

拉丝断面压缩率对10B30钢球化退火组织及力学性能的影响

郑晓伟,王海华,张剑锋,林再勇,孔祥伟
(江阴兴澄特种钢铁有限公司线材研究所,江阴214429)

摘要 研究了拉丝断面压缩率(5%~35%)对 $\Phi 9.67 \sim 11.69$ mm 10B30 钢丝(γ : 0.28~0.34C, 0.0005~0.0030B)球化退火组织及力学性能的影响。结果表明:随着球化退火前拉丝断面压缩率的增加,球化退火组织级别提高,抗拉强度降低,断面收缩率提高,这是因为拉丝促进了球化退火过程中的自发球化和碳化物的ostwald熟化;当拉丝断面压缩率达到25%以上,球化组织和相应的抗拉强度和断面收缩率趋于稳定;实际生产中,退火前拉丝断面压缩率不应低于25%。

关键词: 10B30 钢; 拉丝断面压缩率; 球化退火; 球化组织; 力学性能

Effects of Wire Drawing Reduction of Cross-Sectional Area on Spheroidizing Annealing Structure and Mechanical Properties of 10B30 Steel

Zheng Xiaowei, Wang Haihua, Zhang Jianfeng, Lin Zaiyong, Kong Xiangwei
(Wire Institute, Jiangyin Xingcheng Special Steel Co., Ltd., Jiangyin 214429)

Abstract Effects of wire drawing reduction rate of cross-sectional area on spheroidizing annealing structure and mechanical property of $\Phi 9.67 \sim 11.69$ mm 10B30 steel wire rod (γ : 0.28-0.34C, 0.0005-0.0030B) have been studied. The results show that with increasing of drawing reduction of cross-sectional area, the rate of spheroidizing annealing structure increases, the tensile strength decreases and the reduction of area increases, this is because the wire drawing promotes spontaneous spheroidizing and ostwald ripening of carbide during spheroidizing annealing. Spheroidizing annealing structure and corresponding tensile strength and reduction rate of cross-sectional area become stable when drawing reduction rate of cross-sectional area is over 25%. In actual production, drawing reduction of cross-sectional area before annealing shouldn't be less than 25%.

Key Words: 10B30 Steel; Wire Drawing Reduction Rate of Cross-Sectional Area; Spheroidizing Annealing; Spheroidizing Structure; Mechanical Property

冷镦钢丝中,硼钢是为简化中碳合金钢热处理工艺、提高韧性而开发的钢种。设计原理是:降低碳含量,改善钢的变形能力和韧性^[1],由于在钢中加入少量的硼代替大量昂贵的合金元素,可明显降低成本。对于8.8级、10.9级的螺栓,可用中碳硼钢代替Cr、CrMo等中碳合金钢,制造如气缸盖、发动机等多种设备和机械的螺栓^[2-3]。10B30是美标牌号,可用于制作8.8级、10.9级螺栓,目前主要采用冷镦工艺成型,冷镦过程速度快、变形程度大,对钢丝的组织及力学性能有很高的要求。热轧盘条组织一般为片状珠光体+铁素体,不适合进行冷镦加工,需要进行球化退火得到球状珠光体,降低硬度。并且球化珠光体的形状和分布对钢的断裂韧性有重要的影响,在相同的应力条件下,球状珠光体的裂纹扩

展速率远低于片状珠光体组织^[4]。热轧组织、球化退火工艺、拉丝工艺等参数对球化组织均有影响,关于热轧组织及球化退火工艺对钢球化组织影响的研究较多^[5-7],但拉丝断面压缩率对钢的球化组织及性能影响的研究较少。本文通过对热轧盘条经不同压缩率拉丝后的10B30进行球化退火,研究拉丝断面压缩率对10B30球化退火组织及力学性能的影响,得到最佳拉丝工艺,选取合适的热轧盘条尺寸,除保证球化组织达到6级外,又要保证一道次拉丝成型,避免增加拉丝道次而增加成本。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

