

内部资料 注意保管

热 处 理 译 文

(6)

第18届国际材料热处理年会论文选

天津热处理工艺研究所

1980年8月

5-53

TG15-3
5
326

682/24

前 言

第18届国际材料热处理年会于今年五月六日到五月八日在美国底特律城召开。年会有十四个国家参加，共发表了四十五篇论文。我国由中国机械工程学会热处理学会副理事长周惠久教授带队，由一机部、冶金部与教育部组成的七人代表团参加了年会。

在四十五篇论文中，按国家来分，西德七篇，波兰六篇，保加利亚四篇，中国五篇，南斯拉夫一篇，芬兰一篇，日本三篇，法国五篇，意大利二篇，英国五篇，瑞士一篇，美国三篇，苏联一篇，罗马尼亚一篇。按内容来分，计有表面处理——渗硼，化学气相沉积，淬透性与淬火，渗氮，组织与性能，离子渗氮；新工艺——电子束，激光，流动粒子炉，真空热处理，渗炭——气氛，节能，新型炉子设计等。

在全部论文中，印发成册的仅有三十七篇，结合我所的工作情况，我们选择了其中的十一篇全文译出。由于时间仓促，水平有限，错误之处，在所难免，请同志们提出批评和指正。

在选编过程中，北京钢铁学院杨让教授，天津市一机局情报站与天津市科技情报研究所给予我们热情的协助，在此谨表谢意。

天津市热处理工艺研究所

1980、8



A833916

目 录

★ 综 述 ★

- 1、流动粒子炉埋入式燃烧加热的进展与惰性气氛的应用(英)..... 1

★ 测试方法 ★

- 2、用特定的圆柱形探头的表面温度梯度实际测定淬火强烈度(南斯拉夫).....14

★ 化学热处理 ★

- 3、渗碳气氛的性质对渗碳实际结果的影响(波兰).....24
4、非合金钢工件的氮化(英).....33
5、流化床法氮化及氧氮化(波兰).....43
6、渗碳层的显微组织对摩擦性能的影响(波兰).....54
7、离子渗硼的气体介质(波兰).....64

★ 热处理、组织与性能 ★

- 8、渗碳钢的晶间断裂.....75
9、改变热处理参数以确定材料和滚动接触疲劳的最佳特性(西德).....86
10、55XTC ϕ A钢的高温形变热处理(苏).....101
11、改进冷却方法以减少淬火缺陷并同时增加淬硬层的深度(法).....107

流动粒子炉埋入式 燃烧加热的进展及惰性气氛的应用

R. W. Reynoldson (英国)

1. 前 言

在过去五年中, 对于金属热处理流动粒子炉在工业上的应用, 已经有了广泛的介绍(1,2)。

主要的进展是气体燃料的应用: 通过简单内燃(3), 两级内燃(1)、回辐射(1)及埋入式燃烧(3), 使热量直接释放到流化床内

本文的目的就是介绍流动粒子炉埋入式燃烧加热的进展、与这种技术结合使用惰性气氛对金属进行中性处理, 以及结合使用合成气氛对金属进行表面化学热处理。

2. 原 理

流态化就是使精细过筛的干燥粒子(在本文中一般是氧化铝粒子)组成的床层在吹入气流的作用下, 每个粒子之间都微微分开, 整个床层变得象液体一样。

一些其它文献更详细地介绍了流化床的原理(5)。但为了使热交换及化学反应最佳, 在这里必须概述一下那些能够影响流化床从而影响到整个炉子性能的最重要的参数。这些参数是:

2.1. 流化速度 流化床的最重要的参数之一就是临界流化速度。关于这个参数, 曾有人提出一些复杂的公式(5)。但是, 简单地说, 临界流化速度(μmf)可近似地作为粒子直径(d)平方的函数, 并与粒子质量(P)成直线关系, 如下式:

$$\mu mf = d^2 p$$

设计热处理炉时, 必须考虑到温度的影响。图1表明: 流态化所需的气体流量随着温度的升高迅速降低。

实际上, 降低流化速度意味着减少气体消耗, 增加气体气氛在流化床内的停留时间, 降低热交换效率并造成对复杂工件的热传导不均匀; 提高流化速度会增加气体消耗, 减少气氛停留时间、改进热交换。

