

编 号: 0084

科学技术成果报告

钢丝正火和盐浴处理代替铅浴处理

科学技术文献出版社

中国科学院图书馆

目 录

一、前 言.....	(1)
二、空气代熔铅.....	(2)
三、熔盐代熔铅.....	(5)
四、关于钢丝盐浴工艺装备的改进.....	(10)
五、小 结.....	(11)

钢丝正火和盐浴处理代替铅浴处理

四平市钢丝绳厂技术科、吉林工业大学金相热处理教研室

一、前 言

制造钢丝绳的高碳钢丝的热处理，主要是采用在过冷奥氏体等温转变图形“鼻子”稍下温度的铅浴中进行等温处理的方法。再经适当的冷拔加工，可以获得很高的强度和足够的韧性、塑性。这种由劳动人民创造的处理工艺，曾一度被资产阶级作为专利所垄断，所以这种热处理方法也叫熔敷（Patanting）处理法。目前国内外生产钢丝的工厂，仍广泛采用铅浴等温处理。

但是，铅蒸气及其氧化物（粉尘）具有很强的毒性，而且，铅毒属于积累性中毒，每日吸铅不多，年长日久就会病人膏肓。铅浴处理，不仅容易使热处理工人中毒，而且由于钢丝表面常常沾有一些铅，这些铅在酸洗时又很难去除，因此在随后的冷拔时，会使铅尘飞扬，造成拔丝工人中毒。

在资本主义国家，资本家为最大限度地攫取高额利润，根本不管工人的健康和死活，虽然表面上对铅中毒也采用一些防护措施，以及采用隔4~5年调换铅浴处理工人工种等办法，实质上完全是敷衍和欺骗，其社会制度决定它不肯，也不可能根本解决这个问题。

我国是社会主义国家，伟大领袖毛主席和党中央历来十分关心工人阶级的健康，国家严格规定铅尘含量必须低于0.01毫克/米³。在发展工业的同时积极防治严重危害工人健康的铅中毒病，保护工人健康。

四平市钢丝绳厂生产的钢丝绳钢丝，原来的主要工艺流程如下：

φ6.5毫米的热轧盘条→酸洗→冷拔至φ4.5毫米→铅浴等温处理→酸洗→冷拔至φ2.3毫米→铅浴等温处理→酸洗→冷拔至φ1.0毫米→绞绳。

即每根钢丝均需经二次铅浴等温处理。为了使等温温度相对稳定，铅槽尺寸比较大（长7米宽1.4米深0.4米），每槽用铅50吨之多。由于熔铅与空气接触面大，铅氧化比较严重，氧化铅粉尘经常超过国家规定的标准，致使一些工人不同程度地中毒，虽经防疫部门积极排铅治疗，但铅毒仍然是钢丝绳厂危及工人身体健康的一大威胁。

在批林批孔运动中，在上级党委领导下，组织了三结合的队伍，大搞工艺革命，在四个月的时间內完全彻底地送走了铅毒瘟神。

二、空气代熔铅

我们分析认为，钢丝由 $\phi 3.5$ 毫米冷拔至 $\phi 4.5$ 毫米后进行热处理的主要目的是消除冷作硬化现象，提高钢丝塑性，细化晶粒，改善组织，以便继续进行冷拔加工。钢丝冷拔至 $\phi 4.5$ 毫米的金相组织如图1所示。从图中可以看出，经过冷拔加工之后，钢丝晶粒被拉长，自由铁素体呈扁网状，珠光体也承受了变形作用。

消除冷作硬化现象最简单的热处理方法是再结晶退火或不完全退火。冷拔钢丝在 $600\sim 650^{\circ}\text{C}$ 经短时和长时退火后的机械性能如表1所

