

机械工人学习材料

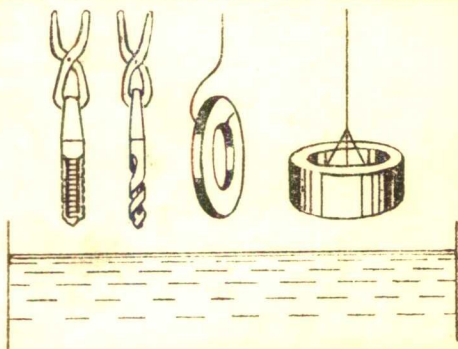
JIXIE GONGREN XUEXI CAILIAO

钢的表面固体渗铝

李忠扬 朱斌 编著



热处理



机械工业出版社

钢的表面固体渗铝

李 忠 扬 朱 斌 编 著

※

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行, 新华书店经售

※

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 1 · 字数 20 千字

1960 年 1 月北京第一版 · 1973 年 10 月重排北京第二次印刷

印数 5,051—105,050 · 定价 0.10 元

※

统一书号: 15033 · 3154

毛主席语录

红与专、政治与业务的关系，是两个对立物的统一。一定要批判不问政治的倾向。一方面要反对空头政治家，另一方面要反对迷失方向的实际家。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

目 次

一 前言	1
二 固体渗铝的简单原理	2
三 渗铝剂的性质及制造方法	4
1 渗铝剂的成分和性质 (4)——2 铝铁合金和 铝铜铁合金渗铝剂 的制法 (6)——3 渗铝剂的损耗 (8)	
四 固体渗铝的操作工艺	9
1 零件的表面处理 (9)——2 渗铝剂的配制 (10)——3 渗 铝用 的设备 (10)——4 零件的装箱 (11)——5 渗铝温度 和时间 的 选择 (11)——6 扩散退火 (12)	
五 零件渗铝后的性能	17
1 金相组织 (17)——2 机械性能 (20)——3 耐热抗蚀性 能 (21)——4 渗铝件的焊接 (24)	
六 固体渗铝的经济效果及其应用范围	25
七 固体渗铝工艺过程中常发生的问题、产生原 因及其消除方法	26

一 前 言

随着我国社会主义工业建设的飞跃发展，各部门对耐热钢与不锈钢的需要不断增加。为了保证产品质量和节约镍铬原料，找寻耐热钢的代用材料是非常必要的。

经过工厂和研究机构的共同努力，到目前为止已找到一些行之有效的代用品。例如：高铝铸铁、硅铝铅、高铝铸钢和渗过铝的钢和铸铁等。经过长期实践使用证明，这些代用品在 950°C 以下热安定性都很稳定。其中尤以渗铝比较良好，并且已在各工厂得到了广泛采用。经渗铝处理的钢和铸铁，在工作时允许的受热范围是 $750\sim 950^{\circ}\text{C}$ 。近来，除了低碳钢和铸铁零件以外，许多耐氧化钢和耐热钢，如 SiCr8 、 Cr18Ni9Ti 、 4Cr14NiW2Mo 等钢制的零件也进行了渗铝处理，这样能进一步增高其耐氧化性和耐热性。根据国内外资料，目前已经研究成功的渗铝工艺方法有下列几种：

1. 固体渗铝法；
2. 液体渗铝法；
3. 喷镀渗铝法；
4. 气体渗铝法；
5. 电解渗铝法。

前三种渗铝工艺方法，已在工厂中得到广泛应用。这本小册子主要是系统地介绍钢的表面固体渗铝法，以供从事热处理的工人参考。

二 固体渗铝的简单原理

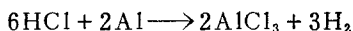
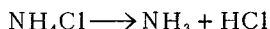
钢件表面用铝饱和叫做渗铝。渗铝的目的是使钢件表面获得高的耐热性。固体渗铝是钢的表面渗金属之一。它的方法就是把要渗铝的零件和粉状渗铝剂放在一起，装于铁箱内加热到 $900\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 左右，并在这个温度内保持一段时间，而后缓慢地冷却下来。

