

# 关于压铸工艺压铸锌合金性能老化 及老化机理之研究

王 佐 臣

## 一、三十年研究工作概况

在解放前我国的压铸工业是空白点。解放后我所从1950年就开展了这方面的研究工作，现在已有三十余年了。我们利用在五十年代初期从捷克进口一批压铸机，进行了压铸工艺的推广工作。1952年在电工十五厂推广用压铸法生产电动机的铝转子，并正式在沈阳电工十五厂投入生产。不但提高了生产率而且节省了大量的纯铜，获得了东北人民政府经济计划委员会的一等奖。随后到通讯、汽车方面有关工厂进行推广。1954年在北京汽车附件厂对解放牌汽车上用的锌合金压铸件进行生产实验并投入生产。

从1955年以后把到现厂推广压铸工艺转到在试验室搞应用基础方面的研究工作。根据在推广过程中发现我国在压铸生产存在的带有理论性的重要课题进行研究。在压铸合金方面决定对国产材料配制的锌合金性能老化等进行了较系统的研究。相继研究出既能指导生产又有一定学术水平的成果。如二十年自然时效的合金性能老化实验，杂质 Pb 在长期时效影响合金性能老化的机理并得到国外的重视。

从五十年代末到六十年代初对钢铁、不锈钢等进行了压铸工艺的探讨工作。主要进行了压铸参数对材料的性能影响、典型件的压铸工艺实验、压铸模寿命和耐热模具钢等的研究。在生产试制方面对齿轮和汽轮机叶片等进行了实验，并得出了试验室和推广的成果。但是，由于模具寿命过短不能广泛投入工业生产。

从1967年到“四人帮”倒台之前这段期间不但工作被停止，而且试验室都给拆掉了，由1979年才恢复工作。现在主要推广锌合金二十年时效性能的成果和研究高强度锌合金，以及今后准备进行不同环境的大气曝露实验等。

## 二、主要研究成果概述

### (一) 杂质 Pb 影响锌合金性能老化的机理

#### 1. 杂质 Pb 对合金相变的影响

A) 观察各种合金经过二十年长期时效的金相组织发现，虽然时效时间均相等，但是由于合金中杂质 Pb 含量不同，则合金相转变的程度有明显的差异。

从含杂质 Pb 较多的合金之金相组织中（参考图 1、3 和 5）清楚地看出，因相转变较快，组织中的初晶之晶粒边界模糊不清了；而杂质较少合金之组织中的初晶之晶粒边界仍然较为清晰（参考图 2、4 和 6）。