2.2. 粒子大小 影响流化床内热交换系数的所有参数中, 粒子直径的影响最大。试

验表明，粒子直径应该尽量小，但小于一定尺寸时，会由于静电效应而造成困难。

实际上，粒子尺寸较小意味着减少气体气氛消耗，改进热交换并减少吹出的粒子。

2.3. 流化床材料 已有结论，床层材料最重要的物理性质就是密度。对于流化床材料来说，最佳的密度大约是 $1280\text{--}1600\text{kg/m}^3$ ($80\text{--}100\text{lb/ft}^3$)。密度更大会降低热交换系数，流态化需要的功率也更大。使用密度低的材料会由于静电效应而造成困难。相对来说，其它性质如导热率、比热等就不重要了。

3. 流化床炉的类型

虽然燃气和电都可以用作流化床炉的热源，但由于以下原因，现在使用的大多数炉子都是燃气加热的：

3.1. 对于一定尺寸的流化床来说，燃气加热装置能在单位时间内提供更多的有效热能。这样就可以加速升温，并提高装入工件后的温度恢复速度。

3.2. 某些燃气加热装置的设计能够使流化气体既是热源又是气氛。

3.3. 燃气与电做为能源的价格之比。

4. 燃气加热流化床的进展

4.1. 外燃式 耐热容器内的流化床可由燃气外燃加热；或是加热流化床外壁使热量传导到壁内，或是在一充气室内燃烧后，使燃烧产物直接通过床层。这两种方法都有应用，主要是用于 600°C 以下的炉子。

4.2. 气体直接燃烧的流化床——内燃式

4.2.1. 单级内燃 流化床加热的一个重要进展就是使用空气与燃气混合气进行流态化，并在流化床内点燃，在内部燃烧放出热量。应用这种技术的一个典型的炉子设计见图2。

这种技术的一个明显优点是：流化气是燃烧着的气体，热量是在流化床内产生。在燃气加热的流化床内，流化气体或称流化介质是接近完全燃烧混合比例的燃气和空气混合物。这种可燃混合气在流化床上方点燃，很快将热量传给粒子，粒子又在流化床较下部位加热送进的气体。经过一段时间，当达到所用气体的自燃温度时，在流化床内自动燃烧，最后，燃烧仅仅是在开始的 25mm 范围内进行。这个自燃温度一般在 $600\text{--}800^\circ\text{C}$ 范围内。实际上，使用这种技术的炉子都存在以下固有的问题：

流态化是由燃烧着的气体完成的。可是，为了得到良好的温度和最佳流化状态，就希望能够分别调节燃料气的输入速度与流化速度。在自燃温度以下燃烧就不稳定。

紧邻扩散布风板处会达到很高的温度。流化不当时，会使这个热量不能从布风板上部散失，该部位能达到理论火焰温度，结果使布风板剥落、开裂和熔化。在此高温下，布风板膨胀和收缩的热应力往往造成连接处的失效，更增加了困难，即使用现有最佳的装配技

术也未落下。

4.2.2. 两级内燃流化床 两种不同的设计都解决了将热量的输入与流化速度分别控制的问题。这两种设计详述于文献(1)。在这两种设计中,由室温起动到工作温度的加热都是由两级内燃完成的。即,从布风板下引入不可燃的燃气与空气混合气,并由钻在耐热管上的喷气孔在布风板上加入二次空气(使气体具有完全燃烧的比例或稍富煤气)。这就避免了可能爆炸的危险,还使布风板表面避免承受高温。