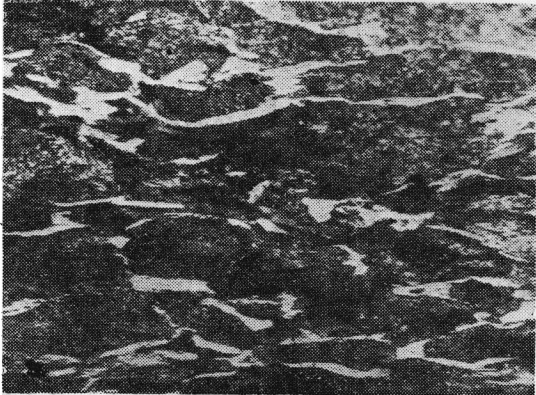
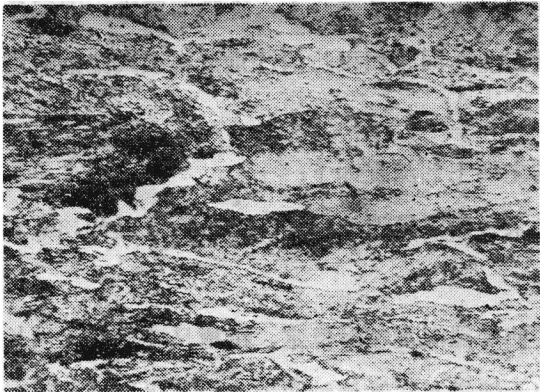


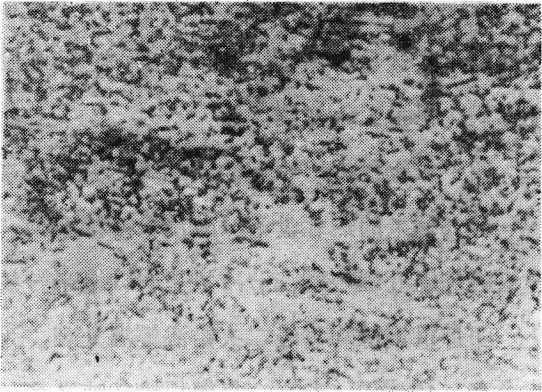
图1 65号钢由 $\phi 6.5$ 毫米冷拔至 $\phi 4.5$ 毫米后的组织 ($\times 250$)

表1 低温退火对冷拔钢丝性能的影响

热 处 理 工 艺 规 范	机 械 性 能	
	σ_b (公斤/毫米 ²)	δ (%)
$600\sim 650^{\circ}\text{C}$, 2分, 空冷	116	8
$600\sim 650^{\circ}\text{C}$, 12小时, 空冷	45	46



a: 冷拔钢丝经 $600\sim 650^{\circ}\text{C}$ 、2分钟、空冷处理的组织 ($\times 250$)



b: 冷拔钢丝经 $600\sim 650^{\circ}\text{C}$ 、12小时、空冷处理的组织 ($\times 600$)

图2 65号钢冷拔钢丝低温退火组织

示，低温退火后的金相组织如图 2 所示。

由表 1 及图 2 可知，低温退火加热时间太短，冷作硬化现象尚未消除；太长，则碳化物发生球化。不论退火时间长短，粗大变形自由铁素体的特征仍然保留，因此这种退火起不到细化晶粒、均匀组织的作用。

考虑到钢丝热处理是以单丝进行的，在空气中冷却也具有较大的冷却速度，有可能获得细珠光体（索氏体）组织，接近铅浴等温处理的结果。所以准备采用正火处理作为钢丝中间处理工艺，这样完全可以根除铅毒危害，所以在马弗电炉和工频电阻接触加热装配上均作了生产性试验。

