



热处理译文集

(一)

渗 硼 专 辑



上海市机械制造工艺研究所

一 九 七 四 年

A

前 言

渗硼是现代化学热处理方法之一。零件经渗硼后具有高的硬度 ($H_v 1280 \sim 2000$)、高的耐磨性和好的红硬性以及一定的耐热性,并且在某些酸内(盐酸和硫酸)和硷内具有抗蚀性。因此,应用在石油采矿工业中的高压阀门闸板、煤水泵的密封套、泥浆泵和深井泵的缸套、活塞杆、拖拉机的履带节以及压铸机零件和各种类型的模具上很为有效。

渗硼作为一个方法,早在十九世纪末期,就已经认识并对此进行尝试。但由于脆性等一些工艺不够完善,以后一直无显著的进展。最近十余年来,由于渗硼层的耐磨性,远非一般表面硬化层所可比拟,而且获得的方法又较简易,所以国内外(日本、苏联、德国、美国等)对此又纷纷从事研究。特别是最近几年,渗硼工艺本身在技术上的发展已经较为成熟。所以在国外将渗硼誉之谓“七十年代表面硬化技术的新动向”。

必须指出,早在大跃进时期,我国就已经独特地选用硼砂+碳化硅的液体渗硼盐浴,国外(苏联、日本等)在一九六九年以后才开始有类似的报导。

为了配合当前技术改造。我们选择了部分有关渗硼工艺方面(主要是方法、应用、相的组成和机理方面)的文章编译成册,供从事化学热处理和热处理专业的同志参考。

由于水平有限,错误之处,祈请批评指正。

编 译 者

一九七四年五月

毛主席语录

在学习外国的问题上，既要反对保守主义，又要反对教条主义。

外国一切好的经验，好的科学技术，我们都要吸收过来，为我们所用。拒绝向外国学习是不对的。当然，迷信外国认为外国的东西都是好的，也是不对的。……正确的态度应当是尊重科学，破除迷信。

科学技术这一仗一定要打，而且必须打好。不搞好科学技术，生产力无法提高。

目 录

一、关于钢渗硼的概述(德国).....	(1)
二、渗硼法的现状与展望(苏联).....	(11)
三、渗硼现状(日本).....	(17)
四、渗硼方法(美国).....	(26)
五、在熔融解质中钢的渗硼(苏联).....	(31)
六、 $4X_2B_2\Phi C$ 和 $4X_3BM\Phi$ 锻模钢的电解渗硼(苏联).....	(37)
七、低碳钢表面在硼砂和碳化硼热浴中渗硼硬化处理的研究(日本).....	(43)
八、各种金属和各种钢材在硼砂和碳化硼热浴中渗硼硬化处理的研究(日本).....	(49)
九、特殊钢的渗硼(德国).....	(54)
十、硼和碳化硼层气相沉积(美国).....	(60)
十一、纯铁由三氯化硼的渗硼处理(日本).....	(70)
十二、碳化硼——碱金属碳酸盐的钢铁渗硼(日本).....	(75)
十三、钢的表面硬化(美国).....	(82)
十四、渗硼模具的寿命(苏联).....	(85)
十五、压铸机上渗硼活塞的应用(苏联).....	(98)
十六、钢硼化物层的形成机理和生长机构的研究(德国).....	(91)
十七、渗硼的热加工模具钢中软带的形成(美国).....	(104)
十八、中碳合金钢渗硼时形成过渡区的结构和特性(苏联).....	(107)
十九、钢渗硼层相的组成(苏联).....	(112)
二十、渗硼处理中粘着熔融盐的清洗剂(日本).....	(117)

关于钢渗硼的概述

[德国]Heimnt Kunst Und Schaaber

象钢的表面用碳或氮来饱和那样(渗碳或氮化),也可以用硼来施加于钢的表面。这一个程称之为渗硼。但在渗碳时一般并不重视化合物层的出现,而渗硼的目的就是要造成这样的化合物层。它由硼化铁 Fe_2B 和 Fe_3B 所组成并在完全特殊的方法中与基本材料相连接,图1。

