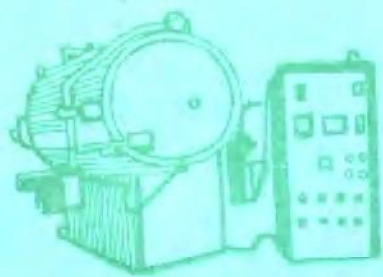


15  
机械制造  
实用新技术丛书



粟 祜 主编

# 化学热处理 与光亮热处理工艺

苏炎斌 胡存美 编著



56.8

国防工业出版社

机械制造实用新技术丛书之十五

# 化学热处理与光亮 热处理工艺

粟 枯 主编

苏炎斌 胡存美 编著

国防工业出版社

## 内 容 简 介

本书根据当前热处理工艺状况,介绍了有关化学热处理(渗碳、软氮化、渗硫)和光亮热处理(涂料防护、气体保护、局部热处理)的具体工艺技术,论述了现代热处理质量控制的基本要素和要求。

本书可供热处理专业工程技术人员和工人阅读,也可供有关专业的大、中专院校师生参考。

### 化学热处理与光亮热处理工艺

机械制造实用新技术丛书之十五

粟 枯 主编

苏炎斌 胡存美 编著

责任编辑 宋桂珍

\*

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

\*

850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张 3<sup>5</sup>/<sub>8</sub> 93千字

1984年11月第一版 1984年11月第一次印刷 印数: 00,001—10,200册

统一书号: 15034·2822 定价: 0.73元

## 作者的话

现代航空发动机制造是机械制造业的一个重要方面，具有机械制造的基本特点。它又是技术集约性的工业，集中应用了很多新的技术和新的工艺，其中多数对于机械制造业具有普遍推广的价值。七十年代末，我国从英国引进了斯贝 MK202 发动机及其制造技术，同时又有选择地引进了一些先进的机床设备。这项技术在一定程度上比较完整地反映了近代航空发动机制造的先进水平，通过生产实践也证明了这一点。

为了交流的方便，也为了能让更多的人有机会了解这些制造技术，我们整理编写了这套资料，命名为《机械制造实用新技术丛书》。所以这样命名，是因为我们在编写中遵照了下述原则：

1. 实用性。尽量避免一般性的理论叙述，力求使读者能较快的在实践中运用；
2. 先进性。我们只选择了那些更新颖更有意义的资料；
3. 揉合了我们在斯贝发动机试制工作中的实践经验，还综合了不少有价值的参考资料。

作者期望本套丛书对机械工业，特别是航空发动机制造行业的人们有所帮助，这将是对我们最大的鼓舞。

由于我们视界较窄，水平有限，错误缺点难免存在，欢迎读者批评指正。

本丛书由粟祜同志主编。参加审校工作的主要有：唐宏霞、钟礼治、胡贤惠、谭杰巍、王克强、姜仁忠等同志。

在本丛书编写和出版的过程中，王德荣、黄家豪、郑宝湖、郭治国、姚静梅等同志提供了许多宝贵意见，并参加了审校。还得到了国防科工委、航空工业部有关领导和同志们的大力支持及热情帮助，他们是魏祖治、陈少中、任家耕和贾克琴、张汉生等

同志。

热处理技术是充分发挥材料潜力、保证产品质量和延长零件寿命的重要措施，而在精密零件的制造中，先进的热处理技术尤为重要。本书主要是根据当前热处理工艺技术概况，具有针对性地介绍了一些先进的热处理工艺技术和热处理质量控制方面的问题。

本书由苏炎斌、胡存美编著，万育贤、黄季双、姜仁忠、陈知立、钟礼治审校，粟枯终审定稿。

在编写过程中，宋祖修、叶明华、姜龙、徐瑞芳、潘庆年、谢少平、王林然等同志提供了资料，还参考了本厂刘凯金、庆安机械厂姜约群、湘江机械厂罗学璋、621所熊季远和西安油漆厂郑有安等同志有关的技术总结，对在本书编写和出版工作中给予帮助和支持的同志，在此表示衷心感谢！