渗铝和渗碳一样，两者都是借热扩散原理来进行的。不过渗铝是与铁形成置换固溶体，而非间隙固溶体，因此渗铝法所需的温度要高于渗碳法。一般渗碳温度在 $900\sim 920^{\circ}\text{C}$ ，也就是临界点 (Ac_3) 以上，而固体渗铝的温度则在 $900\sim 1100^{\circ}\text{C}$ ，显然比渗碳温度高得多。提高温度以增加铝向钢中的扩散速度，从而提高渗铝的效果。

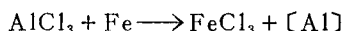
我们大家都知道铝的最特殊性能是铝与空气接触很容易被氧化，在铝的表面形成致密的、坚固的、连续无孔的氧化铝 (Al_2O_3) 的薄膜。它有保护内部不继续氧化的作用。因此一般不耐高温的钢和铸铁零件，在经过渗铝处理后便可获得高温抗氧化性能，在空气、二氧化硫气体以及其他介质内也有着很高的热安定性，因而变成耐热、耐腐蚀的优良材料。当我们把零件和渗铝剂一起装在密封的渗铝箱内，并加热到所规定的温度时，拌和在渗铝剂中的氯化铵 (NH_4Cl) 便开始发生作用。此氯化铵与渗碳剂中碳酸盐的作用一样，是一种催渗剂，目的是使它在加热时发生反应，产生氨气和氯化氢。氨气分解后又能得到氮气和氢气，它们可以保护箱内不发生氧化性气体，这是箱内不可缺少的东西。

在铝粉或铝铁合金粉末中渗铝时，钢铁中渗入的铝，主要是依靠钢件表面与铝或铝铁合金的直接接触而发生的。

在含有氯化铵的混合物中加热时，发生下列反应：



其中三氯化铝又依下列反应发生作用：



反应的结果，氯化铵分解出来的氯化氢和铝作用便可产生我们所需要的氯化铝，而氯化铝与铁作用的结果，在钢或铸铁表面上析出了原子状态的铝，也就是活性铝，并立即渗入钢铁零件的表面中。使用氯化铵的作用是促使产生活性铝，加速渗铝过程，同时使空气从渗铝箱或炉膛内排挤出去，以防止粉状渗铝剂和零件的氧化。经过渗铝的零件，其表面因与铝铁合金粉末渗铝剂直接接触，含铝浓度很高，成为一种脆性的铝铁化合物；其中心部分除小部分铝铁化合物外，大部分是固溶体（见图1）。

钢中所含元素对渗铝层有什么影响，在这里只介绍一下国外用含有各种不同元素的铁（0.02% C）进行的试验，结果证明：一切元素都能使渗铝层厚度减少，尤其是以钨、镍及钼的作用最为剧烈（见图2）。

另外某些元素对中碳钢及高碳钢的渗铝层厚度的影响和对低碳钢的影响也不一样，比如铬减少低碳钢中渗铝层的厚度，而在高碳钢中（0.86% C）则恰恰相反。当铬的含量在3.5%以下时，可增加渗铝层的厚度，只有当铬量更高的时候，渗铝层的厚度才开始减小。渗铝层的深度，随钢中含碳量的增加而减弱。钢中碳与合金元素的含量改变的时候，奥氏体的稳定性也随着发生了改变，因而容易在 α 铁中进行扩散，而不容易在 γ 铁中进行扩散的

