

全国冶金系统钢材 热处理会议文集

62.8

太原钢铁公司科技处

10/16/12

目 录

1. 流动粒子炉在冶金工业上的应用
.....北京钢铁学院冶金炉教研室 (1)
2. 流动粒子炉用于钢丝焙嫩 (等温淬火)
.....北京钢铁学院冶金炉教研室
北京特殊钢厂五车间 (15)
3. 直热式连续热处理炉试验及使用情况介绍
.....钢铁研究院加工室直热炉专题组 (23)
4. 罩式退火炉加热罩的改进及全流冷却试验总结
.....鞍钢冷轧厂
北京钢铁设计院 (28)
鞍钢钢铁研究所
5. 直热式可控气氛不锈钢丝连续热处理炉
.....天津市第一金属制品厂 (36)
北京钢铁研究院
6. 低压电阻板连续光亮退火炉
.....广州第三轧钢厂 (43)
北京钢铁研究院
7. 调质处理合金弹簧方钢丝生产实践
.....陕西钢厂 (47)
8. 钢轨双频感应加热轨头全长淬火
.....攀枝花钢铁公司轨梁厂 (50)
9. 高强度35MnMoVTi冷拔钢管热处理
.....攀枝花钢铁研究院金属材料研究室 (62)

• 1 •



A 7173

10. 45Si₂Mn调质热处理钢筋综合研究报告

.....天津第五轧钢厂
天津第六金属制品厂 (72)
冶金部建筑研究院

11. 形变热处理弹簧钢丝的研究

.....西安冶金建筑学院金相教研室 (92)

12. 天然气“保护热处理”试验及生产总结

.....重庆钢厂中心试验室 (105)

13. 国外高温形变热处理在冶金生产中的应用与研究

.....北京钢铁学院 (116)

14. 国外钢材热处理动向

.....鞍山钢铁研究所 (151)

流动粒子炉在冶金工业上的应用

§1. 概 述

流动粒子炉就是应用流态化技术的炉子。

流态化技术最早用于选矿和城市用水的净化。1921年德国发明温克勒煤气发生炉，利用了粉煤，并使发生炉的单位面积产量提高到原来的3倍。40年代美国开始将流态化技术用于石油化工方面，并研究它的基本理论，制成了许多庞大的催化裂化设备。在此期间，许多国家对流态化技术和它的应用进行了大量研究。

1955年以来，在英、美、日、法、苏等国开始研究把流态化技术应用于金属的加热和热处理，目前已取得了大量的成果，说明它可广泛用于冶金和机械工业部门，对各种钢材，产品和零件（板、管、丝、带、轮、杆、模），各种材质（碳钢、合金钢、有色金属、磁性合金）进行各种热处理（淬火前加热、淬火冷却、回火、正火、退火和化学热处理）。

我国应用流动粒子炉是从机械工业热处理行业开始的。1973年威墅堰机车车辆厂开始采用电加热流动粒子炉进行零件热处理。其后，宜兴电炉厂生产了敞口式电加热流动粒子炉供应用户，国内各地陆续制造和使用。1976年我院与北京无线电厂合作，试制成功以液化石油气为热源的零件热处理用敞口式流动粒子炉。1977年我们又与北京特殊钢厂五车间合作，完成了65Mn，70钢 $\phi 2-6\text{mm}$ 钢丝用流动粒子炉代替铅浴进行等温淬火的工艺试验，取得成功，现正建炉，准备作工业性试验。1977年四平钢丝绳厂对 $\phi 2.3$ 和 3.0mm 的70* 钢丝采用流动粒子炉代替铅浴的热处理作业线投入生产。不少钢丝绳厂都准备采用流动粒子炉等温淬火，以便取消铅浴，消灭铅中毒。预计，在不久的将来，流动粒子炉这种新设备，由于具备“多、快、好、省”等特点，必将会对冶金工业作出更多的贡献。

下面简单介绍流态化过程：

流态化设备是一个竖形容器如图1所示，靠近底部有一多孔性的布风板，见图1中（2），布风板下面是风箱（1），在布风板上装上一层粒度相同的固体小颗粒，称为粒子层，见（3），粒子层下部装有U形压力计（4），容器顶部与大气相通。

现在有一上升气流从风箱通过布风板

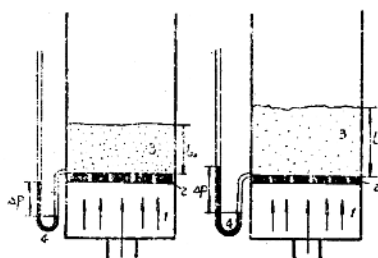


图1 流态化设备示意图

至粒子层, 气流的速度用 w 表示。气流通过粒子层, 由于粒子层的阻力而产生压力损失, 这样床层下部的压力就大于上部, 在 u 形压力计上可读出压差 ΔP , 流速 w 逐渐增加, ΔP 亦随之增加, 在 $\Delta P-w$ 曲线上如 AB 段所示。这时粒子层内的颗粒尚未移动, 它的重量通过粒子间的相互接触传到布风板上, 床层高度 L 亦保持不变, 称为固定床或固定层。

