

挤压轮用热作模具钢的研究

汪圣锋¹, 刘宏玉^{1,2}, 周 鹏¹, 费 阳¹

(1. 武汉科技大学 理学院, 湖北 武汉 430065; 2. 冶金工业过程系统科学湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430065)

摘要: 设计了一组新型含 N 热作模具钢, 通过显微组织、力学性能、热疲劳试验, 优选出试验钢成分, 之后对最佳成分钢进行热处理工艺优化。结果表明: 最佳 V、Cr、N 成分分别为 1.0%、3.75%、0.01% (质量分数)。最佳成分钢优化热处理工艺为 1080 °C 淬火 + 550 °C 一次回火 + 530 °C 第二次回火。

关键词: 含 N 热作模具钢; 合金元素; 热处理; 热疲劳

中图分类号: TG142.1; TG162.41 文献标志码: A 文章编号: 0254-6051(2012)07-0098-05

Hot work die steel used for extrusion wheel

WANG Shengfeng¹, LIU Hongyu^{1,2}, ZHOU Peng¹, FEI Yang¹

(1. College of Science, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan Hubei 430065, China;

2. Hubei Province Key Laboratory of Systems Science in Metallurgical Process, Wuhan Hubei 430065, China)

Abstract: A set of new nitrogen-containing hot work die steels were designed. The best composition of experimental steels was optimized by microstructure, mechanical properties and thermal fatigue tests. Then heat treatment processes of the best composition steel were optimized. The results show that the best compositions of V, Cr, N are 1.0wt%, 3.75wt% and 0.01wt%, respectively. The optimized heat treatment process for the best composition steel is that quenching at 1080 °C, first tempering at 550 °C and second tempering at 530 °C.

Key words: nitrogen-containing hot work die steel; alloying elements; heat treatment; thermal fatigue

热作模具钢在时冷时热状态下工作, 容易使模具的工作表面产生热疲劳裂纹(龟裂)^[1]。包覆机挤压轮一般在室温~590 °C 循环温度下工作, 其主要失效形式是轮槽表面产生热疲劳裂纹^[2-3]。目前一般选择 H13 钢作为挤压轮用钢, 但常常使用寿命不高。为了提高使用寿命, 降低成本, 开发新型材料是最根本的方法。

N 在含 V 模具钢中可析出 VN 相, 稳定基体, 有利于提高模具钢的强韧性^[4-6]。根据前期 V-N 钢的研究^[7-8], 本文在 H13 钢成分基础上, 加入 N 元素, 调整 V 含量, 充分发挥 V、N 的作用, 降低 Cr 含量, 设计制备了新的含 N 热作模具钢。通过显微组织、力学性能和热疲劳性能检验, 优选出试验钢最佳成分后, 对最佳成分钢进行了热处理工艺优化, 以便为制造挤压轮提供热加工工艺技术依据。

1 试验材料与方法

1.1 成分设计

在 H13 钢基础上, 降低 Cr, 控制 V、N 量, 通过

JMatPro 软件模拟计算, 设计炼制了 7 组试验钢, 其化学成分如表 1 所示。

表 1 试验钢的化学成分(质量分数, %)
Table 1 Chemical composition of experimental steels (wt%)

钢号	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	N
1	0.35	0.86	0.34	5.06	1.30	0.96	0.0189
2	0.37	0.96	0.35	3.80	1.34	0.81	0.0099
3	0.39	0.95	0.35	3.75	1.25	0.99	0.0095
4	0.38	0.95	0.35	3.71	1.29	1.20	0.0100
5	0.36	0.99	0.35	3.76	1.27	1.03	0.0110
6	0.36	1.01	0.35	3.75	1.19	1.01	0.0182
7	0.40	0.98	0.34	3.77	1.29	1.19	0.0105

1.2 成分优化

试验钢在真空感应熔炼炉内冶炼浇注成 5 kg 钢锭后锻成 $\phi 18$ mm 线材, 然后进行 880 °C $\times 1$ h 球化退火、1050 °C $\times 15$ min 油淬、580 °C $\times 2$ h 一次回火 + 560 °C $\times 2$ h 二次回火处理。检验试样的洛氏硬度, 利用金相显微镜、扫描电镜观察显微组织, 通过 EDS 分析析出相成分; 采用 Uddeholm 热疲劳试验方法^[9], 在热疲劳试验装置上进行室温~600 °C 间 500 次连续热疲劳试验。用光学显微镜观察试样表面裂纹。经显