作者于西安  
国营红旗机械厂

# 目 录

绪论 .....	1
一、化学热处理 .....	2
(一) 气体渗碳 .....	2
(二) 新型软氮化盐浴 .....	22
(三) 液体渗硫 .....	31
二、渗金属 .....	37
(一) 粉末包埋渗铝 .....	40
(二) 离子镀膜-扩散渗铝 .....	57
(三) 无机盐料浆渗铝硅 .....	60
(四) 渗铬 .....	63
三、光亮热处理 .....	73
(一) 涂料防护热处理 .....	73
(二) 一种简易的气体保护热处理 .....	87
(三) 局部热处理 .....	90
四、现代热处理质量控制 .....	96
(一) 材料控制 .....	96
(二) 设备控制 .....	97
(三) 工艺控制 .....	101
(四) 生产控制 .....	107
(五) 检验 .....	110

## 绪 论

在机械制造行业中，热处理是十分重要的一个方面，是充分发挥材料潜力、保证产品质量、延长零件寿命的重要措施。而在精密零件制造中，先进的热处理技术尤为重要。

随着现代科学技术的发展，近些年来，机械制造工业，特别是航空、航天、化纤机械、电子等领域日益广泛地采用精密加工技术。为了延长零件的寿命，保证产品使用安全，对零件的表面质量提出了更加严格的要求。一般来说，重要零件的表面不得有脱碳、氧化、漏渗以及合金元素贫化等缺陷。

为了达到零件表面的高质量和保证零件性能均匀，对影响零件内在性能的热处理工艺，一方面要从管理上（如热处理炉的控温要求，炉温均匀性以及处理过程中的工艺控制等各个方面）作出明确的规定；另一方面，在技术上要普及真空热处理、保护气氛热处理等一些防氧化、少变形的光亮热处理工艺。

为了提高零件的抗腐蚀能力，广泛使用了渗金属保护涂层的新技术。其中粉末包埋渗铝工艺质量稳定，已普遍用于大批量生产。在渗单金属的基础上，又进一步发展了铝-铬、铬-硅、铝-铬-钼、钴-铬-铝-铌等多元金属共渗的技术。旧的盐浴工艺由于废盐以及盐浴蒸气的公害问题，已为盐浴软氮化和硫氮共渗等工艺所取代。

至于历史悠久的渗碳工艺，以吸热气作为载气的工艺现已逐渐为价格低廉的氨基甲醇气所代替。为使渗碳件质量稳定，重现性良好，各种碳势控制技术得到了较大的发展。

此外，微处理机自动程控技术在热处理上的应用已经越来越普遍，在许多先进工业国家已经推广使用闭环自适应控制系统控制整个热处理过程，从而减少了人为操作的不稳定因素，为提高

产品质量迈进了一大步。

近年来，我国的热处理技术有了较大的进展，但与国外相比还有一定差距。本书在引进技术的基础上，结合生产实践，介绍了几种先进实用的热处理工艺，希望对我国机械制造工业的热处理实用技术能有所裨益。

## 一、化学热处理

机械工业的发展，对某些机械零件提出了一些特殊性能要求。如要求表面耐磨、抗腐蚀等，同时又要求整个零件具有一定的综合机械性能。为达到这一目的，一种方法是，使零件表面和心部接受不同的热处理，这种方法通常称为表面淬火法。另一种方法是改变零件表面成份和组织，从而在表面和中心获得不同的性能，这便是化学热处理，如渗碳、氰化、氮化、软氮化、渗硫、渗金属等等。本章将介绍渗碳、软氮化和渗硫的工艺技术。由于渗金属技术发展迅速，我们将在专门的章节中叙述。

### （一）气体渗碳

渗碳是机械制造工业中广泛采用的一种热处理工艺，其种类和方法很多。通常有包埋渗碳、液体渗碳、气体渗碳以及最新发展的真空渗碳等。

包埋渗碳是最古老的渗碳方法，简便易行，但劳动条件差，产品质量不易保证；液体渗碳生产率高，而且利于直接淬火，但劳动条件差，槽液有毒。这两种方法，已逐渐被淘汰。真空渗碳具有易保证渗层质量和劳动条件好等特点，是当代先进的渗碳方法之一，在日本、北美、西欧等国家已得到较广泛的应用，但由于设备昂贵，目前我国推广还存在一定的困难。因此，国内目前的渗碳方法，还是以气体渗碳为主。

