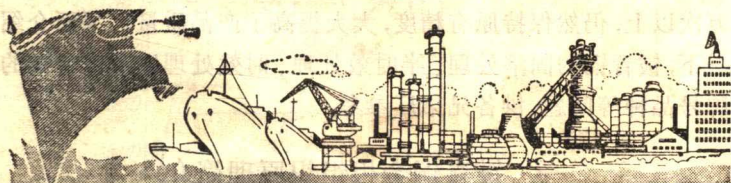


铍青铜弹性接触件的热处理

上海无线电二十六厂



工业技术资料

第124号

上海人民出版社

铍青铜弹性接触件的热处理

铍青铜具有高的强度、弹性、屈服点、疲劳极限、导电性、导热性，是一种耐磨、耐蚀、耐寒、无磁性和冲击时不产生火花等性能优良的工业材料。它特别适合于制造电子工业中的接触片簧和接触件等弹性接触元件。

铍青铜中的铍虽然在自然界中蕴藏量并不少，但它非常分散，有开采价值的矿石极少，而且铍提炼很困难，因此铍是一种稀有金属。毛主席教导我们：“任何地方必须十分爱惜人力物力，决不可只顾一时，滥用浪费。”对于铍青铜的使用，一定要慎重，只有在非用它就不能保证产品质量的地方才应用。同时铍青铜制的零件结构与加工工艺一定要合理，既要保证质量，又要做到低消耗。

我厂在早期用硅锰青铜制造微波波长计谐振腔的接触零件时，寿命只有百余次，后来改用铍青铜接触零件后寿命试验到一万次以上，仍然保持原有精度，大大提高了产品质量。下面介绍一下，铍青铜的固溶处理、半时效处理、时效处理以及铍青铜的牌号品种等问题，供各兄弟厂参考。

一、铍青铜金相组织原理简介

毛主席教导我们：“人们要想得到工作的胜利即得到预想的结果，一定要使自己的思想合于客观外界的规律性，如果不合，就会在实践中失败。”我们要使铍青铜通过热处理后，得到所需要的各种性能，就要了解铍青铜在热处理过程中的金相组织变

化规律。

组成铍青铜的主要元素有铜、铍和镍。镍是掺入的杂质，铍青铜中掺入 0.15~0.35% 的镍对铍青铜的性质有很大的改善，镍能减缓铍青铜在热处理时的相变速度，加入了镍能得到一般操作下因为冷却速度不够而无法得到的充分固溶的组织。铍青铜主要是铜和铍的二元合金。从图 1 铜铍合金平衡图中可以看出，铍是作为溶质随着温度的升高而沿着平衡图中 AB 曲线增加溶解到溶剂——铜中的数量，组成铜铍固溶体 α 。在室温时，铍的溶解量是 0.2%，576°C 时是 1.4%，在 864°C 时铍在铜中的溶解量可达到最高值——2.1%。例如 QBe2 铍青铜，在 576°C 有 1.4% 的铍溶解到铜中组成 α 相，其余 0.6% 铍和铜组成 $\alpha+\gamma$ （铍铜化合物），温度在 774°C 时，有 1.9% 的铍溶解到 α