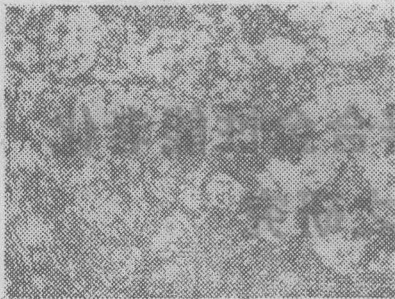


图1 含Pb为0.15%的Zn-4Al合金经过五年自然时效的金相组织。1000×

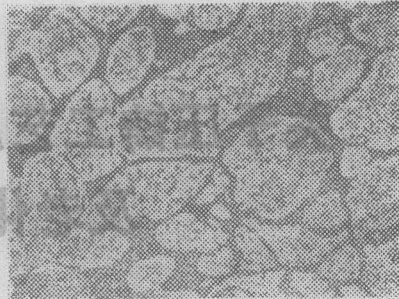


图2 含Pb为0.004%的Zn-4Al合金经过五年自然时效的金相组织，1000×

五十年自然时效的金相组织



图3 含Pb为0.15%的Zn-4Al合金经过二十年自然时效的金相组织，500×

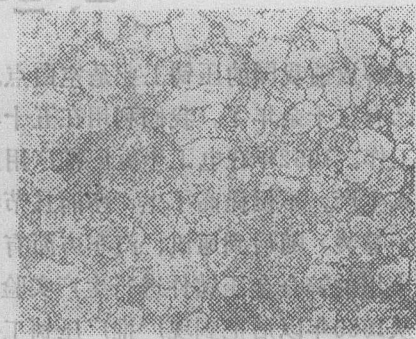


图4 含Pb为0.007%的Zn-4Al合金经过二十年自然时效的金相组织，500×



图5 含Pb量为0.15%的Zn-4Al-1Cu合金经过二十年自然时效的金相组织，500×

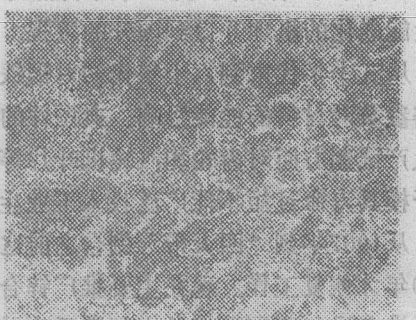


图6 含Pb为0.007%的Zn-4Al-1Cu合金经过二十年自然时效的金相组织，500×

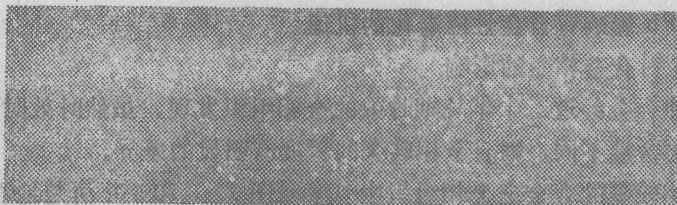


图7 含Pb为0.15%的Zn-4Al合金经过二十年自然时效，在断面周围出现的晶间腐蚀现象（最外边呈深灰色部分）

图7 (一)  
1. 晶间腐蚀  
2. 晶内腐蚀  
3. 晶间腐蚀  
4. 晶内腐蚀

图10. 中所示的变化结果也说明了杂质含量不同相变程度亦异。

2. 杂质 Pb 对力学性能的影响

从表1, 中明显地看出, 含Pb量较高的三种合金经过时效后的下降率均比含Pb量低的合金高。这说明含杂质多的合金性能老化较低的出现的快一些。这就意味着合金相变较快和晶间腐蚀现象出现的较早。

综上所述, 根据二十年自然时效的和人工时效的实验结果, 认为杂质 Pb 起着促进合金在常温下相变的作用。这一现象的发现, 又进一步发展了压铸锌合金的老化机理。过去国外研究认为 Pb 对合金性能老化的影响只是发生晶间腐蚀的电化学反应, 这是不够全面的。我们认为锌合金性能老化是由两方面因素构成的。一为合金在常温下仍然发生缓慢的相变化, 二是在潮湿环境下, 含杂质较多的合金出现晶间

