面积小，效果不大，当合金中含鋅(>2%)和磷(>0.1%)时会降低氧在銅中的溶解度，以致不能完全排除氢气。

由于氧化还原熔炼法具有上述缺点，各国越来越多的采用惰性气体去气的方法；在合金熔化后，将经过干燥的氮气用石墨管通入合金液内，处理时间一般为3~5分钟，压力約0.4

~0.6大气压,略高于金属静压力即可,以免产生飞溅,氮气流量约为500~600立升/时,处理时合金温度应提高到1270~1350℃。通入氮气不仅能排除氢气并能将合金液里的氧化杂质带出液面,合金温度也更为均匀,而氮在高温高压下,能与锌作用生成 Zn_3N_2 等化合物,成为结晶核心,促使晶粒细化,因此经过氮气处理后,合金的机械性能大为提高,抗拉强度可以提高一倍以上。

氮气处理只能排除氢气,因此,合金在浇注前还须用磷铜脱氧,这种方法操作简单,尤其适合于熔池较深的坩埚炉熔炼,目前在美国已得到普遍应用。

此外,受热能分解产生惰性气体的材料:如石灰石,锰矿石等可以代替氮气,1958年英国报导氰化钙 $CaCN_2$ 可作去气剂。在1100℃时析出氮气,而且易于储存,不吸收潮气,因此,去气效果很好。

反射炉因熔池很浅,金属液面较大,使用氮气效果不显著,另外,氮和空气都含有一定量的氧气,能使铝青铜里的铝氧化,在合金表面生成氧化铝薄膜,阻止氢的排除,因此,铝青铜最好用氯化锌去气。

目前,我们通常采用的熔炼方法的根本缺点是:熔化时间长,使液体金属从炉气中吸收大量气体,同时金属料块和熔化后的液体金属混在一起,料块之间的空气和水蒸汽往往包在金属液里不易排除。为了克服这些缺点,1960年以来英国提出了快速熔炼法,金属在高速度下熔化后,不需处理立即浇注,可以得到质量良好的铸件。他们设计出各种新式结构的高效反射炉,这些炉子的特点是:

1.充分利用废气予热炉料,甚至将炉料放在烟道里(如图1),使金属予热温度提高到800~900℃,而使反射炉热效率提高到44%(一般为35%)。

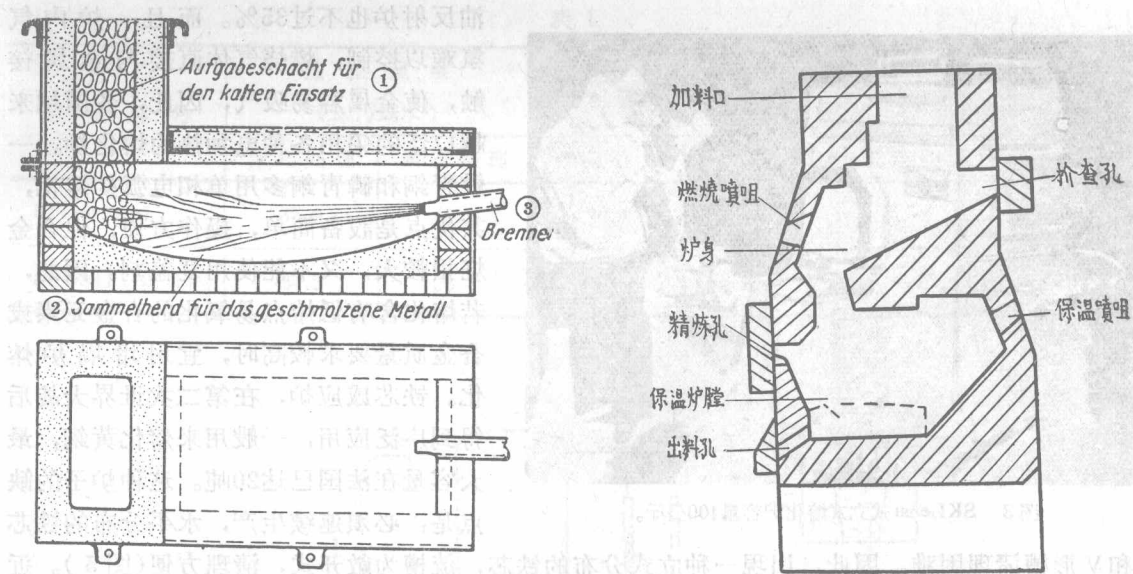


图1

①炉料加入口;②储存金属液溶池③燃烧咀;。

- 2.采用热风,利用废气将空气加热到350~450℃;或者用高热量的氧丙烷作燃料。
- 3.金属熔化后立即流入熔池升温,不与炉料接触,以免将炉料中气体卷入。
- 4.尽量减少炉子容量,甚至一次只浇一个铸件,如英国 E.Ayrco 等人试验用小型筒式

熔化炉，一次熔2~4公斤的青銅或黃銅铸件只需2分30秒钟，熔0.2~0.4公斤不过7~8秒钟，熔化45公斤的磷青銅也只需7~11分钟，这种方法适合于浇注小于25公斤的铸件。

英国 SKLenar 公司大量出售各种立式、臥式快速熔化炉，如图2、3所示，炉子容量从25公斤到5000公斤，使用液体（柴油）或气体燃料，熔化銅合金时，燃料消耗量为7立升/100公斤，化500公斤銅合金时只需要半小时，这种炉子不仅用来熔化銅合金，还可以熔化鋁合金以及铸铁。

