

超级渗碳技术成本分析

■ 李玉婕

众所周知，目前国内外常用的可控气氛渗碳方式主要有三种，这三种渗碳方法各有其优缺点，尤其在实际生产中，更为关注的是效率和效益。

本文结合生产实践分别对三种可控气氛渗碳方法做一介绍，重点介绍超级渗碳技术的优势和成本分析。

1. 当前国内外所采用的三种可控气氛渗碳方法

(1) 发生器式吸热式保护

气可控气氛渗碳方法 第二次世界大战以后，发生器式吸热式保护气可控气氛渗碳方法首先是在美国发展起来的，改变了以往传统的各种渗碳方法如固体、液体和气体渗碳，实现了渗碳过程炉气碳势的自动控制，使渗碳零件的质量有了很大的提高，因而在世界工业先进国家得到广泛的推广和应用。该渗碳方法采用吸热式平衡气氛，炉气成分稳定，碳势控制精度高，适用的工艺温度范围较宽。因而直至今日，在大

规模的连续式生产作业线上仍得到广泛采用。

(2) 滴注式可控气氛渗碳法 滴注式可控气氛渗碳是瑞士提出的渗碳方法，国际上称为卡博—玛格法，该工艺的实质就是在整个渗碳周期内，同时向炉内滴进两种碳当量不同的有机介质。一种介质在高温下能产生相当于稀释气体；另一种产生渗碳气氛。调节两者的配比，以实现炉气碳势的自动控制。

该方法的优点在于，吸热式保护气由直接滴入的介质产生，不需要专门的发生器，可大大节省能源。其兼有传统的滴注法和发生器式控制气氛渗碳的优点，既经济简单，炉气碳势又可控。

(3) 超级渗碳 (Supercarb GA法) Supercarb GA超级渗碳，是将碳氢化合物直接通入炉内产生的渗碳气氛，即所谓的直生式气氛。其气氛碳势可控，得益于当代气氛监控装置和计算机控制技术在热处理领域的飞速发展。直生式气氛比发生器制备的吸热式气氛，可以节省大量能源。因为采用发生器制备的吸热式气氛渗碳，相当于两台炉子同时工作。另外，发生器启动需要

5. 结语

镗杆氮化处理及工艺过程符合质量控制要求，局部防氮化涂料和氮化后的热校直不是镗杆精加工过程中出现表面麻点、砂眼的直接原因。在表面麻点、砂眼处存在随机分布的夹渣缺陷是造成镗杆氮化后精加工过程中出现表面麻点、砂眼缺陷的主要原因。生产上不再使用该批材料制造镗杆，以后生产应增加镗杆材料的低倍组织检查。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.GB-T3077—1999合金结构钢的牌号及化

学成分[S].北京：中国标准出版社，1999.

- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.GB/T11354—2005 钢铁零件渗氮层深度测定和金相组织检验[S].北京：中国标准出版社，1999.

- [3] 阎利民.气体氮化工艺探究[J].金属加工（热加工），2009（19）：40-42.

作者简介：刘振民，高级工程师，研究生，主要研究方向为材料工程专业，沈阳机床（集团）有限责任公司。

MW 20160718

一个过程，渗碳炉和发生器在一段相当长的时间内，往往难于同步。渗碳炉对发生器的等待或发生器气氛的放空，都使设备空运转，这会造成能源消耗或浪费。

除此之外，超级渗碳原料气的用量仅为发生器式渗碳法的1/4~1/5，加上超级渗碳法具有管路流程简单（外围设施简单）、操作方便等诸多优点，因而法国等西欧先进国家自20世纪90年代，就按Ipsen公司的基本设想，向炉内直接通入天然气/空气、丙烷/空气、丙酮/空气或异丙醇/空气，并直接生成 $\text{CO}+\text{H}_2+\text{N}_2$ 混合气，代替 N_2 —甲醇分解气。

2. 超级渗碳 (Supercarb GA法)

GA两个字母，G是Gas英文的缩写，意指燃气或碳氢化合物，A是Air英文的缩写，表示空气。GA法就是将碳氢化合物，例如甲烷或丙烷，与空气直接通入炉内进行渗碳。Supercarb，英文直译为汉语意指过量的碳或超量的碳，因而中国的热处理专家将Supercarb GA法译为超级渗碳。德国易普森国际有限公司研究开发的超级渗碳技术，就是采用天然气（甲烷）、丙烷或丙酮作原料，在炉内与空气直接制成吸热式气氛和渗碳气氛，即所谓直生式气氛。其不仅省去了发生器且比普通的吸热式气氛节省原料气，其原料气仅为普通方法的1/4~1/5。与此同时还具有炉气恢复快、改变炉气碳势快、炉气活度大、渗速稳定且快的特点。