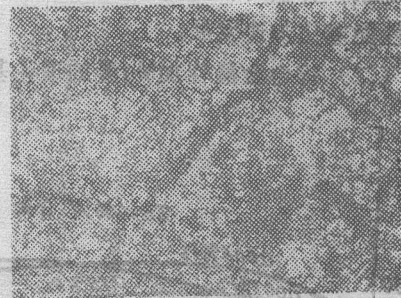


图8 含Pb为0.15%的合金经过二十年自然时效于内部出现的裂纹, 250x

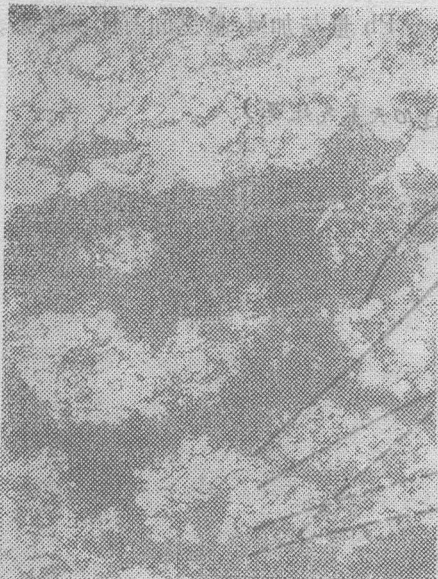


图9 含Pb量为0.15%的合金经过10天蒸气处理出现的晶间腐蚀现象, 500x

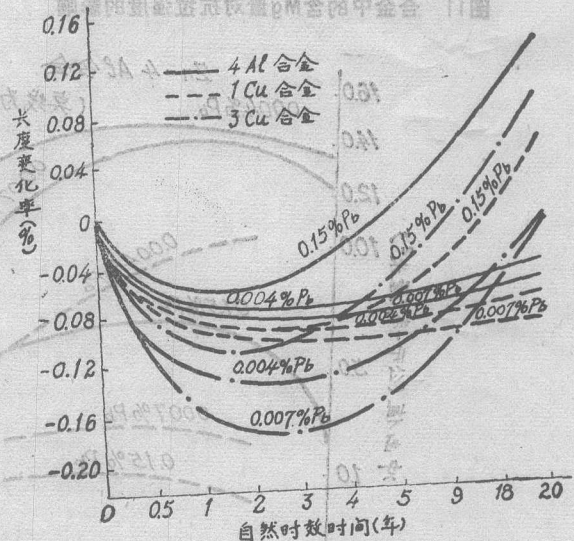


图10 含铅量不同的三种合金在二十年自然时效中长度变化情况

表1 含Pb量不同的各种合金自然时效后的机械性能下降率

时效时间	含Pb量(%)	抗拉强度下降率(%)			冲击值下降率(%)		
		Zn-4Al	Zn-4Al-1Cu	Zn-4Al-2.7Cu	Zn-4Al	Zn-4Al-1Cu	Zn-4Al-2.7Cu
五年	0.007	14	9	3	4	6	35
	0.15	20	15	8	93	92	92
二十年	0.007	18	12	3	4	10	81
	0.15	60	60	47	96	97	97

腐蚀现象。合金的相变化就伴随着合金性能的改变。杂质 Pb 有促进相转变的作用，也就使合金性能老化加速发展。

## (二) 锌合金最佳加Mg量的理论基础

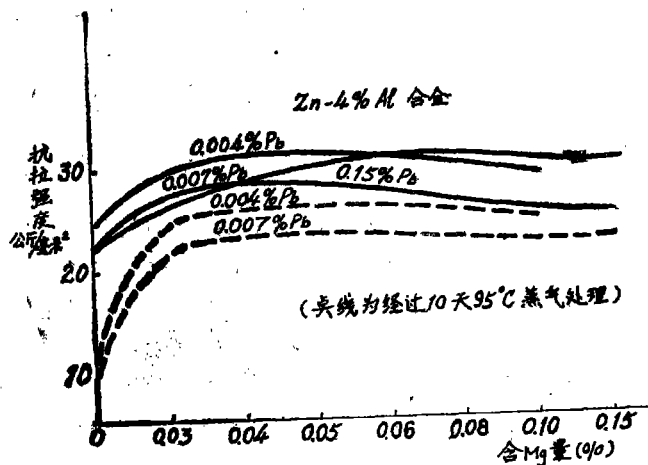


图11 合金中的含Mg量对抗拉强度的影响

国外解决锌合金性能老化的办法是，往合金里加入少量的 Mg 和把杂质含量限制在一定的范围内。但是在各国锌合金标准规格上所规定的加 Mg 量是不同的。同时国外研究者认为加 Mg 量应与合金中含杂质多少联系在一起，并成比例关系（参考图17）。