试验材料取高速线材钢厂生产的 $\Phi 12$ mm 10B30钢热轧盘条,其化学成分见表1。组织为片

表 1 试验钢 10B30 化学成分/%

C	Si	Mn	P	S	B
0.28 ~ 0.34	≤ 0.30	0.60 ~ 0.90	≤ 0.025	≤ 0.025	0.000 5 ~ 0.003 0

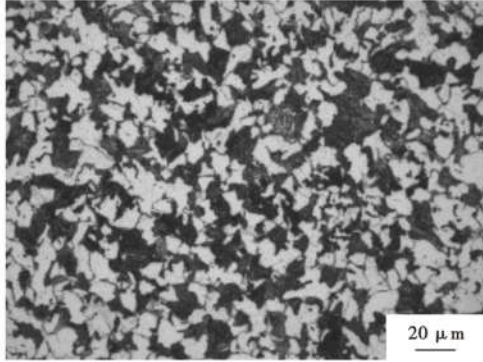


图 1 10B30 钢 Φ12 mm 热轧盘条金相组织

Fig. 1 Metallographic structure of Φ12 mm hot rolling wire rod of 10B30 steel

表 2 试验钢 10B30 拉丝断面压缩率

Table 2 Wire drawing reduction rate of cross-sectional area of tested 10B30 steel

编号	规格/mm	拉丝断面压缩率/%
(a)	Φ12.00	0
(b)	Φ11.69	5
(c)	Φ11.38	10
(d)	Φ11.06	15
(e)	Φ10.73	20
(f)	Φ10.39	25
(g)	Φ10.04	30
(h)	Φ9.67	35

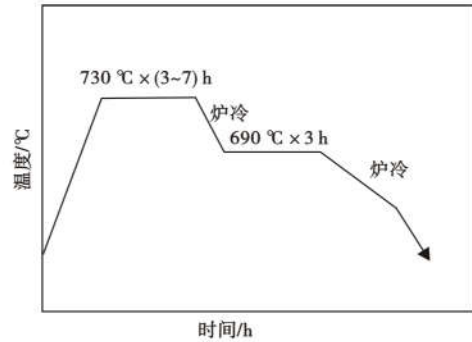


图 2 冷拉 10B30 钢丝球化退火工艺曲线

Fig. 2 Spheroidizing annealing process curve of cold drawn wire of 10B30 steel

状珠光体 + 铁素体, 如图 1 所示。为获得优良的冷加工性能的球化组织及力学性能, 10B30 钢线材改制选用的工艺路径: 涂层 → 粗拉 → 球化退火 → 酸洗磷皂化 → 精拉。试验的热轧盘条经酸洗石灰后, 采用拉丝机按照不同断面压缩率拉成钢丝, 拉丝断面压缩率及退火规格的关系见表 2。

1.2 球化退火工艺

常规的球化退火工艺是将钢材加热到 A_{c1} 以上 $20 \sim 30 \text{ }^\circ\text{C}$ 并保温一段时间, 然后冷却到略低于 A_{c1} 的温度保温一段时间, 最后冷却到室温出炉^[7]。利用 Gleeble-3800 热模拟机^[8]测定试验钢的 A_{c1} 温度为 $709 \text{ }^\circ\text{C}$, 本试验选取的退火温度为 $730 \text{ }^\circ\text{C}$, 将拉丝后的试验材料按照图 2 所示的工艺在可自动控制温

