中温气体碳氮共渗补渗工艺

姚恒学，张佳，杨宝军

碳氮共渗在实际生产过程中经常会出现设备故障、试样检验不准、渗剂活性不足、炉子漏气，以及检测仪器仪表及控制系统误差等因素而不能获得要求的共渗效果，必须进行补渗处理。

一般采用平均值法对补渗时间进行测算，即“补渗平均速度按正常共渗速度的一半计算”，其结果经常存在较大误差。为解决这一问题，使其补渗工艺更为准确，有必要对补渗工艺方法及碳氮浓度梯度变化进行探讨。

1. 试验条件

（1）试验用材料　试验采用20CrMnTi钢制试样，尺寸为ϕ25mm×100mm，经碳氮共渗后具有一定渗层深度。一端经剥层分析后加工成图1形状（*A*端共渗层全部去除，作为正常共渗面、*B*端作为原始状态补渗面），分别测试渗层中的碳氮总量、浓度分布及硬度梯度。

（2）试验设备　试验采用井式气体炉进行，在炉盖上增设试样放置孔及传感器安装孔，利用电阻探头及微机控制系统控制气氛碳氮（CN_p）总势。

（3）控制方法　试样随补渗件高温装炉后用甲醇进行排气，排气结束插入传感器；甲醇保持常量维持炉压为正，控制系统按PID数学模型控制计量泵向炉内注入含有碳氮介质的有机活性渗剂；CN_p总势用钢箔进行测定，为控制系统提供补偿，实现CN_p精确控制。

（4）共渗层质量检验法　按TCM引进产品技术要求检测共渗层淬火后硬度分布，剥层分析采取对试样保护退火后机械车削方法进行。表面硬度（30N）≥77HRB；层深测量从表面测至努氏硬度520HK处或剥层碳氮总含量≥0.26%处。

（5）试验工艺　试验采用图2（图中*t*为补渗温度，t_0为扩散温度，CN_p为共渗目标碳氮总势）工艺曲线，共渗温度选850℃，共渗时间按整数小时分段，共渗炉气CN_p总势控制在1.0%。

2. 试验结果及分析

（1）试验后变化　图3为试样补渗5h缓冷后剥层分析出的碳氮浓度梯度分布。试验表明，补渗前原始试样表层明显存在脱碳（低头）现象，随着补渗层深度增加，这种现象不再敏感，因为增深后的碳氮浓度梯度总量增加改变了同样冷却条件下试样的脱碳敏感性。补渗后试样碳氮浓度梯度未发现明显突变现象，曲线形态较为平缓，符合共渗浓度梯度渗层变化规律，说明补渗工艺参数符合共渗检验技术要求。

另外，当补渗样渗层达到0.8mm后，补渗层深度从0.76mm增加到1.09mm，这一结果说明正常渗层与补渗层梯度增长不同步，采用平均值法测算中温和CN_p总势控制条件下补渗时间参

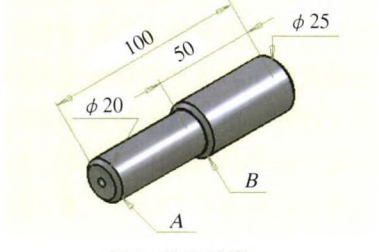


图1　补渗试样

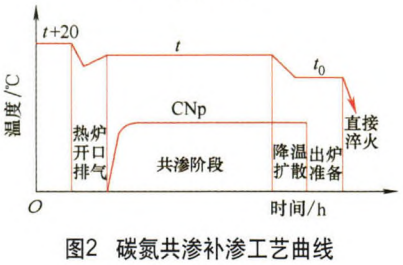


图2　碳氮共渗补渗工艺曲线

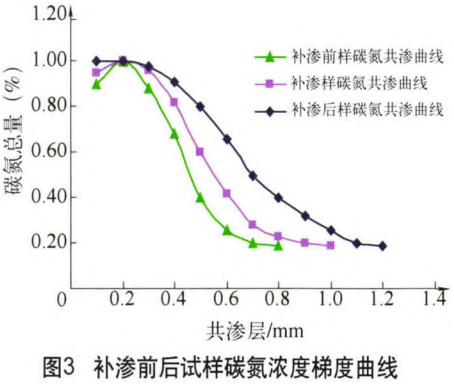


图3　补渗前后试样碳氮浓度梯度曲线

数明显存在差异，事实上补渗层碳氮浓度梯度不仅取决于温度、CN_p总势和共渗时间，还取决于排气结束气氛恢复始点判定、渗剂激活能、换气次数、炉压等工艺参数。

图4为补渗后渗层碳氮浓度梯度与实际硬度梯度分布对应关系，曲线表明，渗层硬度变化随碳氮浓度分布降低而相应改变，表层硬度最高，接近心部浓度时硬度降低明显，要想获得符合检验规范的补渗层硬度梯度，必须确定相应条件计算办法。