1. 加 Mg 量与杂质 Pb 含量之间的关系

从我们研究成果来考察(图11, 12, 13, 14, 15和16)并未发现含 Pb 量与加Mg量之间有比例关系，

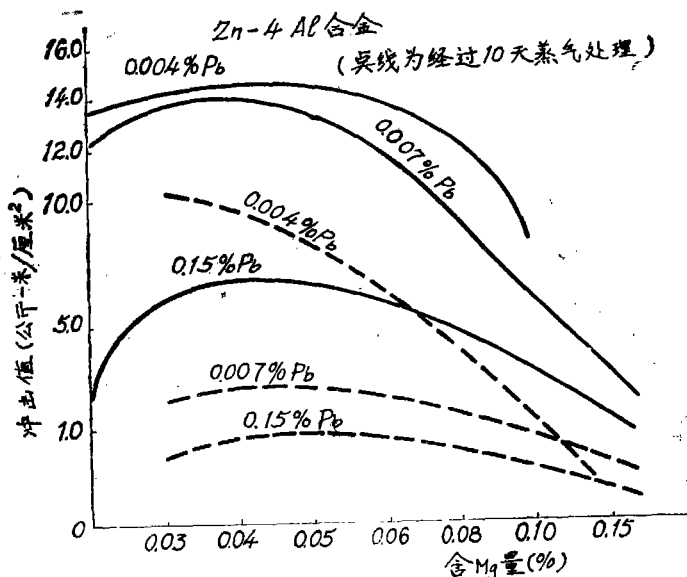


图12 合金中的含Mg量对冲击值的影响

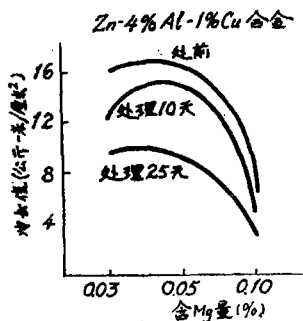


图13 95°C干气处理含镁量的影响

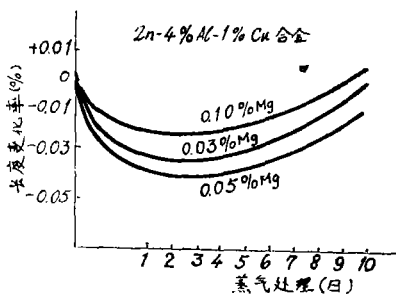


图14 蒸气处理含镁量的影响

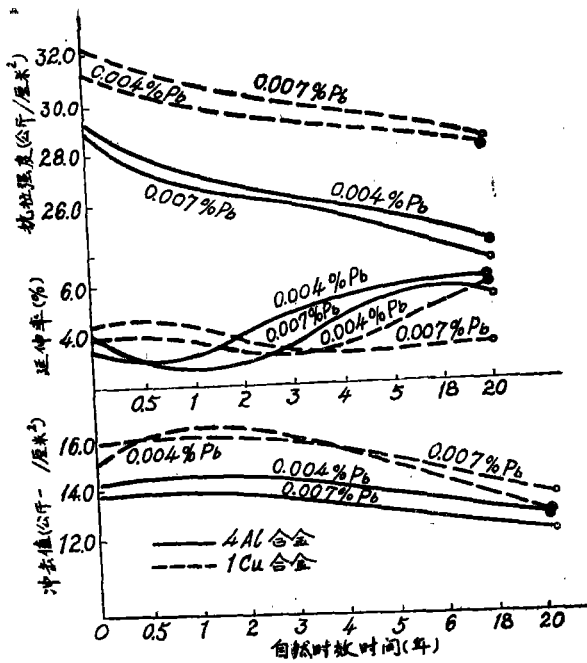


图15 含铅量不同的4Al和1Cu合金在二十年自然时效中机械性能变化

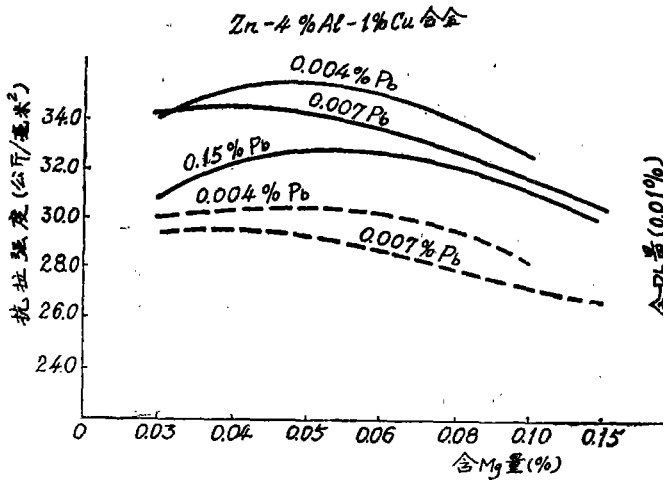


图16 合金中加Mg量对Zn-4Al-1Cu合金抗拉强度的影响

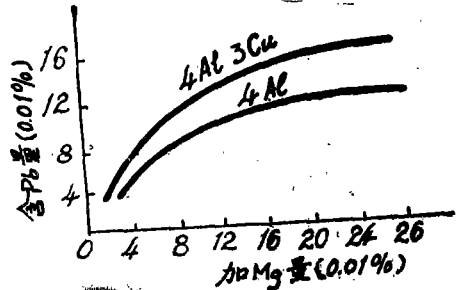


图17 根据Burkhardt

根据实验结果，认为压铸锌合金中之加Mg量应以Zn-Al-Mg三元系合金在Zn-Al侧，Mg在合金中的最大溶解度（在常温下）为限。因此，合金的最佳量为0.03~0.05%，最高不要超过0.06%。如果Mg量超过溶解度时也就等于在合金中增加了有害杂质（Mg的电极电位比锌低，故而加剧发生晶间腐蚀现象。

