

高品质 1.2367 钢的开发与性能

马志俊, 徐辉霞, 徐文瑛, 张家林, 张润润

(天工国际有限公司 科技创新部, 丹阳 212312)

摘要: 试制了截面尺寸为 220 mm×810 mm 和 $\varnothing$ 220 mm 的两种规格 1.2367 热作模具钢, 研究了试验钢在不同淬火、回火工艺下的硬度变化和硬度范围 46~48 HRC 时试验钢的冲击韧性和拉伸性能。结果表明: 试验钢回火二次硬化峰值温度为 510 °C, 峰值硬度为 56.5 HRC, 经 1 050 °C 淬火 +620 °C 回火后其心部等向性达到 90% 左右, 其中扁钢心部横向无缺口冲击功达到 371 J; 1.2367 钢与 H13 钢相比, 可应用于更高的使用温度范围, 有更高的强度和冲击韧性。

关键词: 1.2367 热作模具钢; 冲击韧性; 强度

中图分类号: TG142.45 文献标志码: A 文章编号: 1000-3738(2017)Z2-0036-04

Development and Performance of High-quality 1.2367 Steel

MA Zhijun, XU Huixia, XU Wenying, ZHANG Jialin, ZHANG Jianjian

(Tiangong International Company Ltd, Danyang 212312, China)

Abstract: Two types of 1.2367 steel 220 mm×810 mm and $\varnothing$ 220mm were developed. The hardness of the test steels under different quenching and tempering processes and the impact toughness and tensile properties in the range of 46-48 HRC hardness were studied. The results show that tempering secondary hardening peak temperature was 510°C and the peak hardness was 56.6 HRC, the isotropic in the center of test steels reach to 90% after quenching at 1 050 °C and tempering at 620 °C, the unnotched impact energy in the transversal direct and center of the 220 mm×810 mm size test steel reach to 371 J. 1.2367 steel has the application of higher temperature range and has higher strength and impact toughness compared with H13 steel.

Key words: 1.2367 hot work die steel; impact toughness; strength

0 引言

1.2367 (4Cr5Mo3V) 钢是一种德国牌号的热作模具钢, 该钢的开发基于低 Si 高 Mo 低 V 的合金成分设计思路, 化学成分类似于德国 KIND & CO 公司的 RPU 钢、奥地利百禄 BOHLER 公司的 W303 钢, 与一胜百 Dievar 钢相比, 具有更高的 Mo 含量。与 H11 和 H13 钢相比, 较高的 Mo 含量和较低的 Si 含量使得 1.2367 钢具有以下特点: 较高的淬透性, 可以抑制晶界碳化物的析出和贝氏体转变; 较高的回火抗力; 更高的高温强度和蠕变强度; 更高的抗热裂能力; 更高的冲击韧性; 共晶碳化物细化和碳化物分布更加均匀^[1]。由于其高温强度相比 H13 钢有了一定程度的提升, 特别适用于 600 ~ 650 °C 的工作温度, 对高温强度有特殊要求的热作模具钢。随着模具工业的发展, 模具大型化和高精密化对模具材料的要求越来越

高, 作者针对国内外客户的要求, 通过冶炼、锻造、热处理工艺改进, 生产出了高韧性、高塑性、高等向性的高品质模具钢 1.2367, 对该钢的组织 and 性能进行了分析。

1 试样制备与试验方法

1.1 试样制备

试验钢经过 EAF+LF+VD+ 电渣重熔、高温扩散处理、4500 T 机快锻、超细化 + 球化退火处理, 获得两种规格的退火态试验钢, 规格分别为 220 mm×810 mm 扁钢和 $\varnothing$ 220 mm 圆钢, 钢的化学成分如表 1 所示, 切取厚度 25 mm 的试样用于组织分析和力学性能测试。

表 1 试验钢的化学成分 (质量分数)

Tab. 1 Chemical composition of test steel(mass)							%
C	Mn	Si	Mo	V	Cr	S	P
0.36	0.38	0.31	2.84	0.49	4.95	0.001	0.01