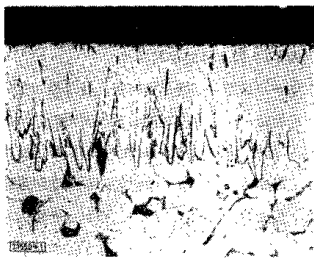


图 1

在特殊方式下与基体材料连接的硼化铁所组成的化合物区

这层是极硬的。它首先有由于高硬度所期待的良好耐磨性,因此在技术上引起了对于渗硼的兴趣。

硼化物层的形成

以前所知形成硼化物层的方法如表1所列。一些方法在技术上已经达到成熟,而其他的则迄今还在实验室中进行试验。最古老的方法是在硼粉中,在硼铁中或在碳化硼中渗硼。它的进行与在固体渗碳剂中渗碳相似。即把零件装入渗硼剂中,并在 $900-1000^{\circ}\text{C}$ 的温度中

表 1: 已知的渗硼方法

1. 固体渗硼

- a. 硼粉
- b. 硼铁、碳化硼
- c. 膏糊

2. 盐浴渗硼

- a. $\text{NaCl}-\text{BaCl}_2-\text{B}_4\text{C}$
- b. $\text{NaCl}-\text{NaBF}_4-\text{B}_4\text{C}$

3. 电解渗硼

- a. 硼砂
- b. 硼砂 + 氯化钠

4. 气体渗硼

- a. 三氯化硼-氢气
- b. 乙硼烷-氢气

保持较长的时间。为了防止氧化,在用硼粉时必须在真空中或在氢气中工作,在用硼铁或碳化硼时必须用充分密封不漏气的马弗。在这种方法下,例如在硼铁中通过加热到 1000°C ,20小时在C54钢上形成260微米厚的渗硼层。与之相反,在表1中1C所引的方法(膏糊)下,则渗硼时间大为缩短[1]。此法是用糊剂敷在工件上,由50%碳化硼和冰晶石(Na_3AlF_6)连同硅酸乙酯作为粘结剂所组成,并在 100°C 下干燥一小时。通过高频加热,在C45钢上得到125微米的硼化物层。此法的缺点是:层的厚度不均匀以及粉末颗粒局部焊合在表面上。

45%氯化钠和氯化钡与10%碳化硼[2]的熔融物可以作为渗硼盐浴之用。氯化钠,氟硼酸钠和碳化硼或硼铁[3]的混合物作用更好,对此大约80%氯化钠,15%氟硼酸钠和5%碳化硼似乎是最适宜的成分。一般认为氟硼酸钠分解时所形成的三氯化硼对于渗硼起作用。可是并非如此,显然它仅起活化剂的作用,因此碳化硼的加入是完全必要的。用这种盐浴可在 950°C 通过五小时的处理在C10钢上获得200微米厚的渗硼层。

以往极大多数的渗硼方法是在熔融硼砂中电解。这里以试样作为阴极,与5至10伏的直流电相接通,并以石墨棒作为阳极。所感到困难的是,还没有发现能够抵抗熔融硼砂的坩埚材料。为了防止坩埚的腐蚀,可把硼砂放在已凝固的硼砂壳中熔化,也就是说,利用电极由内加热,坩埚由外冷却。加热和冷却应调节得使坩埚总是通过一层已凝固的硼砂处在熔融硼砂的侵蚀之前。防护的其次可能性是对铁坩埚放上接触电位[3], (图2)。技术上应用的大

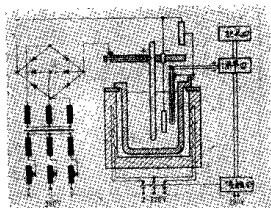


图2

电解渗硼设备示意图

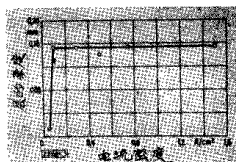


图3

在渗硼时渗硼层的厚度与
电流密度的关系

型支承环的渗硼是很合适的,在此情况下形成重叠在坩埚上的若干环,普通以0.2安/平方厘米

的电流密度来工作；较大的电流密度并无益处（图3）。表2所示是在熔融硼砂中可能引

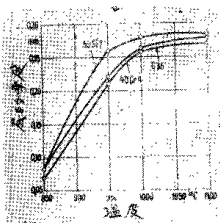


图4

钢在渗硼时渗硼层的厚度与渗硼温度的关系

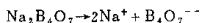
起的反应。图4指出在电解渗硼时可能获得的渗硼层的厚度与渗硼温度的关系。此外，可在例如75%硼砂和25% NaCl的混合物中渗硼；由此获得大致与在没有混合的硼砂中相同的

