

钢与铸铁的渗硼

〔苏〕 И.Г.瓦洛石宁

于琨 译

161.8

国防工业出版社

钢与铸铁的渗硼

〔苏〕 Л. П. 瓦洛石宁

于 琨 译

国防工业出版社



236572

内 容 简 介

本书是一本工业用钢铁渗碳手册。书中列举了各种牌号的结构钢、工具钢、特种钢以及铸铁的渗碳方法、规范与效果，简要地介绍了渗碳的原材料、设备与工艺操作，以及各种合金元素对渗碳过程的影响。书中包括大量的实验数据与图表。

本书可供热处理技术人员、工人及机械产品设计人员参考。

БОРИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТАЛЕЙ И ЧУГУНОВ

Л. Г. Воронин

Минск «БЕЛАРУСЬ» 1981

*

钢与铸铁的渗碳

[苏] Л. Г. 瓦洛石宁

于 琨 译

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/32 印张 6 1/2 137千字

1984年11月第一版 1984年11月第一次印刷 印数：0,001—4,100册

统一书号：15034·2715 定价：0.69元

前 言

近十年渗硼在国内外得到了广泛的发展。只要注意一下每年出版刊物的数量就可知道，渗硼已与工业中广泛应用的渗碳、渗氮、渗铝和渗铬不相上下。

在这个领域内工作的特点也发生了质的变化。与纯理论性和工艺性研究的同时，应用和推广性的工作也取得了很大的进展。一大批工厂企业、部门研究机构、工艺与设计局都参加了这方面的工作，而这些单位在以前是不从事渗硼工作的。很自然，这些单位不得不从头开始去掌握这一工艺，其中包括完成一定数量的试验工作来研究渗硼层形成的动力学、渗硼层的结构、相成分和性能，以及工业钢材在渗硼后的尺寸、表面光洁度和机械性能的变化等等。完成这些工作的必要性是因为有关工业钢材与合金渗硼的文献资料相当分散，不系统，而且往往不能互相对照。这就是为什么对那些在科研计划中已经清楚、而且也不是最高水平的问题多次重复进行研究的原因。这些研究结果实际上没有什么科学价值，但却是工业推广渗硼工艺所必需的。

目前所形成的这种状况不仅不利于工业上迅速掌握这种工艺，而且也造成人力和物力的浪费。

上述情况表明，必须为工厂企业的工作人员出版一本有关渗硼的手册，其中包括推广应用所必需的基本资料。

本手册主要取材于白俄罗斯工学院金相热处理教研室与

钢件强化实验室工作人员在作者直接参与或在其领导下所进行的工作。其中大部分材料是首次发表的。

钢均按化学成分分类。这就可以对每一类钢只给出一种最典型钢的具体数据，从而压缩手册的篇幅。在同一处理条件下，同类材料的硼化物层厚度、结构、相成分和性能上的差别很小，以致于在数值上与其均方根误差相差无几。

本手册中只引用了那些已经得到工业应用的渗硼工艺方法。

目 录

第一章 钢与铸铁的渗硼工艺	1
§ 1. 粉末包埋介质中渗硼的原材料、设备、装置及工艺	1
§ 2. 液体介质中渗硼的原材料、设备、装置及工艺	7
§ 3. 溶剂渗硼	12
§ 4. 气体渗硼工艺	14
第二章 钢的成分对渗硼结果的影响	16
§ 1. 碳的影响	16
§ 2. 合金元素的影响	24
第三章 工业结构钢的渗硼	51
§ 1. 低碳钢(10、15、20、25) 渗硼	51
§ 2. 中碳钢(35、40、45、50) 渗硼	64
§ 3. 锰钢 (40Г、40Г2、50Г、65Г) 渗硼	84
§ 4. 铬钢 (30X2、35X、40X、45X、45X2、50X) 渗硼	91
§ 5. 镍钢 (30H、40H、40H2、40H3、50H) 渗硼	98
§ 6. 硅钢 (40C、60C、40C2、55C2、60C2) 渗硼	101
§ 7. 铬镍钢 (30XH2、40XH、45XH) 渗硼	107
§ 8. 25X5MA型铬钼钢渗硼	112
§ 9. 铬钨钢 (37XC、38XC、40XCA) 渗硼	115
§ 10. 铬锰钛钢 (30XГТ、35XГТ、40XГТ、45XГТ) 渗硼	121

