

改善ASTM A668 Cl.E材质大锻件冲击吸收功及晶粒度的研究

赵学文

ASTM A668 Cl.E属于低中碳低合金钢，退火或正回火需保证产品的力学性能。某批ASTM A668 CL.E材质锻件化学成分要求（max）和实际成分见表1，热处理正回火后需保证最终性能值（$\sigma_{0.2}\geqslant$295MPa，$\sigma_b\geqslant$570MPa，$\delta_4\geqslant$22%，$\Psi\geqslant$35%，A_{KV}(0℃)≥27J），其取样部位见图1。

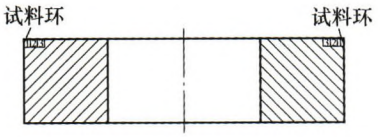


图1　锻件取样部位

1. 问题分析

实际生产中采用图2所示的热处理工艺，锻件的强度（见表2）均满足性能要求，但冲击值均不合格。该批锻件实际成分相当于国产35Mn，Ac_1温度727℃，Ac_3温度790℃，此材质正常的正火温度应选择（850±10）℃，回火温度应选择（640±10）℃。该锻件正回火后强度要求值比较苛刻且冲击试验温度为0℃，为确保性能值，结合以往类似材质热处理工艺参数，实际正火温度选用900℃，回火温度选用580℃，空冷时仅吊下空冷。

因冲击值不合格返修的锻件热处理难度较大，选取冲击残样做金相分析未发现夹杂物超标缺陷，冲击组织为铁素体+珠光体，部分珠光体组织成团状，且部分晶粒粗大（见图3、图4）。一般正火温度偏高或均温、保温时间过长或冷却速度较慢易造成此现象。

从强度和冲击搭配值看，我们认为正火温度选择偏高、回火温度偏低是造成强度富裕量较大而冲击值不合格的主要原因。

表1　化学成分（质量分数）　（%）

化学成分	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	V	H
成品要求(max)	0.51	0.41	1.44	0.065	0.065	—	—	—	—	—	—
实际值	0.33	0.33	1.25	0.006	0.002	0.06	0.18	0.06	0.03	0.11	0.5

表2　性能结果

性能指标	$\sigma_{0.2}$/MPa	σ_b/MPa	δ_4（%）	Ψ（%）	A_{KV}(0℃)/J
实际值	450	710	27.0	57.8	18/12/14
	450	715	25.8	54.2	14/16/14

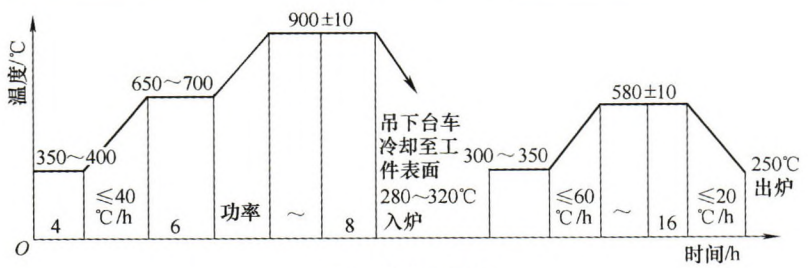


图2　热处理工艺

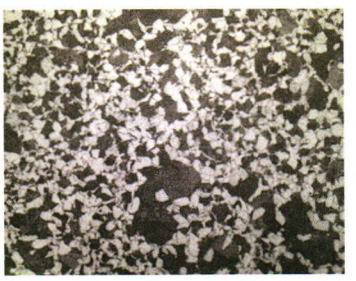


图3　晶粒度照片（7级，少量5级）100×



图4　组织照片（铁素体+珠光体）200×

2. 工艺试验

为验证以上分析并确定返修热处理工艺，进行小样模拟试验。

（1）试验材料　在锻件性能余料上加工拉伸和冲击小试样。

（2）试验设备　模拟炉，最高使用温度为1250℃。

（3）模拟试验方案　不同正火温度（回火温度）、冷却方式的组合共8组方案。方案A：850℃×2h（空冷）+600℃×4h（空冷）；方案B：850℃×2h（空冷）+640℃×4h（空冷）；方案C：850℃×2h（水冷）+600℃×4h（空冷）；方案D：850℃×2h（水冷）+640℃×4h（空冷）；方案E：880℃×2h（空冷）+600℃×4h（空冷）；方案F：880℃×2h（空冷）+640℃×4h（空冷）；方案G：880℃×2h（水冷）+600℃×4h（空冷）；方案H：880℃×2h（水冷）+640℃×4h（空冷）。

