M152低温韧脆转变温度的热处理工艺

范黔伟

摘要：分析M152残留奥氏体的数量与低温韧脆转变温度、纤维断面率的相互关系，并通过热处理工艺参数的调整来控制残留奥氏体的数量，从而改变在不同温度下的脆性断面率。

材质为M152（美国ASTMA565TP·XM-32）的不锈钢锻件是我公司承接的石油用支撑环锻件，由于工作环境的特殊性，该锻件不仅要求室温下高的强度和高的冲击性能，同时要求在-32℃的脆性断面率≥50%。

M152钢是低碳马氏体型不锈热强钢，因钢中加入了钼、钒等元素，故具有较高的中温抗蠕变性能、持久性能以及良好的抗疲劳性能和抗腐蚀性能，满意的焊接性能和成形性能。在450～550℃之间有一个明显的回火脆性区，应避免在此温度区间回火。

M152钢可在500℃以下使用，其真空自耗重熔钢可制造航空发动机的低压压气机一级转子轴和盘前隔圈。电炉冶炼钢或电渣重熔钢可制造高压机匣、进气机匣、扩散机匣、燃烧室外套、排气混合器、安装边、支承座及高压静子叶片等。

应用概况及行业特殊要求：已试用于航空发动机以及舰艇和发电用的动力装置上，已能批量供应。

1. 技术要求

M152的化学成分如表1所示，力学性能要求如表2所示。

2. 试验材料制备及试验方法

（1）冶炼　采用冶炼工艺：非真空感应炉+电渣重熔，技术条件：ASTM A370，钢的实际熔炼化学成分见表3。

0.2mm（见图6），符合技术要求。

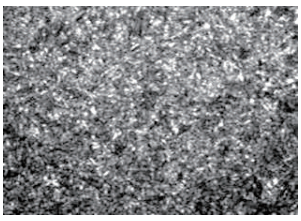


图5　金相组织（400×）

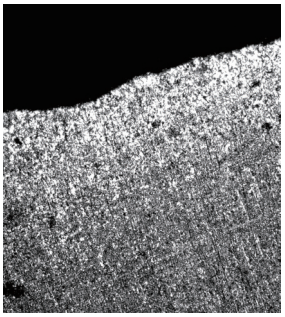


图6　脱碳层（100×）

晶粒度检测情况

位置	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C
晶粒度	9.5	9	9	9.5	8.5	8.5	10

4. 结语

（1）采用连续调质工艺，工件硬度均匀，各项检测结果符合要求。

（2）生产实践表明，相比原工艺，连续调质工艺可提高生产效率230%以上，成本降低约20%。

作者简介：陈云龙、宋瑞宁、郭静、孙叶、陈伟成，山推工程机械股份有限公司。

MW 20151012

（2）锻造　电渣重熔钢的加热温度为1150℃±14℃，始锻温度为1030～1070℃，终锻温度应高于850℃，锻后缓冷。加热设备采用燃气炉，锻造采用8MN快锻件镦粗、冲孔、马架扩孔并平端面，成形为ϕ1600mm轧机，成形尺寸为：ϕ724mm×ϕ534mm×177mm，如图1所示位置试环取样进行热处理工艺试验。为避免产生锻造裂纹和折叠，对锻造成形的锻件进行粗加工后取环。

（3）加工与试验方法　将试样热处理后按GB/T 229—1994要求加工成10mm×10mm×55mm夏比V型缺口冲击试样。按照要求在JB-300冲击试验机上进行23℃、-4℃、-16℃、-32℃、-42℃、-48℃的冲击检测。锻件的技术要求的脆性断面率是在-32℃进行冲击后按照GB/T　12778—1991进行测量。

3. 热处理方案

从图2a可以看出，淬火温度在1030℃、1050℃力学性能较好。从图2b可以看出，冲击韧度在580℃回火时最好。因此，采用580℃进行回火，并且采用低温淬火，可以有效减少锻件淬火后的残留奥氏体。

综上所述，结合锻件形状及所要求的力学性能指标，对M152材料制订了以下3种试验方案。试验设备：箱式电阻炉。

（1）淬火1050℃，保温90min油冷，回火580℃，保温3h，油冷，二次回火590℃，保温3h，油冷。

（2）调质处理1060℃，保温90min空冷，回火635℃，保温150min，淬火1050℃，保温90min油冷，回火585℃，保温3h，空冷，二次回火590℃，保温3h，油冷。

（3）调质处理1050℃，保温90min空冷，回火635℃，保温150min，淬火1030℃，保温90min油冷，回火580℃，保温3h，空冷，二次回火580℃，保温3h，油冷，奥氏体稳定化处理200℃，保温8h，空冷。