收稿日期: 2012-01-05

基金项目: 湖北省教育厅高校产学研合作资助项目(C2010021); 冶金工业过程系统科学湖北省重点实验室开放基金(C201017)

作者简介: 汪圣锋(1986—), 男, 湖北荆州人, 硕士研究生, 主要从事模具钢开发及使用性能研究, 发表论文 2 篇。联系电话: 027-68862901; E-mail: wangshengfengwsf@163.com。通讯作者: 刘宏玉, 教授, E-mail: ecnuliuhongyu@yahoo.com.cn

微组织、硬度和热疲劳的综合分析,优选出试验钢最佳成分。

1.3 最佳成分钢热处理优化

参考有关资料^[10-11],本文确定的淬火温度分别为 1020、1080、1120 ℃,采用二次回火工艺,一次回火温度分别为 550、610、650 ℃,二次回火比一次回火低 20 ℃,通过正交试验方法优化热处理工艺,热处理优化工艺如图 1 所示。

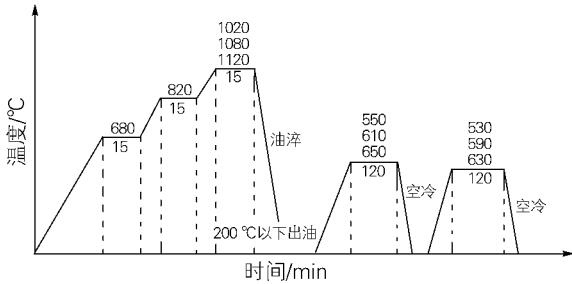


图 1 最佳成分钢热处理优化工艺
Fig.1 Optimization of heat treatment process for the best composition steel

2 试验结果与分析

2.1 成分优化

2.1.1 力学性能

表 2 是试验钢经 880 ℃ 球化退火,1050 ℃ 油淬,580 ℃ 一次回火 + 560 ℃ 二次回火处理后的硬度值。可以看出,试验钢的硬度基本满足热作模具钢服役过程中的需求(挤压模具一般硬度下限 40 ~ 42 HRC,上限 48 ~ 52 HRC^[12])。

表 2 试验钢的硬度值

Table 2 Hardness of the experimental steels

钢号	1	2	3	4	5	6	7
硬度/HRC	47.8	45.7	47.5	45.6	47.7	48.0	48.4

2.1.2 显微组织

目前使用的热作模具钢主要是马氏体热作模具钢,试验钢属于该类。图 2 是 1 ~ 7 号试验钢经热处理后的 SEM 图,其组织为回火马氏体 + 少量残留奥氏体 + 合金碳化物。图 2 发现,1、4、7 号钢中析出物较多且 4、7 号钢中大颗粒析出较多;3、5 号钢中析出相分布较弥散且 3 号钢析出相细小;2 号钢中析出物数量少于 3 号钢;6 号钢中析出相在晶界处偏聚且大颗粒析出相增加。

2.1.3 热疲劳性能

试验钢经热处理后,分别进行热疲劳试验。试样在室温到 600 ℃ 之间循环 500 次后的表面裂纹情况如图 3 所示。从图 3 看出 4 号和 7 号的裂纹大且宽,其裂纹已进入扩展阶段;1、2、6 号出现腐蚀斑点和细裂纹,其中 2 号的腐蚀斑面积明显扩大,6 号腐蚀斑面积小且裂纹较细;3 号和 5 号只出现少量腐蚀斑点。从表面裂纹来看 3 号和 5 号的疲劳性能较好。

对比发现,随着 V 含量从 0.8wt% → 1.0wt% → 1.2wt%,钢的热疲劳性能经历了先升后降的变化趋势,当 V 含量达 1.0wt%,其热疲劳性能最好,达 1.2wt% (如 4、7 号),性能下降明显。对比 1、6 号钢,Cr 含量在 3.75wt% 时钢热疲劳性能更好(6 号),对比 3、6 号钢,N 在 0.095wt% 时为优(3 号)。