钢号：65号钢

试样：由 $\phi 6.5$ 毫米冷拔至 $\phi 4.5$ 毫米钢丝

设备：工频电阻接触加热装置

工艺：预热温度：500~550℃

加热温度：940~1020℃

冷却介质：空气，冷至 550℃ 的速度为10~15℃/秒

线速：5.7米/分

钢丝正火后及冷拔至 $\phi 2.6$ 毫米的机械性能如表 2 所示。

钢丝正火后的金相组织为索氏体加少量自由铁素体，如图 3 所示。

从表 2 及图 3 可以看出，正火处理起到了细化晶粒，均匀组织，提高塑性，消除冷作硬化的作用，正火后冷拔情况良好，是钢丝正火效果的重要反映。

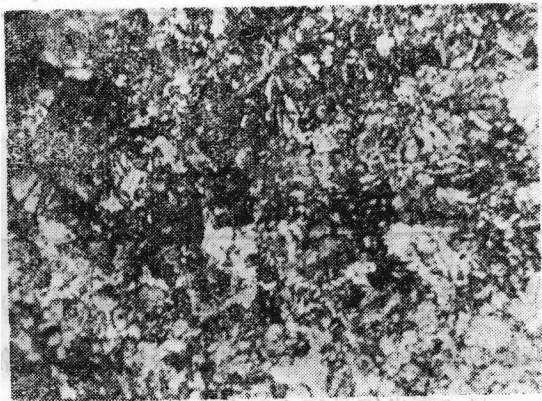


图 3 65号钢 $\phi 4.5$ 钢丝正火处理后的金相组织（ $\times 400$ ）

表 2 钢丝正火后和冷拔至 $\phi 2.6$ 毫米时的机械性能

编 号	正火温度 (℃)	正火后的机械性能		拉拔情况	正火冷拔后的机械性能	
		σ_b (公斤/毫米 ²)	δ (%)		σ_b (公斤/毫米 ²)	δ (%)
1	900	96	6	良 好	153.5	9
2	940	102	8	良 好	148.0	8
3	980	103	8.5	良 好	152.0	9
4	1020	100	9	良 好	146.0	11

由表 2 可知，正火温度不宜太低，也不宜太高。温度太低，由于加热短，奥氏体的均匀化不够，空冷时容易获得较多的自由铁素体，强度较低，冷拔时塑性变形容易集中在自由铁素体区，而产生“拔签”（冷拔钢丝常见的一种由于局部变形过大而拉断）现象。正火温度太高，由于奥氏体晶粒粗大，钢的脆性增大，也不利于冷拔加工。总的说来，正火可用的加热温度范围是比较宽阔的，这对工频接触电阻加热是很重要的，因为同时处理的几十根钢丝中，其线径是不完全相同的，在相同的长度内，直径小的钢丝，由于电阻较大，电流密度较小，加热温度较低，有时相差达 100°C 之多。

为了便于下线操作，降低正火钢丝到收线辊上的温度，在收线机前设置水槽，进行水冷，同时水洗也起去除部分氧化皮的作用。

水槽应该设在钢丝“再辉点”之后，我们进行水冷的钢丝温度，在 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ 之间。水冷是否会影响正火钢丝的性能，我们用70号钢进行了试验，结果如表 3 所示。

表 3 70号钢正火与正火过程中水冷对机械性能的影响

热 处 理 工 艺 规 范	机 械 性 能	
	σ_b (公斤/毫米 ²)	δ (%)
900~940 $^{\circ}\text{C}$ →空冷	110	10.95
900~940 $^{\circ}\text{C}$ →空冷→水冷	114	11.00

从表 3 中可以看出，钢丝正火空冷至 400°C 左右水冷，不会明显改变机械性能，不会降低钢的塑性，强度有少量提高，这是由于水冷造成的热压应力引起的。

$\phi 4.5$ 毫米钢丝正火工艺和装置

如图 4 所示。此设备可以同时处理这样的钢丝20根。

图 4 中的数据是实测的。钢丝加热时间约60秒，空冷约40秒后即开始产生 Ar' -（珠光体型）转变。图中所示的再辉区，即为 Ar' -转变强烈阶段。由于相变放出潜热，使线温有所升高，钢丝由黑变红。钢丝空冷50~60秒之后，相变即告

