



■ 湖南冷水江天宝实业有限公司/张先鸣

发动机气门材料及热处理工艺

发动机制造
CCMT特刊

气门是汽车发动机的重要零部件之一，工作时承受较高的机械负荷和热负荷。排气门受到高温排气的冲刷，因此，热负荷更高。进气门的温度为 $300\sim 500^{\circ}\text{C}$ ，排气门的温度可达 $600\sim 800^{\circ}\text{C}$ ，甚至更高。尤其是排气门刚刚开启时，气缸内的压力比较高，而气门的开度还很小，高温燃气以很高的速度（可达 600m/s ），经气门和气门座之间的缝隙吹出，使气门受到强烈地高温和腐蚀。气门各部位示意图和气门的形式如图1和图2所示。

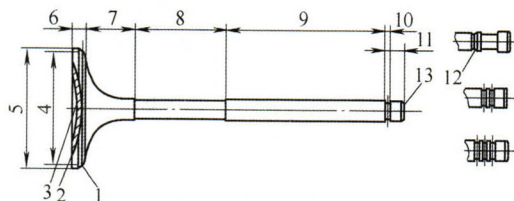


图1 气门各部位示意

1.盘锥面 2.盘端面 3.底窝 4.基准直径 5.盘外圆 6.盘部 7.颈部
8.除碳凹部 9.杆部 10.锁夹槽部 11.杆端部 12.挡圈槽 13.杆端面

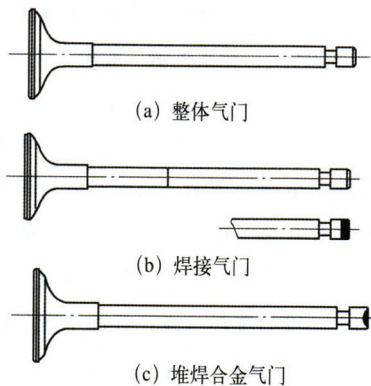


图2 气门形式

技术要求及使用要求

气门材料要求具有足够的高温强度和耐磨性能，良好的抗氧化性和抗燃气腐蚀性，较高的热传导率和较低的膨胀系数，以及优越的冷热加工和焊接性能。

气门材料是按照气门的工作温度、工作环境和耐久性要求来选择的。目前汽车发动机气门选择马氏体型钢、奥氏体型钢、高温合金和钛合金材料。

1.材料

采用典型的材料，其牌号见附表，化学成分符合表中的规定。材料的力学性能应符合规定，允许选用能满足本标准技术要求和使用的其他材料。

2.气门的热处理工艺

采用附表所列牌号材料的热处理规范应符合相关的规定。马氏体钢气门需调质处理，热处理后的硬度为 $28\sim 45\text{HRC}$ ，气门同一材料部分的硬度差 $\leq 4\text{HRC}$ 。

整体和对焊气门奥氏体钢部分根据产品图样可分固溶、固溶时效、仅时效和非固溶时效处理，其硬度应符合图样规定。

气门采用奥氏体型钢21-4N材料，仅时效处理后的硬度应 $>32\text{HRC}$ ，固溶时效处理后的硬度应 $>28\text{HRC}$ 。高温合金可固溶时效处理，其硬度应符合图样规定。

气门杆端面经淬火硬化后，其硬度应 $\geq 48\text{HRC}$ ，淬硬层深度 $\geq 0.6\text{mm}$ ，热影响过渡区不得出现在锁夹槽内，对于杆端部及锁夹槽部需表面淬火或淬透的气门，其硬度分布或长度应符合图样规定。整体奥氏体