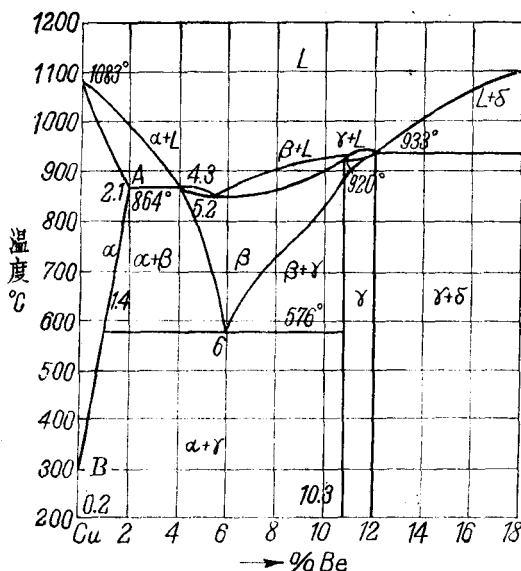


图 1 铜-铍平衡图

相, 多余的 0.1% 铍和铜形成 $\alpha + \beta$ 共析体。这时若缓慢冷却下来, α 固溶体中的铍即沿着 AB 曲线近似析出; 若快速冷却至室温, 即淬火, α 固溶体中的铍就来不及析出, 在室温下形成过饱和的 α 固溶体。过饱和 α 固溶体的铍青铜, 性质柔软, 延展性很好, 其延伸率达 30% 左右, 容易进行冲、压、弯、轧、拉、延伸等加工, 但强度很低, 只有 40 公斤/毫米² 左右, 硬度在 $H_m 150$ 以下, 导热和导电性差。若将这种过饱和的 α 相, 在 350°C 以下进行时效处理, 这时不稳定的过饱和 α 固溶体中的铍受热后即开始缓慢析出, 弥散在 α 相的晶粒之晶界上, 这种铍的析出物是以 γ 相的形式存在, 这就增加了 α 相晶格之间的移动阻力, 也就提高了铍青铜的强度、硬度, 其抗拉强度在 100 公斤/毫米² 以上, 硬度在 $H_m 320$ 以上, 导热、导电性能亦提高。但是在这样的强度、硬度下, 机械加工已经难以进行了, 故铍青铜的切削成形加工应在时效处理之前。

二、铍青铜的型号品种及选用

目前我国生产的铍青铜材料主要有三种型号, 它们的化学成分见表 1。除去表 1 上所列的三个主要型号以外, 还有

表 1 铍青铜的化学成分

型 号 成 分	QBe2.5	QBe2	QBe1.9
铍 Be	2.3~2.6	1.9~2.2	1.85~2.10
镍 Ni	0.2~0.5	0.2~0.5	0.2~0.4
钛 Ti	—	—	0.10~0.25
杂质含量	≥0.5	≥0.5	≥0.5
铜 Cu	余量	余量	余量

QBe1.7 和 QBe2.15, 但这二种型号铍青铜的性能没有什么显著的优点, 所以不予列出。这里要特别推荐的是 QBe1.9, 它的含铍量显著地比其他二个型号要少, 但由于添加了钛, 在时效处理后, 使析出的 γ 相能更均匀的分布, 因此保证了强度、硬度, 并且保证了它的均匀性。表 2 是三种型号铍青铜经过时效处理后的性能比较。表 3 是国产铍青铜型材的型号规格。

表 2 铍青铜时效处理后机械性能的比较

型 号	强度极限 σ_b (公斤/毫米 ²)	延伸率 δ (%)	硬 度 HV (公斤/毫米 ²)	弹性后效 $\Delta\epsilon/\epsilon$ (%)	疲 劳 极 限		
					试验应力 (公斤/毫米 ²)	循环次数	注
QBe2.5	130	2.6	390	0.527	23.5	0.20×10^7	折断
QBe2	125.5	9.0	380	0.356	22.6	0.75×10^7	折断
QBe1.9	132	9.0	400	0.152	24.0	1.30×10^7	不断

表 3 国产铍青铜型材的型号规格

名 称	型 号	规 格 (毫米)	供 应 状 态
管 材	QBe2.0	外径 $\phi 6 \sim \phi 30$ 壁厚 0.5~3.0	Y
带 材	QBe1.7 QBe1.9 QBe2.0 QBe2.5	厚: 0.05~1.2 宽: 80~300	M、Y
箔	QBe2.0 QBe2.5	厚: 0.02~0.03 宽: 50~80	T
条 材	QBe1.7 QBe1.9 QBe2.0 QBe2.5	厚: 0.4~6.0 宽: 200~300	M、Y
棒 材	QBe2.0 QBe2.5 QPe2.15	$\phi 6 \sim \phi 32$ $\phi 15 \sim \phi 120$	M、Y ₂ R
线 材	QBe1.7 QBe1.9 QBe2.0 QBe2.15 QBe2.5	$\phi 0.05 \sim \phi 6.0$	M、Y、Y ₂