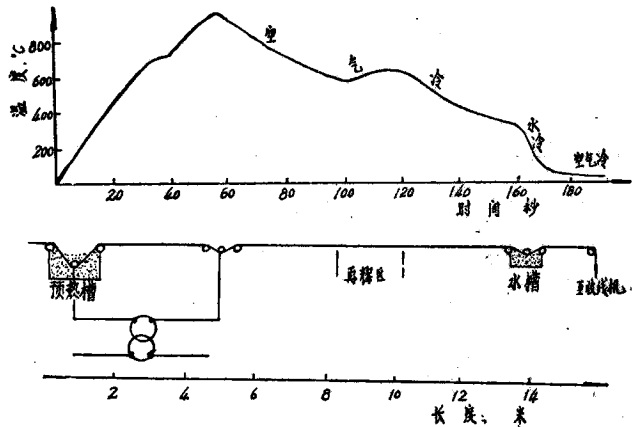


图 4 $\phi 4.5$ 毫米钢丝正火工艺和装置示意图

完成。试验表明，钢丝正火空冷时间大于60秒，虽水冷亦不降低塑性，如果空冷时间小于30

秒，水冷将使钢丝淬硬，性质极脆。

65号钢 $\phi 4.5$ 毫米钢丝正火时过冷奥氏体的转变情况如图5所示。

由于奥氏体在 A_1 、 A_3 温度以上是稳定的，所以从正火温度冷到 A_3 、 A_1 点的时间对相变无孕育作用。所以钢丝过冷奥氏体转变的孕育时间比图4中所示的时间约缩短10~20秒。

以前 $\phi 4.5$ 毫米钢丝进行铅浴等温处理，由于线温低、铅浴温度控制不住，致使奥氏体化情况不良，时而出现硬脆，时而出现“拔签”，冷拔时断头现象严重，拔丝车间很有意见。经改用正火处理生产三个月来，钢丝冷拔断头很少，拉拔情况良好。机械性能也比较稳定，不仅可以满足作为中间处理用的钢丝绳生产之用，而且达到钢绞线产品的机械性能指标。

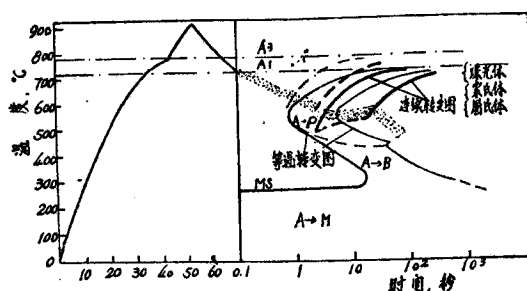


图5 65号钢 $\phi 4.5$ 毫米钢丝正火时的过冷奥氏体转变情况

三、熔盐代熔铅

制绳钢丝由 $\phi 4.5$ 毫米冷拔至 $\phi 2.3$ 毫米进行的最后热处理，是为了获得均匀的细珠光体（索氏体）组织，获得高的强度和一定的塑性，消除冷作硬化，便于继续冷拔加工。

由于钢丝绳应用条件的重要，要求在长期的生产过程中，钢丝热处理的组织和性能稳定。国家标准规定的同一根钢丝绳中每根钢丝性能相差范围是很小的。就我们所知，目前国内外钢丝热处理，极大多数仍采用铅浴等温处理。国外也有少数采用硝酸盐进行盐浴等温处理的。

铅浴容易引起铅中毒。而硝酸盐又具有氧化性质，当赤热钢丝淬入 500°C 左右的硝酸盐中时，会引起硝酸盐分解而有腐蚀钢丝的作用。如果硝酸盐温度超过 550°C 后会大量放氧，有燃烧着火的危险。更有甚者，如果含碳物质如木炭、焦炭、石墨、木料、油类以及有机物等掉进高温硝酸盐中，有可能造成爆炸的危险。由于本行业热处理车间，使用炭、油类较多，引起硝酸盐爆炸的危险，就比较难以杜绝。国内某些工厂，过去曾有过这方面教训。所以我们决定不用硝酸盐进行盐浴等温处理。

经过研究认为，作为溶剂的盐类，应该具备无毒、无味、安全、价廉、不易挥发、不易分解、变质、熔点合宜、便于清理等特点，使用温度最好比熔点高 $80\sim 150^{\circ}\text{C}$ 。熔点太高，流动性不好，钢丝带盐较多，熔点太低，盐的挥发量增大，盐消耗增多，而且对车间卫生不利。根据高碳钢丝等温温度常用 $480\sim 560^{\circ}\text{C}$ ，因此要求盐的熔点为 $360\sim 480^{\circ}\text{C}$ 。

