自适应渗碳中渗碳参数对渗碳结果的影响

上海船用柴油机研究所 （200051） 郁凉锋 刘雪燕 乐 平 李耀华

【摘要】 采用工业计算机控制，研究了在不同渗碳深度条件下，自适应渗碳过程中，渗碳参数最高炉气碳势、最高表面碳浓度及表面碳浓度三者之间变化组合，对渗碳钢18Cr2Ni4WA渗碳后渗层组织、硬度梯度变化趋势的影响。结果表明，渗碳参数之间的合理组合，可以获得理想的渗碳结果。

热处理行业，就当前的发展水平来说，可控气氛热处理是重要的组成部分。渗碳产品是热处理主流产品之一，发挥了传统材料的潜在能力。对于承受重载、耐磨、冲击和复杂应力的齿轮、轴、活塞销和凸轮等零件，渗碳是最重要的表面强化手段之一。随着渗碳零件诸如寿命、力学性能等要求越来越高，对渗碳质量的要求也水涨船高，过去的那种粗放型渗碳方式，显然已经无法满足要求，迫切需要进行更加精细的控制。当代微机技术发展及其他相关硬件设备的成熟，能够实现渗碳产品的自动化生产，各种参数也可以实现精确的测量和控制。

渗碳赋予钢件表面具有高碳钢淬火后的高硬度、高耐磨性，心部则具有低碳马氏体的强韧性，利于提高零部件的承载能力和使用寿命，渗碳是典型的化学热处理工艺，广泛应用于各种大规模生产的机械制造部门。人们在长期生产和科学试验中认识到，渗碳件的各项性能与渗碳层的浓度分布及组织结构有密切关系，不同零部件的服役条件不同，则对渗碳层的浓度分布及组织要求不同，可根据零部件要求制定合理的渗碳工艺。本文在试验中选用常用的渗碳材料18Cr2Ni4WA，分析了渗碳参数最高炉气碳势、最高表面碳浓度及表面碳浓度三者之间的变化组合，以及对渗碳钢18Cr2Ni4WA渗碳后渗层组织、硬度梯度变化趋势的影响。

一、试验材料及试验条件

试验材料为18Cr2Ni4WA钢。其化学成分为：w_C = 0.13% ~ 0.19%，w_{Si} = 0.17% ~ 0.37%，w_{Mn} = 0.30% ~ 0.60%，w_W = 0.80% ~ 1.20%、w_{Cr} = 1.35% ~ 1.65%，w_{Ni} = 4.00% ~ 4.50%。

在JT—60井式炉中进行渗碳。渗碳温度为910℃，渗剂采用煤油和甲醇。采用自适应方式，微机完全自动控制整个过程。温度控制精度为±1℃，碳势控制精度为±0.05%。试验中设计了渗层深度为0.8mm、最高炉气碳势0.95%、最高表面碳浓度0.90%、表面碳浓度0.85%；渗层深度为0.8mm、最高炉气碳势1.05%、

部分上贝氏体，这显然对性能不利。用复合等温淬火，使心部残余奥氏体转变为下贝氏体。因此，对实际模具性能的提高，要比上述用试样获得的效果更为明显。另外，由于锻造淬火的组织遗传作用而保留下来的亚结构与位错将阻碍杂质原子向原奥氏体晶界的偏聚，因而对抑制回火脆性起着十分重要的作用。

由于在新工艺中淬火前的组织为回火索氏体，而且淬火加热温度较高，合金元素溶解充分，使奥氏体中的固容量增大，而且亚晶界及位错的存在也对碳化物的形成和聚集起阻碍作用。而且新工艺处理后位错密度显著增加，结构细化，这对提高模具的强韧性是十分重要的。

