

21
秘 密 资 料

编 号:

硼 钢 的 实 用 研 究 (完)

履 带 板 淬 火 设 备 的 设 计

第 一 机 械 工 业 部 情 报 所

1. 绪 言

履带板是工程机械中需用量最大的一种铸件，为了降低成本、提高性能曾考虑采用硼钢。过去，履带板是用低锰铸钢制造的，生产时，先正火，然后将卡爪和滚轮踏面高频淬火，再作一次低温回火处理。根据以往的研究，把组分中锰和碳的含量减少，改进热处理作业；再添加硼，提高淬火性能，在回火过程中，只将卡爪部分进行喷水淬火，从而可使热处理过程简化。用此方法制造的履带板，与以往所用的材料相比，淬火硬化层加厚，零件强度得到提高。因此，本研究的目的是，设计一种工业上实用的热处理设备，并对淬火冷却条件作了补充实验。

2. 淬火条件的研究

2.1 实 验 方 法

2.1.1 试件

选用一种挖掘机的履带板作试件，供试用履带板的形状，如图1所示，单块重量12公斤，一台挖掘机装有86块。

履带板的基本组分为 $0.3 \pm 0.003\% \text{C}$ ， $0.9 \sim 1.2\% \text{Mn}$ ， $0.0015\% \text{B}$ （添加量），在一个8吨的盐碱性熔炉内进行熔解。使用的熔解原料为钢屑、低锰钢回炉料和碎钢板等。

为了进行硼处理，在熔化还原期用Fe—Ti合金（相当于 $0.05\% \text{Ti}$ ）进行预备脱氮，约在 1670°C 下出钢。硼的添加办法是，在出钢时在4吨浇包内用Fe—Ti—B合金添加硼 0.0045% 。在 $1640 \sim 1600^\circ\text{C}$ 的温度下，把此料铸成图2所示铸型和一个20公斤的“Y”型铸块。

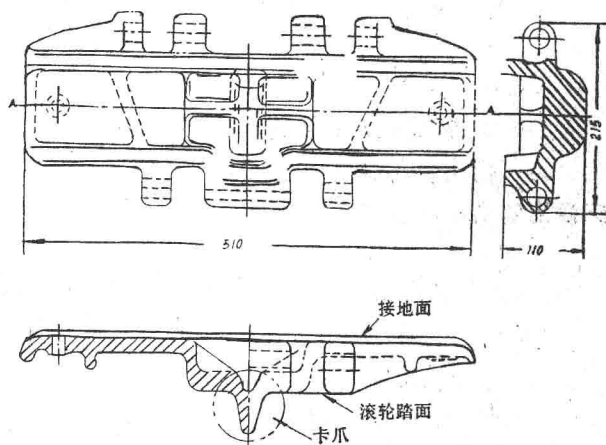


图1 挖掘机履带板的外形图

从铸出的“Y”型铸块上取拉伸试件与冲击试件，并进行正火、淬火和回火等处理。正火处理是，加热至 880°C 停放1小时后空冷；淬火、回火处理分别为，加热至 880°C 停30分钟后水冷；加热至 180°C 停2小时后空冷。表1列出添加合金的组分；表2列出了熔化试料的化学组分。

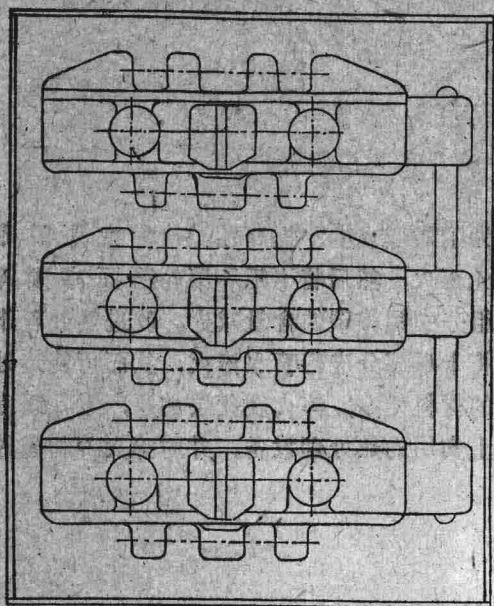
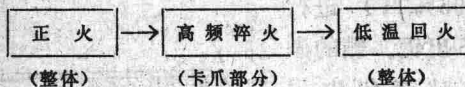


图2 履带板的铸型

2.1.2 实验用履带板淬火设备

为了把履带板热处理从原来的工序(1)改成新工序(2),试制了一套图3所示的可实际使用的实验设备。

(1) 原来工序:



(2) 改进工序:

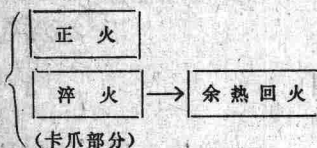


表1 添加合金的组分

添加合金	化学组分 (%)					
符号	C	Si	Mn	Ti	Al	B
Fe-Ti	0.06	0.02	0.03	72.7	0.09	—
Fe-Ti-B	0.07	1.59	0.56	32.34	8.30	3.55

表2 试料的化学组分分析值

铸钢	化学组分 (%)				
符号	C	Si	Mn	Cr	B (添加量)
SC30B	0.33	0.62	0.98	0.38	0.0045%

新热处理方法的概况如下:用均热炉将履带板加热至880℃保持2小时后,将履带板放在图中台架①上,用淬火冷却器②喷水孔喷射的冷却水,把滚轮踏面和卡爪一起水冷一定的时间。然后,再由处于空冷状态的接地面这一边的热传导余热,把经过淬火的卡爪部分进行低温回火。滚轮踏面以外的部分,因受台架的遮盖,而不会受淬火处理。

