

新一代高性能合金弹簧钢的开发与应用

高惠菊^{1,2} 刘 攀¹ 艾家和¹ 董建新¹ 谢锡善¹ 沈永香² 甄 玉²

(1. 北京科技大学材料科学与工程学院, 北京 100083;

2. 东北特殊钢集团有限责任公司技术中心, 大连 116031)

摘 要 通过高合金钢棒线材连轧机的控制轧制工艺研究了新一代合金弹簧钢 D701 的力学性能。研究表明, 将控制轧工艺的终轧温度控制在 790~820 ℃, 细化了晶粒, 合金弹簧钢 D701 的强度、塑性指标较 60Si2CrVA 有了很大提高, 尤其是塑性提高 30 % 以上。

关键词 合金弹簧钢 控制轧制 晶粒细化

中图法分类号 TG142.75 **文献标识码** A

Research of Hot Rolling Process on New Type of Alloy Spring Steel

GAO huiju^{1,2}, LIU Pan¹, AI Jiahe¹, DONG Jianxin¹,XIE Xishan¹, SHEN Yongxiang², ZHEN Yu²

(1. School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083;

2. Technology Center of Dong Bei Special Steel Company, Dalian 116031)

ABSTRACT Properties of new type alloy spring steel D701 is studied by controlled rolling process on high alloy steel wire rod and bar mills. Research results indicate that grains are refined when finishing temperature at 790~820 ℃, improving plasticity and strength of D701, especially, its plasticity increases over 30 %.

KEY WORDS alloy spring steel, controlled rolling, fined grains

1 前言

关于晶粒的超细化, 国内外已进行了广泛的研究^[1]。新一代钢铁材料的重大基础研究课题的研究结果表明, 不同强度和显微组织的钢类可以采用不同超细化方法, 获得高强度、高塑性的钢材^[2]。由于铁路提速车辆弹簧用钢 5160H (相当 GB1222-84 中的 60CrMn) 的强度偏低, 达不到提速车辆弹簧许用应力的要求。为使其强度、塑性满足提速车辆弹簧用钢的要求, 本文在“纯净化、均匀化、超细化”的理论基础上, 将超细化方法之一的热变形+“形变诱发铁素体相变”理论应用在合金弹簧钢 D701 的开发上。

2 试验材料及方法

采用 EBT+LF+VD 炉纯净化生产工艺冶炼合金弹簧钢 D701, 其化学成分见表 1, D701 是合金弹簧钢 60Si2CrVA 的改进型钢种, 化学成分与 60Si2CrVA 相同, 生产工艺与 60Si2CrVA 不同。

试验用钢 D701 经 750 轧机开 150 mm × 150 mm 方坯, 由高精度合金钢棒线材连轧机将试验用钢 150 mm × 150 mm 方坯轧制成 φ22 mm 棒材成品。先在 150 mm × 150 mm 方坯上取样按标准加工

表 1 试验用钢的化学成分

Table 1 Chemical composition of test steel %

钢号	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Ni	Cu
D701	0.62	1.57	0.62	0.014	0.003	1.17	0.15	0.12	0.15

成 φ3 mm × 10 mm 的热膨胀试样。热膨胀试验在 Formastor-Digital 全自动相变仪上进行。以 200 ℃/h 的升温速度将试样升至 850 ℃, 保温奥氏体化 5 min, 然后以不同的冷速冷却至室温测定该钢 CCT 曲线。根据 CCT 曲线确定了 D701 钢的相变点温度和轧制试验工艺 (图 1、表 2、3)。

将 φ22 mm 的 D701 棒材加工成标准拉伸试样 ($l_0=5d_0$, $d_0=10$ mm)。按照 870 ℃/30 min 淬火+420 ℃/60 min 盐浴回火的热处理制度用 SRJX-8-13 型箱式加热炉及盐浴回火炉对试样进行热处理, 用金相显微镜和扫描电镜上观察 D701 热轧态、淬火回火态的组织。