当流化床达到工作温度时,另一个主要困难是怎样使对加热的控制与对流化速度的控制互不影响。有两种办法可以做到这点,其中的回辐射设计是最重要的。

回辐射设计:在紧邻流化床控制室的上方射入二次空气,使富含燃料气的气体燃烧时,一种回辐射作用使流化床温度上升。这种设计(图3及图4表示其加热状态和冷却状态)利用了这种作用,同时,还利用了当混合气在炉子外面燃烧时通常浪费掉了的那部分热量。所以,在燃料利用上也更经济。

从原理上说,在最初加热流化床时,富含燃气的混合气被送到中心室,再另外加入空气,以造成完全燃烧的条件。装入冷工作进行处理时,附加空气从床层上方射入,产生一个辐射火球,以恢复流化床温度。如果流化床温度超过预定温度,附加空气改道通过炉壁夹层以提供冷却,最后与富化的燃气与空气混合气混合,在专门制造的排烟罩的顶部燃烧,其热量可用于予热工件。

这种设计克服了内燃式装置的主要缺点,由此发展了实用设备。

4.3. 埋入式燃烧流化床的发展 用于加热液体的埋入式燃烧传统技术是使燃烧产物直接通过被加热的物质。这种方法的热交换效率很高,现在广泛应用于液体加热,如游泳池,酸洗槽,磷酸盐溶液(金属表面处理用),废水处理等。

利用这种技术加热流化床时,燃烧器的设计必须符合下列要求:

1. 燃烧器能搅拌悬浮的粒子,以达到要求的热交换性能及均匀的流化床温度。
2. 燃烧器必须给流化床燃烧区提供所需的热量,使其能达到内燃式流化床一般能达到的回升速度——5至7°C/分。
3. 使用流化气体作气氛控制时,燃烧器对流化气体的污染必须最小。
4. 燃烧器在流化床内所占的面积必须尽可能小,以免过分浪费流化气体。当使用如氢和氧等昂贵气体时,这一点更为重要。

有一种新研制的燃烧器,占流化床面积少于10%,在500—1000°C温度范围内达到了每分钟5—7°C的回升速度。这种燃烧器的设计草图见图5。

此燃烧器的工作原理是,先将空气与燃料气混合成不可燃的混合气,如用1/9的丙烷/空气,然后再将其在图中所示的部位与二次空气混合。

实际上,在紧邻流化床处的粒子以很高速度循环,由于可进行热交换的接触面积很大,进出燃烧器的粒子温度差是很小的。

这就意味着流化床与被加热的粒子间的温度差很小,因此流化床温度均匀。

这种技术的另一有趣特点是:污染区域仅限于图6所示出的区域。

应用埋入燃烧技术,建造了设备,可在150—1250°C温度范围内工作。

表1给出了 $\phi 500 \times 600\text{mm}$ 的炉子使用空气或惰性气体做流化介质时的工作特性。

从这些特性可以清楚地看到,这种类型的炉子可用于大多数传统形式的热处理,如钢的淬火及回火,铝合金的退火,正火及固溶处理。

表1、埋入燃烧加热的流化床热处理炉的工作特性

1.流化床有效尺寸	= 500mm直径 \times 610mm深
2.升到工作温度的升温速度(即在1小时内从室温升到500°C)	= 5—8°C/分
3.温度均匀度	= $\pm 5^\circ\text{C}$
4.温度范围	= 100—1050°C
5.最大燃气消耗(丙烷或天然气)	= 87,500千卡或102KW※
6.100公斤截面直径25mm的室温工件入炉后达到950°C	= 30分钟
7.每公斤钢加热到850°C平均所需千卡	= 400—425 (0.484KW) ※

※原文如此,应为千瓦时——译者注

5. 惰性气氛处理

随着埋入式燃烧加热技术的出现,使用氮作为工业牌号的合金钢如EN31型轴承钢淬火及工模具热处理的中性保护气氛,就是很自然的了。现在,有三十台装有埋入式燃烧的装置在工业上正常使用,其尺寸从300mm直径 \times 600mm深到700mm直径 \times 900mm深。