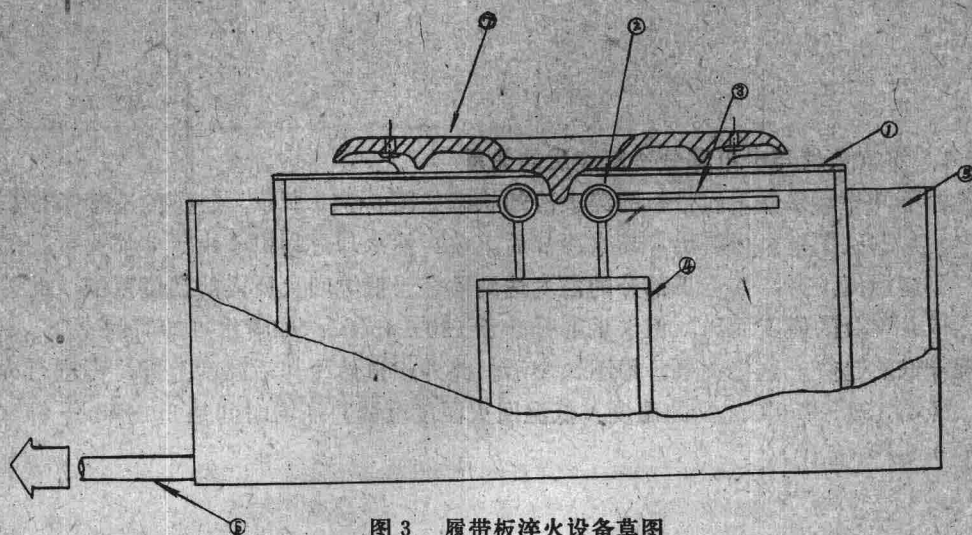


图3 履带板淬火设备草图

- 1—工作台 2—淬火冷却器 3—供水管 4—冷却器支持台
5—水箱 6—排水管 7—履带板

由供水箱③向淬火冷却器供水，由一个口径 50 毫米的 4 级涡轮泵来调节供水压力。冷却器由支持台④支持。水箱⑤中积存的水，由排水管⑥排出。根据经验估计到，卡爪上有曲率的部分不易淬火，故把淬火冷却器设计成图 4 所示的管状冷却器。

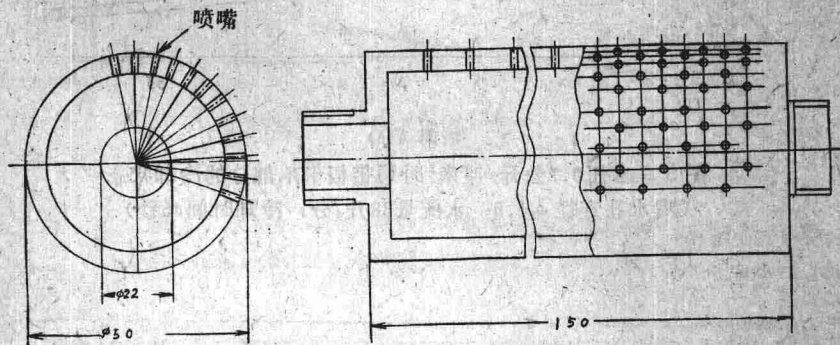


图4 冷却器形状

2.1.3 淬火条件

履带板的滚轮踏面和卡爪部分的淬火，通过图 4 所示冷却器喷水孔喷出的喷射水来进行。冷却器长 150 毫米，在圆周 1/3 的弧度上开有许多喷水孔。根据经验设孔间距离，在冷却器轴向为 10 毫米，在圆周方向以 10° 角为标准。喷水孔直径为 1.5 毫米，但为了比较起见，加了一个 2.5 毫米喷水孔的条件。喷射水的流量和压力，由孔数与减压阀来调整，冷却器内压定为 0.2、0.5 和 1.0 公斤/厘米²。冷却水流量的变化介于 38~97 升/分之间。此外，喷射水冷却时间定为 30~80 秒。

对履带板卡爪部分冷却速度的测定，是以卡爪尖端为中心，测量半径在 5~37 毫米之间。此时，用一个容积为 500×600×500 硅碳棒加热炉，把履带板在 880℃ 下加热 2 小时。

2.2 实验结果

2.2.1 淬火条件与卡爪部分冷却速度的关系

在各种不同冷却条件下履带板的淬火冷却状态如图5~10所示。各图的冷却条件分别注于各图中。从这些图中可以看出，喷水冷却后，在自然冷却过程中，由于非淬火部分的热传导作用，引起温度上升，使卡爪部分的温度达到适合于低温回火所需的温度范围，此时的最高温度，依各部分的厚度而异，但卡爪部分介于 $180\sim 450^{\circ}\text{C}$ ；如喷水冷却时间较长，最高温度呈现降低的趋势。这些关系，用图11表示。此外，自然冷却后温度上升，再进行冷却的过程中，经历 $150\sim 250^{\circ}\text{C}$ 之间的温度（低温回火温度范围）所需时间是50~70分钟（此时水压低于 0.5公斤/厘米^2 ）。

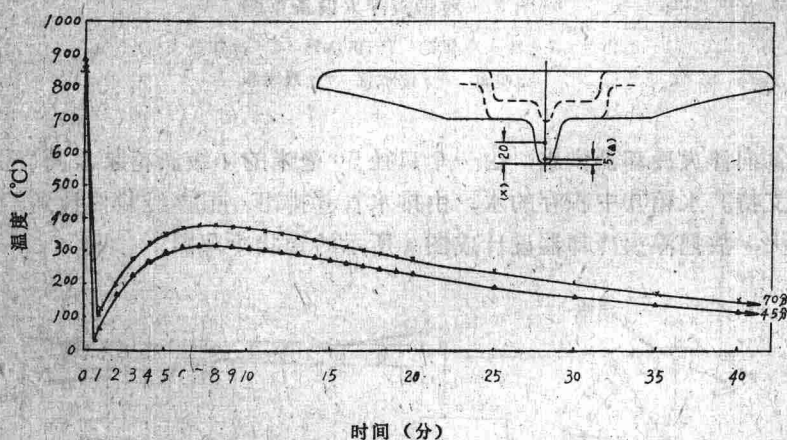


图5 水压 0.2公斤/厘米^2 时履带板卡爪部分的冷却状态
(喷水孔直径 $\phi 1.5$ ；水流量 38升/分 ；冷却时间 45秒)

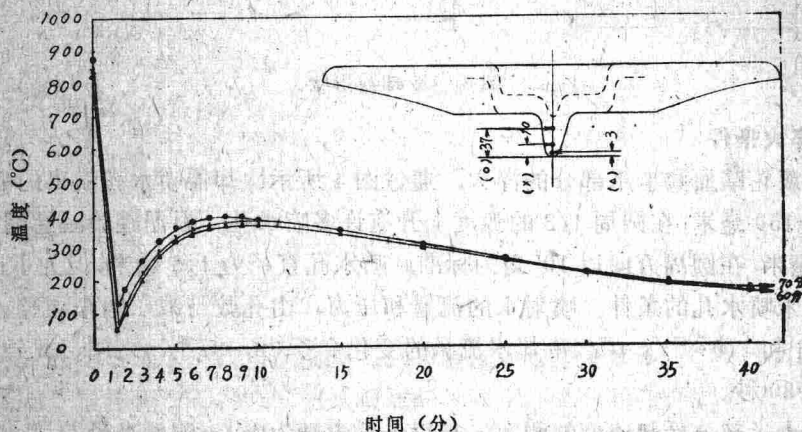


图6 水压 0.2公斤/厘米^2 时履带板卡爪部分的冷却状态
(喷水孔直径 $\phi 1.5$ ；水流量 38升/分 ；冷却时间 80秒)