气体渗碳可分为两大类：一种是滴注式的气体渗碳；另一种



是发生器式的气体渗碳。

### 1. 渗碳剂

滴注式气体渗碳使用有机溶剂作为碳源，以炉子内壁或加热的零件为触媒，在高温下分解出渗碳气氛。

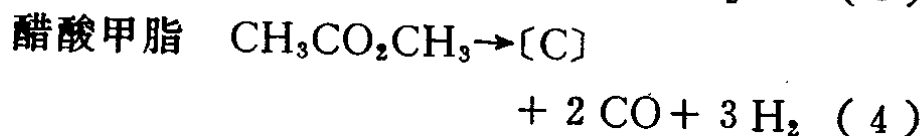
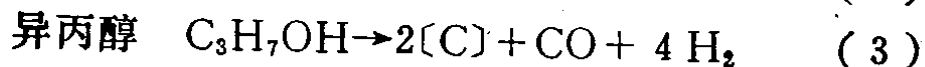
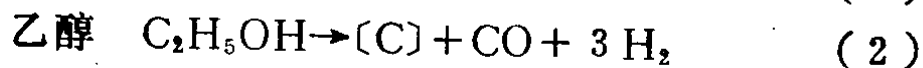
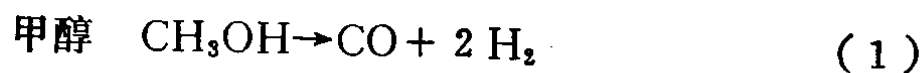
在滴注式气体渗碳时，产品质量的优劣，与有机溶剂的选择有很大的关系。有机溶剂在高温下应易于分解成组分稳定的气氛，具有一定的碳势，并便于控制，而且还应是廉价的。国内所用的渗剂通常是单一的有机溶剂，如：醇、酮、脂、苯类等。近年来，由于碳势控制技术的发展和，渗剂也逐渐为两种溶剂的混合物所代替，其中分解的碳势较低的溶剂作为稀释剂，例如，甲醇、乙醇等；另一种溶剂分解的碳势较高，作为富化剂，例如异丙醇、醋酸甲脂等。但是在有机溶剂的分子中，均应有碳-氧成分，而不应有氮。

常用有机溶剂的物理性能见表 15-1。

表15-1 常用有机溶剂的物理性能

有机溶剂	分子式	分子量	比重 (20°C)	沸点 (°C)	闪点 (°C)	着火点(°C)
甲醇	CH <sub>3</sub> OH	32	0.79	64.5	11	463.9
乙醇	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	46	0.79	78.4	13	422.7
异丙醇	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH	60	0.79	82.4	12	399.0
醋酸甲脂	CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	74	0.92	54.05	-10	454.0

溶剂加热时，其理想的方程式应为：



溶剂在不同的温度下分解的产物见表 15-2。

表15-2 各种溶剂在不同温度下的分解产物<sup>①</sup>

有机溶剂	温度 (°C)	气氛成分 (%)					C/O
		CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>	
甲醇	950	0.2	32.4	66.2	0.60	0.60	1/1 = 1
	850	0.6	31.4	64.8	1.74	1.44	
	750	1.8	29.5	61.4	3.37	3.93	
	650	3.8	27.8	57.9	5.18	5.32	
乙醇	950	1.0	30.7	53.7	11.7	0.3	2/1 = 2
	850	1.5	29.3	49.3	13.6	0.7	
	750	1.7	26.2	49.8	14.2	0.9	
	650	1.9	24.2	47.8	15.3	1.3	
异丙醇	950	0.8	28.2	47.8	18.5	3.2	3/1 = 3
	850	1.0	24.5	44.3	20.8	7.3	
	750	1.5	21.6	40.5	22.6	8.8	
	650	1.8	16.9	39.8	21.3	12.4	
醋酸甲脂	950	1.5	46.6	38.2	10.3	0.3	3/2 = 1.5
	850	2.5	41.3	35.2	13.3	0.4	
	750	3.1	40.5	33.8	14.2	0.6	
	650	3.7	39.3	32.3	15.5	0.8	

① 滴注量为0.4升/小时。

由方程(1)可知, 甲醇分解成CO和H<sub>2</sub>。在950°C时, 甲醇几乎完全分解, 可以达到较高的碳势。但是, 甲醇分解气的渗碳能力很弱, 只能作载气。