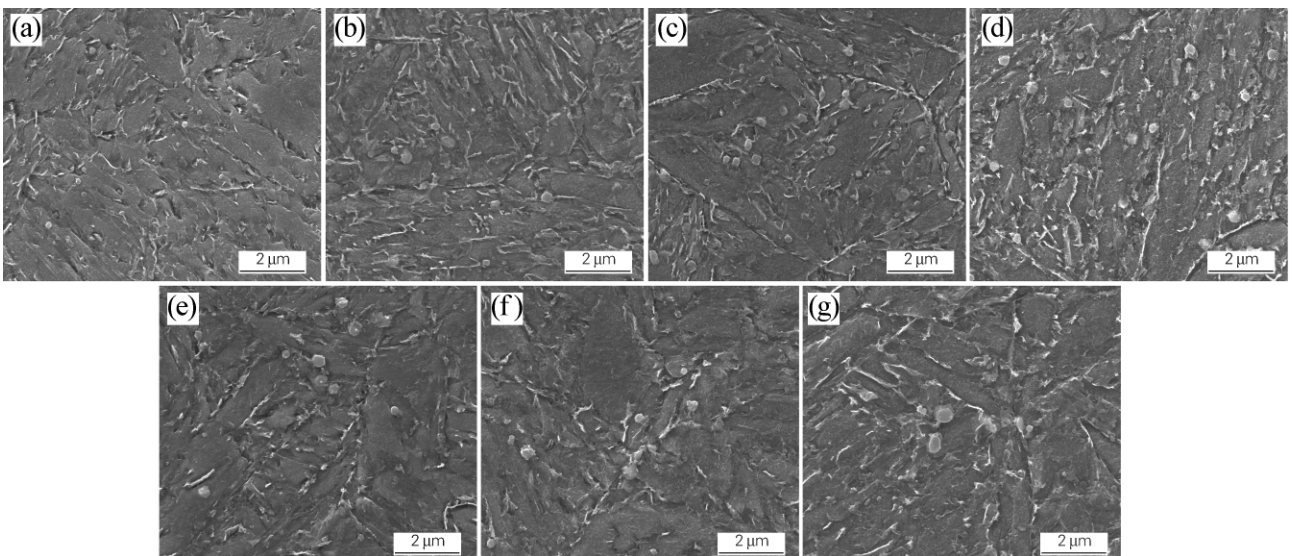


图 2 试验钢热处理后的显微组织
Fig.2 Microstructure of the experimental steels after heat treatment processes
(a) No.1; (b) No.2; (c) No.3; (d) No.4; (e) No.5; (f) No.6; (g) No.7