1.2 试验方法

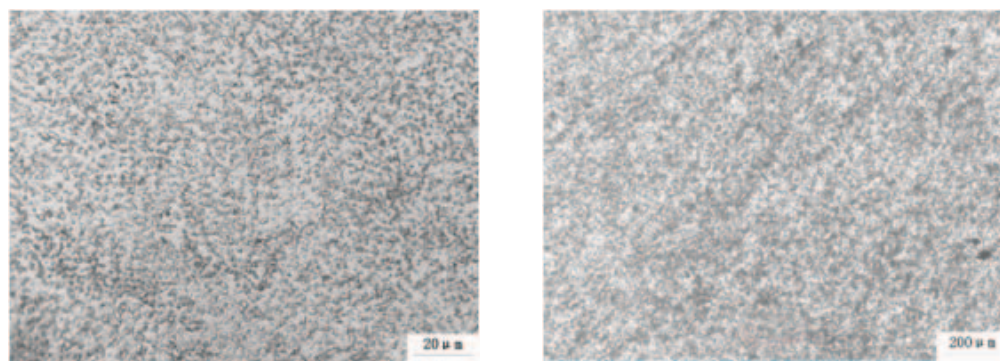
对试验钢进行金相检测, 分析心部退火态组织及偏析情况。为了研究淬、回火工艺对试验钢硬度的影响规律, 在 220 mm×810 mm 规格钢的横截面上取 12 mm×12 mm×15 mm 的试样若干, 在 750℃保温 30 min 预热后, 使用盐浴淬火, 分别于 920℃, 950℃, 980℃, 1 000℃, 1 030℃, 1 050℃, 1 080℃, 1 100℃, 1 150℃, 1 200℃保温 30 min 油冷淬火; 于最佳淬火温度 1 050℃淬火, 分别在 210℃, 300℃, 400℃, 450℃, 480℃, 510℃, 540℃, 570℃, 600℃, 620℃, 650℃, 700℃空冷回火, 400℃以下保温 2 h, 回火一次, 其余各回火温度保温 2 h, 回火两次。另外, 分别于 220 mm×810 mm 规格扁钢和 $\varnothing$ 220 mm 规格圆钢中心处横、纵向取 7 mm×10 mm×55 mm 无缺口冲击试样, 并于 $\varnothing$ 220 mm 圆钢心部、1/4R、边

部横向取标准 10 mm×10 mm×55 mm 夏比 V 型缺口冲击试样和 $\varnothing$ 5 mm×65 mm 的拉伸试样。所有力学性能试样采用 1 050℃淬火+620℃回火两次, 调整硬度至 46~48 HRC, 冲击试验机为 JBN-30B9 (最大能量为 300 J), 拉伸试验机为 WDT-10 电子拉伸试验机 (10 kN)。用 4% 硝酸酒精溶液腐蚀回火试样, 采用 Olympus-G 光学显微镜进行金相表征。

2 试验结果

2.1 退火态组织

由图 1 和图 2 可以看出: $\varnothing$ 220 mm 圆钢和 220 mm×810 mm 扁钢心部的退火组织有偏析, 根据 NADCA#207: 2003 标准对其进行评定, 退火组织级别分别为 AS2 和 AS3 级, 偏析均为可接受级别, 未见明显的偏析条带。