§ 11. 铬镍钼钢 (30X11M、30X2HM、30X2H2M、40X11MA)	
渗硼	123
第四章 工业工具钢的渗硼	126
§ 1. 碳钢(Y7、Y8、Y10、Y12) 渗硼	126
§ 2. 铬钢渗硼	139
§ 3. XHГ型 (XBГ、XBCГ、9XBГ) 高淬透性复杂合金钢	
渗硼	152
§ 4. 5XHB型 (5X11M、5XHB、5XHCB、5XHT、5XГM) 高淬透性、高韧性半耐热钢渗硼	157
§ 5. 3X2B8及 45X3B3MΦC型高韧性耐热钢渗硼	163
§ 6. 高速钢 (P6M3、P6M5、P9、P12、P18) 渗硼	172
第五章 特种钢的渗硼	178
§ 1. 铬不锈钢 (10X13、20X13、30X13、40X13)	
渗硼	178
§ 2. X18H10型 (X18H9T、X18H10、X18H10T、X18H11、OX10H20T2等) 镍铬奥氏体钢渗硼	182
第六章 铸铁渗硼	188
参考文献	199
苏联与中国常用钢材牌号对照表	201

第一章 钢与铸铁的渗硼工艺

§ 1. 粉末包埋介质中渗硼的原材料、设备、装置及工艺

在此种渗硼方法中使用各种含硼物质的粉末作为基本的包埋介质——渗剂（表1）。

在目前已知的固体渗硼剂中偏重使用以工业碳化硼为主要成分的粉末混合物或金属热还原混合物。前者工艺性较其他的为好，而后者在相同的渗硼能力下要便宜得多^[5]。

使用前，粉末渗剂的所有组分均应烘干并磨细到必需的尺寸，而碳化硼还要进一步在350~400℃烘烤1.5~2小时。反应混合物在使用前应在滚筒式混料机中混匀。为此通常使用容量为15~20升的滚筒。混合是在滚筒转速约60转/分的条件下进行30分钟。在混合过程中某些组分也同时被磨细。为将渗剂的各组分和做好了渗剂过筛，使用配有网眼尺寸由2~3毫米至0.2~0.3毫米的成套筛网的电动振动筛。

碳化硼粉末作渗剂可以多次使用（10到30次）。其余的渗剂经2~5次渗硼使用后用添加10~30%新料的方法使其再生。

容器的装料按下列顺序进行。在容器底部放上一层20~30毫米厚捣紧了的渗剂。然后放入零件，零件到容器壁以及零件之间的距离不小于15~20毫米。将零件用渗剂埋上，然后捣紧。零件层与层之间的距离应不小于20毫米，而上缘到容器口应不小于50毫米。

表 1 推荐使用的渗剂成分及粉末冶金工艺规范

方法	方式	渗剂成分, % (重量)	处理规范		相组成
			温度, °C	时间, 小时	
粉末	密封箱中	无定形硼或碳化硼粉末 + 30~40% 活化剂 (Al_2O_3 , SiO_2 , MgO) + 1~3% 活化剂 (NH_4Cl , NaF , AlF_3 等)	950~1050	3~5	$\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$
		硼铁或粗硼铁粉末 + 30~40% Al_2O_3 + 1~3% NH_4Cl	950~1050	3~5	$\text{Fe}_2\text{B} + \alpha$ 相
		100% B_4C	900~1000	4~6	$\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$
	开口容器中	50% B_4C + 43% Al_2O_3 + 3% KBF_4 + 4% NaCl ,	970	3~4	$\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$
金属热还原粉末	真空中	《爱卡硼-2》, 《爱卡硼-3》	900	4~12	Fe_2B
	保护气氛中	100% B(无定形)	900~1050	2~4	$\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$
	导电混合料中	1.0~1.5% Na_2CO_3 + 0.5~1.0% CaCO_3 + 98.5~96.5% B_4C	900~1000	3~6	$\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$
	流态床中	(30~32% B_4C + 40% B_4C + 30~28% SiO_2) + 2.5~10% 活化剂 (MgF_2 , KBF_4 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, NH_4Cl) + 70% 硼铁 + 20% B(无定形) + 10% B_4C	950~1050	1~4	$\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$
金属热还原粉末	密封箱中	99.5% [70% Al_2O_3 + 30% (25% Al + 75% B_2O_3)] + 0.5% NaF	950~1050	5~7	Fe_2B
		99.5% [80% Al_2O_3 + 20% (50% CK25 + 50% B_2O_3)] + 0.5% NaF	950~1050	2~8	$\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$