经过多次实验和工厂访问，我们决定采用工具热处理经常使用的中性多元氯化盐配方。

其配比为：

氯化钙（无水）：48%

氯化钡（无水）：31%

氯化钠（无水）：21%

其熔点为430°C，比重约为2.69（计算值）。

此三元氯化盐的比例，正好是三元共晶点，加热到熔点之后，即全部熔化，而无固相悬浮其中。由于每一种氯化盐的熔点都很高，在500°C左右的挥发量极少。

钢丝盐浴等温处理试验和生产情况如下：

（1） $\phi 4.5$ 毫米钢丝盐浴等温处理试验。

钢号：60、65号

设备：工频电阻接触加热装置和 $\phi 200$ 毫米长6.5米管式等温盐槽

工艺：

预热温度：500~550°C

加热温度：900~1020°C

加热速度 15~20°C/秒

盐浴温度：500~560°C

等温时间：约1.2分

线速：5.4米/分

钢丝加热温度高、盐浴温度低，可以获得较细的组织，有提高钢丝强度的作用，但加热温度过高，会使奥氏体晶粒粗大，或盐浴温度过低，容易获得贝氏体组织和过冷奥氏体转变不完全，有降低塑性的影响。钢丝加热温度低、盐浴温度高，容易获得较粗的珠光体组织，有降低强度的影响。对于采用工频电阻接触加热装置时，钢丝加热温度为920~980°C、盐浴温度为510~550°C，等温时间大于1分时，热处理效果较好。在这种情况下，钢丝拉伸强度 σ_b 可以控制在100~110公斤/毫米²，延伸率 δ 可以控制在8~11%之间。

$\phi 4.5$ 毫米钢丝，经上述推荐工艺参数进行等温处理后，再经三道模子冷拔至 $\phi 2.6$ 毫米时，其机械性能为： $\sigma_b = 140 \sim 150$ 公斤/毫米²，弯曲（180°）= 7~9次。

$\phi 4.5$ 毫米钢丝经900~540°C盐浴等温处理后的金相组织为少量铁素体+索氏体，如图6所示，再由 $\phi 4.5$ 毫米冷拔至 $\phi 2.6$ 毫米的金相组织为变形索氏体+铁素体，如图7所示。

（2） $\phi 2.3$ 毫米钢丝盐浴等温处理投产初期的情况：

钢号：70号

设备：马弗电炉及外热式电热盐槽

试验规范和等温处理后的机械性能如表4所示，试验编号6、8、9的金相组织如图8、9、10所示。

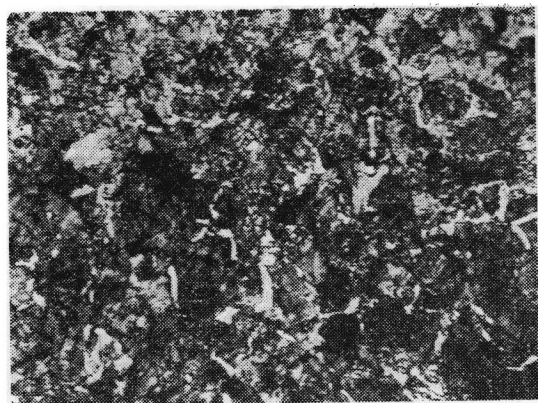


图6 $\phi 4.5$ 毫米钢丝盐浴等温处理后的金相组织 ($\times 400$)

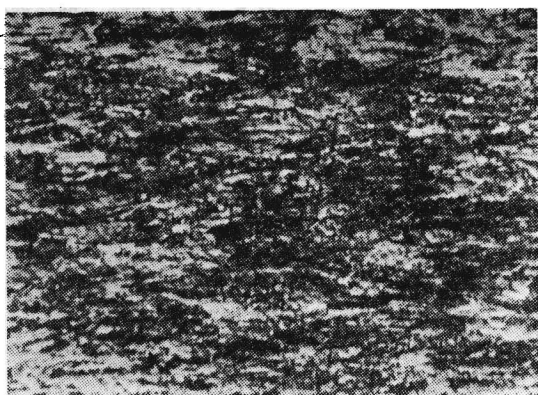


图7 $\phi 4.5$ 毫米钢丝冷拔至 $\phi 2.6$ 毫米后的金相组织 ($\times 400$)



图8 按表4中编号6处理的金属组织, 微量铁素体+索氏体 ($\times 400$)



图9 按表4中编号8处理的金属组织索氏体 ($\times 400$)