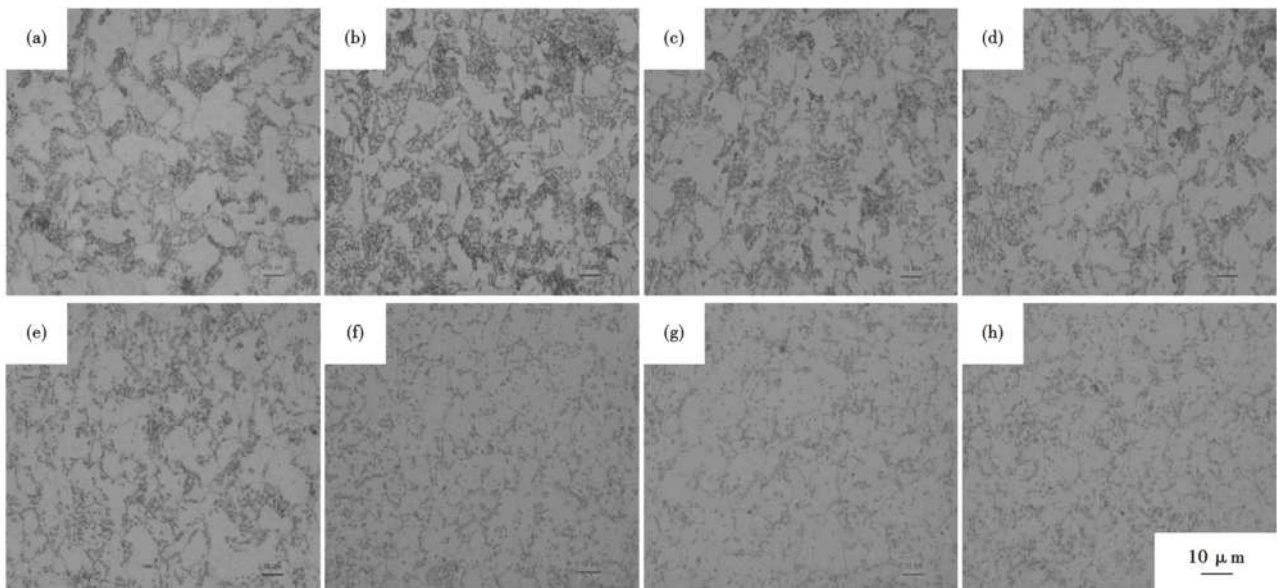


图 3 10B30 钢球化退火盘条的金相组织; 拉丝断面压缩率: (a)0%, (b)5%, (c)10%, (d)15%, (e)20%, (f)25%, (g)30%, (h)35%

Fig. 3 Metallographic structure of spheroidizing annealing wires of 10B30 steel; wire drawing reduction rate of cross-sectional area: (a)0%; (b)5%; (c)10%; (d)15%; (e)20%; (f)25%; (g)30%; (h)35%

度的罩式退火炉内进行球化退火。

1.3 样品制备

将上述球化退火后的样品, 经带水冷的线切割, 经金相磨光、抛光和 4% 硝酸酒精溶液腐蚀, 在光学显微镜下观察其金相组织, 并分别取样检测抗拉强度和断面收缩率。

2 试验结果及分析

2.1 不同断面压缩率冷拉钢丝退火组织

将热轧盘条及经过不同断面压缩率的冷拉钢丝进行球化退火的组织如图 3 所示, 按照 GB/T38770-2020 对球化组织进行检验及评级见表 3。当热轧盘条直接进行球化退火时, 组织以点状碳化物和短杆状碳化物为主, 含有少量的片状碳化物存在, 并且碳化物有明显的遗传性, 碳化物不均匀呈聚集状态, 其球化效果不理想, 球化级别为 3 级。随着拉丝断面

压缩率由 0 逐渐增加到 25%, 组织中片状及短杆状的碳化物逐渐减小, 球状碳化物逐渐增加, 且碳化物逐渐均匀分布。当拉丝断面压缩率达到 25% 时, 组织中片状及短杆状的碳化物基本消失, 组织以球状碳化物为主, 含有少量的点状碳化物, 且碳化物在基体中均匀分布, 球化组织达到 6 级。随着拉丝断面压缩率的进一步增加, 球化组织为 6 级, 球化率变化不明显。

2.2 不同断面压缩率冷拉钢丝退火后力学性能

取试验用的不同断面压缩率冷拉钢丝进行退火后样品各 10 段, 检测力学性能, 抗拉强度和断面收缩率变化如图 4 所示。随着拉丝断面压缩率的增加, 退火后抗拉强度逐渐减低, 断面收缩率随之增加, 当断面压缩率增加到 25% 以上, 抗拉强度和断面收缩率趋于稳定值。这与组织的变化可以对应。