继续增加气体流速 w , 当达到某点 c 时, 这时对应的压力降为 ΔP_c , 其值与床层底部单位面积上承受的粒子重量相等。因此, 粒子的重量将不由布风板支承, 从理论上讲全部由气流支承。这时每个粒子不必靠相邻粒子的接触而维持它在空间的位置, 而是可以在床层中随气流自由运动, 呈悬浮状态。整个粒子层具有流体的性质, 像一种高粘度的液体, 可以在容器内倾倒流动, 床层上部亦具有一个水平的界面。这时床的高度亦突然膨胀从 L_0 变为 L 。这时的粒子层就称为流化层、沸腾层, 沸腾床或流动床等, 使粒子层变成流化层的过程就称为流态化过程。

c 点的流速是达到流态化的最低流速, 称为临界流速 w_f , 它所对应的压差 ΔP_c 称为临界压力。要达到流态化必须保证 $w \geq w_f$, $\Delta p \geq \Delta P_c$ 。

当流速 $w > w_f$ 而继续增加时, 粒子之间的距离继续增大, 床层继续向上膨胀, 这时有小颗粒被吹出炉外, 当流速过大 $w \gg w_f$ 时, 全部颗粒都会被吹出容器之外。我们使用的流速范围是大于临界流速, 而小于粒子被吹出炉外的速度。临界流速的大小完全由流化系统 (粒子, 流化介质或流化剂) 的物理性质所决定。

目前采用过的粒子有石英砂, 刚玉砂, 刚玉球, 金属球, 砂铁粉、锆石砂, 石墨, 焦炭等。布风板的材质和结构亦是各式各样的, 有耐火材料板, 耐火纤维板, 金属板, 金属网, 金属风帽式布风板等。布风板的优劣对粒子的均匀流态化影响是极大的。

当粒子层流态化以后, 工件放入和取出就如放进液体中一样, 是非常方便的。把流化床加上温度控制系统, 即组成流动粒子炉, 如:

流化床 + 热源 (电极, 电阻发热体, 天然气, 液化石油气) $\rightarrow$ 加热或等温热处理用的流动粒子炉。

流化床 + 冷却系统 (冷却管, 冷却壁) $\rightarrow$ 冷却用流动粒子炉。

可见, 与现有炉子相比, 流动粒子炉从设备上仅多了一套流化系统 (粒子, 布风板, 流化剂等), 但确具有许多独特的优点, 如:

- 1、传热系数大, 加热快冷却快;
- 2、粒子层内温度分布均匀, 工件加热和冷却时变形小;

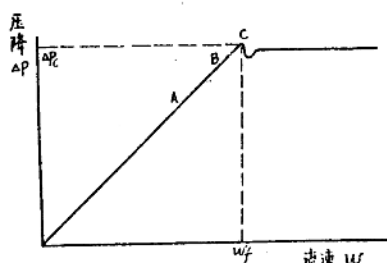


图2 理想的流态化曲线图

- 3、加热和冷却速度可以调节，适应性强；
- 4、热惰性小，热效率高；
- 5、炉内气氛可以控制，可实现化学热处理；
- 6、无毒害，不污染工件；
- 7、便于机械化，自动化，连续化等。

§2. 流动粒子炉的特点

流动粒子炉的特点兹略述如下：

1、传热系数大，加热快，冷却快。

传热系数是什么意思呢？假设两个物体之间进行热交换，其温度分别为 t_1 和 t_2 ，它们之间的热交换量用公式表示之：设 $t_1 > t_2$ ，则

$$Q = \alpha (t_1 - t_2) F \quad \text{仟卡/时}$$

式中 F —热交换面积 米²

α —传热系数 仟卡/米²·时·°C

传热系数 α 的意义是：当两物体的温度差($t_1 - t_2$)为1°C时，在1米²的热交换面 F 上每小时的热交换量仟卡。

α 值反映热交换的速度， α 值大，则热交换速度大，加热快，冷却也快。流动粒子炉内由于粒子流态化后强烈地混合和搅拌，同时细颗粒材料具有很大的热交换表面，故可以得到高的 α 值。从图3和下列数值可作参考。