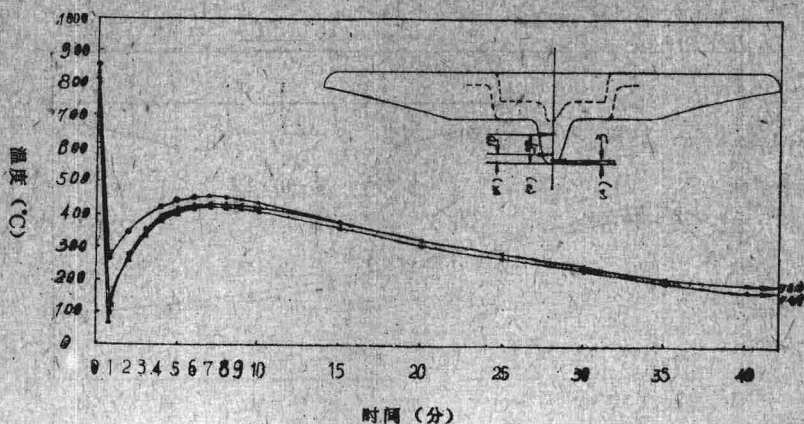


图7 水压0.5公斤/厘米²时履带板卡爪部分的冷却状态
(喷水孔直径 $\phi 1.5$; 水流量64升/分; 冷却时间40秒)

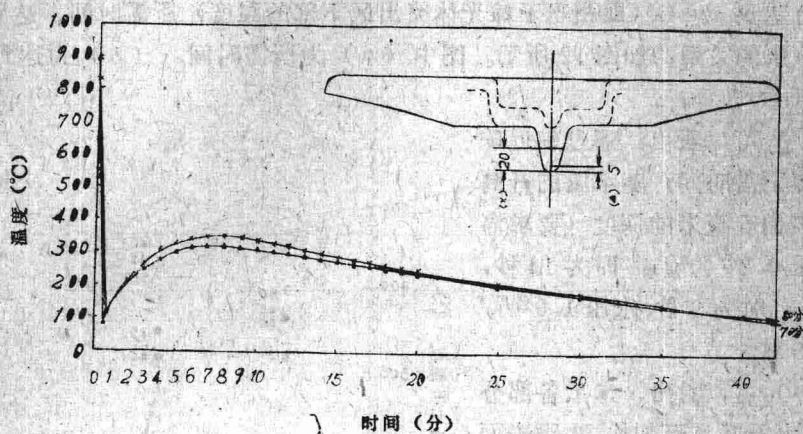


图8 水压0.5公斤/厘米²时履带板的冷却状态
(喷水孔直径 $\phi 1.5$; 水流量64升/分; 冷却时间35秒)

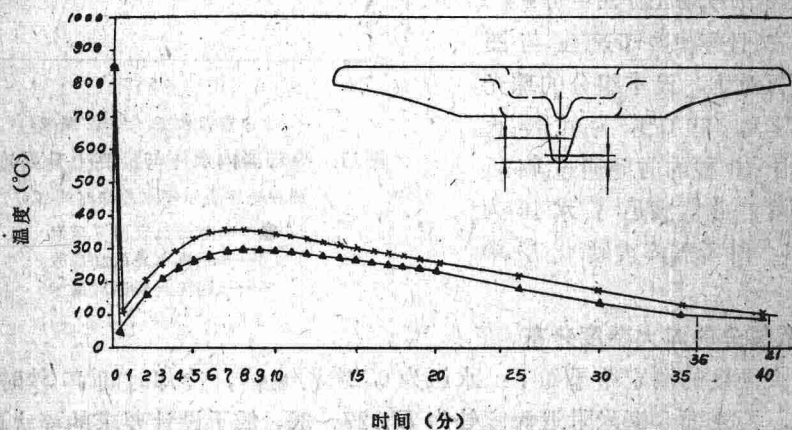


图9 水压1.0公斤/厘米²时履带板的冷却状态
(喷水孔直径 $\phi 1.5$; 水流量97升/分; 冷却时间40秒)

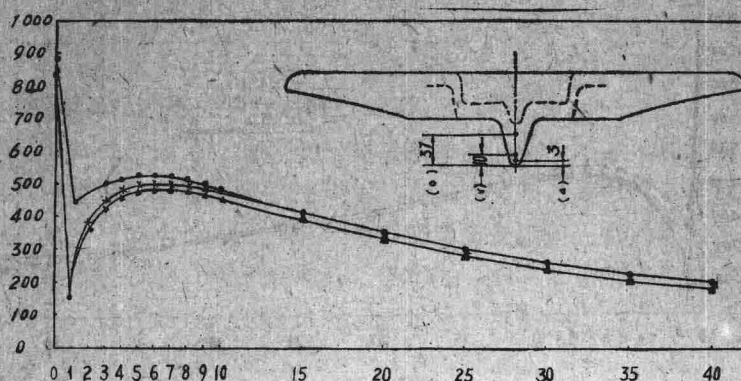


图10 水压0.5公斤/厘米²时履带板的冷却状态
(喷水孔直径 ϕ 2.5; 水流量43升/分; 冷却时间40秒)

本试料组分达到 500°C (即相当于珠光体突出区下部的温度) 所需时间、达到此温度 前的冷却速度与水压的关系, 如图 12 所示。图中 (a) 为所需时间, (b) 为达到 500°C 前的平均冷却速度。

从图中 (a) 可以看出, 通过临近珠光体突出区温度所需时间, 随水压的升高而减少。以距表面 5 毫米的深度 (要求淬火) 为例, 水压 0.2 公斤/厘米² 时为 14 秒, 水压 0.5 公斤/厘米² 时为 9 秒, 水压 1.0 公斤/厘米² 时约为 7.5 秒。

从图中 (b) 可以看出, 卡爪各部分的冷却速度, 随水压升高而加快。在距表面 5 毫米的深度上, 变化范围介于 28~49 °C/秒之间, 水压 0.2 公斤/厘米² 时为 28°C/秒, 水压 0.5 时约为 40°C/秒, 水压 1.0 公斤/厘米² 时约为 50°C/秒。如把这些冷却速度与图 13 所示 S 曲线进行对比, 设本组分的珠光体突出区, 大致上以 550°C 作为可淬火区, 并需以约小于 15 秒的时间通过临近珠光体突出区温度, 此值满足了水压为 0.5~1.0 公斤/厘米² 时所需淬火硬化层中的冷却速度。