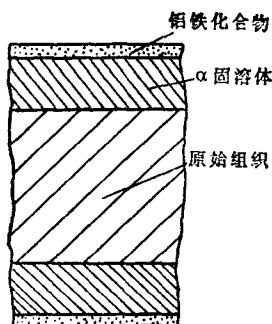


图 1 渗铝件组织示意图

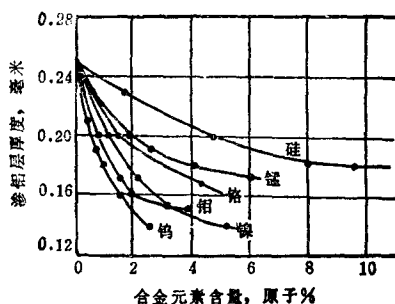


图 2 合金对于在950℃进行渗铝达6小时以上的, 渗铝层厚度的影响

铝的扩散能力, 就要受到影响。

因为铝和碳不具有亲合力, 在钢中不形成碳化物。铝的扩散使表面的碳挤向内层, 因之钢中含碳量增加, 铝的扩散减慢。

三 渗铝剂的性质及制造方法

渗铝工艺近几年来有很大发展, 不仅用在代用材料上, 而在耐热钢零件上也采用渗铝, 来进一步提高耐热性能。近来各工厂固体渗铝都在采用铝铁合金, 或铝铜铁合金渗铝剂, 这两种渗铝剂比铝粉剂优良。下面将着重介绍各种渗铝剂的成分和性质、几种常用渗铝剂的制造方法及渗铝剂的损耗。

1 渗铝剂的成分和性质 在工业中常用的渗铝剂大致有六种 (见表1)。由表1可见, 第1种渗铝剂为铝粉与高岭土或白瓷土的混合物, 其中并掺有1~2%的氯化铵 (NH_4Cl) 催化剂。这

表 1 渗铝剂的成分

序 号	渗铝剂中粉末状组成物的名称	含 量 %
1	铝粉	49(49.5)
	氧化铝高岭土或白瓷土(白粘土)	49(49.5)
	氯化铵	2 (1)
2	铝铁合金 ($\sim 40\% \text{Fe}$) 或铝铜铁合金 ($\sim 40\% \text{Fe}$) $2\sim 4\% \text{Cu}$	98 $\sim$ 99.5
	氯化铵	2 $\sim$ 0.5
3	铝铁合金或铝铜铁合金	79.5
	氧化铝、高岭土或白粘土	20
	氯化铵	0.5
4	铝	35 $\sim$ 50
	脱水的白色粉状粘土(白粘土)	65 $\sim$ 50
5	铁	37 $\sim$ 47
	铜	2 $\sim$ 4
	铝	60.5 $\sim$ 48.75
	氯化铵	0.5 $\sim$ 0.25
6	铝粉	40 $\sim$ 60
	氧化铝或轧碎的细耐火泥或烧结的耐火粘土	58.5 $\sim$ 37
	氯化铵	1.5 $\sim$ 3

种渗铝剂很早以前就在各工厂中使用，而且效果十分良好。但它的缺点是渗铝速度缓慢，经渗铝过的零件表面不太光滑，并且有较多的铝粘附在零件的表面上。特别是当铝粉与高岭土混合得不均匀的时候，这种现象更为严重，因此目前这种渗铝剂已很少被采用。

第2种渗铝剂为铝铜铁合金，它里面没有加入高岭土或白瓷土，因为铝铜铁合金不容易发生烧结现象。在这种混合物中若有惰性粉末存在的时候，不仅能减慢渗铝过程，而且还会降低零件表面层中含铝的浓度，这样就会使渗铝零件的耐热性下降。如果在某些情况下对渗铝零件表面质量的要求很高的时候，可以用第3种渗铝剂，这种渗铝剂是在铝铁合金粉末里加入20%左右的惰性粉末氧化铝。

在工厂实际操作中，一般氯化铵在混合物中的含量都在0.5~2%的范围内。这对渗铝层的厚度影响不大，因此在实际工作中为了节约氯化铵起见，常采用最低的含量0.5%。可是实际经验证明：氯化铵增到2.5%的时候不但渗透速度快，而且表面硬度也可提高，因此氯化铵用量可根据渗铝零件的具体要求而变更。第4种渗铝剂中没有加入氯化铵，只用铝粉和脱水的白色粉状粘土。为了保护零件不发生氧化作用，使用时需要通入一些氮气或氢气到箱子里去。显然这将使渗铝成本提高，手续复杂。因此这种渗铝剂在实际生产中条件不充分的，一般很少采用。在上述渗铝剂中以第2、3种应用最广。其他各种根据实际生产条件来采用。