	传热系数 α 仟卡/米 ² ·时·°C
电 阻 炉	24
流动粒子炉	342—634

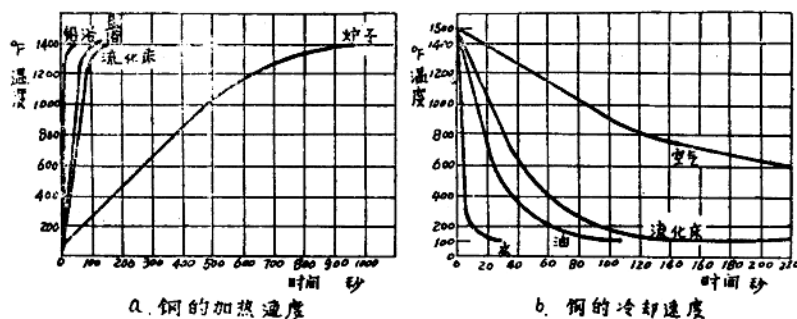


图3 流化床的传热速度范围

以具体工件为例:

(1) 重量为7.2公斤的活塞环, 装在筐里放入流动粒子炉内加热, 仅仅用160秒的时间就可以加热到 580°C 。若在常用电阻炉内加热则需要2400秒。两者相比, 流动粒子炉的加热时间仅为电阻炉的1/15。

(2) 在同样产量下, 用流动粒子炉进行钢丝加热, 炉子长度只需要原来的1/4到1/5。

(3) 流动粒子炉由于有相当大的冷却能力可用于钢丝等温淬火以代替铅浴, 实现无铅操作。

(4) 30CrMnSiA 钢板淬火加热, 当粒子层温度为 980°C , 把钢板加热到 930°C , 加热速度平均为5.4mm/分, 而在火焰炉中则只有1.02mm/分。

2、流动粒子炉内温度分布均匀, 工件加热和冷却时变形小。

粒子层流态化以后产生剧烈搅动, 在工作区内温差很小。我们测定过北京无线电厂和钢院冶金炉教研组的用液化石油气加热的流动粒子炉, 在 900°C 时炉膛内的温差在工作区内只有 $5-10^{\circ}\text{C}$ 。苏联用天然气加热的炉子, 当粒子层的温度为 $800-1300^{\circ}\text{C}$ 时, 温差为 $3-7^{\circ}\text{C}$ 。

高速钢 P1₈ 零件加热至 1270°C 后在不同介质中冷却时的变形量如下表:

冷 却 介 质	HRC	变 形 (mm)
空 气	61~61.5	0.18~0.28
油	60~61	0.30~0.37
300°C 硝盐	59.5~61	0.6~0.7
流动粒子炉	61~61.5	0.20~0.28

可见, 用粒子炉作冷却介质, 硬度能达到要求, 变形量与空冷变形基本一致。

另外在淬火冷却时变形小的原因是因为在粒子炉内高温工件的表面上不会形成蒸汽膜, 所以不会产生软点。在工件周围较热的粒子很快就被其他冷粒子带走并混合, 从而消除了炉膛内的局部高温区, 这就保证了整个冷却介质内冷却速度的一致性。例如钢丝铅淬火时, 在铅槽入口形成过热区, 它的温度往往高出铅槽温度达 $40-50^{\circ}\text{C}$ 之多, 因而降低了铅槽的冷却能力。

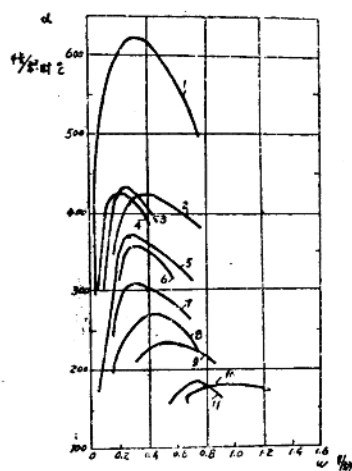


图4 空气速度和粒子种类对传热的影响

1. 硅铁0.082mm 2. 赤铁矿0.173mm
3. 碳化硅0.137mm 4. 石英砂0.140mm
5. 石英砂0.198mm 6. 石英砂0.216mm
7. 石英砂0.428mm 8. 石英砂0.515mm
9. 石英砂0.65mm 10. 石英砂1.11mm
11. 玻璃球1.16mm

3、流动粒子炉的加热速度可以调节（通过调节 α 值），能适应不同钢种和另件加热的要求。

有资料介绍，粒子炉的 α 值大约在258~1030千卡/米²·时·°C的范围内。影响 α 值的主要因素如下：

（1）流化剂的速度。

以空气作流化剂时，空气速度从小变大，对应的 α 值也从小变大，但到某一流速时达到一极大值，再增加流速则 α 反而减小。这极大值的流速称为最佳流速，在最佳流速下操作时加热和冷却最快。如果不需要那么快的加热或冷却速度，则可根据具体情况选择其它流速。通过试验测定上述 α — v 曲线后，在生产上只需要调节流化剂的流量就可以改变加热或冷却速度，操作是很方便的。