2.2.2 卡爪部分的淬火硬度分布

卡爪部分淬火硬度的测定结果如下: 水压为 0.2 公斤/厘米², 冷却时间 45 秒时, 淬火表面硬度约为 $H_{rc}34$, 距表面 5 毫米附近深度处为 $H_{rc}27\sim30$, 低于设计要求的淬火硬度 $H_{rc}37$, 但将冷却时间延长到 80 秒时, 淬火表面硬度变为 $H_{rc}41$, 距表面 5 毫米附近深度处变为 $H_{rc}37\sim40$ 。

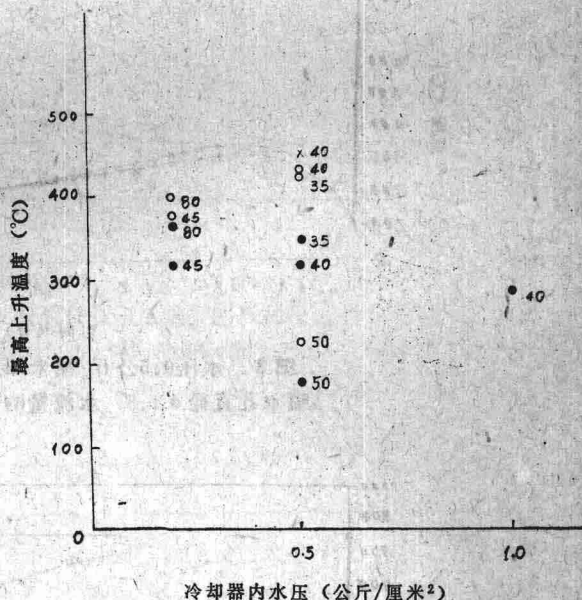


图11 冷却器内水压与最高上升温度的关系
图中数字表示喷水冷却时间 (分)

- 距淬火表面 5 毫米
- 距淬火表面 20 毫米
- ×——距淬火表面 37 毫米

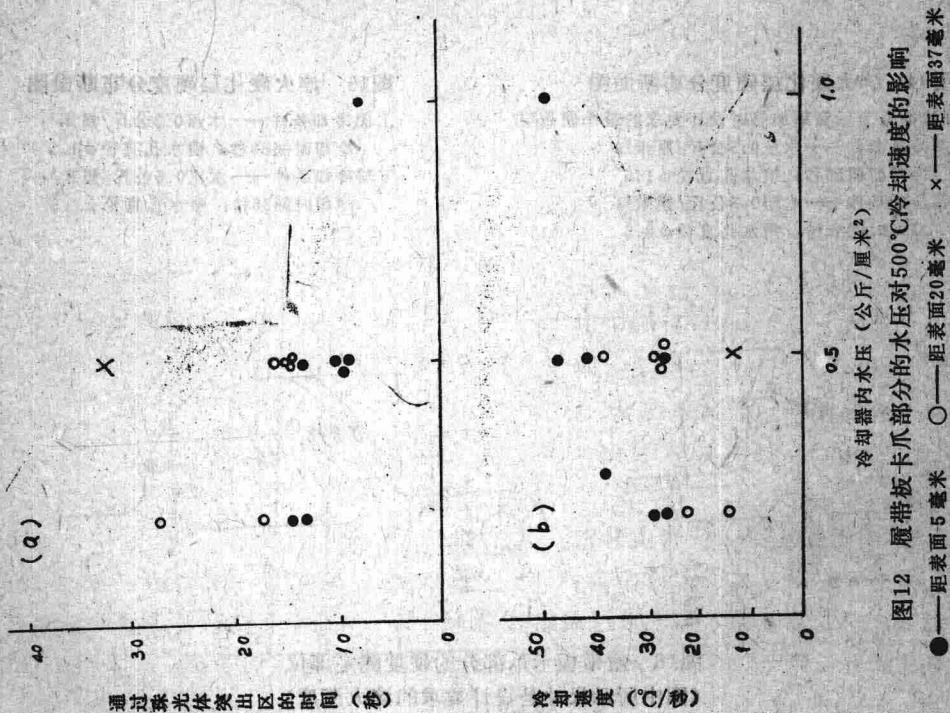


图12 履带板卡爪部分的水压对500°C冷却速度的影响

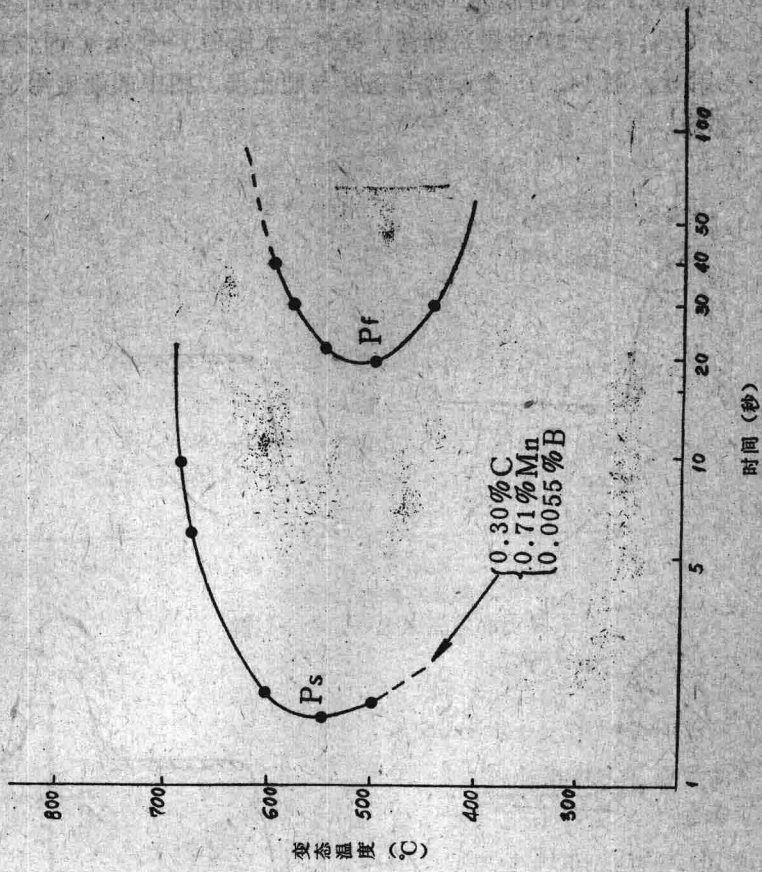


图13 试料的恒温变态图

水压为 0.5 公斤/厘米^2 ，冷却时间为 40 秒时发现，卡爪部分的淬火程度也是足够的，但滚筒踏面淬火硬化层 (H_{RC} 大于 37 的层) 稍薄。此外，水压在 1 公斤/厘米^2 时发现，淬火硬化层扩大到卡爪的中心附近。图 14、15 表示冷却条件与硬化层，图中的硬度测定断面表示图 1 中 A—A' 断面卡爪部分。