在英国Ctelttenham安装有一台工业热处理炉。这台炉子每星期处理5000公斤用于铝挤压工具的H13模具钢。

6. 表面化学热处理

6.1. 碳氮共渗(570°C) 如盐浴渗氮、硫氮处理、气体软氮化、短时气体氮化。以传统的的设备进行这些工艺都有了成熟的经验,同时关于气体软氮化及短时气体氮化的气氛组成已有充分的报导。最近,Dawes及Tranter一篇全面的综述(5)及其后Dawes等人的一篇文献(6)都得出结论,认为所有各种气氛都有一种基本氮化反应,在处理的工件表面形成 ϵ 相化合物层,这一层的下面是富氮的铁素体扩散区。

工艺的目的在于改善碳钢、低合金钢、铸铁工件的表面耐磨性、疲劳抗力、耐蚀性,并且不造成变形,以代替较昂贵的工件及轴承材料,有些场合还可以免去电镀。

在这种传统气氛的工艺中，曾使用了成份范围从100%NH₃至75%N₂、25%NH₃的几种混合气体，结果令人满意。

实际上，根据各种气体的费用，应以最低的氮百分比（的气氛）获得所需要的性能。加入二氧化碳（7）和氧有利于减少氮的含量。

在流化床炉中，有一点很重要，就是输入的混合气要在距布风板50mm内达到处理温度，以便在与处理的工件接触前就完全变成活性的。为完成这种控制功能，研制了一种自动模拟控制系统（8），本文后面还要介绍这种系统。

另外，很明显，对于长处理过程来说，具有大的深度与横截面积比值的流化床炉是最经济的。

6.2. 奥氏体碳氮共渗处理（以氮为主）文献中（9）对于这种工艺已有介绍。对于这种工艺，看来人们的兴趣正在增加，特别是关系到对变形要求严格的工件时更是如此。

这种工艺的好处在于，在两小时内就能获得最低硬度为650—700V_PN，深度约0.1mm的次表层，因此为耐磨的ε相化合物层提供了更多的支持。

实际上已经发现，在某些应用场合，如车擦盘，仅一小时的处理就可以得到与570°C碳氮共渗2小时相同的使用性能。

6.3. 渗碳处理 很明显，在流动粒子炉中使用埋入式燃烧加热，就可以使用传统的可控气氛炉现在所使用的各种成份的气氛，并具有温度回复速度快，工作温度更高的优点，这样就缩短了处理周期。

6.3.1. 丙烷与空气渗碳 已经发现，在流动粒子炉中使用碳氮化合物气体与空气的混合物渗碳是适宜的。渗碳的结果表明，在950—975°C范围内，渗碳速度（由Kt值确定）比传统的渗碳要快30%。

在操作时，这种技术需要控制燃料气与空气的混合比例及温度。在燃烧丙烷的流化床内碳势和空气与燃料比例的关系见图8。实际上，在图7曲线的平坦部分操作即可得到满意的结果。在这曲线的平坦部分，床层的整个工作区内碳势均匀，并且碳势大略接近碳在奥氏体中的溶解极限。

对于直至0.3mm厚的渗层，在曲线的平坦区域操作都获得了满意的结果。

从图7还清楚地看到，从高碳势到低碳势（即脱碳状态），出现一个急剧的过渡。

另外，由于表面碳浓度增加，当渗层超过0.3mm时，有必要控制工件表面的碳含量。已经进行了一系列的研究，在处理周期的后阶段减少了气氛的碳势（1）。

所研究的技术实例包括改变燃气与空气比例，特别是在周期的后一阶段降低温度。

这些技术中有的适用于某些场合，但最令人满意的技术是强渗与扩散的两级处理，以丙烷与空气做强渗阶段的活性气氛，在钝化阶段或称扩散阶段，以氮做为中性气氛。

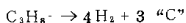
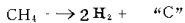
用后一种技术，所得到的结果已经可以用Harris的公式（2）予以预测。这种技术还可以精确控制表面含碳量。本文前面已经举出了详细的例子（2）。※