三、结语

从以上结果分析，综合强化工艺效果十分显著。模具寿命考核试验表明，其寿命最低在4000件以上（期间返修过两次），比原工艺提高2 ~ 3倍，经济效益显著。

实践证明新工艺不需要增加设备，工时增加甚微，工艺简单，具有推广意义。 （20060928）

最高表面碳浓度1.0%，表面碳浓度0.85%；渗层深度为1.5mm、最高炉气碳势1.05%、最高表面碳浓度1.0%，表面碳浓度0.90%；渗层深度为1.5mm、最高炉气碳势1.10%、最高表面碳浓度1.05%、表面碳浓度0.90%；渗层深度为1.5mm、最高炉气碳势1.05%、最高表面碳浓度1.0%、表面碳浓度0.85%。

采用化学分析法对剥层化学成分进行分析，主要是碳分的测定。剥层试样尺寸为 ϕ28mm × 100mm，剥层深度每次为0.1mm。利用 Akashi HM—122 半自动显微硬度计对试样渗层进行硬度梯度测定，试样在810℃淬火，然后在160℃进行回火。

二、试验结果及分析

1. 渗层碳浓度分布

图1、图2分别为渗层深度为0.8mm、最高炉气碳势1.05%、最高表面碳浓度1.0%、表面碳浓度0.80%与渗层深度为1.5mm、最高炉气碳势1.05%、最高表面碳浓度1.0%、表面碳浓度0.85%碳浓度设计曲线与实测碳浓度分布曲线。由图1和图2可知，实际的碳浓度分布与设计的碳浓分布总的趋势大致相同。

2. 渗碳层硬度梯度与渗碳层组织

表1、表2分别为渗层深度0.8mm与1.5mm，渗碳工艺参数变化时，表面碳浓度硬度梯度与渗碳时间的关系。由表1、表2可知，工艺参数的变化对硬度梯度的分布有显著的影响，并且影响渗碳时间。表中 Cg、Csmax、Cs 分别表示最高炉气碳势、最高表面碳浓度、表面碳浓度。

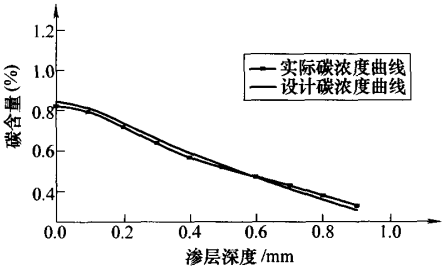

图1 渗层深度为0.8mm、最高炉气碳势1.05%、最高表面碳浓度1.0%、表面碳浓度0.80%的碳浓度分布曲线

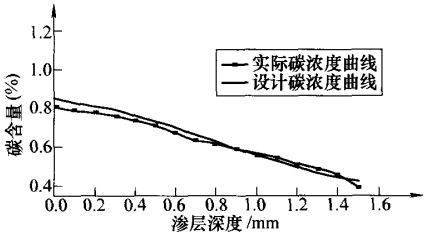

图2 渗层深度为1.5mm、最高炉气碳势1.05%、最高表面碳浓度1.0%、表面碳浓度0.85%的碳浓度分布曲线

表1 渗层深度为0.8mm渗碳工艺参数与表面碳浓度硬度梯度渗碳时间的关系

工艺参数			渗碳时间	碳化物级别	离表面距离/mm							
Cs	Cg	Csmax	/min		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
0.85	0.95	0.90	398	1	773	751	692	657	629	597	567	552
0.85	1.05	1.0	336	1	775	757	706	667	637	592	575	555

表2 渗层深度为1.5mm渗碳工艺参数与表面碳浓度硬度梯度渗碳时间的关系

工艺参数			渗碳时间	碳化物级别	离表面距离/mm													
Cs	Cg	Csmax	/min		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
0.90	1.05	1.0	1034	≤2	754	740	721	698	671	642	631	621	605	596	584	576	564	561	556
0.90	1.10	1.05	954	2	756	746	731	712	692	682	661	645	620	590	580	574	562	559	552
0.85	1.05	1.0	1034	≤2	757	752	740	728	707	692	682	664	637	604	589	572	556	562	555