渗硼层的厚度。但从而可以进一步避免在硼砂中渗硼的缺点。在硼砂中电解渗硼时在试样上形成粘滞的壳，这是在反应时形成的由过剩的硼和硼砂所组成的氧化钠，并可随着处理的温度和时间达到10毫米的厚度。这层壳极紧紧地粘在试样上，只有经过在水中长时间的煮沸和刷净才能去掉。在氯化钠—硼砂中处理时诚然也同样形成一层壳，但这是极容易剥落。此外，极为粘滞的熔融硼砂由加入氯化钠而容易流动，因此可以容易调节温度〔3〕。

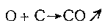
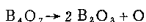
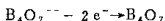
气体渗硼可能是“最热门”的渗硼方法。但由于高的材料费用而难以较大规模的工业应用。用氢作为载体或者不用加入剂的三氯化硼 BCl_3 或乙硼烷 B_2H_6 来进行渗硼。在使用三氯化硼或乙硼烷的情况下反应过程原则上是不同的（表2）。三氯化硼与铁进入互换反应，也就是说，形成元素硼和氯化铁（Ⅲ）。与之相反，乙硼烷在温度超过 550°C 时分解为元素硼和氢。因此使用高频加热极为有利，因为这时乙硼烷立即在试样上分解，以便元素硼沉淀在试样上且可从外扩散。到目前为止已经知道的各种方法是有关加热的种类（感应炉或管式

表2： 渗硼时的反应

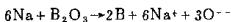
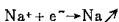
1. 在硼砂中的电解



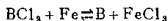
阳极



阴极



2. 在 BCl_3 中



3. 在 B_2H_6 中

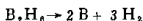


表 3: 钢在按照不同方法渗硼时可达到的渗硼层的厚度

方 法	时间 小时	温度 °C	钢 号	层的厚度 微米
在硼铁中固体渗硼	20	1000	C54	260
在硼粉中固体渗硼	3	1050	CK10	250
膏糊渗硼高频加热	0.05	1200	C45	125
盐浴渗硼 80%NaCl, 15%NaBF ₄ , 5%B ₄ C	5	950	C10	200
电解渗硼	4	950	C35	215
	4	1000	55Si7	275
气体渗硼 B ₂ H ₆ -H ₂ 1:25	6	850	C45	150

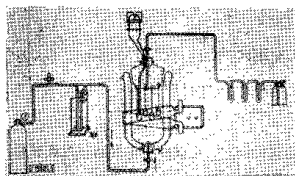


图 5

按 Zigac 用乙硼烷—氢—混合物渗硼
的实验室设备

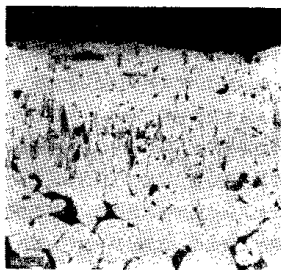


图 6

在无定形硼中在 1000°C 下五小
时后形成的硼化物层

炉中), 气体的净化, 压力的调节等等。图 5 所示是 Zigac 所用的设备。它用 1:25 至 1:100 的乙硼烷—氢 混合物在感应加热下渗硼并在 800 至 850 °C 下六小时后获得 150 微米厚的渗硼层。

表 3 所列是由文献汇集并根据作者的测定各种渗硼法可以获得的渗硼层的厚度。事实上以往的研究几乎完全限于非合金钢。只有两位苏联作者 [7,8] 的研究是有关对于合金元素的影响。这范围还需要进一步作详细的研究。

金 相

图6所示是典型的硼化物层(在 1000°C 下无定形的硼中五小时后所形成)。可以看出内部由大约含9%硼的 Fe_2B 所组成的光亮区以及外部由含16%硼的 FeB 所组成略为暗淡