（2）流化剂的种类

用作流化剂的可以是空气，也可以是其它气体（N₂，H₂，CO……），不同气体有不同的导热系数，流化剂的导热系数大时，粒子炉的传热系数也大。

气 体 种 类	空 气	N ₂	H ₂	CO ₂
导热系数入千卡/米时°C × 10 ³ , (100°C)	25.4	27.1	189	19.6

从上表看，如采用H₂作流化剂，就可得到较快的加热或冷却速度。

（3）粒子的大小和比重。

一般认为，减小粒子的粒度，增加粒子的比重都可使传热系数增大。（参看图4）

除上所述，还可调整粒子炉的温度来改变粒子炉的加热或冷却能力。当粒子炉与工件的温差增大时，则其加热或冷却速度也随之而增大。

例如，含C 0.8%的 ϕ 3mm钢丝，在冷的粒子炉内淬火成马氏体，当粒子炉的温度升高到250°C时，冷却后得到索氏体。

用流动粒子作冷却介质时，冷却速度可以在0.5~60°C/秒之间变化，一般合金钢淬

火的临界冷却速度在 $0.1\sim 100^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ ，炭素钢淬火的临界冷却速度在 $100\sim 600^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 范围内。因此，许多合金钢可以在粒子炉内淬成马氏体，而炭钢在粒子炉内冷却可以得到比正火更弥散的组织。

4、热处理工件的表面成分可以控制，在粒子炉内能实现化学热处理。

当流化剂不是用空气，而是采用惰性气体或其他可控气氛时，则可进行光亮处理或化学热处理（如渗碳、渗氮等）。据一些文献资料说，渗碳速度比现有工艺快3—5倍。

5、流动粒子炉热惰性小，热效率高。

流动粒子炉由于燃料是在粒子层内燃烧的，燃烧着的高温气体与粒子直接接触加热，受热面大，吸热量多，故热惰性小，热效率高。升温快，降温快。对间歇操作的炉子是极为有利的。

下面是粒子炉与盐浴炉升温时间的比较

名 称	炉膛尺寸mm	功 率KW	升温时间 分
电流动粒子炉	$300\times 300\times 450$	38	(室温— 1280°C) 60—75
盐 浴 炉	$300\times 300\times 450$	45	360—400

由表可知，粒子炉的升温时间比盐浴炉少。

流动粒子炉升温快，加热快，故热效率高。以煤气为燃料的粒子炉有效热量达到30%，热效率（ $K\cdot\pi\cdot g$ ）达46%。远远大于一般热处理炉的有效热量15~20%。可以节约热能，降低热处理成本。

§3. 流动粒子炉的应用实例

1、线材热处理

线材由于断面形状简单，尺寸小，用流动粒子炉加热和冷却能充分发挥炉子的热工特点，收到设备紧凑，结构简单，热效率高，质量好等综合效果。近年在日、法、英、苏等国均已从试验研究转入生产应用，成绩良好，效果显著。在线材生产上应用粒子炉的，主要有热轧线材的散捆冷却和冷拔线材代替铅淬火两种方式。下面分别介绍。

热轧线材从轧机出来以后，一般采用空冷或喷雾冷却。空冷由于冷却速度小，获得粗大的正火组织，机械强度差，劳动条件也不好。喷雾冷却在一定程度上弥补了空冷的缺陷。但冷却条件不易控制，质量不稳定。采用流动粒子炉对热轧线材进行冷却，则可综合得到空冷和喷雾冷却的优点，而消除了它们的缺点。

近年来日本已在工业生产中应用了热轧线材直接于流动粒子炉中冷却的方法，使线材的机械性能得到提高，缩短了生产周期，节约了原料，降低了成本，效果是显著的。

这种方法处理的流程见下图：

热轧线材从成品轧机(1)出来以后,首先经过一段强制水冷带(2),将线材冷却至大约650—750°C,经初冷的线材通过锥形绕线机(5)后被绕成螺旋状,再自动下落,进入流动粒子层(9)中冷却,线材在流动粒子层中完成珠光体转变。最后在流动层内的传送带(7)上规则地排列起来,

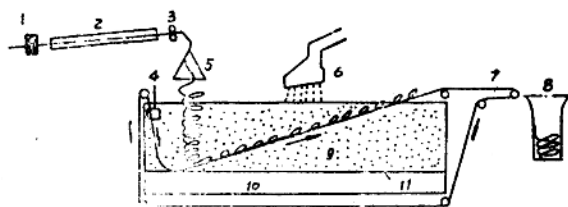


图5 热轧线材于粒子炉中直接冷却处理简图
1.成品轧机 2.水冷装置 3.引料辊 4.循环粒子出口 5.锥形绕线机 6.冷却粒子的补充供给 7.传送带 8.盘绕机 9.粒子炉 10.空气室 11.布风板