注: M——软态的(退火的); Y——硬的; T——半硬的; Y₂——特硬的; R——热加工的(轧或挤的)。

三、固 溶 处 理

铍青铜的固溶处理过程：先将铍青铜加热到使绝大部分共析体($\alpha+\gamma$)溶解到 α 固溶体的某一温度，并在这个温度下作一定时间的停留，使固溶过程能得到充分完成；随后即淬入水中快速冷却，在室温状态下得到过饱和的 α 固溶体。固溶处理的目的是有二个：(1)得到过饱和的 α 固溶体，为以后的时效处理作准备；(2)使铍青铜有良好的塑性，以便进行冲压、弯曲、拉轧等机械加工。

铍青铜固溶处理(淬火)主要掌握三个要素，即加热温度、加热时间和冷却速度。

1. 温度 固溶处理的温度必须适当。温度如果太低，从平衡图知道是得不到过饱和固溶体，通过金相检验可以看到尚有大量的共析体未溶解入 α 固溶体。我们在 750°C 以下的温度中进行六个试样的固溶处理，它们在时效处理后的硬度只有一个能达到 HV 300 以上，其余均在 HV 300 以下，这说明铍青铜的良好机械性能，没有充分发挥出来。提高温度虽能得到过饱和固溶体，但同时由于晶粒变粗，其机械性能亦降低。例如 QBe2 加热到 800°C 以上时，晶粒即长大，其机械性能变坏。我们认为一般在 $770\sim 795^{\circ}\text{C}$ 的范围内进行固溶处理，是获得良好机械性能的最佳温度。至于特殊情况则另作试验确定。

2. 保温时间 铍青铜的固溶处理必须经过一段时间保温才能完成。时间太短，固溶亦不足，时间太长，则造成晶粒粗大。这种情况在重复多次固溶处理后更易表现出来，我们认为厚 1 毫米以下的带材保温时间为 4~8 分钟较好，对于棒材则采取(直径 $\times 1+8$)分钟。

3. 冷却速度 从平衡图可以看出，共析体溶解到固溶体的

曲线是很陡的,这就要求固溶处理时的冷却速度极快,否则将造成由于共析体的析出而得不到良好的固溶,这就要求固溶处理的操作迅速,并淬入不高于 25°C 的足够量的清水中。我们做过下述试验:先将 QBe 2.5 从炉中取出,然后在空气中停留 5 秒、10 秒再淬。其时效后的硬度虽没有什么明显影响,但通过金相观察, β 相已由暗红色变为黑色;若在空气中停留 20 秒,则硬度将显著下降。

我厂的铍青铜采用简易固溶处理,一般在通氮的保护气氛炉中进行;对于厚度为 0.3 毫米以下的带材,用机油和柴油作保护,在箱式炉中进行,其保温时间在 2 分钟内,时效后硬度 HV 320 以上,用于一般零件。

四、半时效处理

半时效是一种处在固溶和时效之间的中间处理,它的目的是提高固溶处理后的材料硬度,以改善切削性能。对于几何形状精密的铍青铜零件,如果时效处理时不使用夹具,零件的变形较大,如果中间进行一次半时效处理,则既保证了零件在时效处理的几何精度,又可以省却夹具。