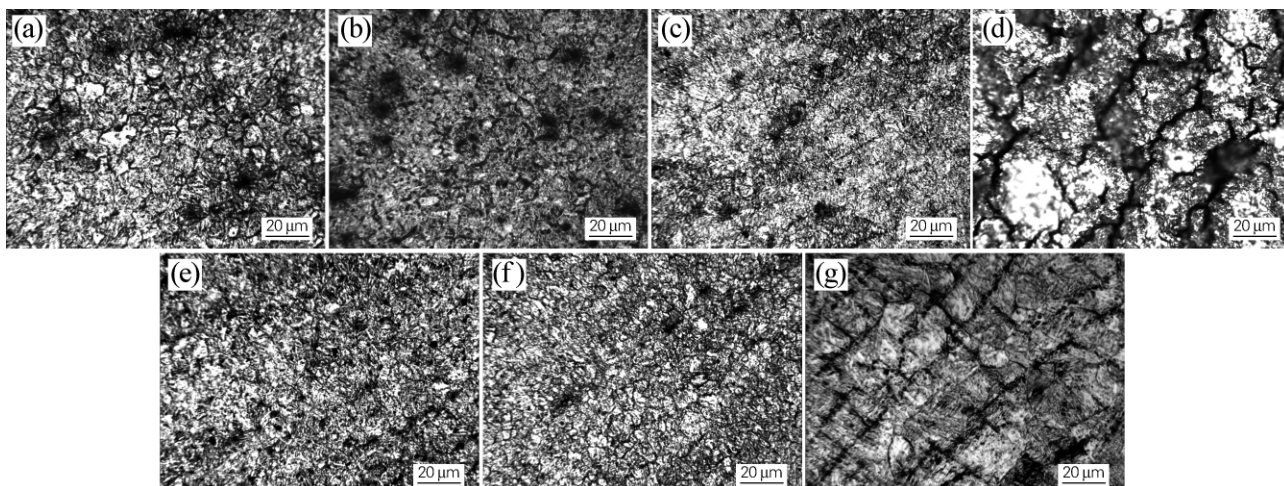


图3 试验钢的表面裂纹比较

Fig. 3 Comparison of surface cracks for the experimental steels
(a) No. 1; (b) No. 2; (c) No. 3; (d) No. 4; (e) No. 5; (f) No. 6; (g) No. 7

2.1.4 成分优化分析

研究表明,V在钢中主要起细晶强化和析出强化作用。图2中对比2、3号钢发现,随V含量增加,析出相数量增加,晶界变细,同时钢的硬度及热疲劳性能都得到提高。而当V从1.0wt%→1.2wt%,对比3、4号钢发现,4号钢中针状和大粒状析出相显著增加。经EDS分析,4号钢析出相中V的含量为4.14wt%,而3号钢中为2.39wt%,说明4号钢中增加的主要是含V的析出相。这主要是由于V的碳氮化物熔点高、溶解度低,V的含量过高导致淬火中存在大量的V的未溶碳化物。热疲劳裂纹常在晶界和析出相质点与基体界面处萌生^[13],因此过多的针状和大颗粒析出相对钢的热疲劳性能有害;同时过量的V会导致V进入基体,而进入基体的V降低原子结合力,对组织稳定性和热强性不利^[14],这是导致4和7号钢热疲劳性能明显变差的主要原因。所以,试验钢的V含量在1.0wt%时有较好的性能。

Cr主要起固溶强化作用,Cr的加入应保证对基体的固溶并防止Cr过量以减少形成 M_7C_3 和 $M_{23}C_6$ 。Cr的含量从5.0wt%→3.75wt%,对比1、6号钢发现,1号钢中析出相数量较多,同时EDS分析发现,析出相中Cr含量从6.07wt%下降至3.68wt%,Mo从2.06wt%升至3.04wt%,V从1.32wt%升至21.97wt%(6号钢V含量变化大主要原因:一是V的析出相增加,二是V的碳氮化物发生偏聚)。说明随Cr含量降低,Cr的碳化物析出量减少,V、Mo的碳化物数量增加。这主要是由于Cr的碳化物析出量减少,使得V、Mo与C结合的机会增加,导致其析出相增加。研究表明Cr与C易形成 $M_{23}C_6$ 型合金碳化物,这种碳化物不稳定、易粗

化,会降低钢的抗回火软化性能(如图4中所示,1号钢随回火温度变化其硬度变化最大,抗回火软化性能最差),同时也是导致热疲劳过程中出现循环软化的主要原因,是影响材料热疲劳软化抗力的一个重要因素^[15],对材料热疲劳性能有害。同时V、Mo的碳化物由于细小、稳定、不易粗化,能有效地提高钢的强韧性及热稳定性。因此6号钢热疲劳性好于1号。

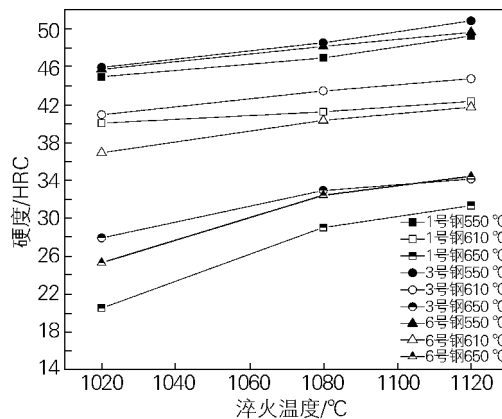


图4 不同热处理工艺后试验钢的硬度曲线

Fig. 4 Hardness curves of the experimental steels after different heat treatment processes