图7—9

在 1000°C 下三小时后可在各種鋼上形成的硼
化物層

[10]。在高合金铬镍钢上的渗硼层有另外的形状[3]。它而且也由两种不同的但平滑的硼化物所组成(图10)。晶界析出的成分尚未加以研究。

渗硼工件的性能

渗硼工件的突出性能是高的表面硬度。在各种文献中指出极为不同的硬度值。一部分得出30000公斤/平方毫米的硬度。但这是以很小的负荷来测定的并也许是通过表面效应来模仿。总的大致可以讲,假定试验负荷不是选择得使渗硼层打穿的话,那末在碳钢上形成

的区域。两种硼化物的比例显然决定于渗硼的方法,电解渗硼的试样有较大部分的 FeB 。图7至9所示是在阿姆可铁, C10和C100上渗硼层的不同形成。由这些图可清楚地看出,在C100上的层(图9)较薄,但较为致密。碳显然阻碍层的增加。此外在C100的化合物区的下面有白色的层,按照某些作者[9]的意见此层是渗碳体。而其它作者的意见是碳化物(Karboboride)或者是 FeMnBnC 类型的化合物



图10

在合金鋼($10\text{CrNi}18.8$)上的
硼化物層

的渗硼层大约有 1700 到 1900 公斤/平方毫米的硬度。根据 MiKevic[5] 在 950°C 重复加热之后也还保持此硬度。当然这时出现裂缝。在少数用合金钢进行的试验下指出极高的硬度, 例如在铬镍不锈钢上为 2200 至 2500 公斤/平方毫米[3]。当然此层极脆。硼化物层的脆性是一尚未说明的问题。虽然在文献中说明这种脆性对于技术上的使用往往感到不便, 但 Ormig 和 Schaaber[3] 在抗弯和抗拉试验时并未确定硼化物层的过分脆性。首先在 1 至 2% 较大的延伸下, 外面在显微照相中模糊的试样层裂开。在切割轮上切开时可以看出, 当硼化物层切开时大部分由此裂开。

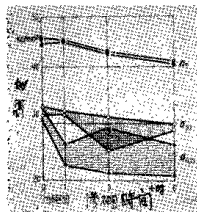


图 11
CK10 钢渗硼的抗拉强度
(渗硼温度 915°C)

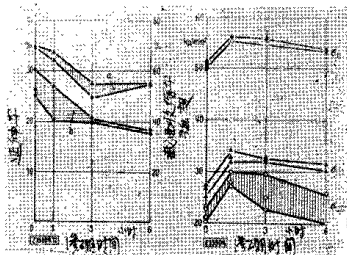


图 12

CK10 钢试样的截面
收缩率和延伸率, (渗
硼温度 915°C)

a. 截面收缩率 b. 延伸率

图 13

CK10 钢渗硼的抗压
强度(渗硼温度 917°C)

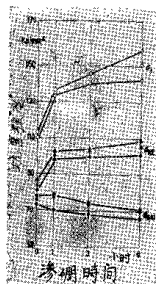


图 14
CK45 钢的抗
弯强度
(渗硼温度
919°C)



图 15
按照
SKoda-Sawin
耐磨试验机

通过渗硼对于钢的强度值发生不同的影响。图11和图12指出抗拉试验的值，比不渗硼的钢为小〔3〕。在抗压试验时（图13），对于渗硼一小时的试样获得最大的强度值。通过较长时间的渗硼，值略为下降〔3〕。在抗弯试验时，强度值较大（图14）〔3〕。在增加弯曲负荷的情况下，如果硼化物层部分在压缩面裂开，那么试样弯曲跳跃式地增大。冲击韧性通过渗硼仅微小地下降。许多作者〔5〕指出渗硼的工件增加热强度，以往没有对此测定。耐蚀性往往认为提高，但到目前为止也没有得出结论。耐蚀钢在渗硼之后显然较易腐蚀。遗憾的是，硼化

表 4： 镀硬铬和渗硼试样在线材
轧机上滑动的耐久性

试 验 号	寿命, 小时	滚轧的金属, 米
	镀硬铬	
3—4	6 2	2 8 4 1
6—10	6 0	2 7 6 8
7—12	4 8	2 2 1 4
	渗硼	
13—20	8 5	4 1 3 3
14—18	12 1	5 6 0 9
15—24	5 9	2 7 2 3
16—21	17 0	8 1 5 9
17—19	10 8	4 9 8 2
22—23	10 6	4 7 5 4