被输送到盘绕装置(8)上,积累成捆。流动粒子层的温度可根据线材的要求保持在常温到500°C之间,从而调节了线材的冷却速度。

对含碳量从0.06~0.72%的碳钢线材试验表明:(1)经粒子炉冷却后的热轧线材可以获得非常细的索氏体组织,提高了强度和塑性,整捆线材在全长上机械性能均匀一致,其可拉拔性和铅浴处理的相同。由于拉拔后的钢丝性能优良,因此某些线材可以省去中间处理工序而直接拉拔至成品。(2)线材进入流动粒子炉由于冷却速度快氧化铁皮大大减少,约为一般热轧线材的1/3,其组成以FeO为主,可节约酸洗时间1/2以上,大大提高了酸洗效率。

不锈钢丝SUS304 ϕ 5.5mm线材从最后一道轧机出来,先进行水冷,然后在常温流动粒子炉内冷却,所得机械性能与其他方法冷却的比较见下表:

线 材 处 理 方 法	弯曲强度 (kg/mm ²)	强 度 (kg/mm ²)	断面缩减率 (%)	伸延率 (L = 200%)
流 动 粒 子 层 (30°C)	30	65	71	45
一 般 热 轧 线 材	43	69	69	37
固溶处理 (1050°C, 5分钟)	26	59	74	57

经粒子层处理的线材具有和固溶处理相同的可拉拔性,可连续拉拔到0.8mm。

冷轧线材也可采用流动粒子炉加热使钢丝奥氏体化,这是没有什么困难的。通常用高发热值煤气和空气的混合物作流化剂,从布风板下面往上吹,当通过粒子层时在粒子层内燃烧。被加热钢丝就从粒子层中间穿过,迅速加热到所要求的温度。与常用的管式炉相比,加热时间只需要1/4—1/5,氧化皮大大减少,炉子热效率可提高到30%。

一般说,冷拔线材热处理中比较棘手的问题是铅淬火。多年来为了使钢丝满足拉拔

的工艺要求，人们多采用铅淬火使它索氏体化。但随之出现的就是工人铅中毒问题。这个问题在今天已成为迫切要求消灭的公害之一。为了代替铅浴，人们曾采用过盐浴，水浴等各种办法，收到了一定的效果，并在继续研究中。流动粒子炉是否能代替铅浴？这个问题引起了许多人的兴趣，并进行了一系列的试验研究，得出了肯定的结论，这种方法目前已在生产上发挥了作用。详细情况可参考英、日、法、苏等国有关资料。下面综合介绍用流动粒子炉代替铅浴进行钢丝等温冷却的试验结果：

试验研究主要解决两个问题：一、用流动粒子炉代替铅浴能否使钢丝获得与它同样的机械性能和金相组织。二、生产时通过那些参数进行控制。

下表列出一些试验的主要项目

国 家	试 样 钢 号 及 尺 寸	粒 子 材 质 及 尺 寸
英	C 0.76% ϕ 2.1—8.9mm	氧化铝 0.124mm
日	C 0.6—0.82% ϕ 2.0—9.5mm	氧化鋁 0.104mm
苏	C 0.8% ϕ 3mm 6.3mm 60Si2 ϕ 11.8mm	粘土粉 0.09mm
我 国	70 65Mn ϕ 2—6mm	刚玉空心球 0.25—0.5mm

上述的试验结果一致表明：用流动粒子炉进行冷却的钢丝，完全可以得到和铅淬火同样的机械性能（抗拉强度和延伸率），金相组织亦同样是索氏体。

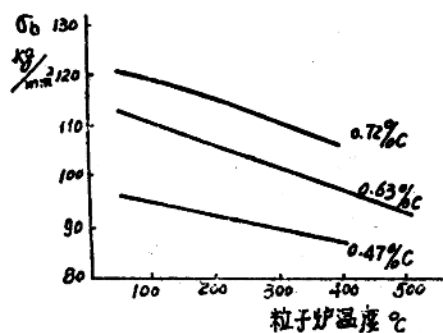


图6 粒子炉温度对不同含碳量线材强度的影响

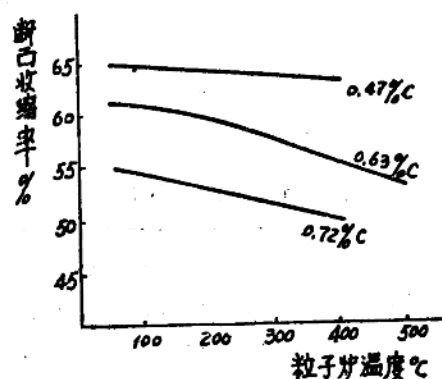


图7 粒子炉温度对不同含碳量线材断面收缩率的影响

在试验中变化了各种参数, 观察对钢丝机械性能的影响, 探明了在生产上如何改变这些参数来适应不同钢种、不同直径钢丝冷却的要求。简述如下:

(1) 粒子炉温度对钢丝机械性能的影响 (图 6—8)

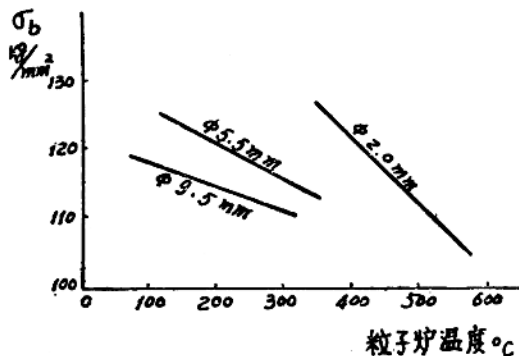


图 8 线材 σ_b 值与粒子炉温度的关系
(试样 C 0.72%)

常用的铅淬火温度约为 550°C , 由于粒子炉的冷却能力小于铅浴, 一般采用从常温到 550°C 以下的温度。从图中可以看出, 粒子炉的温度升高, 冷却能力减小, 使冷却试样的强度下降。在生产上, 我们可以对粗钢丝采用较低的炉温, 细钢丝采用略高的炉温。

(2) 流化剂速度的影响

改变流化剂速度 (一般采用空气作流化剂), 对试样的强度值亦有影响。在图中所示的条件下, 开头空气速度增加时, 强度明显增加, 但其后变化趋于缓和, 流速再增, 强度变化不大。通过试验可以确定最合适的流化速度 (风量)。

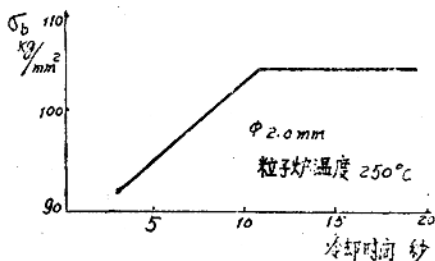


图 10 冷却时时对钢丝 σ_b 值的影响
(试样 C 0.62%)

直线增加; 当到达一定值后, 冷却时间延长, 抗拉强度保持不变, 表现为一水平线。

从金相组织看, 随着冷却时间的延长, 珠光体片层间隔变化甚小, 基本上都是微细的珠光体组织, 与铅淬火所得相同。

(4) 钢丝奥氏体化温度的影响

图 11 表示的是钢丝在 $900-1000^{\circ}\text{C}$ 范围奥氏体化, 然后在粒子炉内等温淬火所得抗拉强度与加热温度的关系。由图看出, 随着加热温度的上升, 抗拉强度先增加, 然后又减

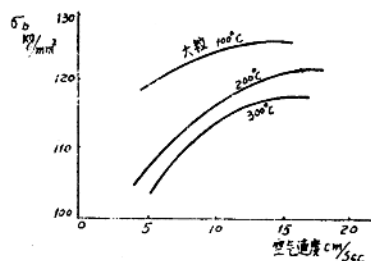


图 9 空气速度对钢丝 σ_b 值的影响
(试样 C 0.77%)

所示的条件下, 开头空气速度增加时, 强度明显增加, 但其后变化趋于缓和, 流速再增, 强度变化不大。通过试验可以确定最合适的流化速度 (风量)。

(3) 在粒子炉内冷却时间的影响

钢丝的抗拉强度和冷却时间的关系分成两个区域: 冷却时间从 0 秒到几秒之间, 抗拉强度随时间成

少，约在 950°C 处达到极大值。这个现象可以通过显微照片加以分析：奥氏体化温度从 900°C 升到 950°C 时珠光体的片层变细，因而使强度升高，奥氏体化温度继续升高到 1000°C 左右，整个组织全部都变成了上贝茵体，使抗拉强度下降。

(5) 粒子的粒度和比重的影响

当粒子变细，或重度增加时，冷却能力都能增加，估计可能把最大传热系数增加 1.5—2 倍左右。

综合上述影响因素，对于某种钢丝，我们可以选定一种粒子，通过调节粒子炉温度和风速，获得所需要的冷却速度，使它产生对应的组织，从而满足机械性能的要求。

根据大量试验数据，业已建成工业用的钢丝热处理连续作业线。有代表性的是一座日产 35 吨 24 根线的设备。此设备由三段流化床组成。第一段用天然气—空气作流化剂，通到粒子层内燃烧，加热温度 1000°C。钢丝在第一段加热，奥氏体化后进入第二段用惰性气体作流化剂的冷流化床，床温 100°C。钢丝在这里从奥氏体化温度急冷到 500°C 左右，然后进入第三段完成组织转变。第三段是用高温段产生的废气加热到 450—550°C 并保持不变的等温段。

