

QA10-4-4铝青铜夹杂 缺陷分析及解决措施



案例制作：林高用 教授

中南大学材料科学与工程学院

内容提纲：



一、案例来源及背景

➤ **案例来源：**江西鹰潭某铜加工企业

➤ **案例背景：**本案例来源于与企业合作的科研项目。在现有QAl10-4-4铝青铜的基础上，研究开发一种新型变形铝青铜，使之兼具优良的挤压性能、力学性能和耐磨性能，用于冶金、矿山等恶劣环境下轴承、轴套、衬套、套管、垫圈等耐磨零件的制造。

但是，合作单位采用立式半连铸方法生产的铝青铜铸锭的表层经常出现较多的夹渣、夹灰，且夹入较深，在车掉较厚的表层后，铸锭表面甚至在其挤压制品中还存在夹渣，既严重降低了成材率，也影响了产品的服役性能。



图1 铝青铜管



图2 铝青铜耐磨零件

一、案例来源及背景

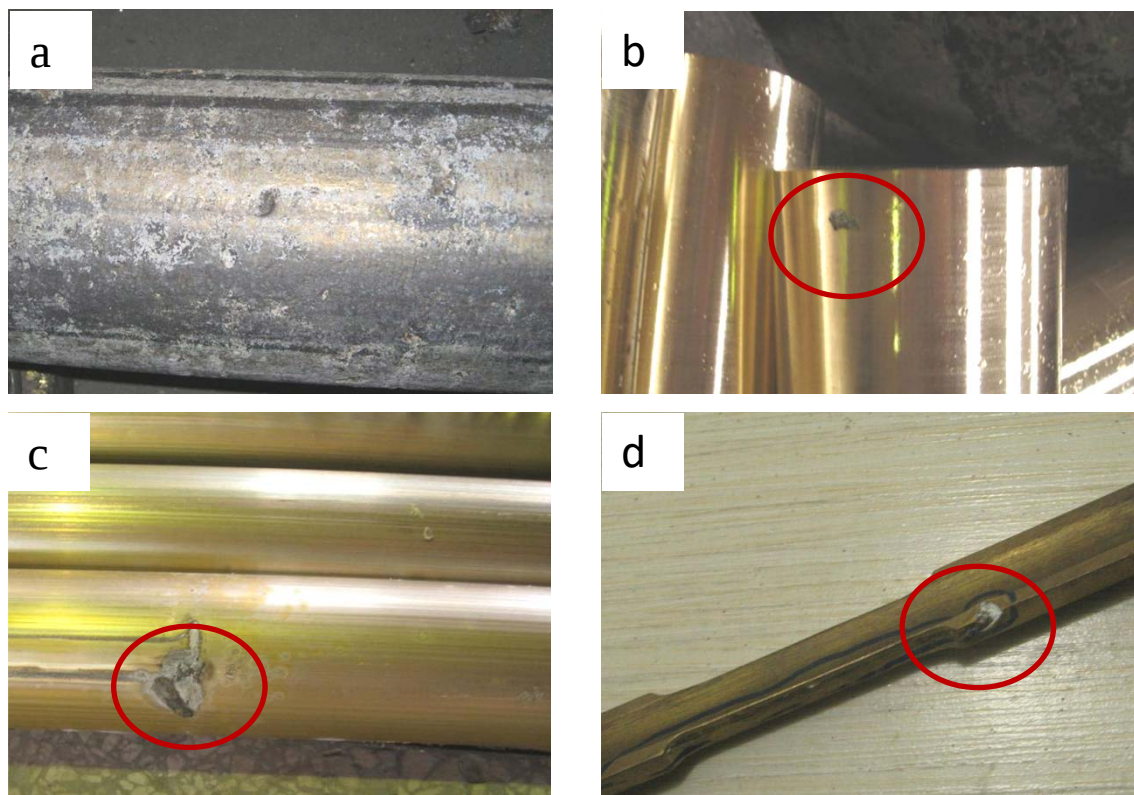
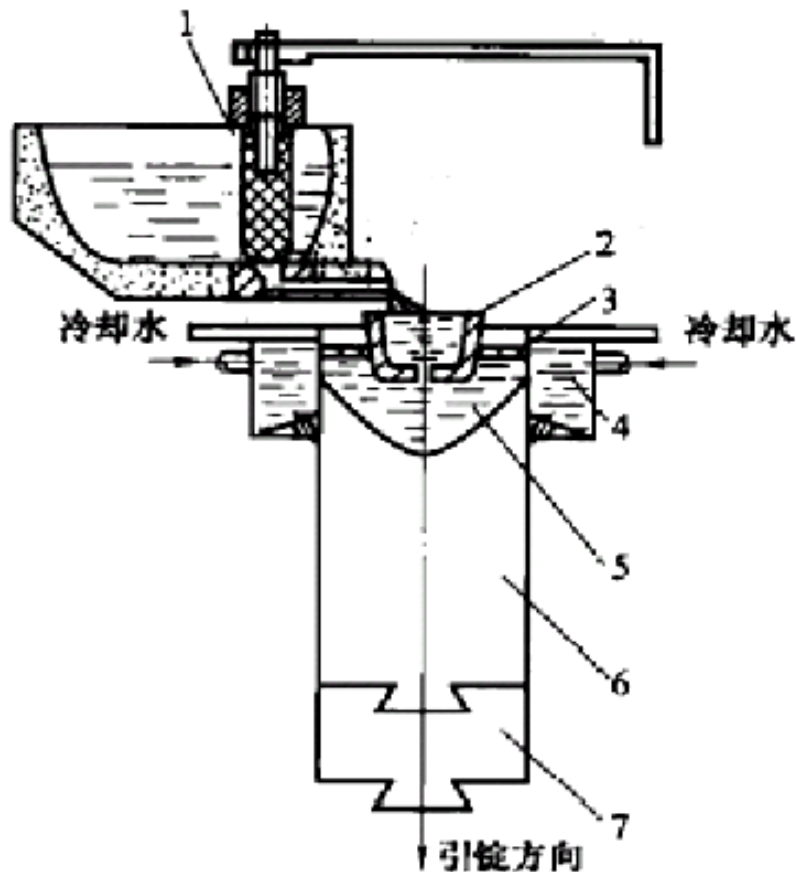