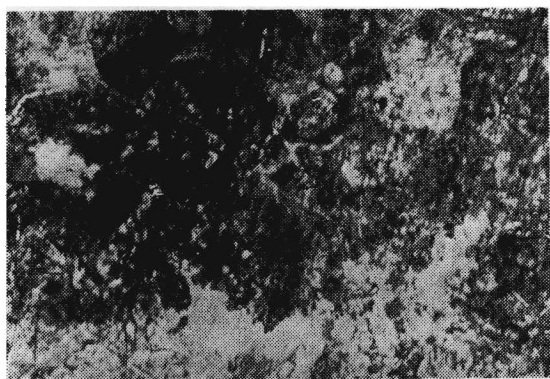


图10 按表4中编号9处理的金属组织, 索氏体 ($\times 400$)



图11 盐浴等温处理成品钢丝的金相组织变形索氏体 ($\times 600$)

表4 70号钢 $\phi 2.3$ 钢丝等温处理规范与机械性能的关系

编 号	热 处 理 工 艺 规 范				机 械 性 能		
	加热炉温 ($^{\circ}\text{C}$)	时 间 (分)	等温温度 ($^{\circ}\text{C}$)	时 间 (分)	σ_b (公斤/毫米 2)	δ (%)	弯曲(次)
5	920	2	535	1.5	123 116.5	7.5 8.5	7 7
6	930	2	545	1.5	113 110.5	8 8	6 6
7	950	2	580	1.5	114	6	3
8	960	2	560	1.5	121	7	6
9	1000	3	560	2	114	7	4

从上述生产性工艺调整试验可知,炉温过高(奥氏体晶粒粗大)或盐浴温度过高(有网状铁素体析出),对钢丝机械性能都将产生不利的影响。

在四平市钢丝绳厂生产条件下,推荐生产工艺为:

炉温: 920~960 $^{\circ}\text{C}$ 线温: 880~920 $^{\circ}\text{C}$

盐温: 520~560 $^{\circ}\text{C}$ 线速: 7.7米/分

投产以后,经多次测定其机械性能可以稳定在 $\sigma_b=110\sim125$ 公斤/毫米 2 , $\delta=7.5\sim8.5\%$ 。

70号钢 $\phi 2.3$ 毫米钢丝经盐浴等温处理后,冷拔性能良好。抽查一组钢丝冷拔前后的机械性能如表5所示。

从表5可以看出,单丝机械性能达到了国家特级标准。

表5 成品钢丝冷拔前后的机械性能

处 理 加 工 情 况	机 械 性 能			
	σ_b (公斤/毫米 2)	δ (%)	弯曲(次)	扭转(次)
$\phi 2.3$ 毫米钢丝盐浴等温处理	121	8	6	—
上述钢丝冷拔至 $\phi 1.0$ 毫米	186.5	—	13	37

钢丝冷拔至 $\phi 1.0$ 毫米成品钢丝后的金相组织为变形索氏体,如图11所示。

$\phi 2.3$ 毫米钢丝马弗炉加热盐浴等温处理的工艺和装置如图12所示。此装置可以同时处理30根钢丝。

钢丝加热时间约为2分,盐浴等温冷却时间约为1分,钢丝出盐后立即进入水中冷却,使钢丝表面附着的盐和氧化皮爆去。

等温盐浴熔盐表面需用碎木炭封闭。这样既可防止热气烤人,便于穿线操作,又可防止熔盐氧化和蒸发。如果盐浴温度超过工艺要求,还可以在木炭上喷洒冷水降温,所以木炭封

盖还起稳定盐浴温度的作用。用木炭封盖后，木炭表面温度在 50°C 以下。

经过多次试验，特别是 $\phi 2.3$ 毫米钢丝盐浴等温处理正式投产以来，我们体会到这种工艺有如下特点。

1. 安全，从根本上消除了铅中毒的危险，改善了工作环境，也大大消除了着火、爆炸的可能。

采用铅浴，即使严密封闭或强烈抽风，也不可能使工人完全不与铅接触，从根本上解决铅中毒问题。同时排出的铅尘也污染大气。

我们使用的三元氯化盐，经投放木炭、焦炭、油类等有机物，仅局部冒烟没有激烈燃烧现象，与熔铅的情况差不多。这种混合盐很稳定，在等温处理温度范围内不会分解，我们曾加热到 800°C ，也未见分解气体和发出特殊气味，蒸发现象也极少。混合盐中氯化钡有毒性，但在较低的使用温度下，在熔盐表层复盖厚层木炭的情况下，不会挥发造成呼吸道中毒。与易燃易爆的熔融硝酸盐相比较，发生着火、爆炸的危险大大减小。