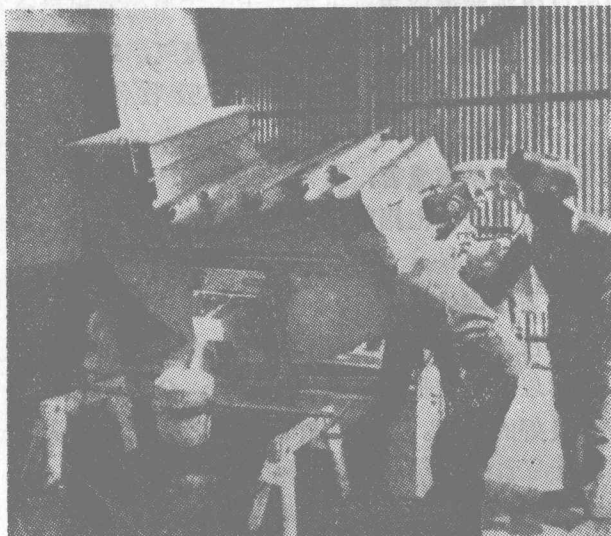


图2 SKLenar式臥式熔化炉容量500~600公斤。

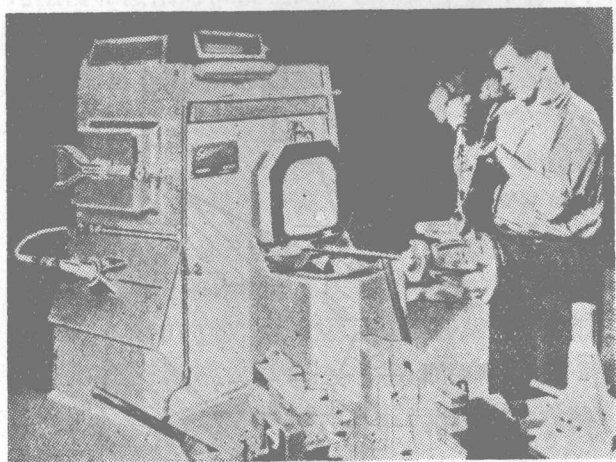


图3 SKLenar式立式熔化炉容量400公斤。

在坩埚熔炼方面，法国成功地采用了一种新的熔炼方法，先将各种牌号的合金按坩埚形状铸成錠，外形尺寸約比坩埚內径小15~20毫米，以免因受热膨胀而损坏坩埚。首先将熔剂熔化，然后把加热到900°C的錠块吊入坩埚內（图4），合金即在熔剂的保护下熔化，因而可以防止合金吸收气体，熔化好的合金，不須除气处理即可浇注。这样可以使熔化时间縮短30~40%，而且操作简单，合金烧損不到1%（一般約为4%）。

用固体、液体或气体燃烧的熔化炉，热效率都很低，如自然通风焦炭坩埚只有3~7%，强力通风时为8~13%，油反射炉也不过35%。而且，炉內气氛难以控制，燃烧气体直接与金属接触，使金属容易吸气，因此，各国越来越广泛的采用各种电加热的熔化炉。一般青銅和磷青銅多用单相电弧炉熔化，其优点是設備简单，操作方便，但合金烧損較大，又不能使用复盖剂。因此，若熔化含有低熔点易氧化的合金元素或合金质量要求較高时，宜用坩埚炉熔化。铁芯感应炉，在第二次世界大战后得到广泛应用，一般用来熔化黃銅，最大容量在法国已达20吨。这种炉子的缺点是：必須連續生产，水平分布的铁芯

和V形槽清理困难。因此，出現一种立式分布的铁芯，流槽为敞开式，清理方便（图5）。近来西欧一些国家已开始使用无芯工頻感应炉熔化。

近来各国都在試驗用真空处理的方法去气。据德国 D. Deisinger 試驗，压力由760毫米水銀柱降到7.5毫米水銀柱时，气体在金属中的溶解度将减少100倍，当压力为0.1毫米水銀柱时，气体的溶解度实际上等于零。苏联从1954年試驗，銅合金在1毫米水銀柱的真空下处理10分钟（金属重量为50公斤）結果如表1。

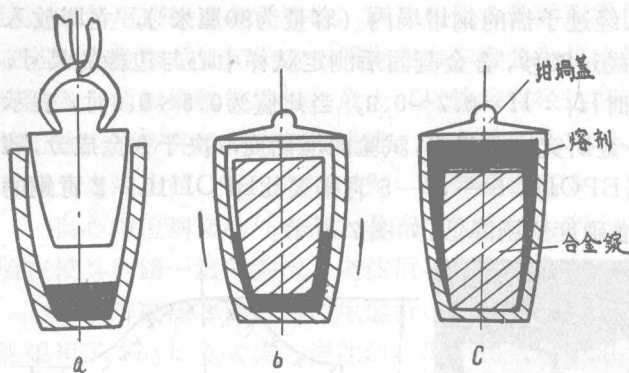


图 4

1.坩埚盖 2.熔剂 3.合金錠

捷克哥特瓦尔特工厂1960年安装一台 $\Phi 1260 \times 1200$ 毫米的真空处理设备，每次可以处理500公斤铜水，真空度达4~10毫米水银柱，他们用来处理锡青铜，效果很好，据报导当合金中含有磷时，对真空处理效果产生有害影响。