所以，加热炉在渗碳的活性阶段使用两级内燃加热，在钝化阶段或称扩散阶段使用埋

※文献(2)即本文一译者注。

入式燃烧, 就能够在实际上充分利用上述工艺的优点。实际上, 两种加热方式的互相转换是自动进行的。

6.3.2. 碳氢化合物渗碳(无空气)及碳氮共渗 碳氢化合物, 如甲烷、丙烷, 通过裂解反应, 分解为碳和氢, 给钢表面提供碳:



各种碳氢化合物裂解时产生高度活性的碳, 可直接被钢的表面吸收。

如Luiten等人所述(10), 在真空炉中及可控气氛炉中, 都可以仅供给控制数量的碳氢化合物, 随之以控制的扩散阶段, 成功地进行渗碳。

同样, 在流化床中, 也可以用100%的碳氢化合物做流化气体(虽然这种方法应用并不广泛), 但更常用的是以惰性气体如氮做载气, 加上高至50%的碳氢化合物如甲烷。

已发现, 这种工艺的效果同丙烷与空气的方法相同, 并且可以在原有的炉子中使用天然气。

温度低于900°C时, 添加10%的氢促进甲烷的裂解, 并使传统的碳氮共渗过程能够进行。

在碳氢化合物气体中渗碳, 与传统的吸热式气氛不同, 不能根据平衡的假设控制碳势。

900°C以上的碳势与碳钢饱和的奥氏体相同。

这表明, 出于控制的目的, 可认为钢表面的奥氏体所含的碳在20—30分钟后即饱和了。此后, 利用6.3.1、节中介绍的原理, 可采用强渗与扩散周期法, 其结果很好, 重现性也好。

与可控气氛炉及真空炉不同, 流化床的渗碳过程可以在“碳黑析出区”进行。使用丙烷与空气混合气, 这种反应取决于在氧化铝粒子上碳的形成。使用碳氢化合物与惰性气体混合气时, 活性的碳仍在粒子及钢上形成。由于流化床的作用, 并由于流化床材料暴露于空气及燃烧器, 形成的碳黑又在床层表面被除掉。

7. 流动粒子炉与可控气氛炉及真空炉相比较

Luiten等人(10)提出的真空渗碳及可控气氛炉渗碳时, 炉子制造及设计上的困难, 如渗碳的均匀性, 由循环不当造成的过度渗碳及温度的均匀性这些问题, 在流动粒子炉中都不存在, 因为流动粒子炉中的渗碳:

(a)、是在高至200mb的压力中进行的, 所以能保证处理的工件的各个面都接触到新鲜气体。这样均匀性就很好, 并且工件装载密度可以比传统上推荐的高得多。其缺点是在加热后现有的淬火系统不能提供均匀的淬火。

(b) 由于循环粒子的作用, 清除了活性的碳在边角处过分富集的现象。

8. 炉子参数的模拟控制

如本文前面所述，控制流化速度及粒子尺寸就控制了炉内过程的经济性及重现性。

例如，在一个500mm直径×600mm深的850°C的炉内装入200公斤工件，炉温即降到700°C。这时在炉子最底部，由于降温及进入流化床的冷气的共同作用，流化床会停止沸腾，因此而改变了进入流化床的混合燃气气氛的反应。

研制了一种模拟控制系统（8）。该系统用置于流化床内的探头记录流化床内各部位流化状态的变化，自动对炉子进行控制以使流态化参数最佳。在全部的温度，流化速度，粒子大小及工件装载范围内，这个控制系统都能良好地工作。