对比1、6号钢的硬度变化不大,通过JMatPro软件模拟发现:随Cr从5.0wt%→3.75wt%, $M_{23}C_6$ 型析出相从4.45wt%→3.68wt%,这说明Cr含量降低主要导致了Cr的 $M_{23}C_6$ 型碳化物量降低,对基体中固溶的Cr含量影响不大。同时 $M_{23}C_6$ 中还溶入了较多的Mo,因此其析出量降低还能增加Mo的析出量,提高Mo的析出强化效果。所以选择的Cr含量为3.75wt%。

由于N元素与V具有较强的亲和力,N含量提高了碳氮化钒的析出驱动力,使原本处于固溶态的V转

变成析出状态的V,充分发挥了V的沉淀强化作用。同时VN或V(C,N)析出相增加,其析出相比VC相更加细小、弥散,有利于晶粒的细化^[13]。因此,N含量增加能更好地发挥细晶强化和沉淀强化的作用。从图2中3、5、6号钢对比发现,V含量1.0wt%左右,N从0.0095wt%→0.011wt%→0.0182wt%时,析出相从弥散分布到逐渐向晶界处聚集,同时大颗粒析出相数量呈增长趋势。对大颗粒析出相EDS分析发现,其V含量从2.39wt%→11.82wt%→21.98wt%,V含量变化非常大。这是因为N的扩散系数较高,N含量过高会使得N发生偏聚且优先偏聚在晶界附近,从而导致V(C,N)析出相的分布从弥散态到主要聚集在晶界处。同时N的偏聚也会导致晶内V(C,N)析出相的富聚,使其析出相更容易聚集长大,导致大颗粒析出相增加。而这种大颗粒析出相由于主要由VN型析出相聚集导致,使得其V含量非常高。这是上文中6号钢V含量出现巨大变化的主要原因。这种碳化物的分布对钢的性能不利。另外N含量过高也使得钢中游离态的N增加,影响钢的脆性。因此,V含量1.0wt%左右时,选择的合适N含量为0.01wt%左右。

2.2 热处理工艺优化

图4是1、3、6号钢经不同温度淬火、回火后的硬

度变化曲线。从图中可见,在相同的热处理工艺条件下3号钢的硬度最高,1号钢较低。同时钢的硬度随着淬火温度升高而升高,随着回火温度的增加而下降。1120℃淬火的硬度比1020℃淬火的硬度高5~8HRC。在1120℃淬火,硬度明显增加,但在淬火时试样有开裂现象。同时1120℃淬火后钢中晶粒明显长大,如图5所示,这对材料强韧性不利。同时从图5(a),(b)图中可以发现,两者晶粒尺寸变化不大。1080℃淬火后,回火组织中合金碳化物分布相对较均匀,而1020℃淬火后,回火组织中大颗粒明显较多,这是因为在1020℃淬火时,由于温度较低使得组织中存在很多难溶碳化物未能固溶于基体中,这些未溶碳化物在回火过程中更容易形核长大。而1080℃淬火,大部分碳化物已固溶到基体中,回火后碳化物分布更均匀。所以,选择的淬火温度为1080℃。

1080℃淬火后,随回火温度升高,硬度降低。650℃回火后,硬度下降明显,只有29~33HRC。这是由于回火温度过高导致马氏体板条粗化,相邻马氏体板条合并成宽板条形态,碳化物充分聚集长大,此时材料性能不能满足工作要求。从图6(a)(550℃)中发现,碳化物已大量析出且弥散分布;图6(b)(610℃)中,马氏体板条粗化,析出碳化物颗粒变粗大,同时晶界稍有