为了保证合金的质量，英、美各国在生产中普遍采用抽真空的方法作含气性试验，试验装置如图6。先将真空罐内抽成真空，真空度约为20毫米水银柱，

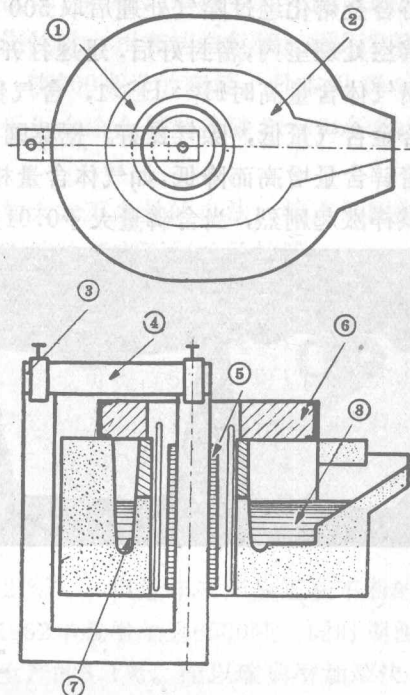


图 5

①沟槽；②熔油；③磁力线圈；
④磁力线圈活动部分；⑤立式线圈；
⑥盖板；⑦敞开式沟槽；⑧金属液。

表 1

合 金 牌 号	抗 拉 强 度 (公斤/毫米 ²)		延 伸 率 (%)		孔 隙 度 (%)	
	未经处理	真空处理	未经处理	真空处理	未经处理	真空处理
БРОФ 10-1	37.9	43.0	20.4	28.0	—	—
БРСУН 7-2	24.8	28.4	5.8	12.5	1.15	0.37

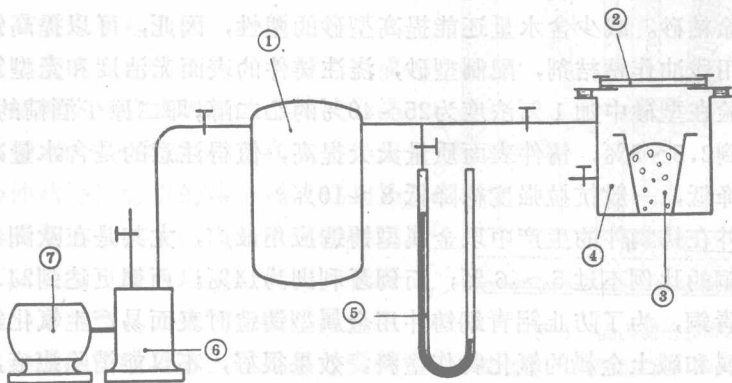


图 6 减压试验装置:

①真空罐；②观察孔；③减压试验；④减压室；⑤水银压力计；⑥真空泵；⑦马达。

待合金熔化经过除气处理后取 500 克浇入经过予热的銅坩堝內 (容量为80厘米³), 立即放入真空处理室内, 密封好后, 迅速打开閥門, 经过30秒, 合金凝固后測定試样中心与边缘的尺寸, 当气体含量高时 $H_1 : H > 1$, 含气量中等时 $H_1 : H = 0.7 \sim 0.9$, 当比值为 $0.5 \sim 0.6$ 时, 表示合金含气量低, 除气良好。据英国有色合金研究协会报告, 試驗的准确度取决于合金成分, 随着鋅含量增高而降低, 如气体含量相同时, БРОЦ 5—5—5 青銅要比 БРОЦ 10—2 青銅的試样涨起剧烈, 当含磷量大于 0.01% 时, 准确度急剧降低, 如图 7 所示。

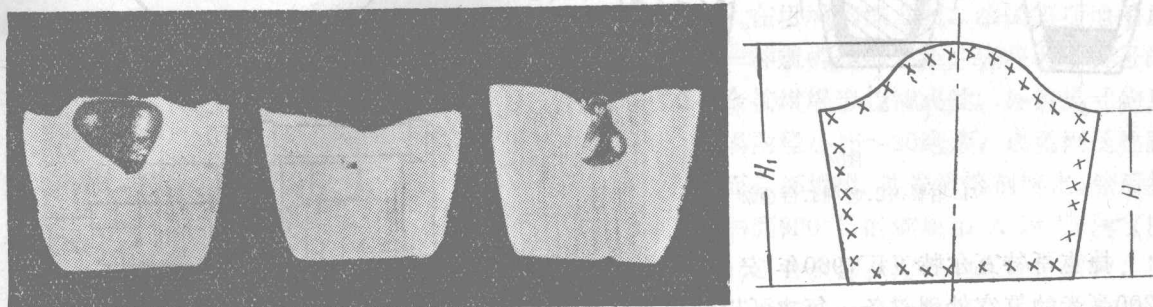


图 7 含气性試样。

二、铸造工艺方面

近年来, 对各种合金結晶过程研究的結果, 并根据合金的凝固特性, 基本上可以分为两大类。一类是結晶間隔小的合金, 如紫銅、鋁青銅、錳黃銅等; 为分层凝固, 一般为柱状結晶, 易产生集中縮孔, 因此在工艺設計上要尽量創造順序凝固的条件, 将冒口放在铸件的壁厚部分, 多用边冒口, 內浇口要尽量靠近冒口, 冒口高度为直径的 $0.5 \sim 1.5$ 倍。另一类为結晶間隔大的合金, 如磷青銅、錫青銅等, 为等軸結晶, 糊状凝固, 补縮較困难, 易产生分散縮孔。因此, 在工艺上以作到同时凝固, 使縮孔能够分散均匀分布, 或者尽量加大凝固时的溫度梯度, 提高冒口的压力头, 采用頂冒口, 冒口高度为直径的三倍, 多用冷铁来調整凝固順序。