由方程(2)、(3)、(4)可知, 乙醇、异丙醇和醋酸甲脂分解成CO、H<sub>2</sub>及活性碳原子[C], [C]具有强烈的渗碳作用。

有机溶剂受热分解为渗碳气氛, 其碳势取决于分解温度、溶剂成分和滴注速率等因素, 其影响规律见图15-1、15-2、15-3、15-4。

另一种普遍应用的渗碳方法是发生器式的气体渗碳。这种方法是用一定组分的气体作载气, 其余组分作为富化剂。常用的载气有吸热气或氨基甲醇气; 常用的富化剂有甲烷(CH<sub>4</sub>)和丙烷(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)。

吸热气的制造方法是将CH<sub>4</sub>或C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>与空气按一定的比例混和, 通入发生器, 在催化剂的作用下生成以CO、H<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>为主要组分的气体。吸热气的典型成分见表15-3。

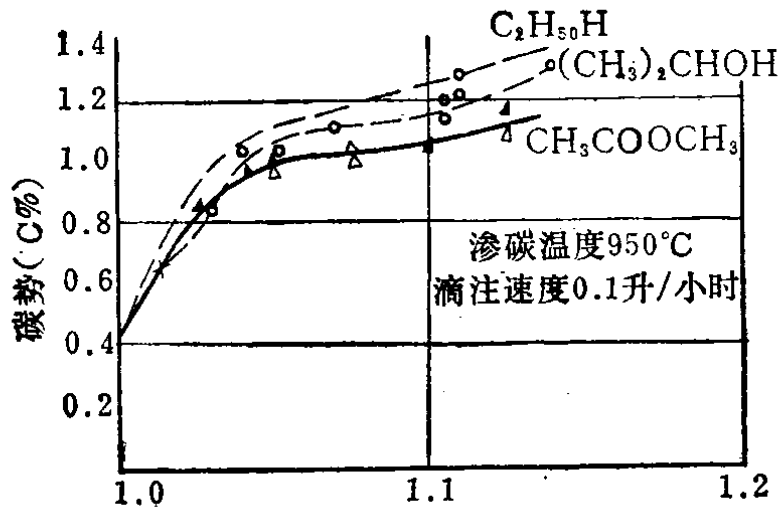


图15-1 溶剂类型对碳势的影响

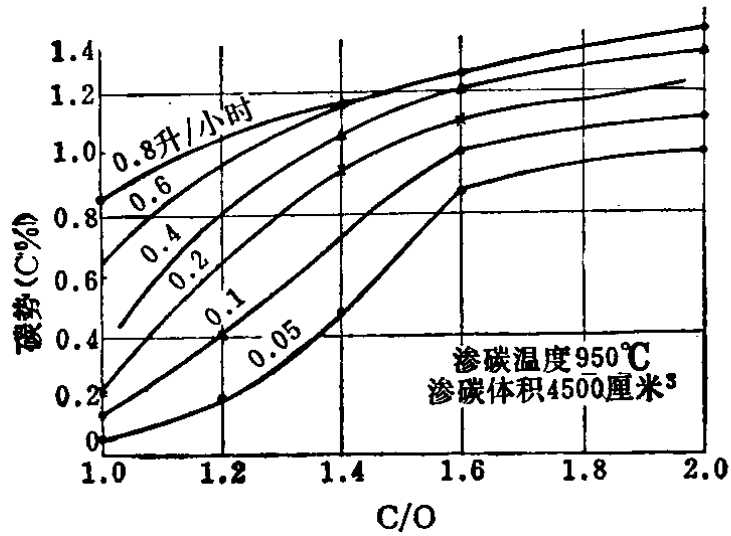


图15-2 滴注速率与碳势的关系

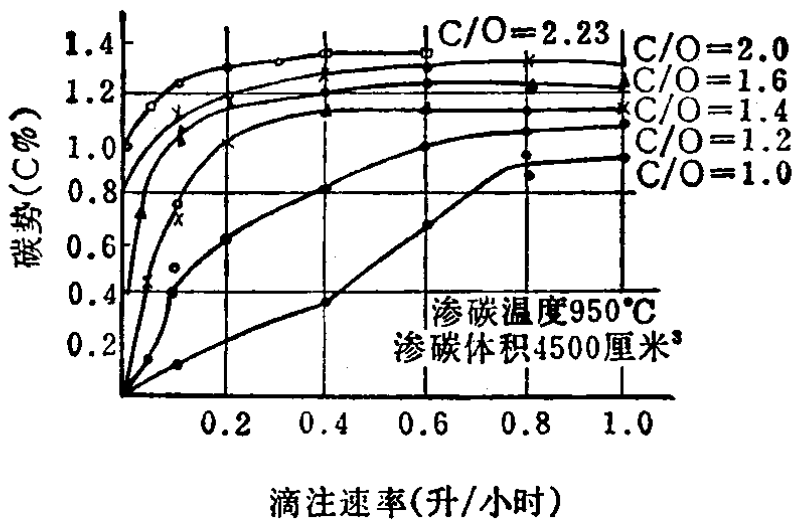


图15-3 滴注速率与碳势的关系

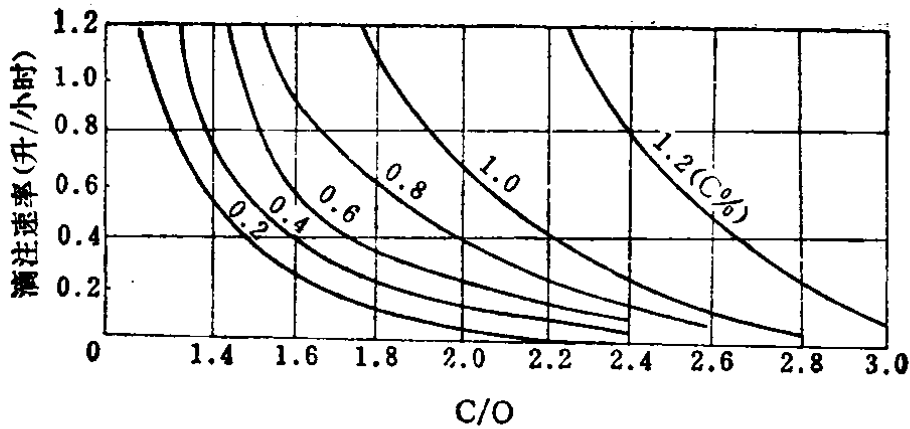