4. 试验结果及分析

该材料经过上述试验方案处理后的力学性能结果见表4，研究-32℃脆性断面率的情况，其中1#、2#热处理方案的脆性断面率不符合技术要求，3#热处理方

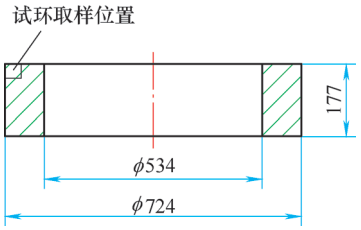
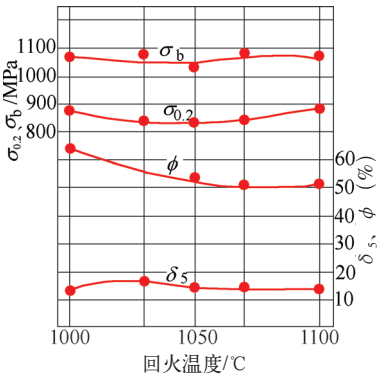
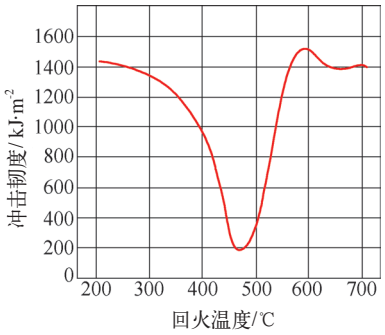


图 1



(a)



(b)

图 2

表1　M152钢化学成分（质量分数）　（%）

C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Mo
0.08～0.15	≤0.300	0.5～0.9	11.5～12.25	≤0.01	≤0.015	2.5～3.0	1.5～2.0
V	N	Al	As	Sb	Sn	O(×10^{-6})	H(×10^{-6})
0.25～0.4	≤0.060	≤0.015	≤0.015	≤0.003	≤0.010	≤75.0	≤2.0

表2　M152钢力学性能

抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	A_4（%）	冲击吸收能量A_K/J	硬度HRC	断面收缩率（%）
≥1035	≥830	≥13	70	35～38	≥30

表3　M152钢实际化学成分（质量分数）　（%）

C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Mo
0.110	0.210	0.650	12.0	0.004	0.013	2.760	1.710
V	N	Al	As	Sb	Sn	O(×10^{-6})	H(×10^{-6})
0.300	0.050	0.010	0.002	0.0030	0.002	1.130	37.00

案的脆性断面率符合技术要求。

韧脆转变温度：主要针对钢铁随着温度的变化其内部晶体结构发生改变，从而钢铁的韧性和脆性发生相应的变化。低温情况：当温度下降至较低（根据钢的种类而不同）时，本来韧性良好的钢失去了应有的韧性，变得像玻璃棒一样脆而易折。因此在寒冷地区（如冬季的西伯利亚、南北两极）使用的钢材必须选用能适应寒冷情况的种类。低温脆性受位错移动力（派纳力）的影响，低温下派纳力移动困难，导致材料屈服强度急剧升高，在某一温度与断裂强度相等。这个温度就是韧脆转变温度。继续降温，屈服强度继续升高，大于断裂强度，因此低温下材料在没有塑性变形的条件下已经发生脆性断裂，材料的断裂强度受温度影响较小。

对脆性断面率的影响主要原因有如下几方面：

（1）钢的纯净度即钢中杂质元素的影响，其中影响最大的是P含量，当P含量在上限时往往造成断裂韧度低，P作为有害杂质元素的最大危害是造成低温脆性。

（2）锻造温度的影响，如终锻温度过高或过低，锻后冷却过快，会造成应力过大，从而增加后续热处理的残余应力，造成锻件变形，开裂倾向增加。

（3）热处理组织、残余应力对脆性断面率的影响：

首先，残留奥氏体是造成脆性断面率低的另一个重要原因，当在-32℃进行保温时，残留奥氏体会转变成淬火马氏体，这种马氏体呈脆性，因此会造成断口呈脆性断裂。由于一次回火后往往不能完全将残留奥氏体消除（还会有5%左右），因此采用二次回火。经过二次回火后的锻件仍有2%～3%的残留奥氏体，因此在二次回火后增加一次稳定化处理，即200℃×8h使残留奥氏体稳定，以避免在-32℃进行保温时转变成淬火马氏体。

其次，M152钢在淬火时形成的是片状马氏体，其是在极高的速度下形成的，并且形成时有许多微观裂纹，如果不及时进行回火，裂纹会扩展，最终形成宏观裂纹，因此需及时进行回火，规定淬火冷却至50℃（*Mf*点67℃）后需在2h内进行回火。淬火、回火前先进行调质处理，以细化晶粒、均匀组织，为后续最终热处理做好准备。为保证和控制残余应力，加热采用低温装炉（如650℃装炉），以减少热应力和锻件变形。

表 4

热处理方案	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	A_4（%）	断面收缩率（%）	室温冲击吸收能量A_K/J	硬度HRC
1	1170	1030	17	60	90	38
2	1160	1020	20	68	122	37.5
3	1110	960	21	72	148	38
技术要求	≥1035	≥830	≥13	≥30	70	35～38

5. 结语

（1）材料为M152的不锈钢随淬火温度的升高，各项指标均呈上升趋势，当淬火温度超过1030℃时，抗拉强度和冲击韧度逐渐降低。

（2）试验证明，M152材料锻件的最佳热处理工艺为：调质处理1050℃，保温90min空冷，回火635℃，保温150min，淬火1030℃，保温90min油冷，回火580℃，保温3h，空冷，二次回火580℃，保温3h，油冷，奥氏体稳定化处理200℃，保温8h，空冷。

（3）锻件采用以上工艺制度断裂脆性转变温度满足用户技术要求。

作者简介：范黔伟，贵州航宇科技股份有限公司技术中心。

MW 20150916