综上所述，说明了加Mg量与合金中含Pb量的高低，并不存在如图17，所示的曲线关系。

## 2. 加Mg量与含Cu量之间的关系（省略）

### （三）压铸锌合金长期（30年）自然时效性能老化的研究

这项实验是从1957年开始进行的，到1978年已测出时效二十年的实验结果，并推广给五

机部制订引信用压铸锌合金部颁标准。甩掉了苏联的旧标准。现在继续推广模拟二十年自然时效方法来判定一些产品能否存放二十年的问题。

### 1. 合金性能老化理论方面

如前面(一)节中所述,提出了杂质Pb有促进合金相转变的作用之论点,在此不重述。

### 2. 给压铸锌合金如何延缓性能老化提出了理论依据和适当的对策

分析时效二十年的实验结果,合金相转变的快慢是与合金性能老化出现的迟早有密切的联系。合金相变的快,不但使合金性能改变的快,而且促使合金及早发生晶间腐蚀现象。

由于合金在常温下进行的相变需要在相当长的时间内才能结束,也就是合金要达到真正平衡状态时需要相当长的时间来完成。从而使合金的力学性能在相变的期间内陆续有所改变,同时在杂质含量较多的合金中出现的晶间腐蚀现象将继续由表及里的发展着。从实验结果分析,虽然经过了二十年的时效看来合金相变还在缓慢的进行着。含Pb量为0.15%合金,在今后时效过程中是相变与晶间腐蚀同时进行着。什么时候老化现象能停止下来,很可能在合金中相变基本结束后才有可能。

锌合金在潮湿的环境下发生晶间腐蚀现象是,合金元素(Al、Mg)和杂质起着重要作用。晶间腐蚀现象出现的早晚是与杂质Pb的含量有密切的联系。适当量的Mg是能延缓合金的性能老化现象,但并未能从根本上解决锌合金性能老化问题。再进一步解决锌合金老化,若不能基本解决合金在常温下的相转变问题,则锌合金的老化问题就得不到理想的解决。

### 3. 给锌合金产品发生质量问题原因提供了理论依据

根据研究结果证明:锌合金中的加Mg量应以Mg在合金中的最大溶解度(常温下)为限,超过时并不提高合金的抗腐蚀性能,特别是冲击值有显著的降低(参考图12和13)。这就意味着加Mg量超过某界限值时,不但影响了合金的强度也起不到抑制晶间腐蚀的作用。反而加剧了腐蚀的进行。认为压铸锌合金的加Mg量是有个界限值,而与合金中的含Pb量的多少无关。这一点与国外不同。

锌合金中杂质Pb的含量根据实验结果来看,一般能控制在0.007%以下即可,再严格控制(在)0.01%对其效果并不明显,确有特殊要求的话用国产特号锌配制合金即可。

### (四)精密仪器用铝合金的研制

精密仪器上用的铝合金的主要要求有:

1. 铸造性能好;
2. 变形小,尺寸稳定性高;
3. 强度高,加工性好。

我们把重点放在提高铸件的尺寸稳定性上,首先从减少由淬火带来的残余应力,其次为冷加工带来的应力。

在铝合金中Al—Si—Cu系合金一般其铸造性能与加工性能较好,但用流动空气淬不上火,通过加入微量元素使合金用流动空气能淬上火。这就大大减轻了由用水淬火带来的残余应力。用100℃和-40℃反复冷热处理方法消除由于冷加工带来的应力。

### (五)耐高温高压的铝合金的研究

此项研究工作主要是针对用于黑色金属压铸用的,作为一次模的材料。对材料的要求是:

1. 在瞬间能抗住1450℃钢水在注模时的高速冲击;
2. 能耐住1000kg/cm<sup>2</sup>以上的高压。

研究结果认为，Al-10%Mn-3%Cu-2%V合金初步达到了要求。

用此合金制作压齿轮的模来压铸碳钢齿轮。压铸齿轮的压铸条件：

1. 比压：1500—1900kg/cm<sup>2</sup>
2. 浇注温度：1450°—1460℃
3. 压射速度：0.7米/秒

实际试验结果初步表明，此合金能承受住 1000℃ 的高温和 1000kg/cm<sup>2</sup>以上的压力。今后需要进一步改善其铸造性能和脆性。

### 三、今后的研究方向

在应用基础方面，重点对非铁合金中的杂质、微量元素与晶粒边界之间相互作用的探讨分析，来进一步解决合金性能老化问题提出理论依据。

在应用研究方面，主要开发新型高强度合金和不同大自然环境对合金性能的影响实验研究。