铍青铜的棒材和管材,一般是在低温退火后再冷拉硬化,其端面上的硬度为 HRB100~105,在外圆上的硬度为 HRB90~98 (直径愈大,端面与外圆上的硬度值愈接近),在这种状态下切削性能是较好的。但在退火状态下加工的零件,必须固溶处理,因而会造成较大变形。如果先将棒材进行固溶处理,再进行机械加工,由于固溶处理后,硬度值降低至 HRB40 左右,故切削性能很差,甚至因太软而在切削时就弯曲了。我们进行了时效处理温度以下的保温时间长短不同的试验,温度在 280°C 以上的处理,由于硬度变化太快无法掌握而不宜采用。表 4 是在

恒温箱中当温度为 260°C 时, 保温 15~55 分钟所测得的不同硬度值。经过切削比较, 其切削性能以 260°C 时保温 35~45 分钟的最好, 基本上和冷拉状态下的棒材相同, 这种半时效处理后的棒材校直, 只能用木锤而不能用铁锤, 否则使硬度增高而使切削困难。半时效处理的温度对其硬度值起着决定性的作用, 故在半时效处理时, 温度必须严格掌握。

表 4 QBe 2 铍青铜棒 ($\phi 6$) 半时效处理的硬度值

试样号	半时效处理条件		晶粒度	硬 度 值								切削性能 (与冷拉状态比较)
	温度 (°C)	时间 (分钟)		端面上的 (HRB)		外圆上的 (HRB)		端面上的 H_m (200克)				
				实测值	平均	实测值	平均	α 基体中	晶界上	平均		
5	260 ± 1.5	15	4级	97 98 98.2	97.7	87.3 87.2	87.2	279 258 274	203 199 197	235	稍差	
4	260 ± 1.5	25	4.5级	100.9 103.2 103.0	102.3	93.8 93.6	93.7	306 287 309	230 231 219	264	稍差	
3	260 ± 1.5	35	4级	101.1 102.6 102.9	102.2	94.8 94.0	94.4	302 302	227 243	269	接近	
2	260 ± 1.5	45	4.5级	104 104.3 104.8 104.9	104.5	96.3 97.9 97.8 97.1	97.2	311 327 327	272 262 264	294	接近	
1	260 ± 1.5	55	4级	103.9 103.9 103.9	103.9	96.8 97	96.9	302 302 306	260 297 279	291	稍差	

注: 固溶处理为 $783^{\circ}\text{C} \pm 4$, 保温 15 分钟。

五、时效处理

铍青铜在固溶处理后成为不稳定的过饱和固溶体，通过一定温度的加热，使过饱和的共析体从 α 相中析出，同时又使析出相因温度不足、时间不够而不能聚集，弥散在 α 相界上，这样就造成了 α 相的滑移阻力，其机械性能因此而得到了提高。我们用 315°C 和 345°C 二种温度，进行不同保温时间的试验（见图2和图3数据），得出 315°C 保温2小时和 345°C 保温1.5小时的最佳时效处理工艺参数，采用几年来未发生任何质量问题。

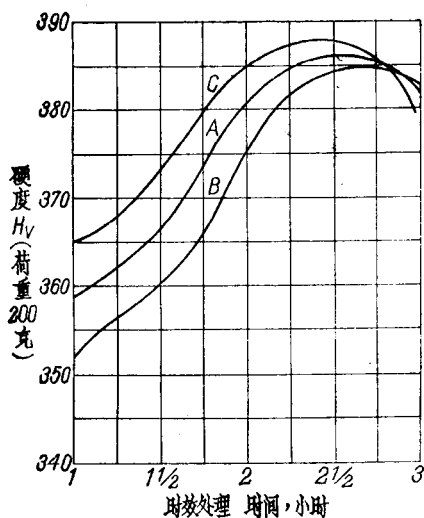


图2 QBe2.5、 $\phi 13$ 毫米棒材时效处理时间-硬度曲线

固溶处理： $780^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}$ ，15分钟。时效处理： $315^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}$