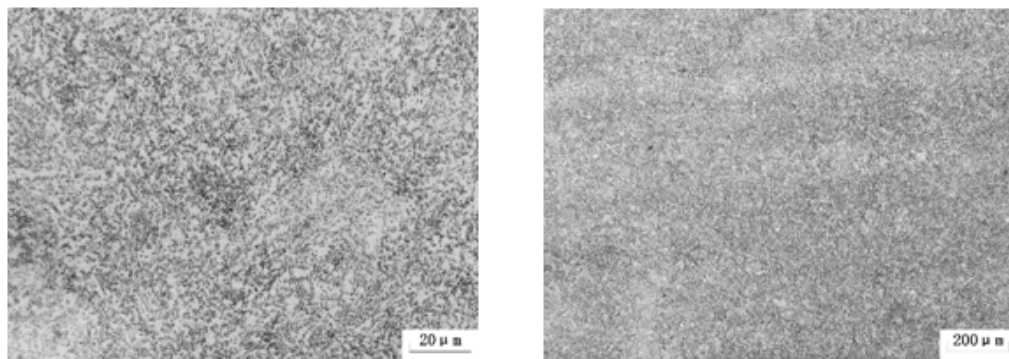


(a) 退火组织

(b) 偏析组织

图 1 $\varnothing$ 220 mm 圆钢退火组织及偏析组织

Fig.1 Annealed microstructure(a) and m segregation(b) of $\varnothing$ 220 mm test steel



(a) 退火组织

(b) 偏析组织

图 2 220mm×810mm 扁钢退火组织及偏析组织

Fig.2 Annealed microstructure(a) and m segregation(b) of 220 mm×810 mm test steel

2.2 淬、回火后的硬度

图 3 为试验钢在不同温度淬火后的硬度曲线, 可知, 随着淬火温度的升高, 试验钢淬火硬度呈

增加趋势。这是因为淬火硬度与马氏体的碳含量有较大关系, 淬火温度越高, 溶入马氏体基体中的合金元素和碳的含量就越多, 淬火硬度就越高^[2]。

试验钢在 1 150 ℃ 淬火时达到硬度峰值, 为 62.0 HRC, 此时, 碳化物溶解量基本达到最大值; 继续升高淬火温度, 由于残余奥氏体的数量增加, 硬度出现降低。

图 4 为试验钢经 1 050 ℃ 淬火后于不同温度回火的硬度曲线, 由图可知, 试验钢出现了明显的二次硬化峰, 峰值温度 510 ℃, 峰值硬度 56.5 HRC。试验钢于 210 ℃ ~300 ℃ 回火时, 由于马氏体组织的回复, 组织的软化, 硬度略有下降; 从 300 ℃ 升到 510 ℃, 硬度逐渐上升, 形成二次硬度峰, 二次硬化的产生原因一是马氏体分解过程中析出合金碳化物使其硬度提高; 二是由于回火过程中残余奥氏体向马氏体转变使其硬度提高^[3]。当回火温度继续升高从 510 ℃ 上升到 700 ℃ 时, 硬度快速降低, 这是由于马氏体进一步分解, 而析出的碳化物开始粗化, 合金元素的固溶强化作用降低导致。由于在二次硬化峰值温度回火时, 材料韧性基本处于最低点, 通常模具钢回火时需要避开该温度。当回火温度超过 570 ℃ 后, 硬度下降的速率急剧增加, 温度每升高 20 ℃, 硬度降低幅度达到 5 HRC 左右, 可能与此时的马氏体已经大量分解, 开始形成回火索氏体有关。

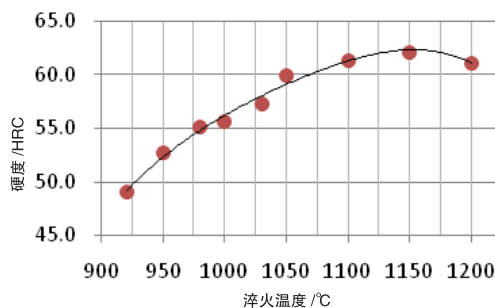


图 3 试验钢淬火温度与硬度的关系曲线

Fig.3 Relation curve of quenching temperature and the hardness of test steel

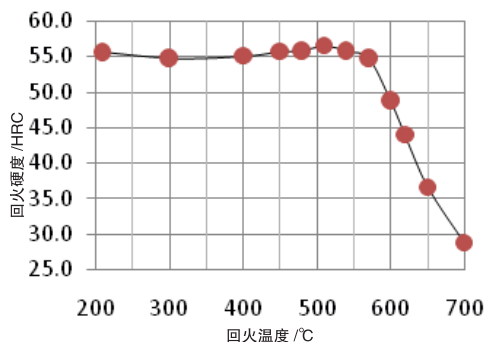


图 4 试验钢回火硬度和回火温度的关系曲线 (1 050 ℃ 淬火)