汽车发动机气门材料的牌号与及化学成分

材料牌号	化学成分 (质量分数, %)										
	WC	WSi	Mn	WP	WS	WNi	WCr	WMo	WW	WN	WCo
42Cr9Si2	0.35 ~ 0.50	2.00 ~ 3.00	≤0.70	≤0.035	≤0.030	—	8.00 ~ 10.00	—	—	—	—
45Cr9Si3	0.40 ~ 0.50	2.70 ~ 3.30	≤0.80	≤0.040	≤0.030	—	8.00 ~ 10.00	—	—	—	—
51Cr8Si2	0.45 ~ 0.55	1.00 ~ 2.00	≤0.60	≤0.030	≤0.030	—	7.50 ~ 9.50	—	—	—	—
40Cr10Si2Mo	0.35 ~ 0.45	1.90 ~ 2.60	≤0.70	≤0.035	≤0.030	—	9.00 ~ 10.50	0.70 ~ 0.90	—	—	—
85Cr18Mo2V	0.80 ~ 0.90	≤1.00	≤1.50	≤0.040	≤0.030	—	16.5 ~ 18.5	2.0 ~ 2.5	—	—	V:0.30 ~ 0.60
55Cr20Mn8Ni2N (21—2N)	0.50 ~ 0.60	≤0.25	7.00 ~ 10.00	≤0.040	≤0.030	1.50 ~ 2.75	19.50 ~ 21.50	—	—	0.20 ~ 0.40	—
53Cr21Mn9Ni4N (21—4N)	0.48 ~ 0.58	≤0.35	8.00 ~ 10.00	≤0.040	≤0.030	3.25 ~ 4.50	20.00 ~ 22.00	—	—	0.35 ~ 0.50	C+N≥0.90
50Cr21Mn9Ni4Nb2WN (21—4NWNb)	0.45 ~ 0.55	≤0.45	8.0 ~ 10.0	≤0.050	≤0.030	3.50 ~ 5.00	20.00 ~ 22.00	—	0.80 ~ 1.50	0.40 ~ 0.60	1.80 ~ 2.50Nb C+N≥0.90
33Cr23Ni8Mn3N (23—8N)	0.28 ~ 0.38	0.50 ~ 1.00	1.50 ~ 3.50	≤0.040	≤0.030	7.00 ~ 9.00	22.00 ~ 24.00	≤0.50	≤0.50	0.25 ~ 0.30	—
GH14751 (Inconel751)	≤0.10	≤0.50	≤1.00	≤0.015	≤0.015	余	14.00 ~ 17.00	Al0.90 ~ 1.5	Ti2.20 ~ 2.60	Nb0.70 ~ 1.20	Fe5.00 ~ 9.00
Nimonic 80—A	0.04 ~ 0.10	≤1.00	≤1.00	≤0.020	≤0.015	余	18.00 ~ 21.00	Fe≤3.00	Cu≤0.20 B≤0.008	Al1.0 ~ 1.80 Ti1.80 ~ 2.70	≤2.00
Ni30	≤0.08	≤0.50	≤0.50	≤0.015	≤0.015	29.50 ~ 33.50	13.50 ~ 15.50	0.40 ~ 1.00	—	Nb0.40 ~ 0.90 B≤0.010	Al1.60~2.20 Ti2.3~2.90
TC4 (Ti6—4)	≤0.10	Al5.25 ~ 6.75	V3.35 ~ 4.65	O≤0.40	H≤0.02	Fe ≤0.80	Ti余	—	—	≤0.10	—

气门和非杆端淬火马氏体材料气门杆端部硬度与基体硬度一致。气门盘锥面经淬火后，硬化层应≥1.5mm，其硬度应符合图样规定。

(1) 马氏体型钢气门的热处理 制造工艺：马氏体型钢棒料→电镦→锻造→调质→校直→切削加工→渗氮→杆端面淬火→抛光→入库。热处理工艺：马氏体型钢气门都在稳定的索氏体组织状态下使用，回火温度一般高于650℃，大多数马氏体型钢气门是整体制造的，但有的气门要求局部堆焊。为提高杆端面耐磨性，一般要求采用局部高频淬火等方法。为提高杆部耐磨性，要求渗氮处理，渗氮处理温度不应超过调质回火温度。42Cr9Si2、40Cr10Si2Mo钢中Cr、Si适量配合，以获得要求的热稳定性，同时Si也显著提高钢的

Ac₁（奥氏体临界温度），42Cr9Si2钢的Ac₁约900℃，40Cr10Si2Mo钢的Ac₁约970℃，从而提高使用温度。在42Cr9Si2钢的基础上加Mo，不仅提高热强度，同时也消除回火脆性。42Cr9Si2及40Cr10Si2Mo钢的使用温度分别<700℃及750℃，此系列钢一般用于进气门。

(2) 奥氏体型钢气门的热处理 排气门一般用奥氏体型钢制造，有整体的，也有焊接的。整体气门制造工艺：下料→电镦→顶锻→固溶时效→机加工→锥面及杆端面堆焊合金→精加工→杆端面高频淬火→入库。焊接气门制造工艺：头部下料→电镦→顶锻→固溶时效→加工→锥面堆焊（或：杆部下料→调质→加工）→对焊→校直→去应力退火→精加工→渗氮→杆端面高频淬火→入库。