这套控制系统，再加上在一定流量范围内能保持混合比的复杂的燃气混合系统，就保证了结果的重现性，同时使气体消耗情况最佳，从而也就使运转成本保持最低。

9. 结 论

本文概述了埋入式燃烧加热的进展，概述了适用于热处理行业作表面处理用的流动粒子炉的范围，举出了处理的工件的实例，介绍了完全使用惰性气氛的情况。

另外，现在还有一种控制系统，能对炉子及工艺参数进行自动控制，使其处于最佳状态。

虽然本文并没有专门论及这种工艺与其他常规工艺相比所具有的经济利益，但很明显，这种流动粒子炉热处理工艺已经成熟，它与真空炉、盐浴炉及可控气氛炉相比更具优越性。

参 考 文 献

- (1) R. W. Reynoldson "Controlled Atmosphere Fluidised Beds For the Heat Treatment of Metals" Heat Treatment of Metals 1976.4.
- (2) R. W. Reynoldson "The Development of Submerged Combustion Heating and the Use of Inert Atmospheres for Fluidised Bed Furnaces"
- (3) M. Tamelet "Internal Combustion in Fluidised Beds", Heurtey Bulletin d'Informations, Sept, 1969, Vol. 47 Pages 24-28.
- (4) D. Kunii and O. Levenspiel, "Fluidisation Engineering, John Wiley and Sons Inc, 1969.
- (5) Dawes and Tranter, Heat Treatment '78.
- (6) Dawes et al, Heat Treatment '78.
- (7) Dawes and Tranter, Metals Technology '78.
- (8) Apollo Heat Provisional Patent
- (9) L. Kissling, "The Constitution of hardened surfaces produced by low temperature carbonitriding (austenitic nitrocarburising)." Heat Treatment of Metals 1978.4 Vol. 5 Pages 95-99.
- (10) C. H. Luiten et al "Carburizing in Vacuum Furnace" Heat Treatment of Metals 1978.

王 康 译

陈鹤龄 校

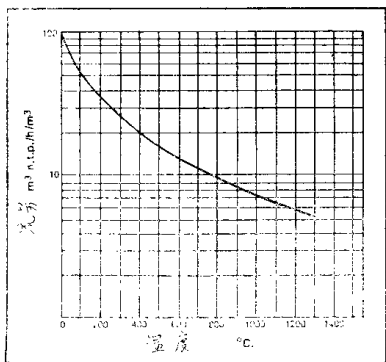


图1、粒子直径0.01mm、密度为2时，温度对临界流化速度的影响。

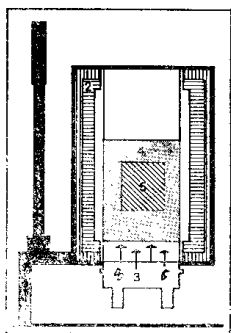


图2、内燃式燃气流化床炉

- | | | |
|---------|-----------|---------------|
| (1) 绝热套 | (2) 耐热材料 | (3) 空气及燃气分配箱 |
| (4) 流化床 | (5) 处理的工件 | (6) 空气 (8) 燃气 |