2 铝铁合金和铝铜铁合金渗铝剂的制法 铝铁合金的制法如下：原料为工业纯铝（见表2）或杜拉铝废料及低碳钢的碎块，或捆成小扎的低碳钢切屑。这些原料必须清洁不得附有油污或尘土，其尺寸要稍小于熔器。二者的配合分量为60%的铝，40%的低碳钢切屑。熔炼时先把铝熔化后再加入钢屑，这是为了加速熔化。采用切屑比用小铁块来得有效，原因是低碳钢熔点高而铝熔点低。但应当注意需先把铝全部放进预热呈红色的石墨坩埚中，然后迅速加热熔化。为了减少铝液表面的氧化，可在上面盖

表 2 铝的牌号及杂质含量

铝 的 牌 号	代 号	含 铝 量 (不小于%)	杂 质 (不大于%)					
			铁	硅	铁和硅 的总和	铜	其他	杂质 总和
四号高纯铝	L04	99.996	0.0015	0.0015	—	0.001	—	0.004
三号高纯铝	L03	99.99	0.0030	0.0025	—	0.005	—	0.010
二号高纯铝	L02	99.97	0.015	0.015	—	0.005	—	0.03
一号高纯铝	L01	99.93	0.04	0.04	—	0.01	—	0.07
一号工业高纯铝	L0	99.9	0.06	0.06	0.095	0.005	—	0.10
二号工业高纯铝	L00	99.85	0.10	0.08	0.142	0.008	—	0.15
一号工业纯铝	L1	99.7	0.16	0.16	0.26	0.01	—	0.3
二号工业纯铝	L2	99.6	0.25	0.20	0.36	0.01	—	0.4
三号工业纯铝	L3	99.5	0.3	0.3	0.45	0.015	—	0.5
四号工业纯铝	L4	99.3	0.3	0.35	0.60	0.05	0.1	0.6
五号工业纯铝	L5	99	0.5	0.5	0.9	0.02	锌0.1 锰0.1 镁0.1 其他0.1	1.0
六号工业纯铝	L6	98.8	0.50	0.55	1.0	0.1	—	1.2
七号工业纯铝	L7	98	1.1	1.0	1.8	0.05	—	2.0

一层粗粒食盐或石墨片。当铝液温度到达 900°C 以上时，便可将准备好的钢屑小孔分批加入其中，并迅速搅拌。继续升温到 $1200\sim 1250^{\circ}\text{C}$ ，待铁屑全部熔化后，保温 $10\sim 20$ 分钟，经再度搅拌使其混合均匀，便可从炉中把坩埚取出。待镇静一二分钟后即可浇注在金属模内。模子应清洁无锈，浇注时应注意防止熔渣混入锭子里面。通常这种锭子都是浇成平板形。按上述方法熔铸的铝铁合金的成品率，一般可达 95% 左右，是一种实用的好方法。

铝铁合金的含铝量一般控制在 $53\sim 63\%$ 之间，不宜低于 50% 。而铁的含量需保持在 $37\sim 47\%$ 之间，另外还有不可避免的小量杂质，如：铜、硅、锰及碳等。具有这种成分的铝铁合金性

硬而脆，便于敲碎，熔点合适，渗铝操作中不易发生烧结，同时扩散速度快，渗铝效果较为良好。

前面介绍的制法是常用的一种，另外还有一种简便的制法。不论使用纯铝块或铝铁合金，都按 50% 铁和 50% 的铝配料，然后在灰口铁水中加入已经熔化的铝液。这样制成的铝铁合金成本低，渗透力强，而且容易被粉碎。