图15-4 滴注速率与C/O的关系

表15-3 吸热气的典型成分

名 称	成 分 含量(%)	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
		甲烷型	19.8	0.3	40.4	余
丙烷型		23.8	0.5	31.2	余	0.1

氨基甲醇气是近些年来发展起来的一种新的载气。它是用甲醇直接通入炉内，在高温下甲醇按方程〔1〕分解。从方程可知，CO与H<sub>2</sub>的体积比是1:2，因此再加入两个组分的纯氮气就可以得到与吸热气成分相近的气体。标准的氨基甲醇气的成分见表15-4。

表15-4 氨基甲醇气的成分

成 分	CO	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
含量(%)	20	40	40

试验证明，这种气体在925°C时的碳势可达0.8%。

用氨基甲醇气作为载气比吸热气有更大的优点，氨基甲醇气中的氮气与甲醇分解气可在工艺过程的各阶段进行调整。如停炉降温时，可关闭甲醇，仅供纯氮。这样炉内的CO和H<sub>2</sub>的含量虽然逐渐减少，但在740°C以下仍起保护作用，不会使零件表面

产生氧化与脱碳。

氨基甲醇气不使用发生器。只要氮气与甲醇的成分稳定便可得到理想的载气，有利于实现精确的碳势控制。

吸热气要求有高纯度的气源，空气的湿度和发生器内的催化剂对吸热气的成分有很大的影响。在工艺过程中，吸热气在  $740^{\circ}\text{C}$  以下必须停止供气，否则有爆炸的危险。国内外都曾经发生过这种事故。