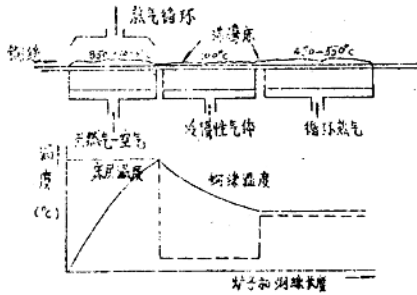


图12 三段式粒子炉焙地示意图

回炉膛。这个炉子可用于铅淬火或退火。它有不少优点：不论什么温度，炉床都可以采用同样种类和尺寸的粒子，因而不必考虑粒子相混问题，炉内温差能控制在 10°C 之内，炉长只有原来的 1/4，钢丝的氧化大大减少，穿线问题大大简化了。

1977 年我院与北京特钢五车间合作，对 70、65Mn、T₈A 三个钢种， $\phi 2-6\text{ mm}$ 的钢丝进行了以流动粒子炉代替铅浴的工艺试验。所得的规律性与国外文献基本相同，并找到了几种能获得与铅淬火同样机械性能的粒子。在此基础上，1978 年我们决定在北京特钢建炉及投产，并在实验室系统测定各种情况下的传热系数，为今后粒子炉的设计提供可靠的数据。

2、钢管热处理

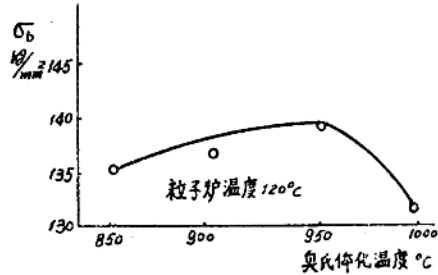


图11 奥氏体化温度对钢丝 σ_b 值的影响
(试样 C 0.82%， $\phi 9.5\text{ mm}$)

炉子用天然气在粒子层内燃烧加热。炉顶是吊挂的，烟气从炉顶的水平烟道排出，用来予热空气。炉子的两端墙上有缝隙，使 24 根钢丝从炉内穿过。被废气和钢丝带出的粒子都返

通常对直径较小的钢管采用带马弗的热处理炉，而直径较大的钢管不必采用马弗，这两种炉型都可以用流动粒子炉代替，通过生产实践证明，效果是良好的。

无马弗的电焊钢管常化用热处理作业线是用来处理 $\phi 50/48\text{mm}$ ，长6—8m的管子，钢管的加热和冷却都在一个炉内分区进行。炉内共有管线12条，间距120mm，管子运动速度5.75m/分，炉子生产率为5吨/时。炉长5.5m，加热室950°C，冷却室100°C，中间用耐火砖隔墙分开。粒子采用 $\phi 0.32\text{mm}$ 的刚玉砂，流化剂速度0.4m/秒，粒子层高度300—360mm，管子在200—250mm高处通过粒子层。炉子采用天然气二级燃烧，总空气系数为1.15。冷却室的热量用蛇形水管或喷雾法拿去。

该炉子与电加热带保护气的辊底炉相比，筑炉投资只需辊底炉的1/30，而每吨钢的热处理成本降低了47%。

管子在炉内可以直线运送，也可以横向用链带运送，横向运送能实现任何热处理工艺曲线，可处理锅炉管，轴承钢等，能缩短热处理周期，从16小时缩短到6小时。

另一个例子是处理 $\phi < 10\text{mm}$ ，壁厚1mm的钢管的带马弗流动粒子炉，下面列出炉子的技术性能对照表供参考。

炉子技术性能(单位)	燃料炉	粒子炉
炉长 (mm)	6000	3275
炉底面积 (m^2)	6.00	2.25
马弗数 (个)	5	5
马弗尺寸 (mm)	76×6	114×10
能耗 (HM^2/h)	80.0	30
平均炉温 ($^{\circ}\text{C}$)	1100	950
管子前进速度 (m/min)	1.0—8.0	1.2
一马弗内加热管子数 (个)	1	1—30
操作人员 ((人/班)	2	1
马弗寿命 (月)	0.5	12
炉子平均生产率 (kg/h)	250	540