铝铜铁合金渗铝剂的含铁量约在 37~47% 左右，铝的含量约在 53~63% 之间，除难免的少量杂质硅、锰及碳外，尚含有 2~4% 的铜及百分之零点几的镁。这种合金的制法是这样：先将低碳钢的碎块或切屑放在炼钢炉中熔化，然后将预先熔制成铸锭的铝或杜拉铝废料，按计算的重量再加上 10~20% 的熔炼损耗量加入其中。当加入料在保护熔渣下熔化，并经过仔细地搅拌以后，便可将合金倾入耐火砖砌成的模子里。浇铸好的合金断面应当呈亮灰色，并且易于磨成粉末。通常这种合金都是在球磨机中进行磨碎。

3 渗铝剂的损耗 渗铝剂的损耗与渗铝箱的密闭性、渗铝剂的成分、操作时间及渗铝温度有关。如果渗铝箱子密封不够严密，箱内的渗铝剂便会氧化，使混合物中铝粉或铝铁合金的贫乏程度大大增加。在这种情况下铝粉比铝铁合金氧化得更厉害。

各种渗铝剂在不同渗铝温度和时间下的损耗情况大致如下：

(1) 在由 98% 的铝铁合金和 2% 的氯化铵所组成的渗铝剂中，于 1050°C 进行 24 小时的渗铝后，混合物中铝的贫乏程度约为 8.5~9%。因而要想保证渗铝零件的质量，就必须使贫乏的混合物得以翻新。这就需要往贫乏的混合物内加入数量约为 17~18% 甚至 20% 的新混合物，才能使以后的零件得以渗铝。如果渗铝温度为 900~1000°C，时间 6~10 小时，那么往已用过的混合

物里补充 10~15% 的新的混合物就足够了。

(2) 由 99% 的铝铁合金, 和 1% 的氯化铵所组成的渗铝剂, 在温度 860°C 渗铝约 10~12 小时后, 一般铝的贫乏度仅有 0.36%。所以按照这种规范渗铝的时候, 混合物可以重复使用多次, 只需补充 0.5~1.0% 氯化铵 (NH_4Cl) 而不必翻新。

(3) 如采用 50% 的铁和 50% 的铝浇铸成的铝铁合金粉末, 按表 1 中的第二种渗铝剂配方, 在 950~1000°C 渗铝温度中保温时间不超过 10 小时。重复使用 4~5 次, 其效果不减低, 只是在用过第一次后增添 1~2% 的氯化铵即可。铝铁合金渗铝剂的回用情况见表 3。

表 3 铝铁合金渗铝剂的回用情况

铝铁合金 回用次数	渗 铝 层 深 度 (毫米)			
	HT15-32 铸 铁		10 号 碳 钢	
	每次加入 20% 新	全部旧铝铁 合 金	每次加入 20% 新	全部旧铝铁 合 金
1	0.08~0.09	0.07~0.09	0.13~0.15	0.12~0.14
2	0.06~0.09	0.07~0.08	0.14~0.15	0.12~0.15
3	0.07~0.08	0.06~0.09	0.12~0.14	0.13~0.15
4	0.07~0.09	0.06~0.09	0.14~0.16	0.12~0.14

四 固体渗铝的操作工艺

1 零件的表面处理 为使渗铝零件能得到满意的渗铝层, 零件在渗铝前必须将表面附着的油污和铁锈清除干净。因为油污、铁锈或氧化皮都会阻碍铝的渗入, 使渗铝层厚薄不均。

零件表面氧化皮、油污、铁锈的清除，可用喷砂机或采用最新表面加工的液体抛光法。渗铝零件的清洁方法，应按零件的形状、大小来分别选择，精密复杂的零件和管状物可采用酸洗法，形状简单的小零件可用酸洗法或用轮磨法。经过机械加工的零件只要用5%的苛性钠溶液或工业酒精洗涤。通常形状复杂的零件其表面油污、铁锈及氧化皮的处理都比较困难，但可采用前面所说的喷砂或液体抛光法。这种方法最适于处理形状复杂零件的表面。除上述方法外，还可采用15%的热硫酸或30%的热盐酸清洗，不过用这种方法处理的零件在从酸中取出后，须立即放入清水中进行洗涤。如果条件具备，经酸洗法处理的零件最好先放入碱溶液内中和一下，然后再放入水中洗涤，这样零件可以较长时间保持不氧化。另外用轮磨法和喷砂法处理的零件，其表面均有大量微尘附着，在进行渗铝前需用刷子刷净。当然渗铝零件的表面清洁处理，不像电镀零件那样要求严格，因为电镀是电解沉积作用，而渗铝是吸收扩散作用。