● 原书中为 30~32% Γ , 有误, Γ 应为 B, 即无定形硼。——译注

粉末中埋渗过程本身可以按不同的方式进行：在密封与非密封容器中，在中性与保护气氛中，在真空中，在含硼粉末的流态床中。应用得最广泛的是在密封容器中的固态渗硼法。

通常用可熔性封盖进行容器的密封。在渗剂的表面上放一张石棉板，在石棉板上撒上一层40~50毫米厚的干砂子和同样数量的硼酐，使其在熔化之后在砂的表面形成一层致密的玻璃——可熔性封盖。

硼酐在比较低的温度下软化，把容器与炉内气氛隔离。随着温度的升高，砂溶于其中，提高了熔融物的粘性，从而保持了封盖的工作效果。可熔性封盖形成的温度应在500~700°C范围内。

把准备好的埋渗容器放入加热到反应温度的炉中。任何能保证达到要求温度（900~1050°C）并具有足够炉膛尺寸的炉子（电炉、煤气炉等）均适合进行埋渗处理。容器热透的时间可按100毫米容器截面加热30分钟来计算。

容器冷却后将可熔性封盖打碎，拿掉石棉板和砂子，把渗剂连同处理好的零件倒在地上。把渗剂从零件表面上清除掉一般并不困难。为了避免碳化硼（渗剂）粘结到处理零件的表面上，最好在温度不低于150~80°C时把零件从容器中取出。

制造容器较好的材料是截取一段壁厚不小于5毫米的耐热钢管。从同一种钢的钢板上切取一块容器底，用双焊缝把它焊上。容器的大小根据欲渗零件和炉膛的尺寸来确定。上述渗硼方法的主要优点是简单易行。

在碳化硼粉末中渗硼的缺点可归纳为：渗剂价格高，容

器的装料取料工作繁重，无法使工作繁重的操作机械化与自动化，容器不耐用，文明生产差。

在采用金属热还原法渗硼时硼来源于硼酐 (B_2O_3)。推荐作为实际应用的金属热还原渗剂的成分列于表 1。

在金属热还原渗剂中渗硼的工艺过程可按两种方式进行^[8,10]：

1. 平行法——处理的零件在容器里埋入（按通常的顺序）原始的渗剂中，而且在还原反应进行的时候仍在其中。容器用可熔性封盖密封。扩散层在还原反应进行的时候和在它完成以后在处理温度下保温时形成；

2. 分离法——还原反应脱离被处理的零件单独进行。

渗剂组分按要求配比放入混料滚筒仔细混合 30~40 分钟。不得用手工混合，因为不能保证必要的混合质量，并会降低渗剂的反应能力。

经混合后，渗剂从滚筒中取出，装入容器，捣紧，盖上钢板或石棉板并在温度 850~1000°C 进行还原。开始反应以后在炉中的保温时间为 1~10 分钟。保温时间过长会使渗剂氧化，故应避免。还原反应的开始可以根据容器壁激烈红热和大量放出气体来判断。