Fig.4 Relation curve of tempering temperature and the hardness of test steel

2.3 力学性能

在 220 mm × 810 mm 规格和 $\phi 220$ mm 规格的试验钢心部取横向、纵向 7 mm × 10 mm × 55 mm 无缺口冲击试样, 每个方向各 3 个。同时, 为了与缺口试样的冲击功进行对比研究, 于 $\phi 220$ mm 规格的试验钢横向不同位置取标准 V 型缺口冲击试样各 5 个, 两种试样均采用 1 050 ℃ 淬火 +620 ℃ 回火两次, 调整硬度至 46~48 HRC, 试验钢无缺口冲击功和 V 型缺口的冲击功分别见图 5 和图 6。可知, 220 mm × 810 mm 规格试验钢的无缺口冲击功较高, 达到 370 J, 两试验钢心部均韧性较高, 横向冲击功 / 纵向冲击功分别达到 90% 和 89%, 具有较高的等向性。 $\phi 220$ mm 规格试验钢横向心部 V 型缺口冲击功达到 12 J, 达到 NADCA 207#: 2003 标准优质 H13 钢的冲击韧性级别。

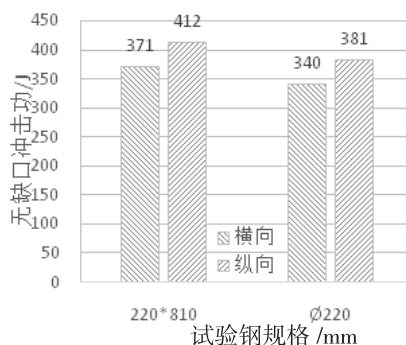


图 5 试验钢心部无缺口试样的冲击功

Fig.5 Unnotched impact energy in the center of test steel

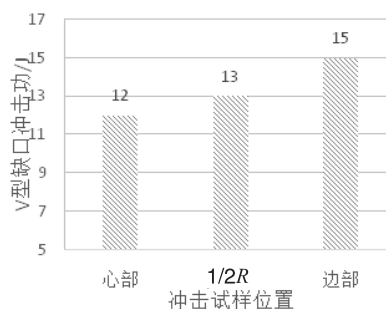


图 6 $\phi 220$ mm 规格试验钢不同位置横向 V 型缺口冲击功

Fig.6 V-notched impact energy of test steel with the size of $\phi 220$ mm

$\phi 220$ mm 规格试验钢不同位置的强度和塑性指标变化规律见表 2, 可知, 抗拉强度和屈服强度未能形成明显规律, 但边部塑性略高。由于模具钢强度指标基本由成分及热处理工艺决定, 试验钢经 1050 ℃ 淬火 +620 ℃ 两次回火后的强度和塑性高于同硬度条件下 (46~48 HRC) 的 ASSAB 8407 钢的^[4], 因此, 1.2367 钢具有更高的抗回火

性能, 与 Mo 质量分数为 1% 的 8407 (H13) 钢相比, 该钢可应用于更高的温度范围, 同时可保持更高的强度和冲击韧性。

表 2 Ø220 mm 规格试验钢不同位置的拉伸性能

Tab.2 Tensile properties of test steel with the size of Ø220mm				
取样位置	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	断后伸长率 /%	断面收缩率 /%
心部	1 553.0	1 275.5	12.8	45.0
1/2R	1 556.7	1 318.7	12.7	47.7
边部	1 505.5	1 279.5	13.3	49.5