滴注式渗碳可用密闭井式炉或密闭箱式炉；发生器式气体渗碳通常应用密闭箱式炉。

## 2. 一种国外普遍应用的井式滴注渗碳炉

渗碳技术的进步促进了渗碳设备的发展。目前使用的渗碳炉多种多样，各具特色。这里只介绍一种国外普遍应用的井式气体渗碳炉，见图 15-5。

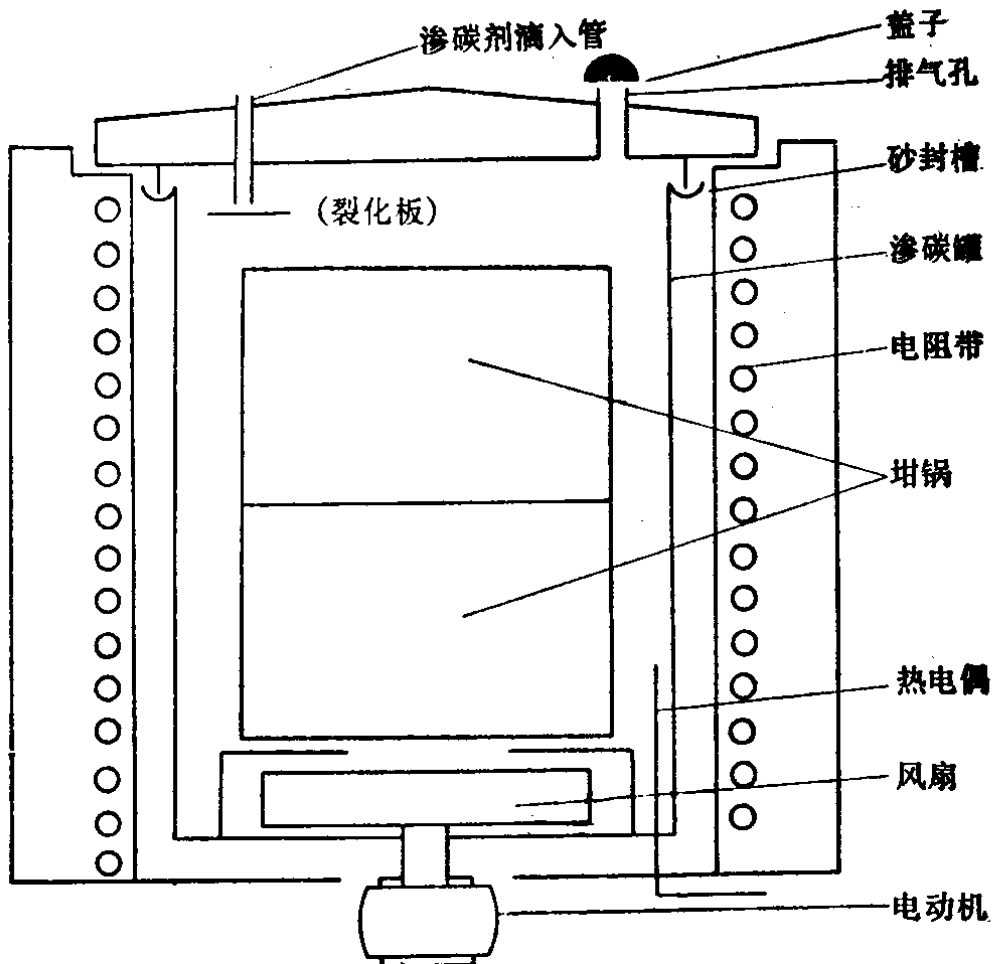


图15-5 国外使用的一种气体渗碳炉示意图

该炉的炉膛尺寸为： $\phi 830 \times 1220$ 毫米。

这种炉子的特点是：风扇安装在坩埚底部，炉子振动小，炉温均匀性好；在炉子的底部设有两个通风道，以加速渗碳后的冷却过程；砂封槽的设计为弧形结构，填入铬矿砂，密封效果好；采用计量泵向炉内注入渗剂，简便易行，能确保成批生产的质量。

在排气孔端口附近，设有一喷嘴，喷出燃烧的天然气，以促使炉内排出的气体充分燃烧，防止污染空气。

在排气孔上有一个盖子，当渗碳进入扩散阶段时，应减少或停止供给渗碳剂。如停止供给渗碳剂，要用盖子将孔口盖严，以防空气进入。

### 3. 滴注渗碳工艺

(1) 非渗碳面的防护 绝大部分的渗碳件不是整个表面都需要渗碳。对非渗碳部位可以采用留一定余量在渗碳、退火后用机械加工去除的方法，或采用镀铜防护的方法。但镀铜仅用于比较精密的零件和部位，一般不常使用，以利降低生产成本。在采用留余量的方法时，为保证完全去除渗碳层，所留的去除量应不小于渗层总深度的 1.75 倍。