图3、图4分别为渗层深度为0.8mm、最高炉气碳势1.05%、最高表面碳浓度1.0%、表面碳浓度0.80%与渗层深度为1.5mm、最高炉气碳势1.05%、最高表面碳浓度1.0%、表面碳浓度0.85%的渗层组织形貌。

3. 结果分析

随着工件表面含碳量的增加，硬度也逐步上升，但当 $w_C > 0.8\%$ 时，硬度不再上升，反而略有下降，这是由于残余奥氏体量增加所致。图5表示碳浓度与硬度的关系，淬火马氏体的硬度与屈服强度有着良好的线性关系（见图6）。鉴于测试条件的限制，我们以硬度数据来说明力学性能。

在严格控制渗碳后淬火方法、淬火温度、保温时间，减少残余奥氏体量，硬度梯度的变化趋势和碳浓度的实际分布趋势近似。由表1、表2可以看出合理的设

图3 400×

图4 400×

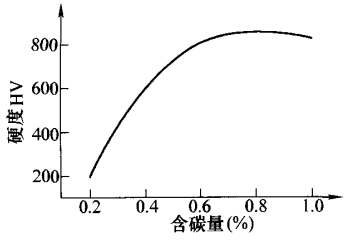

图5 钢材含碳量与硬度的对应关系

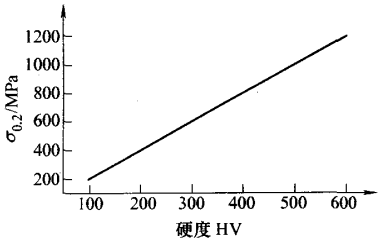

图6 淬火马氏体的硬度与屈服强度的线性关系

计最高炉气碳势、最高表面碳浓度、表面碳浓度三者之间的关系可以获得相对比较缓慢的硬度梯度，得到尽量合理的深层组织应力的分布。渗碳炉内气相碳势的设置应比所要求的表面碳浓度高0.15%～0.20%为宜，而最高表面碳浓度介乎于二者之间，渗碳参数这样的配合所取得的效果最为理想。

三、结语

严格控制渗碳后的淬火方法、淬火温度、保温时间，减少残余奥氏体量，硬度梯度的变化趋势和碳浓度的实际分布趋势近似。

渗碳炉内气相碳势的设置应比所要求的表面碳浓度高0.15%～0.20%为宜，而最高表面碳浓度介乎于二者之间，渗碳参数这样的配合所取得的效果最为理想。

（20061028）

（上接第48页）

（4）试验结果，应至少精确到0.5HR。

（5）本标准规定以外的操作。

（6）各种可能影响试验结果的细节。

此外，新标准删除了可以按相应国家标准进行硬度换算的规定，并增加一条说明。新标准增加的说明是：资料表明，某些材料可能对应变速率较敏感，应变速率的改变可能影响屈服应力值轻微变化，压痕形成时间对硬度值的改变有相应影响。

8. 增加硬度计硬质合金球压头的特性以及硬度计检验周期等规定（见表5）

表5 增加的内容

序号	项　目	内　容
1	硬质合金球的特性	硬质合金球的密度 ρ =（14.8±0.2）g/cm^3 硬度：维氏硬度不低于1500HV10 确定压头硬度的平均对角线的最大值（用维氏压头以98.07N的力在球上形成的压痕）：球直径为3.175mm时，为0.109mm；球直径为1.5875mm时，为0.107mm 推荐的化学成分（质量分数）：碳化钨（WC）为主要成分；其他碳化物总量2.0%；钴（Co）5.0%～7.0%
2	硬度计检验周期	检验周期按直接检验和间接检验分别做出规定。下列情况下进行直接检验：a）硬度计安装时或经拆卸并重新装配后或改变位置时；b）间接检验结果不合格时；c）间接检验时间超过了12个月。 每次直接检验后，接着应做间接检验。间接检验的周期应视维护水准和硬度计被使用的次数而定，但不超过12个月

（20061208）