3 试验结果

3.1 试验用钢 D701 的 CCT 曲线

试验用钢 D701 的 CCT 曲线见图 1。CCT 曲线

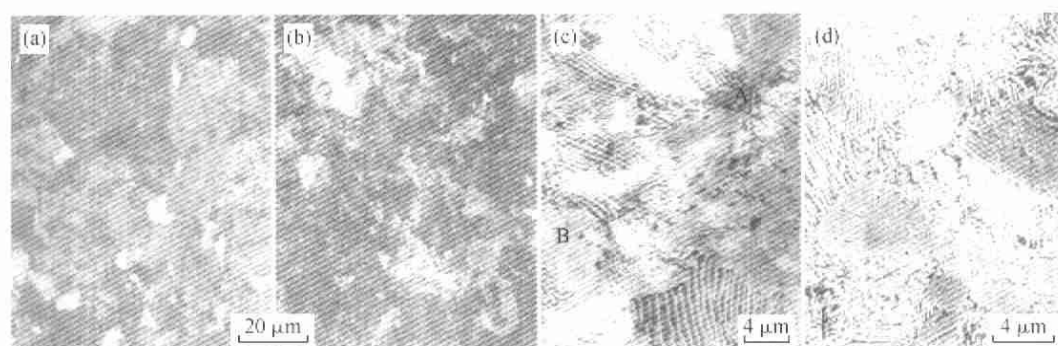


图 2 D701 热轧态组织

Fig. 2 Microstructures of hot rolled D701 steel

(a)、(c) 工艺 1; (b)、(d) 工艺 2

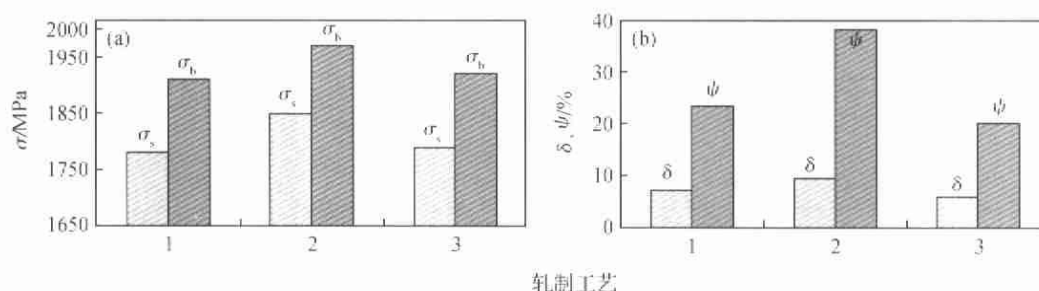


图 3 轧制工艺对试验钢 D701 力学性能的影响

Fig. 3 Relation between mechanical properties and rolling process

表 4 常规轧制条件下轧后冷却方式对试验用钢 D701 力学性能的影响

Table 4 Effect of cooling condition on mechanical property of D701 steel at conventional rolling

常规轧制(工艺 1 的 编号 1 和编号 4)	σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ /%	ψ /%
轧后空冷	1780	1910	7.0	23
轧后水冷	1800	1920	5.4	22

表 5 控制轧制条件下终轧速度对试验用钢 D701 力学性能的影响

Table 5 Effect of finishing velocity on mechanical property of D701 steel at controlled rolling

控制轧制(工艺 2 的 编号 2 和编号 7)	σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ /%	ψ /%
终轧速度 6.2 m/s	1850	1970	9.5	38
终轧速度 5.0 m/s	1870	2000	9.0	33

3.5 轧制速度和轧后冷却方式对试验用钢组织与力学性能的影响

观察表明,不同轧制速度和不同轧后冷却方式对试验用钢的金相组织未见有影响。试验用钢在不同轧制速度和不同轧后冷却方式条件下的力学性能见表 4 和表 5。可见不同轧制速度和不同轧后冷却

方式对试验材料的力学性能基本无影响。

4 讨论

从不同工艺条件下试验材料热轧态的组织及淬回火后的力学性能结果可以看出,良好的综合力学性能来源于试验材料的均匀组织结构,即工艺 2 条件下均匀的珠光体片间距和均匀的珠光体团决定了其良好的综合力学性能。这是由于工艺 2 的试验材料是在轧制时,形变能使得奥氏体晶粒内形成均匀的形变带,在形变带上相变形核是均匀的,从而相变后珠光体团和片间距也是均匀的,这就为材料淬、回火做好了组织准备,保证了淬、回火后的马氏体针均匀,见图 4(a)和(b),材料的力学性能良好。工艺 1 是高温再结晶轧制,轧制过程伴随有金属的动态回复和动态在结晶,这一过程存在晶粒的长大和轧后由高温冷却析出先共析铁素体,见图 2(a)和图 2(c)中的 A 和 B,即试验用钢的最后组织为珠光体+少量铁素体;工艺 3 本身就是在两相区轧制,组织便是珠光体+少量铁素体,这样工艺 1 和工艺 3 的组织不均匀导致试验用钢淬回火后的力学性能不理想。