（2）试验补渗渗层变化　试样按补渗工艺曲线经不同时间试验后试样渗层与补渗层深度实际检测结果见表1。

从表1可以看出，正常碳氮共渗A端面基本不受补渗条件制约，渗层深度增长基本服从中温碳氮共渗渗层研究所得出的抛物线规律及其数学表达式：

$$D = 718.8\sqrt{t}/10^{\frac{3720}{T}} \quad (1)$$

式中 D——共渗层深度（mm）；

t——共渗时间（h）；

T——热力学温度（K）。

实际试验结果与式（1）计算值非常接近，而B端补渗面就显然不同，由于补渗前原始状态不同，在同样条件下共渗，表面碳氮吸收能力、传递能力及扩散能力都发生了变化，平均值法测算的时间明显存在一定误差。

事实上，试样在炉气中的补渗过程同共渗性质一样，只不过边界条件发生了变化，它也参与正常化学反应，其结果也是增加了试样表面碳氮含量。同样，渗入试样表面的碳氮原子也不是停留在其表面，而是向心部以扩散形式转移。笔者根据共渗初始补渗条件和碳氮原子扩散边界条件进行推导，得出共渗补渗工艺碳氮浓度梯度扩散所需时间方程：

$$\tau = (D^2 - D_0^2)/J + K \quad (2)$$

式中 τ——补渗时间（h）；

J——碳氮原子传递系数（850℃、有机渗剂、CN_p1.0%，取0.125mm²/h）；

D——目标渗层（mm）；

D_0——原始渗层（mm）；

K——修正系数（按图2工艺补渗，取0.15）。

（3）实际验证　验证同样采用了5组具有一定原始渗层试样，共渗温度850℃，CN_p总势1.0%，不同时间从试样孔取出试样进行检测，结果见表2。

表2中5组试样A端正常共渗面平均时间误差绝对值0.13h，B端补渗面误差绝对值0.222h，检测结果与计算值误差非常接近。故对于中温气体碳氮共渗而言，无论是正常共渗还是补渗，式（2）时间计算值均能获得较为接近实际的效果。

值得注意的是正常碳氮共渗或补渗过程，其正确的时间计算必须建立在排气结束到炉气CN_p总势恢复之后方能作为始点，否则式（2）计算值就会产生偏差，正确把握排气结束期和气氛恢复期非常重要。

3. 结语

气体碳氮共渗补渗工艺是保障补渗效果的关键，选择合理的工艺参数进行控制可获得与共渗效果一致的碳氮浓度分布，补偿表层碳氮浓度降低倾向，实现符合要求的渗层硬度梯度分布。

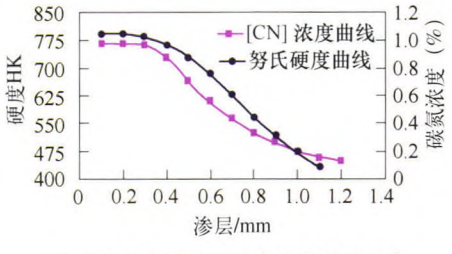


图4　补渗样碳氮浓度与硬度梯度分布

表1　补渗样检测结果

试样编号及检测部位	1#		2#		3#		4#		5#	
	A端	B端	A端	B端	A端	B端	A端	B端	A端	B端
原始渗层/mm	0	0.85	0	0.91	0	0.78	0	0.82	0	0.76
补渗后渗层/mm	0.35	0.92	0.5	1.03	0.62	0.97	0.71	1.06	0.8	1.09
渗层增加/mm	0.35	0.07	0.5	0.12	0.62	0.19	0.71	0.24	0.8	0.33
补渗时间/h	1		2		3		4		5	
平均值法测算值/h	—	0.51	—	0.95	—	1.36	—	1.85	—	2.5
时间误差/h	—	0.49	—	1.05	—	1.64	—	2.15	—	2.5

表2　补渗条件试样检测结果

试样编号及检测部位	6#		7#		8#		9#		10#	
	A端	B端	A端	B端	A端	B端	A端	B端	A端	B端
原始渗层/mm	0	0.87	0	0.93	0	0.85	0	0.93	0	0.83
补渗后渗层/mm	0.36	0.95	0.5	1.06	0.6	1.05	0.68	1.15	0.8	1.15
渗层增加/mm	0.36	0.08	0.5	0.13	0.6	0.2	0.68	0.23	0.8	0.32
补渗时间/h	1		2		3		4		5	
式（2）计算值/h	1.18	1.3	2.15	2.22	3.05	3.2	3.85	3.81	5.27	5.2
时间误差/h	0.18	0.3	0.15	0.22	0.05	0.2	-0.15	-0.19	0.27	0.2

作者简介：姚恒学、张佳、杨宝军，宝鸡合力叉车厂。

MW 20140811