由于湿型铸造生产率比干型铸造高 $15 \sim 20\%$, 一般小件多用湿型铸造, 大件則用水玻璃干砂型铸造。

为了提高砂型铸造的铸件质量, 欧美各国特别注意减少型砂中水分的含量以防止铸件表面产生气孔, 消除粘砂。减少含水量还能提高型砂的塑性, 因此, 可以提高铸件的精度和光洁度。如英国采用残油作粘結剂, 配制型砂, 浇注铸件的表面光洁度和壳型铸造差不多; 西德和捷克分別試驗在型砂中加 1% 浓度为 $25 \sim 40\%$ 的乙二醇, 即二原子酒精的水溶液, 可使型砂的含水量减少到 $2.5 \sim 3\%$, 铸件表面质量大大提高, 值得注意的是含水量减少后型砂的强度和透气性略有降低, 一般抗拉强度約降低 $8 \sim 10\%$ 。

除砂型铸造外在铸銅件的生产中以金属型铸造应用最广, 尤其是在欧洲各国发展很快, 在美国金属型铸銅的比例不过 $5 \sim 6\%$; 而匈牙利則为 14% ; 西德更达到 24.5% 。一般多用来铸造黃銅和鋁青銅, 为了防止鋁青銅铸件用金属型铸造时表面易产生氧化鋁疤痕的缺陷, 苏联試驗用碱金属和碱土金属的氧化物作塗料, 效果很好, 不仅能消除疤痕, 而且使铸件表面晶粒細化。

近年来离心铸造工艺有了很大的发展。西德在1962年就有 14.5% 的铸銅件采用离心铸

造，不仅用来铸造各种套筒，而且用于各种异形零件；如伐体、叶輪、蝸輪等零件的铸造。在苏联烏拉尔重机厂铸造車間內安有7台各种規格的离心浇注机，用来铸造軋鋼、鍛压和矿山設備上的銅蝸輪等零件，最大可以铸造直径达2500毫米；高800毫米的套筒。日本用离心铸造法生产各种船用青銅推进器，最大重量达10吨，由于采用水冷金属型挂砂2~5毫米，与重力浇注比較，强度提高50%；延伸率提高3~5倍。

离心铸造銅套的外表面容易产生气孔，生产上一般用加大加工余量的办法。捷克等国試驗在模具內鑲一层薄銅皮，浇注后与銅套粘合在一起，因而消除了表面气孔的缺陷。

为了解决离心铸造易产生偏析、夹渣、内外表面硬度和紧实度不均的問題，西欧各国广泛采用了 Snyk 立式离心浇注法，即采用金属型芯，注入的金属液围绕钢芯旋轉，芯子受热膨胀，对正在凝固的铸件产生压力，使表面质量大大提高，硬度可提高50%，可以使全部夹杂物集中在頂端20~30毫米內，所以这种方法特别适合于要求內表面质量好的軸套的铸造，它的轉数比一般离心浇注低，因此沒有分层和偏析的現象，可以铸造鋁青銅和含鉛量达30%的鉛青銅。荷兰 Heemstede 公司大量出售带4~12个旋轉工作台的立式离心浇注机，可以铸造直径达350毫米；长1500毫米的套筒。

压铸在铸銅件生产中所占的比例虽然不大（一般不过2%），但近年来产量正在不断的增加，如美国1958年采用压铸生产的铸銅件为4500吨；到1962年就增加到6500吨。同时期西德則由2830吨增加到5000吨，几乎增加了56%，占铸銅件生产的6.1%。而以瑞典增加最快，五年間共增加90%。

阻碍銅合金压铸生产迅速发展的主要問題是銅合金浇注溫度較高，使铸型的寿命降低，因此，目前采用压铸的大部分是浇注溫度較低的黃銅铸件，如英国压铸的銅合金铸件中，黃銅占60%；鋁青銅占30%。試驗表明，铸件壁厚对铸型的寿命影响很大，如铸件壁厚小于4.5毫米时铸型的寿命为75,000~100,000次，而当壁厚增加到6毫米时，就只能使用6,000次，不过可以预料，随着黑色金属压铸問題的解决，銅合金铸件压铸的应用必然会越来越广。

低压铸造是最近发展起来的一种新工艺，它和一般重力浇注以及高压压铸不同，不用浇包或勺来浇注，系借压缩空气将坩埚里的金属液沿浇注管直接压入铸型，如图8所示，并且在压力作用下进行凝固，铸件从浇注管里的热金属液得到补縮，因此浇冒口重量大大减少，成品率达90%以上，铸型材料不受限制，既可以用金属型，也可以用砂型或其他半永久型，而且設備简单，只有压铸机的 $\frac{1}{10}$ 。由于低压铸造具有上述优点，受到各国重視，开始广泛应用于鋁合金以及铸鋼件的生产上，1961年苏联用来铸造銅套，效果很好。