（4）试验结果　表3中A～H试验方案中，伸长率普遍偏低，其他性能均合格。强度和冲击值随热处理温度和冷却方式的变化规律如下：正火温度升高30℃，屈服强度升高30～60MPa，抗拉强度值升高30～60MPa。G方案强度最高，可见经正火温度提高并加速冷却后，强度值最高。C～D冲击值最高、G～H冲击值次之。工艺参数和冲击值关系表明：随着正火温度的下降，冲击值明显升高；在同一正火温度下，随回火温度升高，冲击值也明显改善，640℃约是600℃回火温度下的冲击值的2倍；在同一正火和回火温度下，水冷后的冲击值高于空冷后的冲击值，可见加速冷却可改善冲击值。

以上8组方案的组织和晶粒度情况见表4。空冷后的组织除贝氏体回火组织外，还有铁素体+珠光体，水冷后的组织均为贝氏体回火组织，组织分布比较均匀，晶粒度均为8级。可见，D方案冲击值最好。

3. 生产验证

考虑到本次试验采用小样模拟，且在实际生产中受炉温偏差、装炉量等的影响，因此，制订返修工艺时正火温度选用（870±10）℃，吊下台车时喷雾加速冷却，回火参数选用（640±10）℃（见图5）。

4. 返修结果及结论

返修后性能数据见表5，强度和冲击值均合格。返修后组织均匀，晶粒度7级（见图6），组织均匀，晶粒度得到改善。

表3 试验结果

方案	$\sigma_{0.2}$/MPa	σ_b/MPa	δ（%）	Ψ（%）	A_{KV}(0℃)/J
A	622	784	20.4	60.5	31.3
B	602	755	22.4	61.9	32
C	943	1016	17.2	60.0	52.5
D	825	897	19.0	66.6	113.5
E	652	811	22.2	60.6	21
F	650	799	21.4	61.7	24
G	975	1045	17.0	58.4	40.3
H	885	955	19.4	63.0	77.5

表4 A～H方案组织与晶粒度

方案	组织	晶粒度/级
A	贝氏体回火组织+铁素体+少量珠光体	8
B	贝氏体回火组织+铁素体+少量珠光体	8
C	贝氏体回火组织	8
D	贝氏体回火组织	8
E	贝氏体回火组织+铁素体+珠光体	8
F	贝氏体回火组织+铁素体+珠光体	8
G	贝氏体回火组织	8
H	贝氏体回火组织	8

表5　返修后性能结果

性能指标	$\sigma_{0.2}$/MPa	σ_b/MPa	δ_4（%）	Ψ（%）	A_{KV}(0℃)/J
实际值	360	620	32.2	60.7	90/94/126
	365	630	32.8	59.8	92/61/63

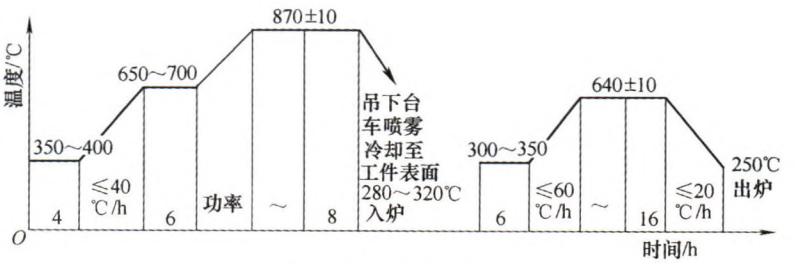
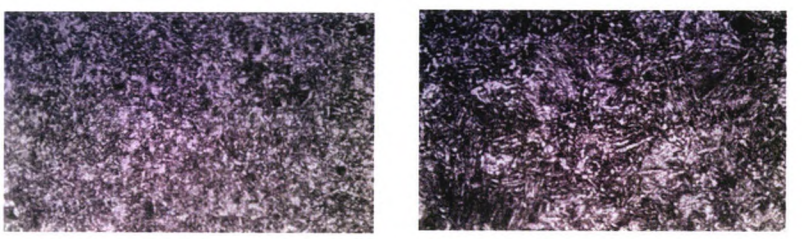


图5 返修热处理工艺



（a）晶粒度照片（7级）100×　　（b）贝氏体回火组织照片 200×

图 6

作者简介：赵学文，中国一重铸锻钢事业部水压机锻造分厂。

MW 20140218