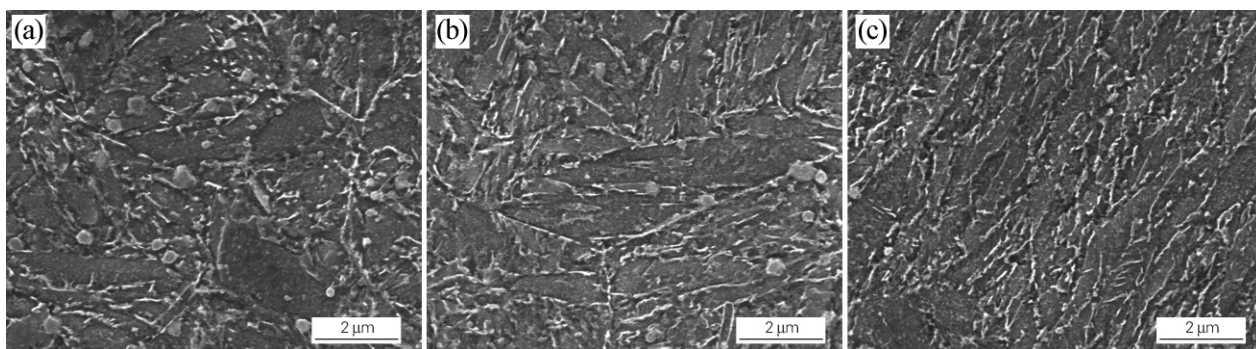


图5 3号钢在不同温度淬火后610℃一次回火+590℃第二次回火后的组织

Fig. 5 Microstructure of No. 3 steel after quenching at different temperatures and first tempering at 610 °C and second tempering at 590 °C (a) 1020 °C; (b) 1080 °C; (c) 1120 °C

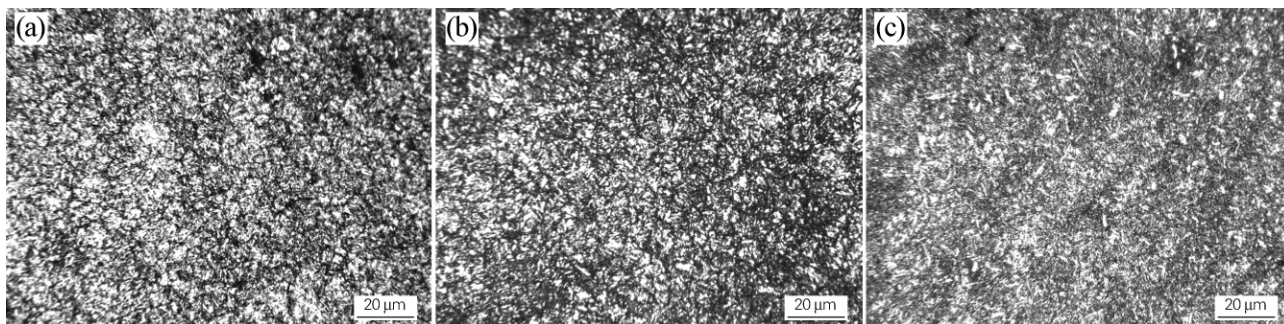


图6 3号钢1080℃淬火、不同温度2h回火后的组织

Fig. 6 Microstructure of No. 3 steel after quenching at 1080 °C and tempering at different temperatures for 2 h (a) 550 °C; (b) 610 °C; (c) 650 °C

建筑用高强抗震钢筋

林双平, 苗明明, 张 岩, 范玫光

(中国钢研科技集团有限公司, 北京 100081)

摘要: 介绍了抗震钢筋的开发与应用研究现状, 提出了抗震钢筋存在的问题及改进措施。

关键词: 抗震钢筋; 高强; 抗震性能

中图分类号: TG142.41 文献标志码: A 文章编号: 0254-6051(2012)07-0102-04

High-strength aseismic reinforcement steel bar for building

LIN Shuangping, MIAO Mingming, ZHANG Yan, FAN Meiguang

(China Iron & Steel Research Institute Group, Beijing 100081, China)

Abstract: The domestic development and application of aseismic reinforcement steel bar was introduced, the existing problems and improvement measures on the aseismic reinforcement steel bar were also proposed.