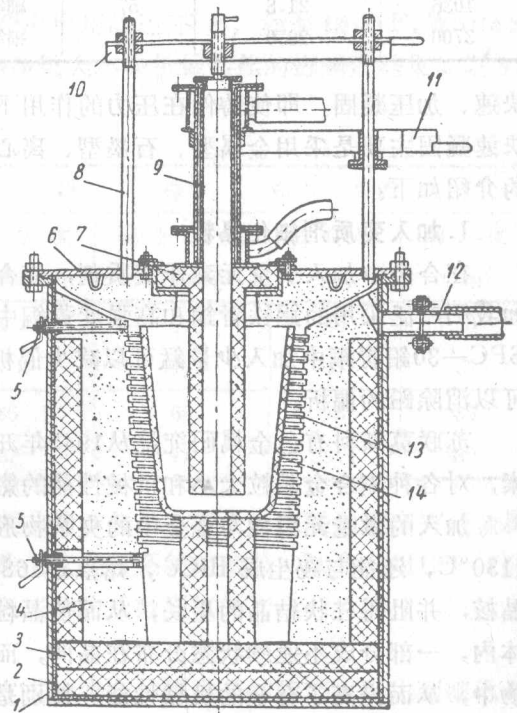


图8 低压铸造装置示意图：

- 1. 絕热板；2. 絕热层；3. 磚砌体；4. 耐火填料；
- 5. 电源线接头；6. 盖板；7. 浇注管；8. 支柱；9. 水冷結晶器；10. 固定装置；11. 杠杆；12. 压缩空气导管；
- 13. 加热器；14. 石墨坩埚。

它們用感应电炉熔化和保温，采用水冷結晶器，浇注直径为50毫米；高为500毫米的 BPOIC 6—6—3 青銅套，浇口长度不过 5~12毫米，重量只占铸件的0.7~1.5%，壁厚均匀，沿高度公差不到 1 毫米，結晶組織比連續铸造、金属型铸造以及熔模铸造出来的都好，和砂型铸造比較結果如表 2。

表 2

铸造方法	抗拉强度 (公斤/毫米 ²)	延伸率 (%)	硬 度 (HB)
低 压 铸 造	27.5	16	48
砂 型 铸 造	22.8	18	46

三、提高铸件质量
的新技术

随着机械工业的发展，对铸件质量的要求越来越高，研究指出，除了合金成分、熔化质量以外；合金的結

晶組織和晶粒大小对铸件质量影响很大。1942年 Lnorthcott 曾試驗晶粒大小对黃銅 (含 Zn30%)，机械性能的影响結果如表 3。

表 3

晶 粒 度 (粒/时 ²)	抗拉强度 (公斤/毫米 ²)	延 伸 率 (%)	晶 粒 形 状
56	17.2	58	短軸柱状結晶
86	18.6	72	长軸柱状結晶
1036	21.8	57	細等軸結晶
3700	26.0	68	細等軸結晶

晶粒細化以后，晶間空隙减少，致密度高，铸件的耐磨性能大大提高。因此，近二十年来，对各种改善合金性能提高铸件的方法进行了大量的研究工作。主要的有：1) 利用变质剂进行孕育处理；2) 振动結晶；3) 对液体金属进行溫度加工；4) 控制浇注溫度；5) 加压凝固；6)

快速、加压凝固，即使铸件在压力的作用下結晶；如压铸、低压铸造和活塞压力下結晶等；快速凝固主要是采用金属型、石墨型、离心铸造、連續铸造等工艺。現就其他四种方法簡要的介绍如下：

1. 加入变质剂細化晶粒

在合金中加入少量元素作变质剂，使合金晶粒細化，以提高机械性能的方法早有应用，如我們广泛采用的鋁铁青銅和高强度黃銅中的铁就是变质剂，早在1933年苏联就研究出，在 BPC—30鉛青銅中加入少量錳可以减少偏析。1962年美国报导；加入 1 % 鈾或混合稀土元素可以消除鉛的偏析。

苏联莫斯科有色金属研究院从1945年开始，对加入硼、鎘、鈦、釩以及硼化鈦等微量元素，对各种銅合金晶粒大小和机械性能的影响进行了系統的研究結果如表 4。

加入的微量元素能与合金中的夹杂物形成高熔点化合物，如鈾和鉛能生成 CePb，熔点为 1130°C，还能与鉍生成 BiCe，熔点达1630°C，这些高熔点化合物分布在合金液中成为結晶核，并阻碍柱状結晶的生长，从而使晶粒細化，合金凝固后，一部分分布在銅的固溶体基体内，一部分成不連續状态分布在晶間，而代替了原来成連續状态分布在晶間的低熔点化合物中，从而提高了合金的机械性能。特别是高溫性能，大大减少了产生裂紋的傾向。

美国杜邦公司研究，在銅合金加入氧化鈦、氧化鎘等惰性化合物的微粒，能阻碍合金中晶粒的运动和原子轉移的現象，从而提高了高溫稳定性，如抗氧化性和抗腐蝕性等，可以使銅合金的工作溫度提高到930°C，而且保持原来98%的导热和导电性能。

但是有些元素却能降低抗腐蝕性和导电性，如在电解銅中加入鋰和鉍后，虽然机械性能

表 4

合 金 牌 号	加入变质剂数量 (%)	晶 粒 数 量 (粒/厘米 ²)	抗 拉 强 度 (公斤/毫米 ²)	延 伸 率 (%)
БРОЦС6-6-3	—	25~30	24.6	16~18
	0.1 Zr	250~260	26	27
	0.05 Ti+0.01B	600	30.2	30~31
БРАЖМ10-3-1.5	—	30~40	53	6
	0.05 V	350~370	67	15
	0.1V+0.01B	—	77	8

有所提高,但导电率却降低60%。

随着不同的熔化条件的改变,变质剂起的作用也不一样,当合金液中含有碳时,例如用木炭作复盖剂,锆的变质作用很大,含 Sn10%的锡青铜中只需加0.02~0.03%锆,即可使晶粒直径从2.3毫米减小到0.1~0.2毫米,而此时钛的变质作用却很小。