物层的第二特出的性能（其耐磨性）在实验室中难以测定。以往所知仅有的测量结果是由 Ornig 和 Schaaber〔3〕按按两种不同方法测定的耐磨值。第一种是按照 Skoda—Sawin 所用的方法，第二种是按照 Eysell〔11〕所用的方法。在 Skoda—Sawin 的耐磨试验机（图15）的情况下，用不同的速度和负荷以硬质合金轮与试样对磨。用 0.5% 的重铬酸钾溶液作为冷却液。在一定转数后测定的磨入容积就是磨损的尺

度。按照此法测定的值极为分散，因此只能作出质量上的说明。加以在小的转速和负荷下，冷却剂显然起腐蚀作用，因此结果完全被改窜。第二方法的值较为准确。这是用 C10 钢所制的被柱体以可变的负荷压在旋转的圆形试样上（图16）。这里以试样重量的减轻作为磨损的尺度。图17所示是这种试验的结果。渗硼的试样和盐浴

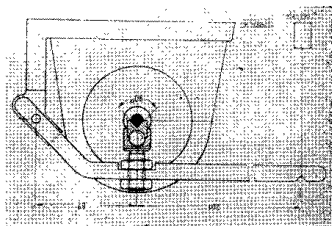


图 16

按照 Eysell 的耐磨试验机

氮化试样的比较,清楚地指出渗硼试样的磨损非常之小。

较为适合实际情况的是其他两种耐磨试验。第一种试验〔12〕是把渗硼试样和镀硬铬试样放在线材轧机上滑动作互相比较,结果如表4所列。

另一种方法是比较渗硼的导线槽和镀硬铬的导线槽。

一年半的试验结果如图18所列。

在渗硼时的问题

在渗硼时发生的重量增加是可以忽略的,它是与所取得的硼相适应。但此外还发生尺寸的变化。大约100微米厚的硼化物层产生35微米的尺寸变化。由于它的高硬度一般不作再加工,所以工件必须制成比规定尺寸为小的相应大小。

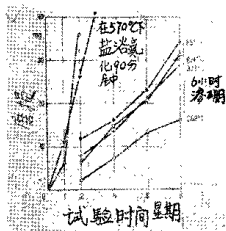


图17

盐浴氮化和渗硼试样的磨损比较

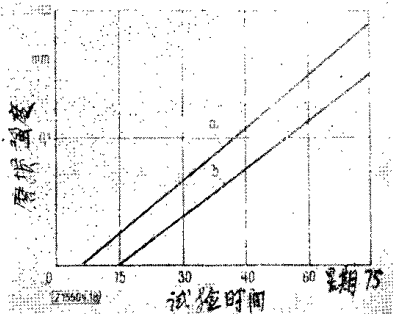


图18

在钢制导线槽上的磨损(线速度680米/分)

a. 镀硬铬 b. 渗硼

便勿使发生这种阴影作用。

只有在基体材料有足够高的强度值时才能利用硼化物层的硬度。在电解渗硼时,试样在

一个首先在电解渗硼时发生而尚未最后解决的问题是工件的变形。此法在目前的安排下总是试样一边转向阳极另一边由此转开,这是清楚的。转向阳极的一边所取得的硼较另一边为多,也就是说,发生象镀锌那样的“阴影作用”。由于所取得的硼多少的不同并由此而有不同的尺寸变化,因此发生或多或少的变形。在技术上应用此法时必须通过适当安排电极和调节电流密度,以