2 渗铝剂的配制 根据不同形状的零件，和其表面要求的光滑程度，按表1所列渗铝剂的配方选取其中的一种。无论铝铁合金或铝铜铁合金均需经过仔细粉碎过筛，颗粒度不得大于1~3毫米。如果零件表面要求比较光滑，颗粒度应更加细些。然后掺入规定数量的氯化铵或惰性粉末，并经仔细拌和，一般最好是放在机械搅拌机上拌和。经上述工序处理过的混合物便能开始使用。

3 渗铝用的设备 固体渗铝对于设备没有什么特殊的要求，凡是能达到渗铝温度的箱式、井式渗碳炉以及一般构造的加热炉都可以。也可使用固体或用油作燃料的加热炉。但是最好不要在镍铬电阻丝裸露的电炉内渗铝，因为由箱中逸出的气体，将促使

电阻丝的早期毁坏。因此，最适宜于固体渗铝用的炉子，它的发热体是硅碳棒，或带有特殊马弗室的电阻炉。燃料加热炉应该是普遍应用的，要求温度均匀，温度容易控制，以达到渗铝的目的。

4 零件的装箱 渗铝零件在箱中的位置和固体渗碳时相同。当零件装入以前，需先在箱底铺上一层厚 25~40 毫米的渗铝剂，并用棍棒捣紧，然后将零件放在上面。零件与零件之间不能靠得太近，一般应隔开 20~30 毫米，零件与箱壁之间的距离应为 25~40 毫米。每层零件之间都要填满混合物，并需轻轻捣实。装箱时应注意零件的工作面最好向下，空心或管形零件在安放时，要使渗铝剂在加热过程中所产生的气体，能自零件孔穴向上自由流动。当零件全部装毕后，为了检查渗铝效果可在零件旁边安放一根突出箱外的圆形试棒。在盖箱盖时为了保证箱子有良好的密封性，防止零件和渗铝剂发生氧化，最好先在上面盖上一层铁板或石棉板，并在板上撒一层约 20~30 毫米厚的铁屑、黄砂或耐火泥粉，然后再把配合紧密的箱盖盖上。沿盖四周接合处涂上一层耐火泥浆，或用 3 份粘土和 1 份滑石粉与 40° 水玻璃混合的泥浆涂牢。这样外面的空气和火焰就无法进入箱内。固体渗铝时零件的装箱情形见图 3。

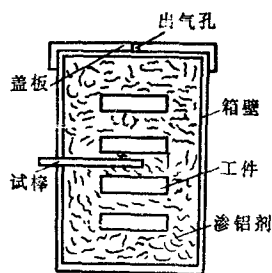


图 3 固体渗铝装箱图

5 渗铝温度和时间的选择 固体渗铝的温度一般应保持在 900~1050°C 的范围内，如果温度太低渗铝速度便会急剧下降。但温度选择得太高，又会使渗铝件的晶粒强烈长大，使机械性能大大降低。此外采用过高的温度，还会给操作时带来许多技术上的困难，例如：渗铝箱的强烈氧化，炉子所能达到的温度等等。

在实际生产工作时，往往不能专为渗铝而设置一台炉子，特别是对一些渗铝零件不多，或规模较小的工厂。应本着勤俭办企业的精神，尽量利用生产中原有的炉子。而这些炉子的最高工作温度，通常只能达到 $900\sim 950^{\circ}\text{C}$ 左右，因此固体渗铝的温度，一般可选择在 $900\sim 950^{\circ}\text{C}$ 的范围内。如果设备条件具备则可采用 1050°C ，但被渗铝零件必须是大型的。对一些薄壁零件的渗铝温度，为防止其被渗透和表面产生裂纹，最好采用 950°C 以下的温度。如零件厚度低于 1.5 毫米时，其渗铝温度应再低一些，通常只能采用 900°C 以下的温度。