图3 QAl10-4-4铝青铜铸锭及挤制品中的 Al_2O_3 夹渣
a) 铸锭；b) 铸锭车皮后；c) 挤压管；d) 挤压管上截取的拉伸试样

二、熔铸工艺优化



本案例铝青铜采用敞开式立式半连铸方式生产铸锭。通过现场跟踪发现，该单位在铸造过程中，在熔体的表面覆盖了一层平均厚度为10mm的炭灰，但厚度不均匀，且倾向于在破裂的 Al_2O_3 氧化膜上堆积。对于铝青铜熔体，铝含量越高，就越容易氧化，出现夹渣的可能性也越大。因此，铝含量越高，铝青铜的熔铸越困难，对覆盖剂的要求也越苛刻。

图4 铝青铜合金敞开式半连续铸锭过程
1—带液流调节装置的中间包；2—漏斗；
3—炭黑层；4—结晶器；5—液穴；
6—铸锭；7—引锭座

二、熔铸工艺

该公司采用半连续铸造工艺生产QAl-10-4-4铝青铜铸锭过程中，由于在结晶器中使用的覆盖剂不当，铸锭表层经常存在较多的夹渣、夹灰，且夹入较深。炭灰是常用的结晶器内熔体覆盖剂，既能发挥其隔绝空气的作用，还能利用其对铸锭的润滑作用。冰晶石也可以用做熔体覆盖剂。冰晶石的作用在于隔绝空气和将 Al_2O_3 溶解，从而效减少 Al_2O_3 夹渣的生成。

据此，设计了如表1所示5组覆盖剂优化试验，其中2号为合作单位之前使用的覆盖剂方案。

表1 铝青铜立式半连续铸造的覆盖剂组份设计

编号	1	2	3	4	5
覆盖剂成分		炭灰	冰晶石	冰晶石+炭灰 (1:1)	冰晶石+炭灰 (1:1)
添加厚度 /mm	不加	8~12	8~12	8~12	0.5~2

三、试验结果与分析

覆盖剂试验结果

图5所示为对4号试验方案中合金半连续铸造过程中不使用或者使用不同覆盖剂时铸锭的表面质量。可见，不加覆盖剂时，铸锭表面有分布均匀的夹渣，且夹入的深度较浅；加入较多炭灰或者冰晶石作为覆盖剂时，铸锭表面有明显夹渣，特别是当加入较多冰晶石时，还有大块的夹渣出现(图5(c))；同时加入炭灰和冰晶石，当加入量较大时，也出现了较多大块夹渣，但当加入的量较小时，铸锭表面较光滑(图5(e))，无明显夹渣。将5号覆盖剂作用下的铸锭车掉薄薄的一层之后，未见任何夹渣缺陷(图5(f))。