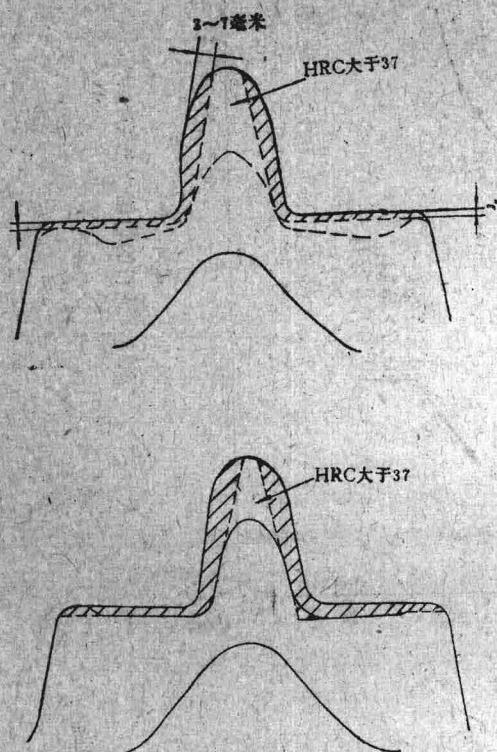


图14 淬火硬化层硬度分布断面图

图中剖面线部分表示高频加热时设计要求的最小硬化层

上图冷却条件——水压 0.5 公斤/厘米^2 ，

冷却时间 50 秒；喷水孔直径 $\phi 1.5$

下图冷却条件——水压 0.5 公斤/厘米^2 ，

冷却时间 40 秒；喷水孔直径 $\phi 2.5$

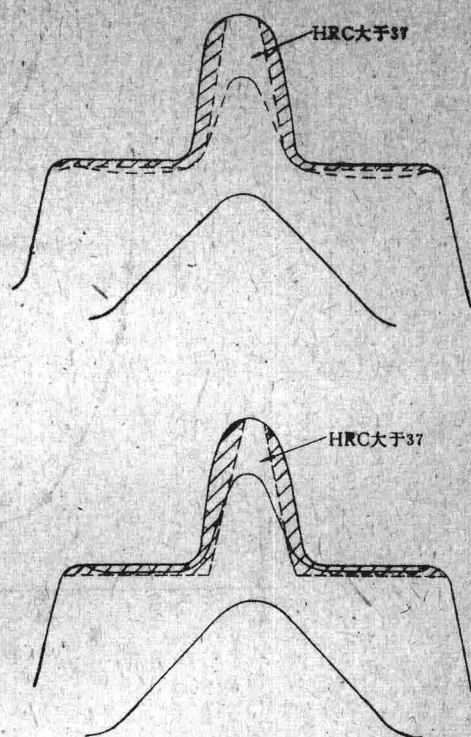


图15 淬火硬化层硬度分布断面图

上图冷却条件——水压 0.2 公斤/厘米^2 ，

冷却时间 80 秒；喷水孔直径 $\phi 1.5$

下图冷却条件——水压 0.5 公斤/厘米^2 ，

冷却时间 35 秒；喷水孔直径 $\phi 1.5$

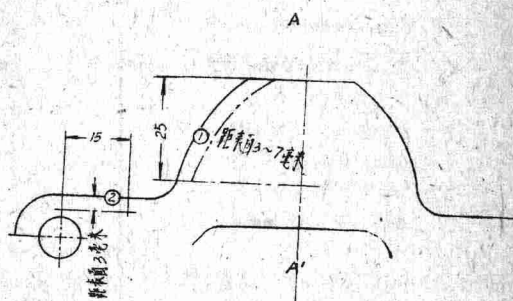
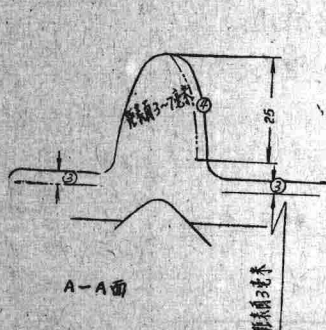


图16 履带板卡爪部分的硬度测定部位
(图中所示尺寸是设计要求的淬火深度)