渗硼浴中取出后必须在空气中缓慢地冷却。此时在试样周围的熔融的壳使热传递更为恶化，亦即试样极为缓慢冷却。硼化物层实际上处在一软化退火的基体材料上。试验了通过附加的热处理使基体材料对于硼化物层更有支承能力。假如把钢从渗硼浴中取出后立即急冷的话，那么在此情况下也妨碍了难熔于水的熔融物壳获得足够大的冷却速度。在附加加热到淬火温度时，硼化物层极易裂开。但如有可能使硼工件加热到淬火温度而不形成裂纹，那么极温和的冷却可防止再发生裂纹。通过在化合物层之下溶解在扩散区中的硼（大约0.002%）使钢的淬透性获得提高，即使在比较缓慢的冷却下大多数也能发生足够的硬化区。另一在气体渗硼中可以提高承受强度的方法是中断供给气体，但试样仍在炉中。因为富硼的 FeB 分解并与剩余的硼形成 Fe_2B ，可以，此时在实际上硬度恒定，层厚加大。

进行了渗硼与渗碳和氮化复合的试验，即在渗硼后在盐浴中或气体中渗碳或氮化。这种试验并未获得成果。在两种情况下形成的硼化物层都是不粘附于试样上的软的粉末状物质。但为了最后的理解，整个问题还研究得太少。

假如在渗硼后需要在被处理的工件上例如钻孔，铣键槽等，那么个别地位必须防止渗硼。最初在电解渗硼时进行试验，使一部分不完全浸入熔盐中并由此达到部分渗硼。但在此情况下在界面发生空气腐蚀，这在六至八小时较长的渗硼时间下可以引起1毫米以上的凹陷。以往所知的仅有的可能性是按照Taran和Skugorora的建议[13]，在被防护的地位上镀一层厚的铜，此铜的厚度决定于渗硼的时间及其所用的温度。对于在 $950^{\circ}C$ 的两小时的渗硼，铜层需要0.14毫米的厚度。由于硼可以通过很薄的缝隙或毛孔进入基体材料，所以铜层必须是十分厚的。

应 用

到目前为止，所知道的应用并不太多，而且几乎完全都来自苏联文献。对于采矿工业，石油泥浆泵的轴承环按照两种方式电解渗硼[4]。此零件长600毫米，直径220毫米和大约有100公斤的重量。材料是C45钢。一次是按照普通方法在大的坩锅中渗硼；这时阳极位于环的中间。处理时间为六小时，处理温度为 $900-950^{\circ}C$ ，电流密度0.15安/平方厘米。由此获得0.1—0.15毫米的渗硼层厚度。第二种方式除不用坩锅外其他条件相同，拉紧在一起的环本身作为坩锅之用。这种在油、水和泥浆混合物中工作的环通过渗硼，其使用时间比表面淬火，氮化或镀硬铬的环长4倍以上。采矿工业其他经受摩擦的零件，例如钻头、钻杆的万向活接等，也必须渗硼，但对此没有确切的资料。按照Morosova[2]，渗硼的Ck80

钢切削工具钢的寿命仅略低于高速钢。近来根据Minkwic未发表的报导,拖拉机履带的渗硼亦获得了效果。在技术上很少使用渗硼的原因有三:第一,渗硼是极新的方法,不大知道;第二,在实际试验中可能造成缺点,对此还没有发表;第三,往往对于渗硼的零件没有公开的报导。

参 考 文 献

- [1] Minkevic, A.N., u.G.N.Uilybin; Metalloved. i term. Obrabotka met.(1959) Nr. 4, 48/51.
- [2] MoroSova, E.M., u. F. R. Florensova; Sb. Statejlaborat. met. JeNIMS Masgis (1949) Zitiert nach[5]
- [3] Ornig, H., u.O.Schaaber; Harterei-Techn. Mitt. 17 (1962) Nr 3, S.131/40
- [4] Mylni kov, G.V.; Neftjanoe ChoSjaistvo (1957) Nr.I, S.36/39
- [5] Minkevic, A. N.; Chemisch-thermische Oberflächenbehandlung von Stahl. Berlin; VEB Verlag Technik (1953) s.bes S. 45/47.
- [6] Sigac, A.F. et al.; Metalloved. i term. Obrabotka met. (1959) Nr. 4, S. 45/47.
- [7] Taran, V.D., u.L.P.Skugorova; Metalloved. i term. obrabotka met.(1957) Nr. 6, S.43/47.
- [8] Lachtin, Yu.M., u.M. A. Peelkina; Metallov-ed. i term obrabotka met (1961) Nr. 3, S 27/35.
- [9] Minkevic, A.N.; Harterei-Techn. Mitt 17 (1962) Nr. 3, S. 141/47
- [10] Morosova, E.M., Sb. statei laborat, met. JeNIMS Masgis (1949) zitiert nach[5].
- [11] Eysell, F.W.; Durferriit-Hausmitteilungen (1955) Nr.28, S. 7/18.
- [12] Trisevskij, I.S., V.V.Klepanda u. A.V. Orlov; Stal' 19 (1959) Nr. 4, S.342/44.
- [13] Taran, V.D., u.L.P. Skugorova; Metallov-ed. i term. Obrabotka met (1960) Nr.I, S.2/5.