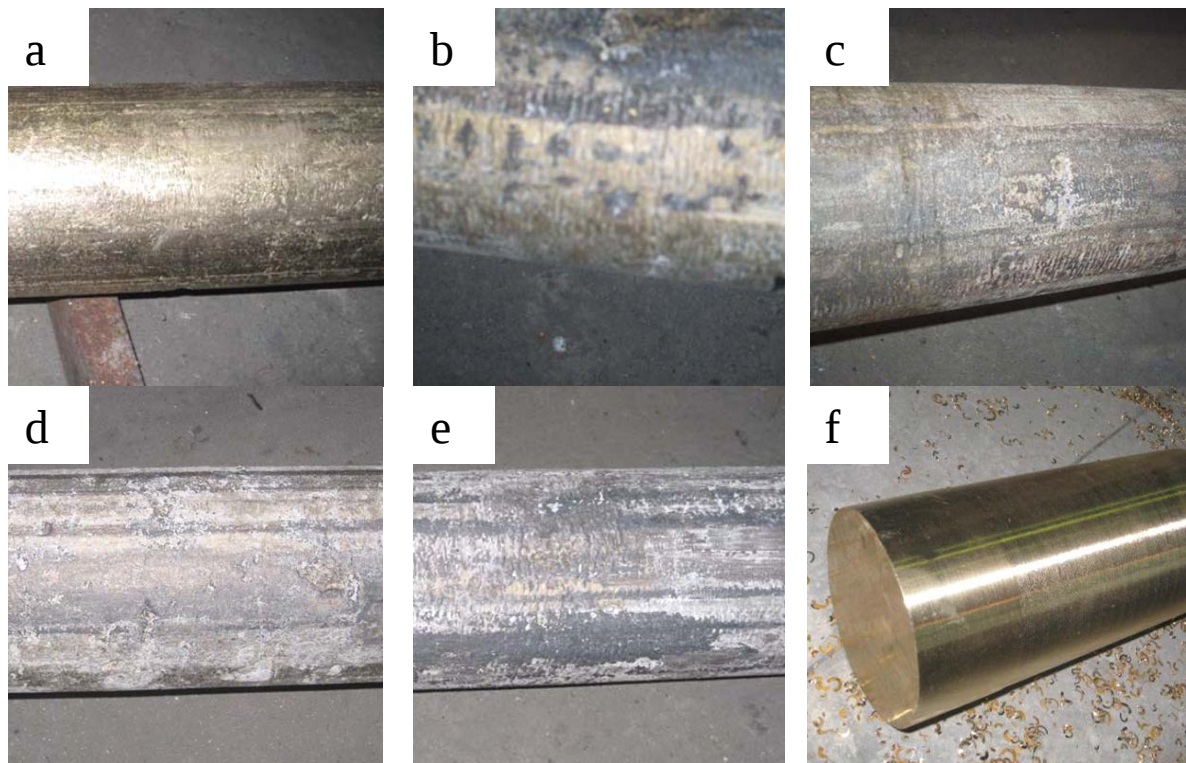


图5 添加不同覆盖剂时铝青铜铸锭的外观形貌
(a)1#; (b)2#; (c)3#; (d)4#; (e)(f)5#

三、试验结果与分析

➤ QAl-10-4-4铸锭夹渣产生机理

当结晶器中熔体表面形成的 Al_2O_3 薄膜均匀且完整时，能阻止熔体接触空气氧化。随着熔体的运动和结晶器的震动， Al_2O_3 薄膜不断更新且难以保持完整。部分裂开的 Al_2O_3 薄膜在结晶器边沿冷却并结成块，和炭灰覆盖剂、残留在熔炼炉中并流入结晶器的块状 Al_2O_3 以及石墨浇管氧化脱落的粉末等聚合到一起， Al_2O_3 薄膜包裹这些灰渣逐渐运动到熔体表面的边缘，如图6（a）所示，并被不断运动的熔体压入结晶器内侧，从而形成夹渣，如图6（b）所示。