在还原反应结束之后，容器从炉中取出。在盖子上而撒上一层 20~30 毫米厚的砂子（为了防止氧化），并将容器在空气中冷却到室温。

在冷却后的渗剂中再加入 2% 重量的活化剂，并在铸件清理滚筒中磨细 20~30 分钟。零件在预先还原了的渗剂中的装料、容器的密封以及埋渗处理均按通常的步骤进行。

金属热还原渗剂不需翻新处理可以使用 2~3 次。此时

在每次使用之后应在渗剂中加入 1~2% 的活化剂。使用三次以后渗剂应进行再生，其方法是在渗剂中添加 20~30% 新的渗剂或者加入 2~3% Al 和 2~4% 活化剂。在所有情况下在渗剂中加入某些组分时必须在铸件清理(混料)滚筒中将其混匀。在遵守上述条件的情况下，渗剂可以使用 8~10 次。

上述渗硼方法在工艺上最不方便的环节是必需把容器进行密封(做可熔性封盖以及在埋渗以后将它去掉)。因此不用可熔性封盖密封容器的方法值得注意。零件按通常的步骤装入容器，撒上一层厚 2~3 毫米的渗剂，而在其上再撒上一层碳化硅 (SiC) (厚度大致为 10~30 毫米)。为了避免这些粉末混在一起，在它们之间放上一片薄铁(钢)板。碳化硅可以多次使用。这使粉末渗剂渗硼的工艺大大简化。

粉末介质中渗硼也可以在开口容量中进行。此时工艺操作的繁重性明显降低，但同时也减低了渗硼的速度并加速了渗剂组分的氧化，因此减少了它的使用次数。

从降低劳动强度、提高经济效率和改善文明生产的程度来看，使用保护气氛的粉末渗硼方法值得大大地注意。

这种渗硼方法的工业生产工艺在白俄罗斯汽车厂 (БелАЗ) 制定并推广。埋渗利用以碳化硼为主要成分的粉末渗剂和开口容器，在标准的井式渗碳炉内在煤油热分解产物的气氛中进行。

期望的效果——硼化物层形成的速度快、层内没有缺陷和表面状态良好——可以在使用碳酸钠与碳酸钙 (Na_2CO_3 , CaCO_3) 作为活化剂的情况下达到。作为实际应用，推荐如下成分配比的渗剂 (% 重量): 1.0~1.5% Na_2CO_3 + 0.5~1.0% CaCO_3 + 98.5~96.5% B_4C 。在容器上面盖上一块石棉

板。在石棉板上可以撒上一层厚50~60毫米的砂子。准备好埋渗的容器放入加热到渗硼温度的井式炉中。从放入容器时起开始送入煤油，到取出容器时结束。对于加热炉L120，煤油的消耗量为12~15滴/分。

渗硼在温度900~1000°C进行3~6小时（取决于需要的渗层厚度）。此时形成的硼化物层厚150~250微米，主要由硼化物 Fe_2B 组成。保温结束以后容器与炉子冷却到600°C，然后在空气中冷却。在室温下将容器打开。渗剂在渗硼过程中不会烧结。

使用两次以后渗剂进行再生，方法是加入1% Na_2CO_3 + 0.5% CaCO_3 （按渗剂的重量）。用再生处理的办法，渗剂使用的次数可达70次。

在小批量生产的情况下，这种渗硼方法最有前途。

在配备有工业真空炉的工厂里可以采用在开口容器中进行真空渗硼。用这种方法渗硼时，渗剂采用无定形硼或碳化硼的粉末比较合适。

装有零件、准备好渗硼的容器放入真空炉内，炉膛抽到压力 10^{-3} 托。只有在此以后才将炉子加热到渗硼温度。渗硼在这种压力下进行比较合理；无论增加还是减少剩余压力都会使硼化物层的厚度减少。渗硼后的零件最好在氩气中冷却。采用上述渗硼工艺时渗剂可以使用近50次。