表 3 拉丝断面压缩率对 10B30 钢球化退火盘条的球化组织评级的影响

Table 3 Effect of wire drawing reduction rate of cross-sectional area on spheroidizing annealing wires structure and grading of 10B30 steel

编号	拉丝断面压缩率/%	球化级别/级	球化率/%	组织特征
(a)	0	3	50	球化体及珠光体 + 铁素体
(b)	5	3	55	球化体及珠光体 + 铁素体
(c)	10	4	70	点状球化体及少量珠光体 + 铁素体
(d)	15	5	85	球化体 + 点状球化体 + 铁素体
(e)	20	5	90	球化体 + 点状球化体 + 铁素体
(f)	25	6	95	均匀分布球化体 + 铁素体
(g)	30	6	98	均匀分布球化体 + 铁素体
(h)	35	6	98	均匀分布球化体 + 铁素体

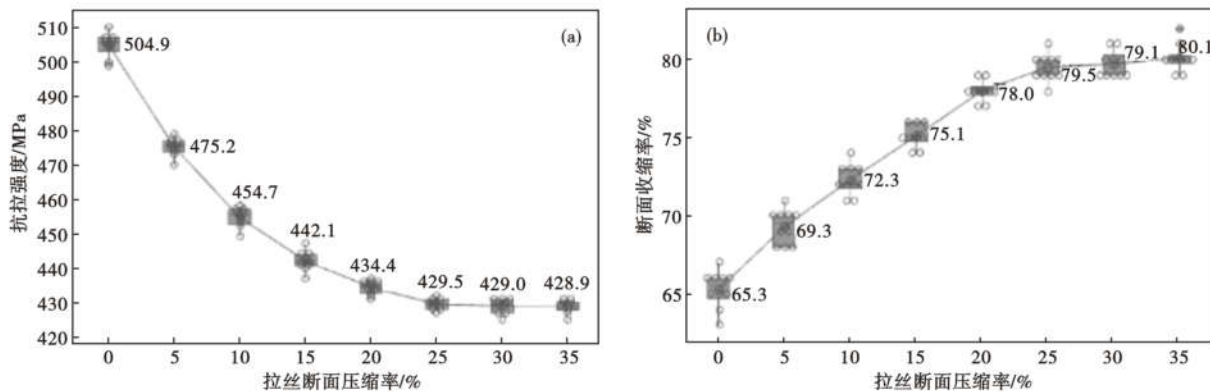


图 4 拉丝断面压缩率对 10B30 钢球化退火盘条抗拉强度 (a) 和断面收缩率 (b) 的影响

Fig. 4 Effect of wire drawing reduction rate of cross-sectional area on tensile strength (a) and reduction of area (b) of spheroidizing annealing wires of 10B30 steel

2.3 结果讨论

相关研究表明, 珠光体钢在进行球化退火时, 球化率随原始珠光体片层间距减小而增加^[9]。由于热轧盘条中难免会出现粗片状珠光体, 当热轧盘条直接进行球化退火时, 粗片状珠光体在球化退火中

会保留片状或短杆状形貌, 导致整体球化率不高。根据自发球化理论, 在一定温度下碳化物中的碳原子与周围铁素体的碳原子处于动态平衡状态, 碳浓度与碳化物的曲率半径有关, 碳化物尖角部位的碳原子较易进入周围的铁素体, 导致尖角周围铁素体

的碳浓度比平直部位周围铁素体的碳浓度高,铁素体内碳的由高浓度区向低浓度区扩散而打破了碳化物和铁素体的动态平衡,为了继续保持原有的动态平衡,碳化物尖角持续溶解并在平直部位沉积析出,如此不断进行,最后形成曲率半径相近的球状碳化物^[10]。随着拉丝断面压缩率的增加,片状珠光体发生偏转和拉伸变形,片层间距不断减小,同时片状珠光体中碳化物的位错等缺陷增多,退火时缺陷处容易发生溶断,通过自发球化过程,片状碳化物形成球状碳化物。