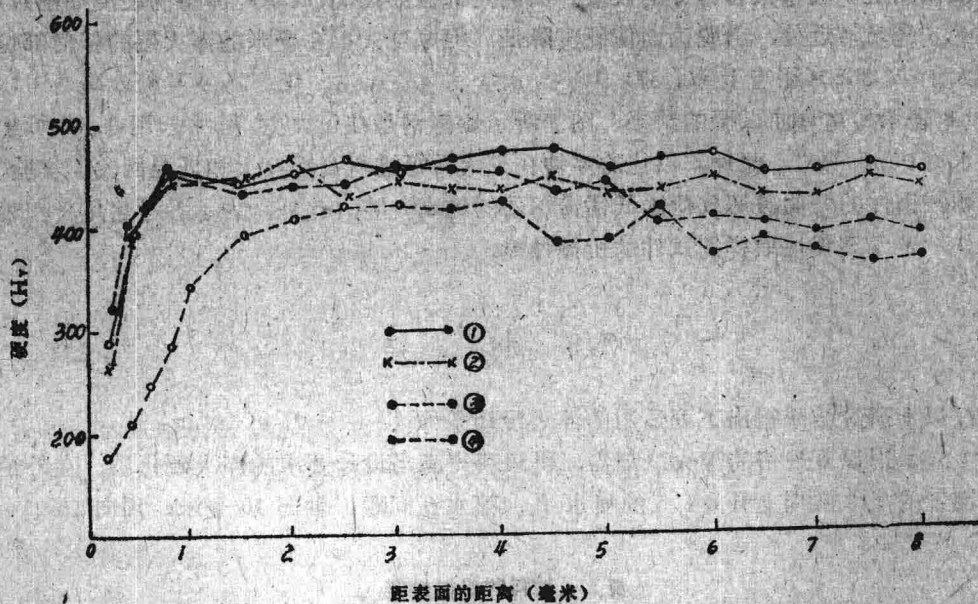


图17 卡爪淬火硬度实测结果

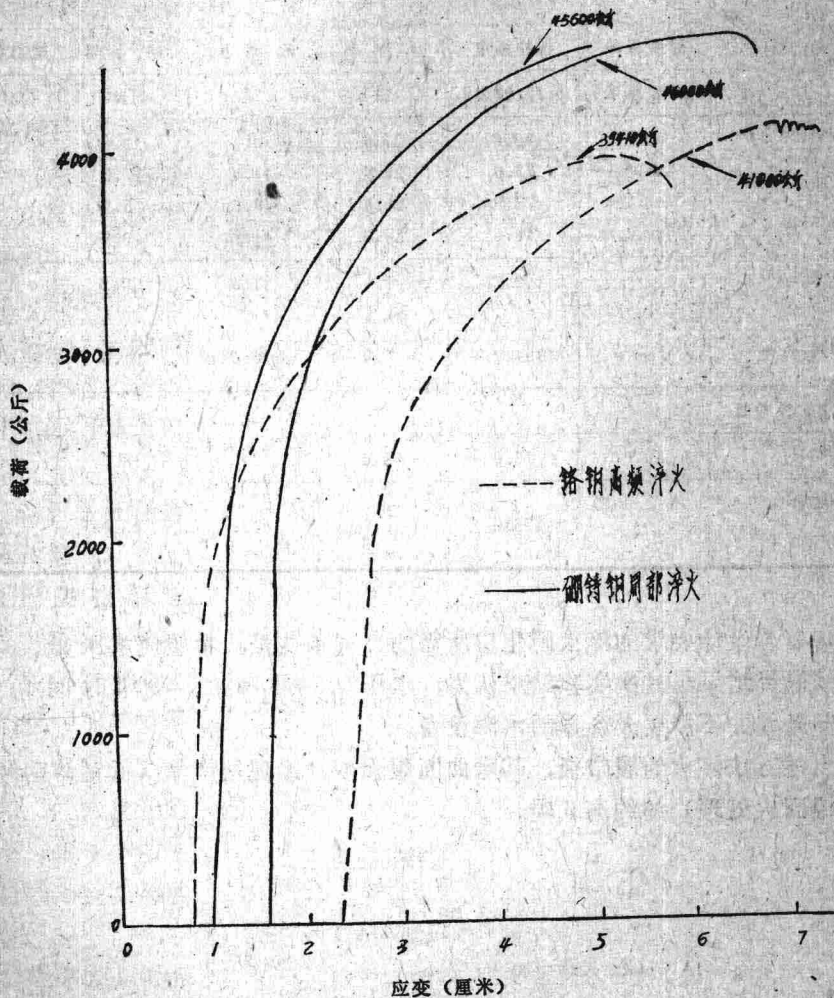


图18 履带板弯曲破坏试验结果

从表面测定了履带板各部分的硬度。其测定部位如图 16 所示；测得的硬度如图 17 所示。距表面 0.5 毫米附近处，因脱碳而使硬度降低，但厚度大于 8 毫米的淬火层的任何部位，其硬度都大于 $H_{rc}365$ （相当于 $H_{rc}37$ ）。

图 18 表示实物弯曲试验的结果。图中所示硼铸钢是在正火过程中，用 0.5 公斤/厘米^2 的水压喷水冷却 50 秒的，此外，以往的零件在正火后再进行高频淬火和低温回火。实验结果表明，硼铸钢件的弯曲破坏载荷比低锰铸钢件的约高 5 吨。此外，为了参考起见，在表 3 中列出了从“Y”型铸块取样的试件的机械性能。

2.3 小 结

通过以上研究结果得出下列适用的淬火冷却条件。

(1) 采用以下规格的淬火冷却器，可以获得满足设计要求的淬火硬化层。在外径 150 毫米的钢管的 $1/3$ 圆周上开 $\phi 1.5$ 的喷水孔。喷水孔间距：轴向 10 毫米；周向 10° 。

表 3 试料的机械性能

热 处 理 条 件	机 械 性 能					
	屈服极限	抗拉强度	延伸率	收缩率	硬 度	缺口抗冲击强度
	公斤/厘米 ²	公斤/厘米 ²	%	%	HRC	公斤·米/厘米 ²
880°C 1 小时 → 空冷 (正火)	49.9	76.8	21.6	50.1	19.8	6.9
	45.8	73.6	20.6	44.8	17.6	8.6
	46.1	72.9	25.6	49.0	15.9	—
	49.4	78.5	20.0	44.8	19.9	—
880°C 1 小时 → 水淬 200°C 1 小时 → 水淬 (淬火 回火)	—	192.2	8.0	21.8	50.2	5.3
	—	194.2	6.4	16.6	51.5	4.9
※ 现用工件的参考值						
880°C 1 小时 → 空冷	49.0	76.0	19.6	26.2	18.0	7.2
880°C 1 小时 → 油淬	—	175.0	8.7	17.4	45.0	3.4
200°C 1 小时 → 油淬						

(2) 获得符合设计要求的淬火硬化层所需的冷却条件是，希望使水压低、冷却时间长。根据以前的研究结果与这次实验结果认为，水压 0.5 公斤/厘米^2 ，冷却时间 40~50 秒为宜。这样的冷却条件并不需要大容量的水源设备。

(3) 用上述方法淬火的履带板，其弯曲断裂强度，比现用产品（低锰铸钢经正火后进行高频淬火低温回火处理）的约高 5 吨。

3. 淬火设备的试制

为了提高硼铸钢履带板制造的经济效果，试制了一套连续自动热处理设备，详细介绍了履带搬运设备。此设备还可与连续正火炉相连接。

3.1 设备的概况

此设备的草图如图 19、20、21 所示。图中数字所代表的零部件名称列于表 4。

本设备系由下列几个主要部分组成：均热炉⑤、淬火冷却室⑦、冷停放传送带⑫和搬运台车④等。

用销钉将履带板 3 块连接在一起，把它排成 2 排，通过工件支架②摆在托盘③上。履带板的数目可根据需要适当地进行调整。此托盘③放在台车④上，油缸⑥把托盘③从台车④推入均热炉⑤中。均热炉⑤是一个可容纳许多托盘的连续炉。1 分钟装完一次炉，在均热炉中停放 2 小时后再从出口拖出。

为了使履带板容易拉入淬火冷却室，用工件支架把履带板摆起来。搬运台车④上装有车轮⑧，以便使工件支架②在均热炉前后沿轨道⑨移动。台车④上还有滚轮⑩，使托盘③的移动方便。另外，均热炉⑤中的⑪是移动托盘用的滑轨。