(2) 装炉 采用到温装炉，渗碳炉应在渗碳温度下保持至少两小时后才装入零件，以免装入零件后渗碳炉大幅度降温。装炉后，渗碳炉温度降至  $650^{\circ}\text{C}$  左右，待炉温升到  $670^{\circ}\text{C}$  时开始滴入渗剂。应该严格按照规定的装炉量装炉，不能超量，当装炉量不够时，应用废零件补足。

### (3) 渗碳

① 渗碳温度 渗碳温度是影响渗碳结果的主要参数之一。当渗碳时间、碳势条件相同时，渗碳温度愈高，则渗碳速度愈快，渗层愈厚。但如渗碳温度过高（如超过  $980^{\circ}\text{C}$ ），有可能增大零件的变形，并使钢的晶粒过分长大。因此，国内常用的渗碳温度为  $900 \sim 930^{\circ}\text{C}$ 。国外某些工厂的渗碳温度为  $880 \sim 905^{\circ}\text{C}$ 。当要求渗层深度  $\leq 0.76$  毫米时，渗碳温度为  $880^{\circ}\text{C}$ ，要求渗层深度

>0.76 毫米时, 渗碳温度为 905°C。

② 分段渗碳 为缩短渗碳时间和提高渗碳效率, 滴注渗碳可分段进行, 即分为渗碳期和扩散期。所谓渗碳期就是在渗碳的前期提高炉内气氛的碳势。为避免产生碳黑, 一般碳势不超过 1.1%, 个别情况短时间内可提到 1.3%。所谓扩散期就是在渗碳后期将炉内气氛的碳势降到最佳值 (通常保持在 0.85~0.90%), 使渗碳期形成的高碳浓度表层扩散后达到最佳碳浓度。这种方法通常用于要求渗层较深的零件。对浅渗层 (<0.76 毫米) 零件, 由于时间较短不易达到高浓度平衡, 没有必要用此方法。对于不同渗层深度的渗碳期与扩散期的时间比, 尚未找到合适的经验公式, 仅以试验结果为准。

表 15-5、15-6 分别介绍材料 S/ZNC、S/ZLN、S/ZNM、S/Z 的渗碳温度与时间的关系。这些材料分别相当于我国材料 18Cr<sub>2</sub>Ni<sub>4</sub>WA、12CrNi<sub>3</sub>A、12Cr<sub>2</sub>Ni<sub>4</sub>A、15Mn。

表15-5 S/ZNC 材料渗碳温度与时间关系表

渗碳深度 (毫米)	渗碳时间 (分)		渗碳温度 (°C)
	活 化	扩 散	
0.25~0.51	75	0	880
0.38~0.64	105	0	880
0.51~0.76	165	0	880
0.64~0.89	140	20	905
0.76~1.03	150	60	905
0.89~1.14	165	140	905
1.03~1.27	180	200	905
1.14~1.39	265	225	905
1.27~1.52	300	270	905
1.39~1.65	360	300	905
1.52~1.78	330	480	905

经过扩散处理的渗层硬度梯度小, 有效硬度区可达渗层全厚度的二分之一以上。这样的渗层具有高的抗压陷能力, 见图 15-6。

表15-6 S/ZNM、S/ZLN、S/Z材料渗碳温度与时间关系表

渗碳深度 (毫米)	渗碳时间 (分)		渗碳温度 (°C)
	活 化	扩 散	
0.25~0.51	75	0	880
0.38~0.64	105	0	880
0.51~0.76	165	0	880
0.64~0.89	150	20	905
0.76~1.03	150	60	905
0.89~1.14	225	75	905
1.03~1.27	—	—	—
1.27~1.52	360	300	905
1.52~1.78	330	480	905