关于渗铝时间问题，虽然延长渗铝时间能提高渗铝层的深度，但它的效果远没有提高温度那样显著。而在保温一定时间后，零件表面的铝已开始达到饱和状态，即使再延长时间，渗铝层也不会有很大增加。时间和温度与渗铝层深度的关系见图 4 和图 5。

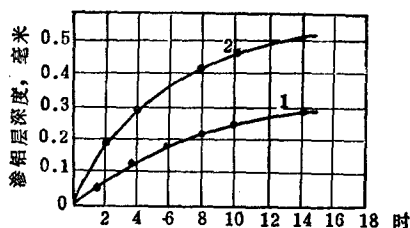


图 4 保温时间对渗铝层深度的影响

99.5% Fe—Al—Cu 合金 + 0.5% NH_4Cl
1— 900°C ; 2— 1000°C

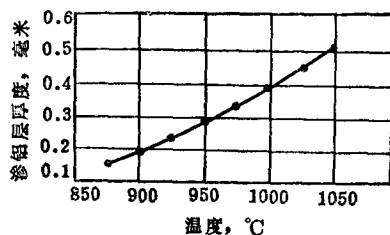


图 5 加热温度对渗铝层深度的影响

99.5% Fe—Al—Cu 合金 + 0.5% NH_4Cl
保温时间——6 小时

6 扩散退火 零件经渗铝处理后，表面含铝量高达 40~50% 左右。为了减低渗铝层的脆性，需进行一次

扩散退火，其退火温度为 $950\sim 1050^{\circ}\text{C}$ ，保温时间 4~6 小时。经

扩散退火后的零件，除渗铝层的脆性降低，性能得到改善外，且能使渗铝层的深度有显著增加。另外一些在不太高的温度下使用的重要零件，为了细化其中心部分的晶粒，在经过扩散退火后，最好再在 $870\sim 890^{\circ}\text{C}$ 的温度内进行一次短时间的正火。正火保温时间的多少，由零件尺寸的大小来决定，一般约 $15\sim 60$ 分钟左右。但应当注意薄壁零件无论在退火或正火时，铝差不多可以扩散到整个截面，结果使零件变脆。因此在选择退火或正火温度时，必须考虑到这点。通常这种零件的正火温度都是选择在 $650\sim 750^{\circ}\text{C}$ 左右，时间为 $30\sim 60$ 分钟。固体渗铝的技术规范及其实例见表 4 和表 5。

表 4 固体渗铝的技术规范

序号	渗铝方式	温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	混合物的 成 分	渗铝层 深 度 (毫米)	加热时间 (时)	备 注
1	零件装在耐 热旋转罐里在 固体渗铝剂中 加热	$900\sim 950$	49% 铝 (粉 状), 49% 氧化 铝 (Al_2O_3), 2% 氯化铵 (NH_4Cl), 为 了防止有氧化 作用发生, 炉 内通入氮(N_2) 或氢(H_2)	$0.1\sim 1.0$	$3\sim 12$	渗铝后要进行补充扩 散退火, 即在 950°C 时 保温 $5\sim 6$ 小时, 或是在 1000°C 时保温 $3\sim 4$ 小 时
2	零件装在箱 子里在固体介 质中渗铝	$1050\sim 1080$	35~50% 铝 (粉 末) 65~ 50% 烧成粉状 的白粘土。第 二次用的时 候, 再加 5~ 10% 铝粉	0.6~ 1.65 表面 含铝量约 为 25%	$6\sim 15$	铝除了扩散到金属的 内部外还有一薄层熔在 表面 铝在铁中的扩散系数 $D_{900^{\circ}\text{C}} = 0.33 \times 10^{-7}$ 厘米 ² /秒