把 2 排摆成 4 层的

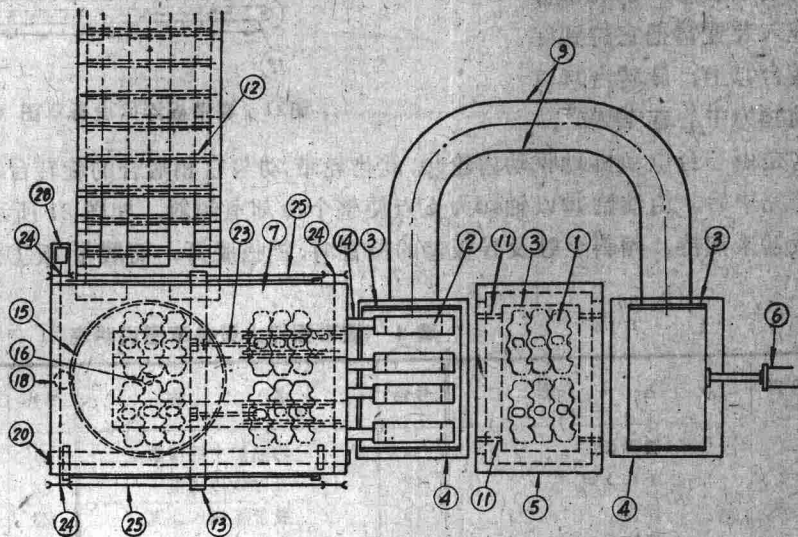


图19 履带板淬火设备草图（俯视图）

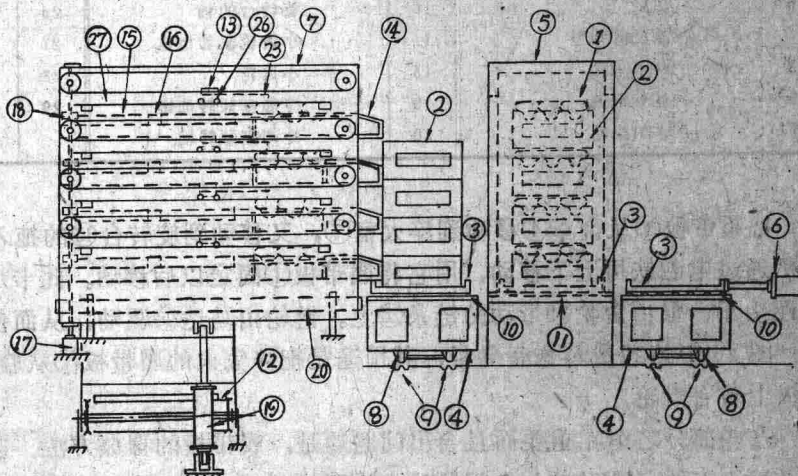


图20 履带板淬火设备草图（侧视图）

履带①原封不动地拖进冷却室，同时进行正火和局部淬火后直至落在传送带⑫上之前，都停放在淬火冷却室⑦内。淬火冷却室共有4层，但各层的工作情况都一样，故只介绍其中一层的情况如下。

履带板①先由拖入装置⑬拉进冷却室内，此时，由突出于冷却室前的挡块⑭，把工件支架阻停于托盘③上。在冷却室⑦内淬火的情况，将在后面详述。

在淬火冷却室内经过一定时间的喷水淬火的履带板①，由履带板拖入装置⑬把它拉到旋转台⑮上。旋转台⑮以轴⑯为中心旋转90°。

这是由一台电动机⑰驱动齿轮⑱，此齿轮带动与它相啮合的旋转台⑮，使旋转台转动。90°旋转完毕后，由油缸⑲以轴⑳为支点使整个冷却室倾斜，如图21所示。此时，履带板①由挡板㉑来支持。倾斜至触及导板㉒的位置时，挡板脱开，而履带板①被卸到传送带⑫上。

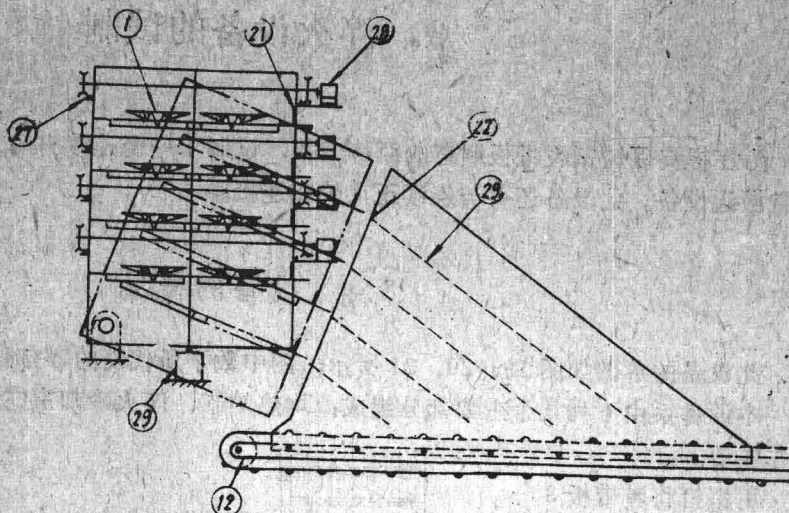


图21 履带板淬火设备草图（侧视图）

表4 履带板淬火设备草图说明表

号码	名 称	号码	名 称	号码	名 称
1	履带板	11	均热炉中的滑轨	21	履带板挡板
2	工件支架	12	冷停放传送带	22	传送带导板
3	托盘	13	履带板拖入装置	23	拖入装置的卡爪
4	搬运台车	14	挡块	24	链轮
5	均热炉	15	旋转台	25	链条
6	油缸	16	旋转台的轴	26	拖入装置的台车
7	淬火冷却室	17	小齿轮驱动电机	27	冷却室中的滑轨
8	台车车轮	18	小齿轮	28	链轮驱动马达
9	台车轨道	19	冷却室倾斜油缸	29	传送带导板
10	台车滚轮	20	冷却室倾斜轴		

把履带板①从台车④移动到淬火室⑦，又移动到旋转台⑮的拖入装置⑬上装有卡爪㉑，此爪通过电磁铁可上下移动，用它将履带板①固定以后移动。此卡爪㉑安装在台车②⑥上，台车连接于一根由链轮㉒带动的链条㉓上。链轮由马达㉔驱动，从而使台车②⑥在滑轨㉕上移动。图20中的29是传送带导板，其用途是把淬完火的履带板①从旋转台⑮卸到传送带⑫上，导板上装有滑轮。

这些部分之中，重要而且会出问题的是，履带板的摆放方法、进入淬火室时的分离方法以及淬火方法。现对这几个问题补充说明如下。

3.2 履帶板擺放方法

图 22 表示履带板的摆放方法。图中 (a) 表示过去的摆放方法; (b) 表示新提出的方法。为了把大量的履带板一起进行淬火, 必须把这一批履带板同时而迅速地搬入冷却室, 故采用图示的方法是适宜的。

对工件支架所用材材的要求是，能在高温下反复使用，并且耐磨，因此建议使用高锰硅铸铁。这种铸铁是由高硅奥氏体与一次渗碳体构成的高硬度铸铁。根据强度与重量的折衷考虑，把支架设计成图 23 所示形状。