2. 可靠，性能优良，质量稳定。钢丝生产性能对比试验表明，熔盐的冷却速度在 500°C 左右范围内与熔铅基本相似。虽然熔盐的传热性不如铅，但流动性较铅为好，等温盐槽中的温度梯度较小，没有明显的过热区。总的说盐浴等温的效果较铅浴为好，其原因主要是由于以前铅浴温度较低，出现脆断现象严重。现在盐浴处理投产后断头率显著减少，细线拔丝产量上升30%左右。同时由于钢丝不带微量的铅，涂铜均匀，颜色呈鲜明铜色，拉拔时光洁度高，成品线光亮。使用两个多月之后，测定使用熔盐的杂质含量，定量分析表明，杂质含量很少，其氧化物含量在1.5%以下。

3. 节约，成本下降，节约了大量战备物资。使用混合盐平均0.284元/公斤。经测定，钢丝带盐量为0.094克/米，在不采用任何回收措施的情况下，每吨钢丝消耗盐4公斤。经初步综合估算，盐浴处理比铅浴处理成本降低5元/吨左右。我厂铅槽原装铅50吨，现装盐8吨，费用仅为—吨铅的价格，大大减少资金积压。每年可节约25吨铅，有力地支援了国防建设。

4. 方便，便于覆盖保温，操作方便。由于氯化盐与炭不起化学作用，所以在盐面上覆

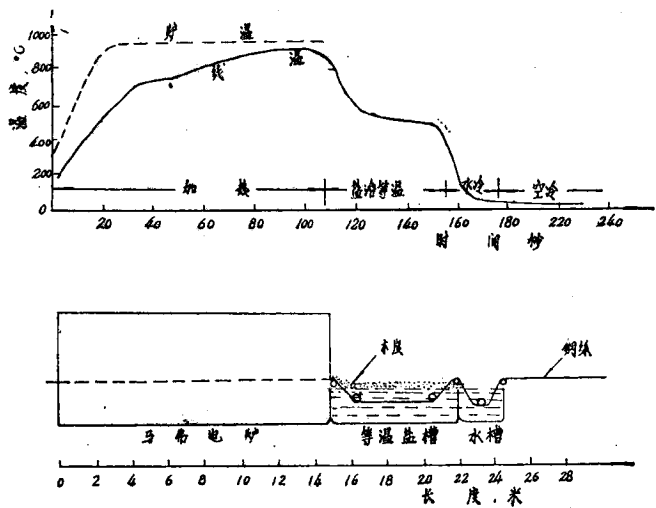


图12 $\phi 2.3$ 毫米钢丝盐浴等温处理工艺和装置示意图

盖10~15厘米厚碎木炭，大大减少了热能的散失，也改善了作业环境。钢丝处理时，盐槽基本不加热，保温很好。平时在盐面不会结盖，穿线较铅方便（因盐的比重远较铅小，穿线比较轻快）。盐温上升时，可以经常喷洒冷水降温，使木炭不易烧损。由于出线口盖有木炭，防止了钢丝氧化，这些好处，是硝盐所不能达到的。

5. 易行，容易实现。四平市钢丝绳厂投产时原设备基本没有动，只须将铅掏出加入混合盐，再在出线处增设水槽去残盐即可。

四、关于钢丝盐浴工艺装备的改进

钢丝盐浴生产从1974年4月投产到1974年12月止，我们对工艺装置作了以下改进：

1. 保温盖代替炭粒复盖

初期投产时，盐液表面是采用碎木炭粒覆盖。由于经常断线穿头，使木炭与盐液混合，在表面形成一些木炭盐块，再穿线时就得先将硬块打个洞才能穿线。现在改成由角钢制作四框，上下用薄板封闭，中间填充保温材料——蛭石，成为保温盖。这个保温盖上部两端各装两个滚轮，以槽钢作轨道，可以横向移动，不影响穿线操作（如图13、14所示）。盖的上部温度约50℃，盖的下部约450℃。盐液面没有硬盖，保温效果良好。