日本曾试验,在铝青铜中加入0.8%以上的氟化钠作变质剂,效果也很好。

2. 振动结晶

采用各种机械振动,电磁振动以及超声波振动的方法不仅可以清除合金中的气体和夹杂物,还能使晶粒细化。这是由于在振动的作用下,使铸件外表面先结晶的晶粒不断的离开原来的位置而进入中心尚未凝固部分成为晶核,以致结晶细密。目前振动结晶大多应用于铸钢和铝合金铸件的生产上,效果也较大,在铸铜件生产中应用的还不多,如美国 J.F.Wallace 教授曾研究,用60赫芝(周波/秒)的频率对黄铜晶粒大小和机械性能的影响,结果如表5。

表 5

合 金 名 称	振 动 条 件	晶 粒 直 径 (毫米)	机 械 性 能			
			抗 拉 强 度 (公斤/毫米 ²)	屈 服 极 限 (公斤/毫米 ²)	延 伸 率 (%)	硬 度 (HB)
黄铜(Zn32%, Pb 2%, Sh1%)	未 振 动	2.2	21.8	9.0	43	46
	振 动 后	0.11	27.2	11.1	43	52
高 强 度 黄 铜	未 振 动	0.13	86	68	18	235
	振 动 后	0.14	87	77	19.4	239

试验表明,对于细晶粒的高强度黄铜来说,振动结晶效果并不大。苏联加里宁有色金属学院,从1956年开始,曾对各种有色金属合金振动结晶工艺进行系统的试验,认为采用120~150赫芝的振动频率对铜合金晶粒细化很有效果,可以完全防止微裂纹的产生。

3. 温度加工

除了用加入变质剂,以增加晶核或用振动的方式加速金属液内晶核的产生以达到细化晶粒的目的外,温度加工的原理却相反,将合金过热到熔点以上300~400°C,使合金液内的高熔点化合物熔化,然后迅速冷却,以免结晶过早地生长而成为粗大的晶粒,同时经过热后,合金的质量更为均匀,杂质也容易浮出金属液面成为熔渣去掉。

苏联 А.Г.Спасский 等人试验,将合金分开熔化,其中一炉过热到液相线以上;即

1300~1400℃，然后将第二炉銅水倒入同一包內，仔細攪拌均匀，或者用同一个炉子熔化，升溫到1300~1400℃以上，倒出一部分冷却到接近凝固溫度时再将剩下的过热合金 倒入 包內仔細攪拌，达到浇注溫度时进行浇注。

試驗表明经过溫度加工以后、合金的机械性能显著提高，試驗結果如表 6。

表 6

合 金 牌 号	未 经 处 理		经 溫 度 加 工 后		溫 度 加 工 方 法
	抗 拉 强 度 (公斤/毫米 ²)	延 伸 率 (%)	抗 拉 强 度 (公斤/毫米 ²)	延 伸 率 (%)	
БРОЦ3-12-5	25~27	11~14	31~33	16~18	过热到1300℃，一部分冷却到 950℃ 混合后以砂型浇注。
БРАМЦ9-2	53~59	20~24	53~59	28~29	过热到1400℃，一部分冷却到快結晶时混合后以砂型浇注。

经溫度加工后合金的冲击韌性也有很大提高，如含Sn10%的青銅冲击韌性提高60%，含Al10%的青銅更提高达157%。

須要注意的是不同的金属所采取的过热溫度不同，而且两部分合金的重量比以及溫度差也各不一样，須通过試驗确定。

4. 浇注溫度的控制

为了使铸件結晶細密，并减少气体含量，过去一直主张采用低溫浇注，如錫青銅的浇注溫度，一般采用1050~1150℃，但实践表明在低溫下浇注的铸件耐压性能都很差，而在高溫下浇注的铸件却相反，质量却很好。1951年美国 B.N.Ames 报导，浇注溫度对铸件的 結晶組織影响很大；高溫浇注，合金为柱状晶、低溫浇注则为等軸晶。英国 A.Cibula 更进行了系統的試驗，当БРОЦ 5 — 5 — 5 炮青銅在1150~1180℃浇注时，铸件完全为柱状結晶；在1130~1150℃浇注时不仅有柱状結晶还有等軸結晶；在1090~1110℃ 浇注时则为粗的等軸結晶；在1040~1060℃浇注时完全为細的等軸結晶，这种情况随着浇口大小不同有所改变；在1959年二十六届国际铸工会議上，日本报告认为：当合金为細的等軸結晶时，产生分散的疏松，铸件致密性差，所以经不起耐压試驗、而用高溫浇注时则为柱状結晶，形成集中縮孔，铸件致密度高，因此，对于要求耐压的錫青銅铸件；如伐門等，以高溫浇注，不过为了防止吸收气体，建議用干砂型并且緩慢浇注，另外苏联 В.М.Нурин 等人試驗认为，浇注溫度对厚壁铸件的影响不大，而且与铸件壁厚和浇注条件有很大关系。如果采用頂浇或上雨淋式浇口时，浇注溫度可以低些，以1100~1150℃为宜。浇口开在分型面上或用底浇时，浇注溫度应为1150~1220℃，如果是复杂的薄壁铸件，則可以将浇注溫度提高到1250℃。