Key words: aseismic reinforcement steel; high strength; aseismic performance

我国目前的房屋建筑是以钢筋混凝土结构为主的建筑形式, 钢筋混凝土建筑是由钢筋和混凝土两部分组成。其中钢筋是韧性材料, 混凝土是脆性材料。在

地震发生时建筑物发生变形是不可避免的, 发生变形时混凝土就会开裂, 在混凝土开裂处钢筋将要承受巨大的局部应力和应变, 此时钢筋的断裂与否对整个建筑物的安全性起着十分重要的作用。钢筋对提高建筑抗震性能效果显著, 在大震来临时, 抗震性能好的钢筋可以在高应力、大变形情况下, 最大限度地延长建筑物从发生变形到倒塌时间间隔, 赢得“时

收稿日期: 2011-12-08

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划(2008BAE61B01)

作者简介: 林双平(1982—), 湖北人, 联系电话: 010-62186735, E-mail: cisri@live.cn

弱化现象, 说明析出碳化物已在晶界聚集长大, 这种组织将使材料的强度和硬度降低^[15]。从组织性能考虑, 选择的回火温度为 550 ℃。

3 结论

1) 通过软件计算, 显微组织、力学及热疲劳性能检验, 确定试验钢最佳成分为 1.0wt% V、3.75wt% Cr、0.01wt% N。

2) 最佳成分钢的最优热处理工艺为 1080 ℃ 淬火保温 15 min + 550 ℃ × 2 h 一次回火 + 530 ℃ × 2 h 第二次回火。

参考文献:

- [1] 朱宗元. 我国热作模具钢性能数据集(续) [J]. 机械工程材料, 2001, 25(8): 38-42.
- [2] 王 颖, 樊志新, 宋宝福. TLJ400 型连续挤压机挤压轮温度场测定与模拟 [J]. 有色金属加工, 2007, 36(4): 42-45.
- [3] 王春亮, 杨 力, 陆 慧. H13 钢铜材挤压轮开裂分析 [J]. 理化检验: 物理分册, 2009, 45(增刊): 89-92.
- [4] Jack D H, Jack K H. Invited review: Carbides and nitrides in steel [J]. Materials Science and Engineering, 1973, 11(1): 1-27.
- [5] Simmons J W. Overview: high-nitrogen alloying of stainless steels [J]. Materials Science and Engineering A, 1996, 207(2): 159-169.

- [6] 江 浩, 吴晓春. 新型含氮奥氏体热作模具钢的研究 [J]. 材料热处理学报, 2011, 32(3): 67-72.
- [7] 刘宏玉, 刘建华, 黄 钢. 钒氮非调质钢的组织变化特征 [J]. 钢铁钒钛, 2009, 30(1): 16-22.
- [8] 刘宏玉, 刘建华, 黄 钢. V-N 对中碳 SiMn 非调质钢显微组织的影响 [J]. 特殊钢, 2007, 30(2): 58-60.
- [9] Norstrom L A, Svensson M, Ohlberg V. Thermal fatigue behaviour of hot work tool steels [J]. Metals Technology, 1981, 8(10): 376-381.
- [10] 林高用, 郑小燕. 热处理工艺对 H13 钢组织性能的影响 [J]. 热加工工艺, 2007, 36(4): 46-48.
- [11] 刘安翔, 董仕节, 楼芬丽. 新型热作模具钢 4Cr2MoWVN 的热处理工艺及性能研究 [J]. 上海金属, 2006, 28(1): 38-42.
- [12] 徐 进, 姜先奎, 陈再枝, 等. 模具钢 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1998: 245-246.
- [13] 陈建亭, 吴晓春, 闵永安, 等. SDH2 与 8407 钢热疲劳性能的对比研究 [J]. 材料热处理学报, 2007, 28(增刊): 71-75.
- [14] 王树奇, 陈康敏, 崔向红. 新型 Cr-Mo-V 精铸热作模具钢的研制 [J]. 特殊钢, 2005, 26(6): 41-43.
- [15] 胡心彬, 李 麟. H13 钢热疲劳后碳化物形态和组分的变化 [J]. 材料热处理学报, 2007, 28(6): 82-87.
- [16] 刘 建, 王华昆, 宋立秋, 等. 钒氮微合金化高强度钢的研究及应用 [J]. 四川冶金, 2006, 28(1): 24-27.
- [17] 谢冬柏, 高 飞, 王福会. H13 钢的马氏体/贝氏体组织与性能 [J]. 金属热处理, 2002, 27(5): 11-14.