令人十分感兴趣的是在导电渗剂中渗硼的工艺（见表1）。这种方法基于渗剂在通过直流或交流电时能发热这一特性。

埋渗在专门的装置上进行。零件装入耐火材料的渗罐内，撒上导电渗剂，用盖子盖上渗罐。在装置上借助于放在对立位置的两个电极（用低碳钢制造）通以10~50伏电压的工频

交流（直流）电。加热速度取决于电极的电流密度、渗剂紧密的程度、它的电阻和渗罐对外界的隔热能力。

由于渗剂的电阻率在加热过程中是变化的，因此必须调节埋渗过程中所需的能量。

§ 2. 液体介质中渗硼的原材料、设备、装置及工艺

液体介质中渗硼分为两种方法：电解质溶液中渗硼和熔融盐类与氧化物中渗硼。后一种方法本身又包括两种基本方式：液态电解法与液态非电解法，它们均得到了工业应用。

电解渗硼使用工业硼砂 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 作为熔融料的主要成分。

为了提高熔融料的流动性和扩散能力，往硼砂中加入 20%（重量）以下的 NaCl 或 10% 以下的 NaF 。在必需得到单相硼化物层的情况下往硼砂中加入 5~10% MnO （表 2）。

电解渗硼在专门的装置上进行。这种装置的主要部分是坩埚盐浴炉。目前使用的有两种盐浴炉：坩埚外热式的与坩埚内热式的。也有带有混合加热的工业试验性装置（ $\text{T}\oplus\text{H}$ 或碳化硅加热器与电极加热相配合）^[6,7]。

盐浴炉装有金属坩埚。金属坩埚用 X12H28、X23H13、X25H20C2 等钢材制造，壁厚 20~40 毫米。新坩埚使用前在 930~950°C、电流密度 0.1 安/厘米² 下渗硼 20~30 小时。

零件作为阴极接入电解回路（接负），石墨（牌号 $\Theta\Gamma-0$ ）或碳化硅棒作为阳极。石墨棒在使用前进行“玻璃化”（在熔融硼砂中保持 15~20 分钟）。负电也接至金属坩埚（阴极保护）。电源采用电动机-发电机组（AHД250/500、750/1500 等）和各种类型的整流器（BKГ-100A、BAГГ-600/12 等）。

表2 推荐使用的熔融料成分及电解与液态渗碳工艺规范

渗碳方法	渗碳方式	熔 融 料 成 分 (重量%)	渗 碳 观 范			相 组 成
			温度 t ($^{\circ}\text{C}$)	时间 τ (小时)	硬化物层 厚度 (毫米)	
液 态	电解法 ($j = 0.1 \sim 0.3$ 安/厘米 2)	100% $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (工业用)	800~1000	2~6	60~150	$\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$
		60~40% $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + 40\sim 60\% \text{B}_2\text{O}_3$	900~950	2~4	150~350	$\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$
		80% $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + 20\% \text{NaCl}$	800~950	2~4	50~300	$\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$
		95~90% $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + 5\sim 10\% \text{MnO}$	900	2~4	60~100	Fe_2B
		90% $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + 10\% \text{NaOH}$	600~800	4~6	25~100	$\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$
		30% $\text{LiCl} + 2\% \text{NaCl} + 38\% \text{KCl} + 15\% \text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7 + 9\% \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	550~750	2~10	20~80	$\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$
液 态	非电解法	30~40% $\text{B}_4\text{C} + 70\sim 60\% \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	900~1050	3~5	100~400	$\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$
		6% $\text{B} + 15\% \text{NaCl} + 70\% \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	850~950	2~5	50~250	$\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$
		20% $\text{CK}25 + 80\% \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	950~1050	2~6	100~300	$\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$
		10% $\text{LiF} + 6\% \text{NaF} + 34\% \text{KF} + 25\% \text{B}_2\text{O}_3 + 25\% \text{B}_4\text{C}$	550~650	6~12	10~35	$\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$
		35% $\text{SiC} + 65\% \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	900~1050	2~6	40~250	Fe_2B
		20% $\text{Mg}1 + 80\% \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	950~1000	2~6	100~300	Fe_2B
		10% $\phi\text{C}90 + 90\% \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	900~1000	2~6	50~200	Fe_2B
		30% $\text{CM}_{\text{H}17} + 8\sim 10\% \text{B}_2\text{O}_3 + 70\sim 60\% \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	850~1000	2~6	40~250	Fe_2B