3 分析与讨论

低 Si 高 Mo 低 V 的合金成分设计是目前高品质热作模具钢的研发方向, 低 Si 化有利于降低组织偏析, 提高组织均匀性; 低 V 化可以最大限度避免钢锭凝固过程中大颗粒 VC 类液析碳化物的产生, 从而提高模具钢的横向冲击韧性, 降低模具使用过程中的开裂风险; 由于 V 含量的降低钢将损失一定的高温强度, 因此, 提高 Mo 含量弥补了这一缺点。Mo 元素与 Cr 元素类似, 也是铁素体形成元素, 能缩小奥氏体相区, 固溶于基体中可提高钢的淬透性, 有助于改善其耐热性和耐蚀性, 常作为热作模具钢的添加元素。Mo 通常与 C 结合成 MoC、Mo₂C、Mo₆C 碳化物, 其中回火时析出的 Mo₂C 成为钢中最重要的强化相, 是形成二次硬化的主要合金相^[5]。Mo 会使钢的脱碳氧化程度变得严重, 通常加入 3% 左右的钼元素可以降低脱碳氧化的程度。试验钢中 Mo 元素的含量为 2.84%, 由上述试验结果可知, 高强度下仍然具有较高韧性。同时, 试验钢采用高洁净度电渣重熔冶炼, 配合高温扩散、多向锻造及组织细化工艺, 保证了钢材质量。试验钢可适用于寿命要求高的铝、镁合

金压铸模、铜合金挤压模、复杂的挤型模、芯棒等。

4 结 论

(1) 试制了两种规格的 1.2367 钢, 分别为 220 mm × 810 mm 扁钢和 Ø220 mm 圆钢, 退火组织级别分别为 AS2 和 AS3 级, 偏析均为可接受级别, 未见明显的偏析条带。

(2) 试验钢在 1 150 °C 淬火时达到硬度峰值, 峰值硬度 62.0 HRC, 1 050 °C 淬火后的回火出现明显的二次硬化峰, 峰值回火温度 510 °C, 峰值硬度 56.5 HRC。

(3) 经 1 050 °C 淬火 +620 °C 回火两次后调整硬度范围到 46~48 HRC 时, 扁钢和圆钢心部横向无缺口冲击功分别达到 371 J 和 340 J, 等向性分别达到 90% 和 89%; 圆钢横向心部 V 型缺口冲击功达到优质 H13 钢的冲击韧性级别。

(4) 1.2367 钢与 H13 钢相比, 可应用于更高的温度范围, 同时可保持更高的强度和冲击韧性。

参考文献:

[1] 潘晓华, 朱祖昌. H13 热作模具钢的化学成分及其改进和发展的研究 [J]. 模具制造, 2006(4):78-85.

[2] 马党参, 迟宏霄, 雍岐龙, 等. 铝对 Cr8WMo2V2SiNb 冷作模具钢组织及力学性能的影响 [J]. 钢铁, 2010,45 (6):79-82.

[3] 陈鹰, 陈再枝, 董瀚. 合金工模具钢 Fe-M-C 淬火马氏体回火的二次硬化研究进展 [J]. 特殊钢, 2004, 25(2):35-38.

[4] 唐文军. H13 钢组织控制及热疲劳性能研究 [D]. 上海: 上海大学, 2003.

[5] ZHOU Jian, MA Dang-shen, CHI Hong-xiao, et al. Microstructure and Properties of Hot Working Die Steel H13MOD[J]. J Iron Steel Res Int, 2013, 20(9):117-125.

(上接第 35 页)

(2) 通过采用 UHP 冶炼 1.2344 钢, [O] 含量可降到 15 mg/kg 以下, 提高了钢的纯净度。

(3) 采用 UHP+LF+VD 冶炼的 1.2344 钢横向冲击性能较好, 中心处可达 185.8 J, 1/2 半径处可达 252.6 J。

(4) 采用 UHP+LF+VD 冶炼工艺, 可以生产出高性能的 1.2344EFS 钢。

参考文献:

[1] 杜光华. 模具钢的发展现状 [J]. 特殊钢, 1995,16(1): 9-11.

[2] 徐 进, 姜先香, 陈再枝, 等. 模具钢 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1998.22.

[3] 徐 进. 日本模具钢生产技术发展概况 [J]. 特殊钢, 1997,18(6): 10-13.

[4] 王琳, 程丽杰, 耿振伟, 等. 热作模具钢 1.2344 的横向冲击性能 [J]. 机械工程材料, 2008, 32(6): 51-53.