四、 結 束 語

解放以来，我国铸銅生产技术有了很大的发展，铸銅件质量有很大的提高，不少厂采用了电弧炉，有些厂并且用工頻感应炉化銅，铁道部南口配件厂从1956年开始就采用了氮气去气，在工艺方面，有很多厂用离心浇注生产各种套筒，杭州制氧机厂成功的采用金属型挂砂工艺来生产大型铸銅件是铸銅生产上的一个重大成就，不过，新工艺的应用在我国还不够普

遍，大部分厂还停留在焦炭坩埚炉熔化，手工砂型造型，不仅生产率低，铸件质量也没有保证，和工业先进国家比较还落后很多，为了满足我国社会主义建设事业的不断发展，迅速赶上并超过国际先进水平，必须大力研究应用各种先进工艺。从国外发展情况来看，由于资源条件不同，所采取的发展方向也不一样，如欧美各国广泛采用含镍的铝青铜；而苏联东欧各国却很注意发展低铜黄铜；在熔炼设备上越来越多的采用电炉生产。而英国由于电力较贵，仍用气体或液体燃料，并向快速熔炼方面发展。因此如何结合我国资源和生产条件采用经济合理的先进工艺是摆在我国铸铜工作者面前的重要任务。

铝青铜铸造的发展近况

〔日〕栗田昌夏

一、铝青铜的定义

一般地说，青铜这个词表示铜—锡合金。而铝青铜本质上是不含锡的材料，是含锌的铜—铝合金，也有叫做青铜的，更确切地说应称为铝黄铜。这里提及的合金，是指根本不含锡的合金。就这个意义来说，铝青铜中一般含有14%的铝，如果大致将铝青铜分类的话，可以分为两类，即：第一类铝青铜含有4~7.5%的铝，并且形成均匀的相；第二类铝青铜含有大约8~14%的铝，是具有两个相的合金。一般地说，两类中第二类合金往往还含有相当的铁、锰和镍其它的添加物。

铝青铜的这种分类法，虽然和状态图上的溶解范围不一致，这是因为在通常的制造工序中，还达不到状态图上的平衡状态。

这里提到的铸件用的铝青铜，一般是属于上述第二类的合金，而市面上出售的砂型的和金属型的铸件，大部分多是三元或三元以上的合金。两类中的第一类合金，除特殊的铸件外，用来制造铸件不是不可能的。因为从工业用途的观点来看，没有什么意义，只不过用于一小部分装饰铸件上。

二、铝青铜铸件技术上的问题及其解决的方法

铝青铜的研究，在1907年由 Carpenter 和 Edwards、在1910年由 Rosenhcin 和 Lamtsberry 进行的。大家知道，某种铝青铜有着非常好的性质，但是为了要制造它，铸造工作者曾经进行过许多争论，由于不清楚这种合金在制造技术上与其它铜合金的技术之间有什么区别，因而采用了和过去制造铜合金相同的方法，结果都失败了。因此大大地阻碍了这种合金的发展，由于继续研究的结果，使制造技术也一直在发展着。近年来，在生产和应用上都大大地增加了。由于最初的失败，所以，铝青铜铸件一直被认为比其它铜合金都难于制造的一类合金。其理由是：

- (1) 需要使用高纯度的原料；
- (2) 在熔化期间合金容易吸收气体，在凝固时又要放出气体，这就是形成铸件气孔的

原因；

(3) 添加鋁之前，必須進行銅的脫氧工作；

(4) 為了將殘留的鋁的氧化物限制在最低限度，在熔化期間應避免攪拌；

(5) 一旦生成的氧化鋁凝結後，則用普通的方法是很难去除的。為了去除它，必須用相當強的脫氧劑，否則不能還原。

(6) 應避免澆注時發生渦流現象。如果在澆注時鋁青銅液體連續地飛濺，會在金屬滴的周圍形成鋁的氧化薄膜層，因而阻礙了金屬流股的再結合，其結果形成了皺紋、裂紋、金屬痘等。

(7) 設置適當的澆注系統，以防止氣孔；

(8) 某種成分的铸件，在铸型中緩慢冷卻情況下，會發生自行退火的效果，因而形成粗粒狀的組織等等。

在1930年期間，上述第(1)項還是經常存在的關鍵問題，但是，近來由於熔煉技術的進步，獲得高純度的原料已不成問題了，並且在市場上也容易得到。對於(2)項，出現了相反的意見〔1〕，至於(3)項(4)項，假若實行和二項一樣的合理的熔化操作，也就沒有必要太擔心了。〔2〕、〔3〕。至於3項很早以前就討論過，也曾經研究過脫氧用的處理合金，而到最近，用N脫氧處理已經很普遍了，由於這種氣體的物理和化學作用，使去除氣體的工作變得更加容易了。至於(6)項，避免渦流的產生也是必要的，著者們〔5〕認為，铸型和芯子的材料，塔比爾法規定的冷卻方法、出氣法、澆注溫度等起着決定性的作用。因此，使用塔比爾法並修改了反喇叭澆口等方法，得到了驚人的效果。值得重視的是，在日本，研究鋁青銅推進器的設計方案時，也以此為依據來設計其它鋁青銅铸件。總之，在這些方面，憑著許多經驗和試驗，在日本已經製造出數十噸的鋁青銅铸件，其發展速度是驚人的。關於(7)項，與鋁青銅、鋼、或其它鋁合金情形一樣，沒有特殊凝固範圍的其它金屬合金，要算出成品必須的收縮率是比較簡單的。關於(8)項，是影響鋁青銅铸件質量的關鍵問題，而避免它的最有效方法之一，是加入約3% Fe，以阻止晶粒的過度長大，儘管铸件緩慢冷卻，也能得到質量優良的合金組織。但是在JIS中，很早就廢除了Cu-Al二元合金，現在，除鐵以外還加有種種的其它元素。實際上分別加入約5% Ni和Fe，就會出現脆化相 γ ，從而代替了Ni-Fe或Fe-Al作為主體的K相。因此在大型铸件中，只要防止脆化，也就能提高铸件質量，因此30噸左右的铸件，也可以製造出來。