坩埚外热式装置的使用准备工作按下列顺序进行。将硼砂装入炉内到坩埚高度的 $1/2 \sim 2/3$ ，然后加热到 $500 \sim 600^\circ\text{C}$ 并保温，使硼砂中的结晶水全部去除。此时应将硼砂反复搅拌。然后将炉温升至工作温度，硼砂即熔化。当熔融硼砂装满 $1/3 \sim 1/2$ 坩埚体积时，装上石墨电极并接通阴极保护电流（按 0.01安/厘米^2 计算）。电极应距离坩埚底不小于 100 毫米，距离坩埚壁不小于 30 毫米。剩下的硼砂应一小份一小份地（5～8 公斤）放入坩埚，均匀地撒在盐浴的液面上。当硼砂装到坩埚的预定高度以后，通过熔融料通以直流电（ $0.05 \sim 0.2\text{安/厘米}^2$ ）10～15 小时。此时硼砂中的杂质便沉积在坩埚壁上，硼砂变亮，表明可以进行工作。

在使用比硼砂更为复杂的熔融料作为电解质时，所有的补充的添加料在硼砂全部熔化以后一小份一小份地（2～5 公斤）加入。这些添加料应预先很好地烘干并磨细。

在电极加热（内热）式装置中熔化硼砂的步骤有些不同。在坩埚里装上交流电电极和镍铬合金做的专门的加热器。硼砂装到坩埚高度的一半并接通加热器（主加热器与副加热器）。随着硼砂的熔化以 5～10 公斤一份加入新的硼砂，将其均匀地撒在盐浴的液面上。在硼砂熔化到坩埚一半以后，取出副加热器，装上阳极并通上阴极保护电流。以后的盐槽准备工作与上述的没有什么不同。

需要渗硼的零件装在专门的夹具内放入炉中。在大批量生产中这种夹具用不锈钢制造，面小批量时用碳钢制造。新制造的夹具在使用前应进行渗硼（ $t = 900 \sim 950^\circ\text{C}$ ， $\tau = 5 \sim 15$ 小时， $j = 0.1 \sim 0.2\text{安/厘米}^2$ ）。零件在夹具上的排列安放应使它们对于正电荷的电极来说不互相遮挡。放入熔融料之

前夹具连同零件应在盐溶液面之上烘烤（10~15分钟）。零件应平稳地放入熔融料中。零件进入熔融料液面以下20~50毫米之后接通电解电流。电解电流按 $0.1 \sim 0.25$ 安/厘米²计算。通常渗硼在880~980℃进行。时间长短根据渗硼层厚度的要求选定。

为了电解硼砂除了直流电外还可以使用换向电流或不对称的交流电。

渗硼过程结束后断开电解电流，从熔融料中取出零件，在空气中冷却或者直接进行淬火。

零件在热水中进行清洗（ $t = 80 \sim 90^\circ\text{C}$ ， $\tau = 2 \sim 3$ 小时）以除去残留的熔融料及渣滓。为了加速清洗过程有时使用超声波振荡。阳极处理（电极的极性改成反接并在此状态下工作10~15分钟）也是加快清理零件以除去渣滓的有效方法。阳极处理在零件从熔融料中取出以前进行。这种处理可以使零件随后在热水中清洗的时间缩短到15~30分钟。渗硼电解液的成分中若含有食盐，阳极处理则不应采用。电解液的精炼与更换根据需要进行。

电解渗硼首先推荐大批量生产使用。这种渗硼方法的特点是生产效率高、处理结果稳定、扩散层质量好。但是它无法避免一系列明显的缺点，其中主要是坍塌和夹具的寿命低、夹具的装卸工作量大并且实际上无法机械化与自动化、难以在形状复杂的零件上获得均匀的扩散层、以及必需从零件上清除残留的电解质和渣滓。这种渗硼方法是最经济的渗硼方法之一。

液态渗硼在以碱金属的硼酸盐（主要是 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ）为基础的熔融料中进行。作为 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 及其它四硼酸盐的电化