我公司自2004年开始采用Ipsen公司的超级渗碳技术及其

Carb-o-prof专家控制系统，参与易普森公司TQF-17-ERM和RTQF-17-ERM等炉型的超级渗碳的生产实践活动，并先后与德国Ipsen上海分公司调试工程师一起进行调试工作。比较我们原来采用的井式炉滴注式气体渗碳和丰东多用炉滴注式可控气氛渗碳，认为当今采用的超级渗碳技术，具有明显的技术优势和成本优势。

3. 超级渗碳技术的优势

(1) 超级渗碳使用的原料气比其他渗碳方法少得多 可以从如下三个方面得到解释。

第一，排空量大为减少。大家知道，可控气氛渗碳用的原料气主要有两个用途。其一，是与空气混合产生吸热式保护气；其二，是提供渗碳介质的富化气。炉气中的碳元素，一部分为炉料（零件）、炉膛和挂具所吸收；另一部分作为渗碳系统平衡而排空的。因为排空是密封系统的渗碳反应进行到底所必要的。排空系统所消耗的碳分依炉子的密封性不同而有很大差别。目前，Ipsen公司生产的多用炉，其排气孔直径仅有8~10mm，是当前世界各种同类炉型中最小的。排空量极小，因而总的原料气消耗就少。

第二，充分利用大气中的 N_2 作为保护气资源。众所周知，吸热式保护气主要由 CO 、 H_2 和 N_2 组成。发生器式保护气就是由天然气或丙烷、丁烷与空气混合送入装有触媒的高温反应罐中产生出来的。氮—甲醇保护气则是由制氮机产生的 N_2 ，加上甲醇的分

解气。制备这些混合气均需要辅加特殊设备。直生式气氛的 N_2 则直接取自大气，大气中79%是 N_2 。充分利用大气中的 N_2 作为保护气资源，既经济，又方便。

第三，避免出装炉操作时因空气倒灌引起炉气爆炸而辅加的天然气和空气通入制度。为确保多用炉的安全操作，对通入炉内保护气的量均有一定要求，即通入量是渗碳炉容积的若干倍，即所谓换气次数。Ipsen多用炉工艺运行用气量小，为临时增加出装炉时的炉气产量，Ipsen炉在出装炉时瞬时通入大量氮气（出装淬火室和加热室），为的是减少炉内负压或负压的维持时间，从而大大提高炉子安全操作系数。这样的设计，在保证减少工艺运行用气的前提下，又保证了炉子的安全操作。

(2) 超级渗碳的炉气碳势恢复快，活度大 发生器式可控气体渗碳和滴注式可控气氛渗碳法，在炉气恢复阶段只通入稀释气体。稀释气体主要由 CO 、 H_2 和 N_2 （甲醇裂解气仅含 CO 和 H_2 ）组成。这样的炉气只具有还原性和弱渗碳性。而超级渗碳开始就通入天然气（ CH_4 ）或丙烷、丁烷，它们的存在，首先抵消炉气中 CO_2 和 H_2O 的不良作用，炉气很快由氧化性、脱碳性变成还原性、弱渗碳性。剩余的 CH_4 将继续提供碳分，使炉气碳势迅速提高。合理的工艺制度，可以做到渗碳温度和强渗阶段碳势同步到达，而前两种工艺碳势比炉温将滞后20~45min，甚至更长。