译自《VDI-Zeitschrift》Nr. 2, Januar 1965, S49/54

渗硼法的现状与展望

〔苏联〕А.С. АЯХОВИЧ

渗硼层的高硬度、高耐磨性、高的耐热性、红硬性和耐蚀性，经常引起生产者对渗硼方法的注意。但是渗硼使脆性提高，由于对渗硼法本身和渗层的主要性能以及渗硼法的工艺制定和经济指标研究得还不够充分，所以阻碍了渗硼法的实际应用。

因此，近十年来，人们进行了许多探索，仔细地研究了渗硼装置的工作能力，各种金属和合金渗硼层形成的动力学，它们的相位组成及其性能。详细地研究了各种碳素结构钢和合金结构钢以及工具钢的渗硼过程。

研究了渗硼的各种工艺方法——液体的、电解的、低温的等等。

获得了渗硼过程的主要参数，这些参数取决于机器零件（工具）的工作条件和制造这些零件所应用的材料。

运用渗硼法最广阔的领域是：①弯曲模，成形模和拉延模；②热冲压模；③工艺装备零件（弹性夹头和送料弹性夹头，各种类型十字头固定架装置等等）；④在各种磨料条件下工作的机器和机械零件（各类运输机、履带发动机和链条零件等等）；⑤压铸有色金属和合金的压铸模和压铸机零件；⑥在侵蚀性介质及在高温（ $800\sim 850^{\circ}\text{C}$ 以下）条件下工作的机器零件和夹具。

对上述各类产品渗硼的运用，无论由于提高耐久性，还是由于采用价格便宜和较为普通的钢（表1—4）的缘故，均获得显著的经济效果。铝合金压铸机（《Полаж900》《511》）的活塞渗硼可以提高其寿命1.5倍。

应该指出，为强化工模具采用渗硼可以用碳素钢或低合金钢代替贵重的3X2B8、P18、X12Φ1、X12M、等高合金钢（见表）。

工具和机器零件的渗硼，与工作尺寸的自由公差（ $\pm 0.04\sim 0.05$ 毫米）相比不引起任何困难。在对工作尺寸具有更严格的公差的零件渗硼时，应该在渗硼过程中对尺寸的变化引入修正值。对于绝大多数的零件，渗硼层的厚度不应超过150—200微米。

表 1 在磨料磨损条件下工具寿命的提高

工具的名称和用途	钢 号 旧的新的	渗硼方法	渗层深度 (微米)	热 处 理 规 范	采用或试 验工具的 企 业	使用条件 制 材 料 设 备	寿命 的增加
制造电绝缘子 $\pi\phi 21-13$ 的冲头	4 5 4 5	含有碳化硼 的液体法	1 8 0	从渗硼温 度正火	明斯克陶 瓷釉器厂	黏土性 物质 压机	1 倍
制造电绝缘子 $\pi\phi 21-25$ 的冲头	4 5 4 5	含有碳化硼 的液体法	1 8 0	从渗硼温 度正火	明斯克陶 瓷釉器厂	黏土性 物质 压机	1 倍
压制磁性电气小珠 的冲头	4 5 4 5	含有碳化硼 的液体法	2 0 0	从渗硼温 度正火	明斯克陶 瓷釉器厂	黏土性 物质 压机	2 倍
制造电绝缘子 $\pi\phi 21-13$ 的冲头	4 5 4 5	含有碳化硼 的液体法	2 0 0	从渗硼温 度正火	明斯克陶 瓷釉器厂	黏土性 物质 压机	1 倍
制造电绝缘子 $\pi\phi 21-25$ 的推料器	4 5 4 5	含有碳化硼 的液体法	2 0 0	从渗硼温 度正火	明斯克陶 瓷釉器厂	黏土性 物质 压机	1 倍
制造电绝缘子 $\pi\phi 05-2$ 的冲头	4 5 4 5	含有碳化硼 的液体法	2 0 0	从渗硼温 度正火	明斯克陶 瓷釉器厂	黏土性 物质 压机	1 倍
制造绝缘子 $\pi\phi 05-4$ 磁性小珠的阴模	4 5 4 5	含有碳化硼 的液体法		从渗硼温 度正火	明斯克陶 瓷釉器厂	黏土性 物质 压机	2~5 倍
		熔融液体: 70% 硼砂 + 20% B_4C + 10% Sic		从渗硼温 度正火	明斯克陶 瓷釉器厂	黏土性 物质 压机	1.5 5 倍
药品锭剂压片模 (阴模和阳模)	$\times 12$ M y 8	镀锌 + 渗硼	1 0 0	从渗硼温 度正火	医疗器械 附件厂	含 25% 无 机酸的三 甲铵乙内 脂	1-2 倍