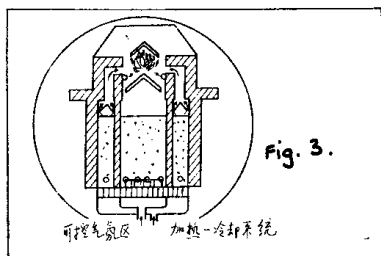


图3

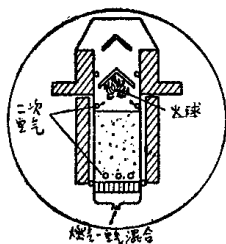


图4 a 加热状态

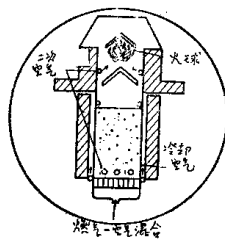


图4 b 冷却状态

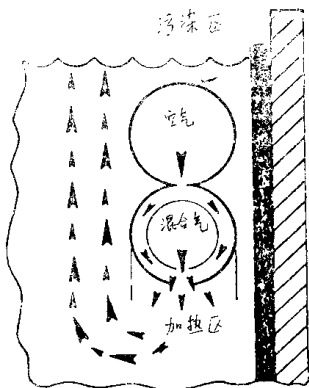


图5、

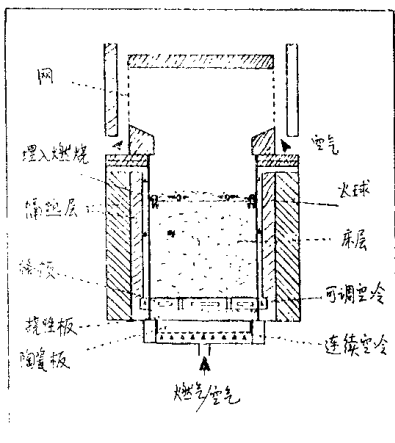


图6、埋入式燃烧的燃烧器草图

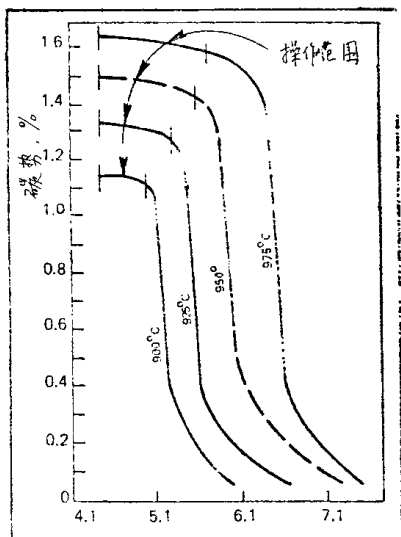


FIG. 7

图7、

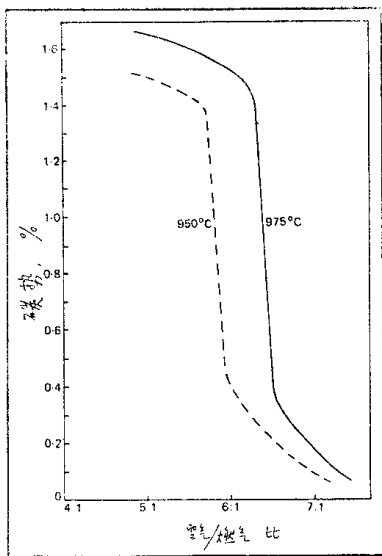


图8、燃烧丙烷加热的流化床中碳势与空气/燃气比例的关系。

用特定的圆柱探头表面上的温度 梯度实际测定淬火强烈度

B. Lisic (南斯拉夫)

1、引言

某些淬火剂的淬火强烈度可用不同的试验，如热电偶法，磁性法，热丝法或热量测定法，在实验室加以评定。但如果想要了解车间淬火槽内的真实淬火强烈度，还没有适当的实际而可靠的方法。因为在车间不仅淬火剂的种类，而且其他的淬火参数也起着决定性的作用。

实际测定淬火强烈度的方法应能适用于所有的淬火剂，以及不同淬火方法（直接淬火，分级淬火等）。这种方法也应有足够的灵敏度，不仅能够反映淬火剂的种类的影响，而且还能反映车间每个淬火槽的其他淬火参数的影响，如搅拌速度，介质的温度，流动方向等。

实际淬硬深度受所有淬火参数的共同影响。这些参数有些影响较小，有些影响较大。例如，淬火油种类的影响可以被搅拌速度的影响所压倒。这意味着：一种按照实验室试验具有较好的冷却特性的油，当它无搅拌地使用时，可能比其他有搅拌的油给出较小的淬硬深度。

因此，需要一种现场测量方法来测量在淬火槽内全部淬火过程中的淬火强烈度。多件同时淬火时，这个问题就显得更重要了。此时工件的真实淬火强烈度作为工件位置和堆放形状的函数而变化。

2、一些淬火参数对淬硬深度的影响

为了评价一些淬火参数对淬硬层深度的影响（即在横断面的硬度分布），使用三种圆柱形试样来考察：直径30，50和80mm，它们的长度均为直径的四倍。这些试样分别由AISI 4135和AISI 6150钢制作。在可控气氛中奥氏体化条件以及表面光洁度状况，对所有的试样来说都是同样的。油淬是在专门设计的能容300分米³淬火剂的淬火槽内进行的。淬火槽的横断面在图1中给出。

改变离心泵的转数，可改变通过试样所在管的油流量。在每种情况下都结合试样断