奥氏体型钢时效温度应严格控制,温度过高,会产生层状析出,析出物主要是 $M_{23}C_6$ 和少量 $Cr_{12}N$,层状析出会导致降低室温韧性、疲劳强度和耐蚀性能。层状析出的产生与固溶温度过高、固溶后冷却太慢及钢中氮含量不合适等因素有关。

3.堆焊层

堆焊层与基体金属之间为冶金结合,堆焊深度及盘锥面堆焊层硬度应符合图样规定。杆端堆焊层与基体金属之间为冶金结合,堆焊深度及盘锥面堆焊层硬度应符合图样规定。杆端面堆焊层硬度应 $>50HRC$,堆焊层表面不允许有裂纹。

4.强度

对焊气门焊缝的抗拉强度值要大于两种材质中较弱部分强度值的90%。杆端部焊接处的抗剪切强度应符合产品图样规定。

5.表面处理

杆部镀铬气门铬层的厚度应符合图样规定。若厚度 $<0.01mm$,不检测铬层硬度;若厚度 $>0.01mm$,硬度应 $>800HV0.2$ 。铬层表面应无目视可见结瘤、起皮等缺陷。铬层长度应符合图样规定。

气门经渗氮处理后,表面硬度 $\geq 600HV0.2$,渗层深度 $0.01\sim 0.06mm$,渗氮层疏松及氮化物按GB/T 11354中疏松及氮化物级别图进行评定,1~3级为合格。

6.金相组织

马氏体型钢经调质处理后,显微组织应为回火索氏体+细小碳化物颗粒。不允许有游离铁素体及连续网状碳化物,奥氏体晶粒度按GB/T 6394评定,应不粗于6级。

奥氏体型钢经固溶+时效和仅时效处理后,显微组织应为奥氏体+未溶一次碳化物颗粒+析出碳氮化合物(晶内、晶界)。层状析出物的数量应符合产品图样和有关技术文件的规定。

如不热处理或仅固溶,其显微组织为奥氏体+未溶一次碳化物颗粒,奥氏体晶粒度按GB/T 6394评定,应细于3级。

高温合金的显微组织为固溶体+碳化物+ γ' 相。晶粒度按GB/T 6394评定,应符合产品图样规定。

7.气门锻造金属流线

气门的锻造金属流线应具有与外形一致的纤维方

向,不得存在截断、折回等缺陷。

材料及热处理检验方法

1.气门材料

气门用钢的化学成份及力学性能按GB/T 3077和GB/T 1221规定的方法检测。堆焊合金的化学成份按GB/T 223和JB/T 3168.3(喷焊合金粉末化学成份分析方法)规定方法检测。

2.气门硬度

按GB/T 230.1和GB/T 4340.1规定的方法检测,检测点不得在对焊、堆焊、盘锥面淬火和杆端淬火热影响区内。杆端面淬火后硬化层深度按JB/T 6012.2规定的方法检测。

3.金相组织、渗氮层、堆焊层、金属流线

金相组织、渗氮层、堆焊层按JB/T 6012.2规定的方法检测。气门锻造金属流线检测将气门沿轴线纵向剖开,经磨抛后,用盐酸溶液热蚀后检查。

4.抗拉强度及探伤

对于堆焊气门堆焊部位按GB/T 228规定的方法检测。对于摩擦焊焊缝按JB/T 6012.4的规定探伤,对于合金结构钢和马氏体型钢气门按JB/T 6012.3规定探伤,对于奥氏体型钢气门及堆焊部位应进行荧光或着色探伤。

结语

汽车气门是发动机的重要零部件之一,常用的排气门、进气门选择合金结构钢、马氏体型钢、奥氏体型钢、高温合金和钛合金材料。气门的热处理工艺,马氏体钢气门需调质处理,整体和对焊气门奥氏体型钢部分根据产品图样可分固溶、固溶时效、仅时效和非固溶时效处理,高温合金可固溶时效处理,气门杆端面经高频淬火硬化。

只有从材料、热处理、检测等诸多方面持续改进、完善,才能满足市场对汽车气门不断增长的需求。

关键词:

气门 材料 热处理

(收稿日期20131011)