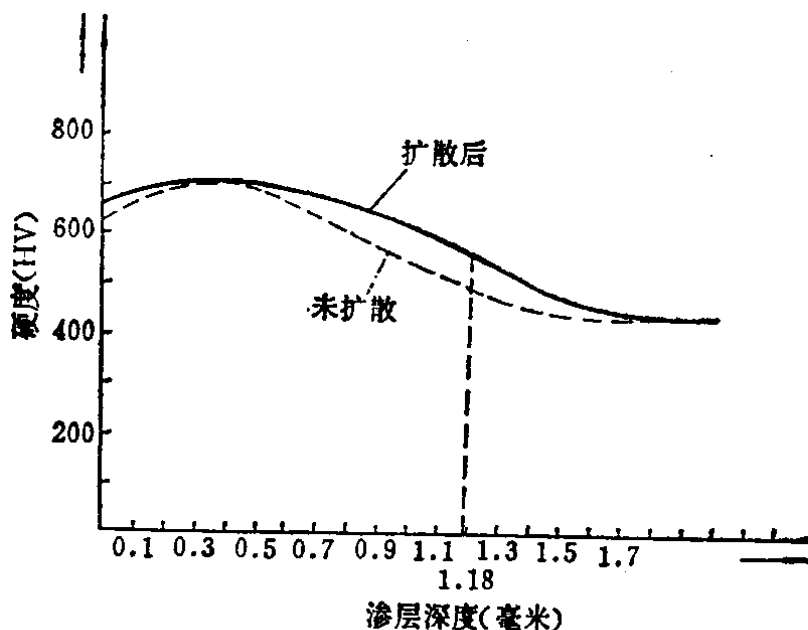


图15-6 扩散后和未扩散的S/ZNC渗碳层的硬度分布状态示意图

③ 多次渗碳 同一零件上要求两种不同渗碳深度时，通常可采用下述两种方法：

a) 扩散法 在要求浅渗碳的部位留余量，首次渗碳时，使渗层全部达到深渗层深度要求，再将浅渗层的部位机加工，其加工量应能保证渗层全部除去。然后对未加工的深渗层部分进行镀铜保护。最后，按浅渗层部位的渗层深度要求，再次渗碳。此时，镀铜保护的深渗层部分只进行了扩散。从而获得两种深度的渗碳层。



b) 叠加法 同扩散法一样, 在要求浅渗层的部位留余量。首次渗碳时, 渗层达到要求最大深度的一部分, 将要求浅渗层部位的渗层全部机加工除去。然后, 再次渗碳, 此时浅、深渗层均应达到规定要求。

这一方法的关键在于如何确定第一次渗碳深度和第二次渗碳深度。通过试验, 获得的结果如表 15-7。

表15-7 S/ZNC 两次渗碳深度关系表(毫米)

		第二次渗碳深度													
总深度	0	0.13	0.25	0.38	0.51	0.64	0.76	0.89	1.02	1.14	1.27	1.41	1.52	1.65	1.78
	0.13	0													
	0.25	0.20	0												
	0.38	0.31	0.25	0											
	0.51	0.46	0.31	0.25	0										
	0.64	0.61	0.56	0.51	0.28	0									
	0.76	0.73	0.70	0.64	0.51	0.38	0								
	0.89	0.87	0.84	0.79	0.73	0.58	0.43	0							
	1.02	1.02	1.02	0.99	0.89	0.79	0.73	0.51	0						
	1.14	1.14	1.11	1.08	1.06	1.02	0.91	0.76	0.51	0					
	1.27	1.27	1.27	1.25	1.22	1.17	1.14	0.99	0.76	0.51	0				
	1.41	1.41	1.41	1.38	1.35	1.30	1.19	1.14	1.02	0.70	0.51	0			
	1.52	1.52	1.52	1.50	1.47	1.47	1.45	1.41	1.25	0.89	0.76	0.64	0		
	1.65	1.65	1.65	1.65	1.63	1.60	1.57	1.52	1.41	1.14	0.97	0.89	0.73	0	
1.78	1.78	1.78	1.75	1.75	1.73	1.73	1.73	1.52	1.41	1.14	1.06	1.06	0.67	0	
1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.88	1.85	1.78	1.65	1.50	1.41	1.38	1.17	0.97	0.76	
		第一次渗碳深度													

④ 渗碳后冷却 为防止高温出炉时零件表面氧化和改善劳动条件, 渗碳过程结束时, 应尽快(45分钟内)降温到 650°C 以