弄清楚上述的技術關鍵，鋁青銅的本質以及與銅合金的技術不同之處，在逐漸解決的同時，铸件質量也就隨之提高了。

三、鋁青銅铸件的各种性能

1. 機械性能和規格

由Strauss、Rosenbein、hantsderry等人所研究的各種鋁青銅铸件的機械性能列於表1。

各國鋁青銅铸件規格一覽表列於表2。從表中的合金大致可分為三種：88—9.5—2.5合金；80—10—5—5合金；以及它們的中間合金。

JIS中的AIBCI、BC-1400-AB₁-C和ASTMB148-52Grade₁屬於88-9.5-2.5一種，加入1%的Ni和Mn元素，是為了增加這種材料的機械強度，80-10-5-5系統的合金，在各國已

规格化，要注意调正化学成分和热处理，其抗拉强度可以达70公斤/毫米²以上，延伸率可达10%以上，对450公斤重的铸件和另外制造的试片相比而没有差别，在其铸件的试验中，也肯定了这点，而且在外国也肯定了这点。从锡青铜和黄铜的使用角度来看，由于锡青铜的用途比较广泛，因此，比其它铜合金有着重要的意义。

在各国也熔炼其它成分的铝青铜合金，一般地说，这种合金是以9~10%的铝作基础，并含有少量的铁、锰、镍等其它元素。

2.耐蚀性和耐疲劳性

表1 各种铝青铜的机械性能

合金序号	合金成分(%)					处 理 条 件	机 械 性 能							
	Cu	Al	Fe	Mn	Ni		比例极限 (公斤/毫米 ²)	屈服点 (公斤/毫米 ²)	抗度强度 (公斤/毫米 ²)	抗拉强度 (公斤/毫米 ²)	延伸率 (%)	断面收 缩率 (%)	用悬臂梁式冲击 机测定冲击值 (公斤.米)	布氏硬度
1	90	10	—	—	—	砂型铸件	7.87	17.63	—	50.71	22	22	3.046	95
2	90	10	—	—	—	砂型铸件 热处理	19.05	33.83	—	62.99	8	10	—	175
3	88	10	—	1	—	金属型铸件	—	25.19	—	62.83	25	—	—	—
4	81	10.5	3.5	—	5	砂型铸件	—	—	—	70.1	10.7	—	—	(HRB)88
5	89	10	—	1	—	砂型铸件	—	22.4	—	56.38	22	—	—	—
6	89	9	—	2	—	砂型铸件	—	16.69	—	49.29	40	—	—	—
7	89	10	1	—	—	砂型铸件	8.34	19.05	—	51.97	24	24	3.457	95
8	86	10	4	—	—	砂型铸件	11.96	22.52	—	57.01	18	18	—	—
9	88	9	3	—	—	砂型铸件	11.96	21.89	—	54.17	44	36	3.457	110
10	88	9	3	—	—	金属型铸件	11.96	24.41	—	59.84	40	36	3.872	135
11	85	10	—	—	5	金属型铸件	—	—	39.05	57.01	2	5	—	185
12	86	9	—	—	5	砂型铸件	—	—	—	51.97	37	37	3.872	110
13	84	10	3	3	—	金属型铸件	—	—	22.36	69.45	11	17	—	159
14	79	9	6	—	6	金属型铸件	—	—	28.66	61.73	15	21	—	—
15	77	10	3	5	5	金属型铸件	—	—	69.29	78.90	1	2	—	247
16	72	11	5	1	1	砂型铸件	31.49	49.13	—	70.39	6	—	—	200

注：序号中1、2、7、9为Strauss试验；3、6为Rosenhain和Lan'sberry 试验；11、13、15为 Genders、Read
er和Foster试验；16为Corson试验。

如前所述，铝青铜既是高强度合金，又有优良的耐蚀性，即使在腐蚀的条件下也不易疲劳，这种耐蚀性是由于形成了铝的氧化薄膜，这层薄膜能耐强酸而不耐碱。因此，广泛地应用于冷硫酸中，即便在高温下也有较高的耐蚀性。

如果有多量的铁存在于合金中时，就会使耐蚀性有恶化的倾向。当加入1~5%Ni后，晶粒被细化，提高相变点和强度，使耐蚀性变好。

本公司协同油船试验所在海湾内三种类型的推进器所用的铝青铜铸件（是10—5—5和9.5—2.5及其中间成分的合金，但都含有1~5%Ni），经一年时间的浸蚀试验结果，铸造面和经机加工的面仍然保持完整，而这三种合金没有很大差别，但加镍少的合金附着很多铁锈状东西。另外，在试验室里浸蚀60天的试验结果，其浸蚀程度，如铝青铜铸件是2.6×10⁻⁵毫米，而锰青铜仅50天达7.1×10⁻⁵毫米。

根据水轮机涡轮的海水浸蚀试验结果来看，铝青铜比黄铜、一般黄铜、锰青铜显得优越。这个试验用振动法作不同试样的空穴浸蚀，其结果如图1所示。而镍和铝的含量如何影