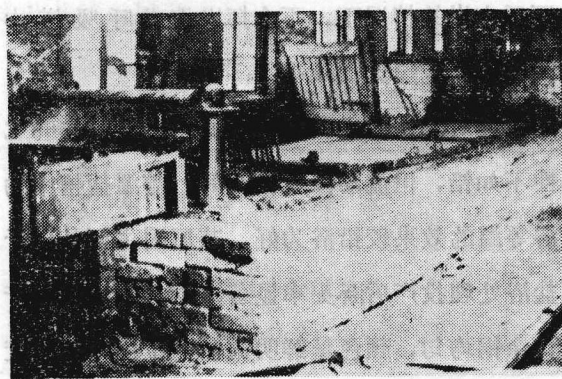


图13 盐槽保温盖

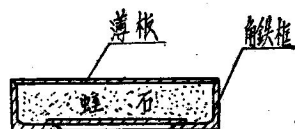


图14 保温盖剖面示意图

2. 对盐浴槽的改进

初期投产时，我们利用原铅槽作盐槽。由于原铅槽呈“U”形，这样在槽的两端斜坡处的盐液最易凝固。另一方面，每当添加固体新盐时，由于熔盐过程中吸热快，造成盐浴槽中局部温度下降，使等温淬火工艺不稳定，影响钢丝盐浴淬火的质量。为了克服以上这两方面的缺点，我们新制造了一个盐浴槽，槽形呈“□”形。这样两端盐液温度与中间一样。又在

钢丝出口端增加一个熔盐槽（如图15）。按比例混合好的固体盐在这个槽内熔化后，将熔盐液掏入盐浴槽内，这样就稳定了盐浴淬火工艺，保证了钢丝热处理的质量。

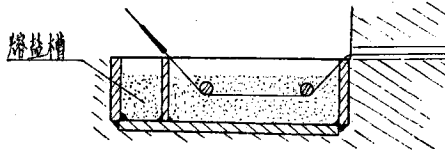


图15 熔盐槽和盐浴槽剖面示意图

五、小 结

经过近一年来在生产中实践摸索，最近由于设备等原因停炉进行总结。对这项工艺，我们有如下体会。

1. 经用正火代替中间铅浴等温处理和盐浴等温处理代替最后铅浴等温处理，从投产以来的实践和使用结果来看，在质量上和性能上赶上并超过了铅浴处理的质量，而且稳定。因此彻底消除了铅毒对工人身心健康的威胁和环境污染。

2. 新工艺可以为国家节约大量战略物资——铅，以四平钢丝绳厂为例，每年可节约铅25吨。由于中间处理改为正火，每年可节电3.6万度。

3. 新工艺操作简便，工艺温度范围较宽，容易控制。同时使拔丝性能大为改善，从成品机械性能来看，特级品、一级品比例大大提高。

4. 我们的想法：

（1）盐浴生产必须坚持掏渣，否则盐槽底板由于外加热温度过高，造成氧化皮大张脱落。看来除采用脱渣剂外，盐槽加热以内热式为佳。

（2）盐的原料必须为无水氯盐，杂质要少。或者预先处理干燥脱水，再加入盐槽，否则盐液遇水会飞溅伤人，同时盐液含水会腐蚀盐槽。

（3）盐液配比要严格控制，在生产中要严格管理制度，否则如配比打乱会引起熔点上升。同时，盐液使用一段时间后必须添加校正剂，以免老化。

（4）钢丝出盐槽后虽经水洗，发现尚有余盐，如堆放室外受潮，容易生锈，所以生产中注意加速上下工序周转，减少积存时间。从根本上来说必须进一步摸索除净钢丝表面盐层的办法。

科学技术成果报告

钢丝正火和盐浴处理代替铅浴处理

(只限国内发行)

编辑者: 中国科学技术情报研究所

出版者: 科学技术文献出版社

印刷者: 中国科学技术情报研究所印刷厂
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

开本 $787 \times 1092 \cdot \frac{1}{16}$ 1印张 25千字

统一书号: 15176.79 定价: 0.20元

1975年11月出版