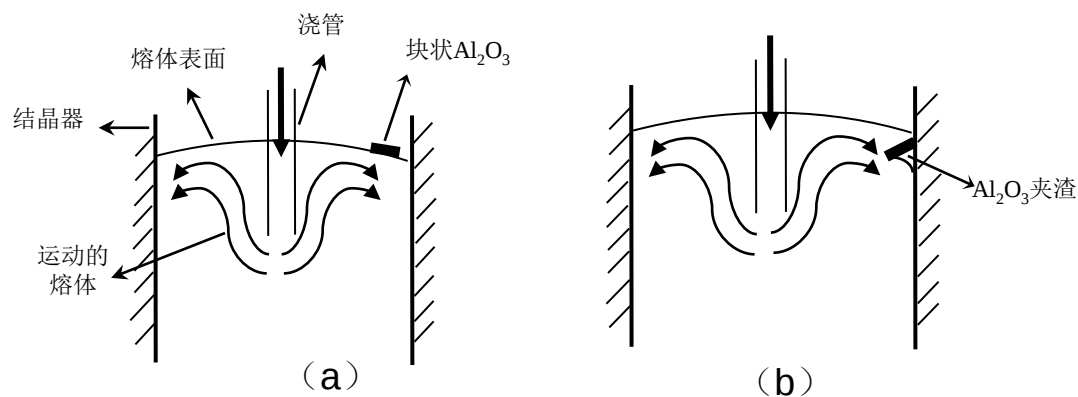


图6 结晶器中铸锭表层夹渣的形成

三、试验结果与分析

➤ 冰晶石覆盖保护作用

和木炭灰相比，用冰晶石作为铸造过程的覆盖剂，其不仅可以防止熔体与空气的接触，而且熔融的冰晶石能溶解 Al_2O_3 ，将已形成的块状 Al_2O_3 熔化，阻止其流入结晶器内表面。因此，使用冰晶石作为覆盖剂更能减少 Al_2O_3 夹渣。但是当加入较多的冰晶石时，其中未和熔体直接接触的部分容易成为杂质被卷入结晶器与铸锭的间隙，造成夹渣，影响铸锭表层质量。

未加冰晶石和加较多的冰晶石铸锭表面均会产生较多的夹渣。

均匀地加少量冰晶石作为覆盖剂，铸锭的表面质量非常好，未见有明显的夹渣，经车皮后，其内部质量很好。

➤ 冰晶石覆盖剂正确加入量和方法

冰晶石的加入量及加入方法说明：在结晶器熔体表面均匀地撒入0.5-1mm厚的冰晶石粉末（无需添加其它物质），粉末只要能覆盖即可，切不可堆砌。浇注过程中如果发现有成块的夹渣出现，立即在相应部位添加少量冰晶石。若在结晶器的内边缘有大块的夹渣出现，立即用工具将之扒出，避免其夹入铸锭表层。

氧化镍、氧化硅、氧化铍等都与氧化铝类似，在高温下是具有较高弹性和硬度的薄膜，冷却过程中易结渣，导致铸锭质量下降。

四、总结

本案例针对实际生产过程中QA110-4-4铝青铜立式半连铸铸锭夹杂很深的难题，通过结晶器内熔体覆盖剂的选择和工艺优化，在生产现场开展试验，由此快速解决了企业的技术难题。形成了一种“**稀薄覆盖**”的工艺技术，控制覆盖剂的组份为50%冰晶石+50%炭灰、覆盖层厚度为0.5~2mm，从而使铸锭表面光滑，无明显夹渣，表面质量较好。

该方案不但解决了公司的技术问题，而且所用覆盖剂更少，操作更简便，所以生产成本也得到一定降低，为公司产生了显著效益。

以该技术为主题，已申请并获得2项授权发明专利；并为企业申报江西省政府资助科技计划项目1项。

五、案例引申思考

- **现场试验：**本案例是学校老师带着研究生在生产现场与企业工人一起开展试验，发现、分析并迅速解决技术问题的典型实例。在此过程中，研究生获得极好的工程训练，老师也获得企业的高度认可。
- **大胆突破传统：**传统认识上，结晶器内铜熔体的覆盖一般都是采用炭灰、石墨、谷壳等，但是，对于铝青铜而言，由于 Al_2O_3 极易结渣，因此必须打破传统思路，寻找新的覆盖剂。本案例选择的冰晶石覆盖剂虽然行业内有应用，但没有过采用“**稀薄覆盖**”方式。
- **扎实的理论基础是关键：**本案例的问题最先是因为机加工时发现夹杂，企业认为是挤压造成的问题。实际上，对于材料加工产品，50~70%的冶金质量问题来自熔铸环节，这是我们必须认识的基本规律。那么熔铸过程中如何产生夹杂，如何控制夹杂缺陷，这些问题的解决依赖于我们对挤出理论知识的深刻理解。因此，在学校一定要学会用理论与实际相结合的方法去思考问题。



谢谢!