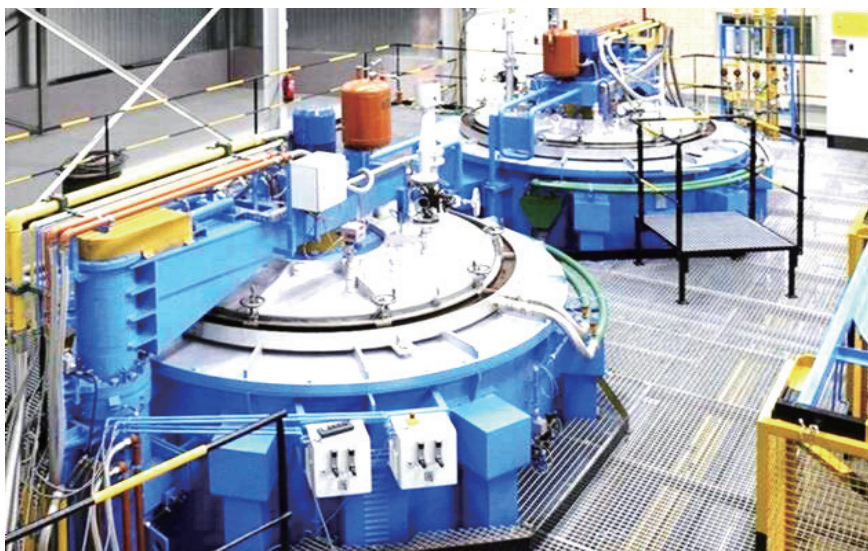
超级渗碳非平衡气氛何以活度大呢？

碳在钢奥氏体中的活度定义为：平衡时钢件表面含碳量/ γ -Fe中饱和含碳量。超级渗碳气氛含有“超量的碳”— CH_4 。据资料介绍，一份 CH_4 提供的碳分相当于27.5份CO提供的碳分。由于超级渗碳气氛 CH_4 含量偏高，平衡时钢件表面含碳量就高，因而炉气具有更大的活性。

(3) 超级渗碳改变炉气碳势快，渗速大。超级渗碳碳势的二次调节是通过改变空气量实现的，而发生器式渗碳和滴注式可控气氛渗碳法则是通过改变富化气量实现的。众所周知，空气的变化对炉气碳势的影响远比富化气大得多，前者几乎瞬时便可实现，碳势变化曲线几乎接近垂直线，而后者对碳势调节变化要慢得多。

炉气碳势变化迅速利于加速整个渗碳过程。因为它便于对碳势进行台阶式控制。即在渗碳初期采用高碳势气氛，以不出现炭黑为度。随着渗碳时间的延长，在以后的几个阶段逐渐降低炉气碳势，直至表面碳浓度达到技术要求。

例如，对渗层为0.8~1.2mm或1.0~1.4mm的渗碳零件，在930℃渗碳温度下，可以全部编程为1.2%C碳势的强渗阶段。在0.8%C左右碳势的扩散阶段，移至后期降温及淬火保持阶段，其渗层淬火金相组织的残留奥氏体完全符合技术要求。同样的编程方法，若用发生器式保护气渗碳或滴注式可控气氛渗碳法，渗层淬火组织中残留奥氏体量偏高。因为它们的后期的碳势二次调节慢而降不下来。这样，务必提前结束强渗阶段，即降低强渗阶段对



扩散阶段的比例。强渗阶段炉气碳势高，利于碳原子向金属内部扩散，加速渗碳过程，即提高渗速。

4. 超级渗碳技术与滴注式可控气氛渗碳技术的成本分析

目前我公司主要采用两种渗碳技术即：Ipsen炉的超级渗碳技术和丰东炉的滴注式可控气氛渗碳技术。

(1) 电量的消耗对比 以重型载货汽车齿轮的热处理为例进行对比分析，Ipsen炉主炉功率230kW，装炉量为1000kg，热处理时间为11.5h，则每公斤齿轮消耗电量为： $230 \times 11.5 \div 1000 = 2.645 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，而丰东炉的主炉功率128kW，装炉量为400kg，热处理时间为13h，则每公斤齿轮消耗电量为： $128 \times 13 \div 400 = 4.16 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，以现有的齿轮产量每月按 $(2 \times 6 + 0.8 \times 2) \times 28 = 380 \text{ t}$ 计算，则每月可节约电量： $(4.16 - 2.645) \times 380 \times 1000 = 57.57 \text{ 万 kW} \cdot \text{h}$ ，电费按0.7元/kW·h计算，则每月可节约电费： $0.7 \text{ 元/kW} \cdot \text{h} \times 57.57 \text{ 万 kW} \cdot \text{h} = 40.299 \text{ 万元}$ ，那么每年可节约电费： $40.299 \text{ 万元} \times 12 = 483.588 \text{ 万元}$ 。

(2) 热处理用原料的消耗对比。两者相比，滴注式可控气氛渗碳技术使用的介质是甲醇和丙烷，而超级渗碳技术使用的介质是丙烷和空气，两种炉型均用天然气作为封门气体，就节省的甲醇用量来算，据生产车间统计，每台炉子每周使用两罐甲醇，而每罐甲醇的价格为4元/kg $\times$ 170kg=680元。则每台炉子每周消耗甲醇费用为1360元。每台炉子每年消耗甲醇费用为 $365 \div 7 \times 1360 = 7.0914 \text{ 万元} \approx 7 \text{ 万元}$ ，那么6台Ipsen热处理炉每年仅甲醇的费用就节约42万元。

5. 结语

综合分析，超级渗碳技术确有其独特的技术和成本优势，不但具有可观的显形效益，同时由于该技术的特有优势提高了生产效率，而产生了隐形效益。今后我们要结合生产实践和产品要求进一步优化工艺参数，发挥该技术更大的效能。

作者简介：李玉婕，德州齿轮有限公司。

MW 20160416