A—平均硬度值；B— α 基体上硬度值；C—晶界上硬度值

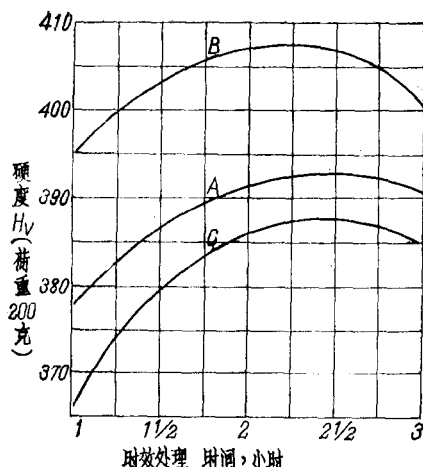


图3 QBe2、 $\phi 13$ 毫米棒材的时效处理时间-硬度曲线

固溶处理: $780^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}$, 25 分钟。时效处理: $345^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}$

A—平均硬度值; B— α 基体上硬度值; C—晶界上硬度值

六、合理的工艺路线

各种状态的带材、棒材建议按如下工艺路线:

1. $\text{QBe}_{2.0}^{1.0}$ -C 固溶处理(淬火)软态条、带材:

下料(注意纹向) → 冲压成形 → 去油 →

时效处理 → 焊接(组成部件) → 电镀

2. $\text{QBe}_{2.0}^{1.0}$ -CY、M、Y 各状态的条、带材:

下料(注意纹向与淬火炉尺寸) → 去油 → 固溶处理 → 下料(按冲压模尺寸)冲压成形 → 去油 → 时效处理 → 焊接(组成部件) → 电镀

3. $\text{QBe}_{2.0}^{1.0}$ -C 固溶处理软态管、棒、线材:

下料(按时效炉子尺寸) → 半时效处理 → 切削加工

→ 去油 → 时效处理 → 焊接(组成部件) → 电镀

4. $\text{QBe}_{2.0}^{1.0}$ -M、Y、R 各状态的管、棒、线材:

下料(按时效炉子尺寸) → 去油 → 固溶处理 → 半时效处理

→ 切削加工 → 去油 → 时效处理 → 焊接(组成部件) → 电镀

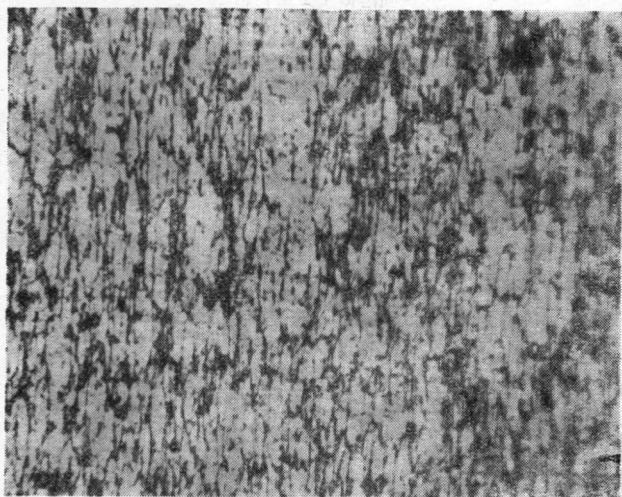
5. $\text{QBe}_{2.0}\text{-CY}$ 状态的管、棒、线材:

下料 → 切削加工 → 去油 → 时效处理 → 焊接(组成部件) → 电镀

七、存 在 问 题

我们通过对铍青铜较系统的工艺试验,对铍青铜的特点和怎样获得较好的性能有了较全面的了解,铍青铜热处理工艺水平有了提高。但还存在一些问题,特别是硬度与弹性之间的关系,不同的几何形状零件在多少硬度值下,它的弹性是最佳的等材料,还有待于今后去解决。希望通过交流,学习各兄弟厂的好经验,来克服我们的不足之处。

后附铍青铜各种状态的金相照片十张供参考。



第一图 QBe_2 固溶不足的冷拉状态

白色: α 固溶体, 黑色: $\alpha + \gamma$ 共析体

$H_m 215, 500\times$