如表 1—4 所示, 仅在明斯克的企业中采用渗硼法, 每年可以取得 6 万以上卢布的经济效果。

因此, 到目前为止, 在一定程度上解决了渗硼法在工业上广泛的或有限的采用的主要问题。

但是, 许多与应用渗硼有关的问题, 应当加以解决或补充试验。以及如渗硼过程中废料的中和, 拟制和应用制造坩埚的高效率材料等工艺问题还未充分地解决; 还需要解决硼砂的提炼和渗硼零件的热处理问题(渗硼层中裂纹和碎裂的形成, 硼化物层在各种活性介质中的

表 2 拉延模、弯曲模和成形模寿命的提高

工具的名称及其用途	钢 号		渗碳方法	渗层深度 (微米)	热处理		心部硬度 HRC	已进行试验 或应用渗碳 的企业	工具使用零件 所加工零件 的材料	使用条件 设备	提高的 寿命
	旧的	新的			淬火冷却 介质	回火 温度 °C					
冲制 MTZ-50 拖拉机燃烧弹簧套圈的阴模	У8	У8	电解法	150	空气			明斯克拖拉机厂	08кп钢板 厚度 = 1.5 毫米	100吨 偏心 压力机	1.5倍
深拉延旅行用 B-16 自行车链罩的阴模	P18	40x	用含碳化硼 的液体法	200	油	180~200	54—56	明斯克自行车厂	08кп, 10кп 钢板 ГОСТ 1050-60 机 厚度 0.8 mm (хилале)	1.80吨双 作用压力 机	2倍
海鸥照相机快门的拉延模和形成模	Х12 Φ1	40x	用含碳化硼 的液体法	170 820 840	油	160	60—62	伐维洛夫工厂	Λ-62 黄铜 厚度 = 1 mm	200吨 压力机	1—2倍
1-58拉延模 (10910721)	У8		用含碳化硼 的液体法	950	油	250~270	42—45	伐维洛夫工厂	Λ-62 黄铜 厚度 = 1 mm	100吨 压力机	7—9倍
旅行用自行车脚踏臂碗卷边和拉延阴模	У10	40x	用含碳化硼 的液体法	200	油	180~200	54—56	明斯克自行车厂	08кп, 钢板 ГОСТ 1050-60, 厚 1.5 mm	3.2吨 П-63 压力机	9倍
弯曲滚筒轴承保持架的冲头	ХХ15 ХХ15 СГ	ХХ15 ХХ15 СГ	用含碳化硼 的液体法	150 820 840	油	160	60—62	国营第十 —轴承厂	08кп, 10кп 扁钢 ГОСТ 503-41, 厚度 = 1.0 mm	84吨 A- 8.2 3压力 机	12倍
弯曲自行车车架套管和框架的辍子	У8	40x	用含碳化硼 的液体法	150	油	250~270	42—45	伐维洛夫工厂			5—7倍
ш-3774, ш-3775 弯曲模			用含碳化硼 的液体法	150	油	250~270	42—45	ПОИ <Мир>	08кп钢	1.8吨 压力机	3—4倍