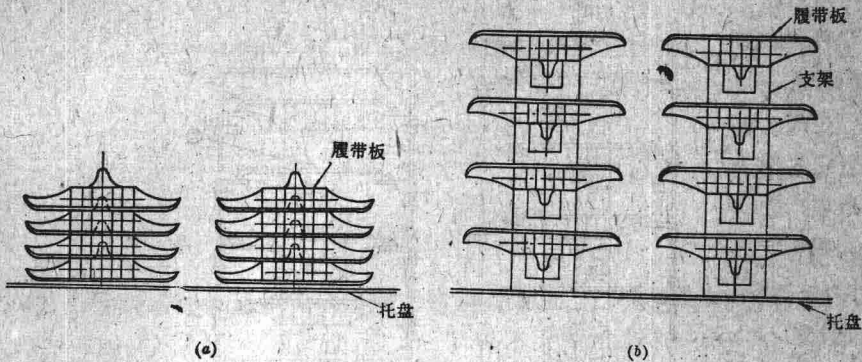


图22 履带板的摆放方法

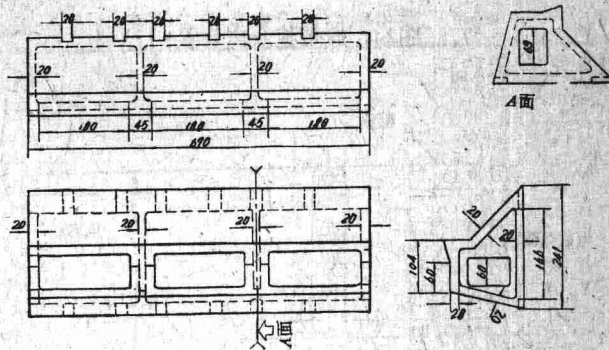


图23 工件支架的形状

3.3 履带板的分离方法

为了把擦在托盘上被拖出的履带板，与支架分开并拉入淬火室，设计了图 24 所示的履带板分离装置。

先移动托盘上摆放的履带板，把它拖入分离装置内。再将整个装置吊起，这时，履带板便离开支架而被支持在分离装置的导板上。

用此分离装置一直把履带板的位置提高到淬火室进口的高度。在此位置时,用图25所示拖入装置把履带板拉进淬火室内,将工件支架仍留在托盘上。

3.4 履带板淬火方法

图 26 表示淬火室⑦的剖面图。用拖入装置把履带板①拉入淬火室内托在导轮②上。③是支持导轮②的支板，④是遮板，使冷却水只喷射到履带板需淬火的部分，以便使其余部分受到正火处理。⑤是淬火用冷却器喷水管，⑥是它的支架。图中①的剖面线部分表示淬火硬化的部分。⑦是调节冷却水供给量用的阀门。⑧是固定冷却器支柱的板，兼起排水道的作用，使水不致流入下一层。

以上设计方案不仅限于正火用，也可以当作其他用途的连续处理设备。

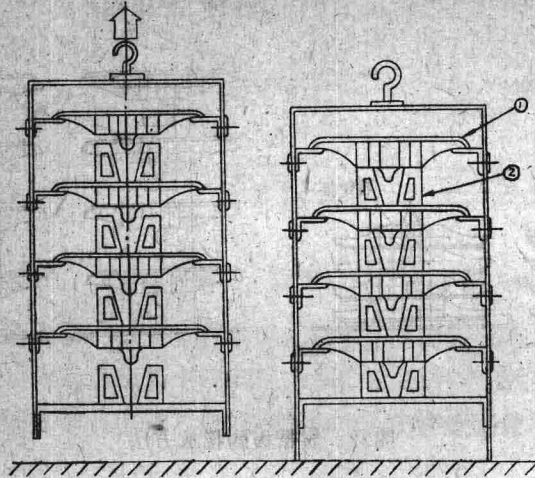


图24 履带板分离装置

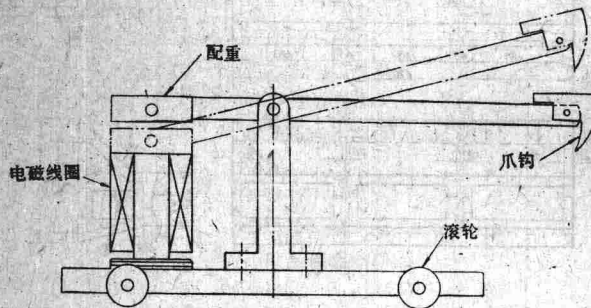


图25 履带板拉出装置

3.5 予期达到的效果

(1) 以往把正火与高频淬火分为 2 道工序，所需工时长，而本设备可于一道工序完成热处理，可使搬运费、工时和劳力显著减少。

(2) 由于把淬火装置分成许多层，故可同时对大量的履带板进行淬火。此方法可以提高均热炉的热效率，减小占地面积，并通过自动化来提高效率等，从而有可能大幅度地降低热处理成本。

- (3) 由于利用余热来进行回火，故不需要大容量的回火炉。
- (4) 此设备的机构比较简单，不易发生故障。
- (5) 总的来说，可以同时达到降低成本和提高性能的目的。

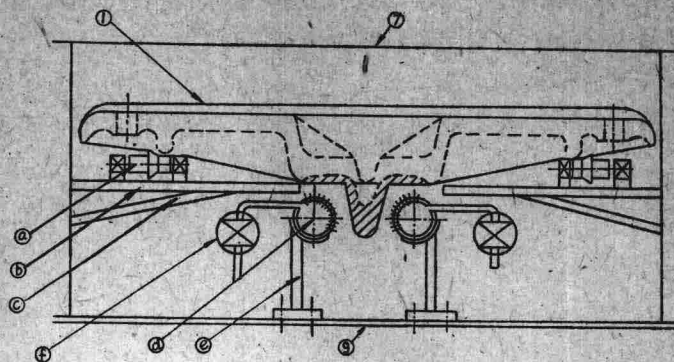


图26 淬火装置的草图

5. 结 语

- (1) 在整个履带板加热后正火的过程中进行局部淬火，找出了获得所需淬硬层的冷却条件与方法。
- (2) 用此方法处理过的履带板的实物试验表明，断裂载荷约提高10%。
- (3) 设计出一套工业用热处理设备。

报告完成日期：1972年12月

摘 要

工程机械履带上的履带板，通过改用硼铸钢，有可能显著地缩短热处理工序并提高性能，因此，本文提出了一种实用的履带板热处理设备的设计方案。

本文首先探讨履带板的淬火条件与淬火深度之间的关系，并确定水冷的条件。然后，以此为基础，设计了一套末端装有连续加热炉的连续淬火设备。