碳化物尺寸按照 ostwald 熟化机制长大^[11]。根据 ostwald 熟化机制,小尺寸碳化物周围的碳浓度高于大尺寸碳化物周围的碳浓度,两处的碳浓度梯度导致了碳向低浓度区扩散,从而为大粒子碳化物继续吸收过饱和碳而继续长大提供物质供应,这个过程就致使小粒子碳化物溶解消失,碳转移到了大的碳化物里,这一过程的驱动力就是碳化物大小尺寸前后的自由能之差。随着拉丝断面压缩率的增加,在钢的内部积蓄了大量的储存能,这是属于自由能的增值,这部分自由能也为碳化物的 ostwald 熟化提供了驱动力,点状碳化物逐渐转化为球状碳化物。同时拉丝产生的自由能,通过加速碳的转移,也加速

了自发球化过程。

据相关研究,在拉丝的初始阶段,钢丝的位错密度快速增加,随着拉丝断面压缩率的进一步增加,钢丝中位错密度的增加变缓,当断面压缩率增加到一定值时,位错密度保持在一定数量级^[12]。所以当拉丝断面压缩率达到 25% 以上时,随着断面压缩率的进一步增加,球化组织变化不明显。

3 结论

(1)随着拉丝断面压缩率的增加,球化退火组织中片状及短杆状碳化物减少,点状碳化物逐渐转化为球状碳化物,并且碳化物的均匀性得到改善,球化组织级别提高,相应的抗拉强度降低,断面收缩率提高,这是因为拉丝促进了球化退火过程中的自发球化和碳化物的 ostwald 熟化。

(2)当断面压缩率达到 25% 以上,随断面压缩率的进一步增加,球化组织变化不明显,相应的抗拉强度和断面收缩率趋于稳定值。

(3)实际生产中,为保证获得良好的球化组织及较低的力学性能,同时不增加拉丝道次,可以一道次拉丝成型,热轧盘条规格选取为退火前的拉丝断面压缩率 25% 以上的最小孔型规格。

参考文献

- [1]徐效谦,阴绍芬.特殊钢钢丝[M].北京:冶金工业出版社,2005.
- [2]祖荣祥.高强度螺栓钢的开发与应用[J].特殊钢,1995,16(5):1-7.
- [3]李永超,张继林,郭明仪.高强度螺栓用 QB30 冷镦钢盘条的研发与生产[J].特殊钢,2016,37(4):33-36.
- [4]惠卫军,翁宇庆,董瀚.高强度紧固件用钢[M].北京:冶金工业出版社,2009.
- [5]郑晓伟,左锦中,张剑锋.不同原始组织状态对 SCM435 球化退火的影响[C]//.第十一届中国钢铁年会论文集-S05.金属材料深加工.2017:82-89.
- [6]田新中,王利军,陈继林,等.原始组织及退火工艺对 SCM435 盘条退火行为的影响[J].河北冶金,2015(12):6-10.
- [7]南鹏飞,王福明,刘振民,等.SCM435 冷镦钢的球化退火工艺[J].金属热处理,2016,41(11):92-97.
- [8]徐光,王巍,张鑫强,等.金属材料 CCT 曲线测定及绘制[M].北京:化学工业出版社,2009.
- [9]Atasoy ÖE, Özbilen S. Pearlite Spheroidization[J]. Journal of Materials Science,1989,24(1):281-287.
- [10]窦胜涛.18CrNiMo7-6 齿轮钢球化退火工艺[J].四川冶金,2018,40(6):29-31+35.
- [11]惠卫军,于同仁,苏世怀,等.中碳钢球化退火行为和力学性能的研究[J].钢铁,2005,40(9):63-67.
- [12]张晓丹.钢帘线钢丝冷拉拔过程中组织演变的定量研究与力学性能[D].北京:清华大学,2009.