在粒子炉内的加热时间比火焰炉短54.6%。

为了获得光亮的表面,在马弗炉中可通入保护气(96—94% N₂、4—6% H₂),量不超过40HM³/h。

还有10马弗的炉子,都成功地在运转着,热处理无废品,也没有用户的抗议。

3、钢轨的加热和热处理

钢轨在使用时轨头要求耐磨和耐挤压,而轨底要有一定的韧性。由于形状上的特点是轨头厚而轨底薄,故在油中淬火时得不到满意的结果,往往是轨头软而轨底偏硬,生产上只能采用其他方法(如轨头局部淬火)来解决这个矛盾。采用流动粒子炉进行钢轨淬火冷却,就可以得到满意的结果。淬火时钢轨头向下,底向上,在轨底就会形成一个粒子堆成的帽,这个帽影响传热,使轨底的冷却速度减小,结果轨头的硬度比轨底为大,正好符合生产的要求。

试验用轨样为P—50,含碳0.66%,在粒子炉中加热到880°C,在0.1mm的刚玉砂中淬火,轨头离表面5和10mm处,硬度HB325,轨腿上硬度HB230,各处组织都是索氏体。用油淬火时,轨头硬度HB327,轨腿硬度HB348。若在空气中冷却,则得到大而软的珠光体组织。

法国曾采用铬铁等比重大的粒子,用140°C热风使之流态化,用长6米,重为50公斤/米的钢轨作试验,工艺流程如下:

钢轨热轧后在>900°C时放入140°C的粒子炉内冷却2—5分钟,然后加热到等温转变温度420°C,停留15分钟至分解完毕,再加热到600—630°C回火,保温20分钟,冷却到室温。连续处理时间约为45分钟。

试验结果认为这种热处理可以提高疲劳强度。

4、流动粒子炉用于钢板加热

苏联有钢板加热的半工业性流动粒子炉。炉子尺寸0.25×0.8m,高2m。采用天然气加热,二级燃烧。一次风从布风板下与天然气混合同时吹进炉内,空气系数为0.6—0.75,二次风在风帽以上1米高处,从两面侧墙吹到粒子层上部,以便把未燃烧的煤气在炉膛内烧完。粒子采用刚玉砂,φ0.4mm,高0.56—0.75m,流化剂速度为0.34—0.95米/秒。

试验板坯材质 30CrMnSiA,尺寸200×100~600×400mm²,板厚4.6—22mm。加热制度如下:

T粒子炉 °C	T钢板 °C	板厚 mm	加热时间 秒	保温时间 秒
1100	1050	4.6	80	15—20
1100	1050	21.75	400	15—20
980	930	9	100	15—20

从试验看,在粒子炉内加热到规定温度所需时间只有火焰炉的 $1/5-1/6$ 。从粒子炉加热和保温以后,在水中淬火,表面各处硬度相同,并且均能满足机械性能和低倍组织的要求,各批试样性能基本一致。

北京钢铁学院冶金炉教研室流动粒子炉科研组

主 要 参 考 文 献

- (1) 流动粒子炉一般知识
北京钢铁学院冶金炉教研室编写
北京机械局技术情报站印 1976.7.
- (2) 流动粒子炉文集
北京钢铁学院冶金炉教研室编写 1977.5
- (3) 流动粒子炉用于钢丝等温淬火(培墩)
北京钢铁学院冶金炉教研室
北京特殊钢厂五车间 1977.10
- (4) 流动粒子电炉译文集
北京钢铁学院冶金炉教研室审校
北京市机械局情报站
北京市机械研究所 印
- (5) 热轧线材于流动层中直接冷却的热处理方法
“国外金属材料” 何建毅 1976.4
- (6) 钢丝沸腾粒子等温淬火工艺的探讨
四平钢丝绳厂 1977.
- (7) 金属热处理 1976.1.2
1977.1
- (8) 小型液化石油气流动粒子炉
北京无线电厂热处理车间
北京钢铁学院冶金炉教研室
“金属热处理” 1977.4
- (9) 流化床和真空热处理在线材工业上的应用
“Wire Industry” 1972.11
- (10) 流动层培墩处理钢丝的诸性质
“铁与钢” 1976.NO10
- (11) 在沸腾粒子层中钢丝的培墩
“Смалъ” 1974.7.
- (12) 英国,日本,法国专利。
日本 公开特许公报
51—81720 51—91812 52—31913
52—40413 52—56009

英国专利

1048832

1048833

1036894

法国专利

1458157

(13) 用于金属热处理及化学热处理的沸腾层

МТОМ 1971.6

(14) Нагрев и охлаждение металлов в кипящем слое

1974 А.П.Баскаков

(15) 流态化

李伐

(16) 流态化工程

〔日〕口井大藏

〔美〕列文斯比尔

编著

(17) Advances in heat transfer (V.10) 1974

James P. Idartnett

Thomas F. Irvine Jr.