由于工艺 1、工艺 2 和工艺 3 的终轧温度不同,即使轧后冷速相同(均为空冷)条件下组织也不同,工艺 1 和工艺 3 为珠光体+少量铁素体,而工艺 2

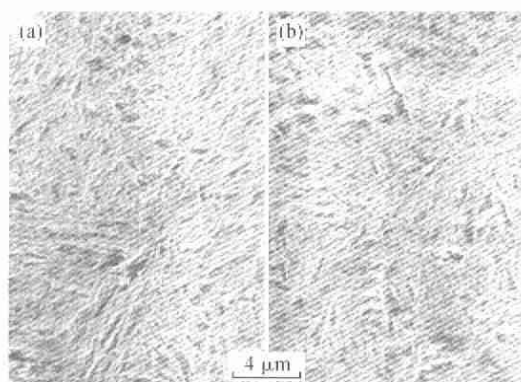


图 4 合金弹簧钢 D701 经 870 °C/30 min 油淬
+420 °C/60 min 盐浴回火后的组织

Fig. 4 Metallographs of D701 steel, held 30 min at
870 °C, oil quenched and holding 60 min at
420 °C, tempered

(a) 工艺 1; (b) 工艺 2

中却不存在铁素体相,因此认为本试验中相变点附近的终轧温度抑制了铁素体的析出。这与试验前希望利用“热变形+诱发铁素体相变”理论来达到 D701 高强度、高塑性的尝试有些偏差,但从连续冷却转变曲线上看,在相变点附近的终轧后空冷可以抑制铁素体的析出,工业化生产试验可能会造成试验钢轧制温度的不均匀,因此需要采用热模拟试验来探讨 D701 的热变形和形变诱发相变的问题。

不同的轧制速度和不同的轧后冷却方式在本试

验中对试验用钢的组织与力学性能未见有明显影响,这可能与所选轧制速度相差较小和轧后冷却水开的较小有关(为了保证轧后分断剪的剪切功能,轧后的冷却水开的很小)。理论上,这两个因素对轧后材料的组织与性能影响是很大的^[4,5]。

本试验各工艺中钢坯加热制度是完全一致的,因此,由以上分析可知,本试验用钢 D701 获得高强度、高塑性技术指标的关键因素是终轧温度。

疲劳试验表明,利用新一代高性能合金弹簧钢 D701 产品卷制的弹簧疲劳强度比 5160H 弹簧钢卷制的弹簧疲劳寿命提高 1 倍还未见断裂,完全满足了铁路提速对弹簧的性能指标要求。现在,东北特殊钢集团已向铁路车辆部门供货近万吨,产品进厂检验 100 % 合格,弹簧装车后车辆运行情况良好。

5 结论

(1) D701 弹簧钢通过控制轧制可以获得在屈服强度大于 1800 MPa、抗拉强度大于 1950 MPa 的同时,伸长率达到 9 % 左右、断面收缩率大于 30 %,较 60Si2CrVA 塑性指标提高 30 % 以上,完全满足铁路提速车辆用合金弹簧钢的要求。

(2) D701 弹簧钢控制轧制工艺中终轧温度的最佳范围在其相变点附近,即 790~820 °C。

(3) D701 弹簧钢在其相变点附近的控制轧制工艺抑制了铁素体的析出,得到细致、均匀的珠光组织,获得了高指标力学性能。

参 考 文 献

- 1 鸟冢史郎,高桥顺次,梅泽修. Si-Mn 钢の 1 パス 强加工による微细フェライト粒组织の形成. CAMP-ISIJ, 1999, 12: 365~368.
- 2 WENG Yuqing. Microstructural Refinement of Structural Steel. IRON AND STEEL, 2003, 38(5): 1~11. (翁宇庆. 钢铁结构材料的组织细化. 钢铁, 2003, 38(5): 1~11.)
- 3 崔 昆. 钢铁材料及有色金属材料. 北京: 机械工业出版社, 1981.
- 4 王有铭, 李曼云, 韦 光. 钢材的控制轧制和控制冷却. 北京: 冶金工业出版社, 1995. 5.
- 5 Chiaki OUCHI. Development of Steel Plates by Intensive Use of TMCP and Direct Quenching Processes. ISIJ International, 2001, 41(6): 542~553.

杭钢根治表面裂纹攻关取得新进展

杭州钢铁公司与国内有关高校联合攻关, 查明了优碳合金圆钢等主要产品表面裂纹等缺陷产生的原因和形成的机理, 提出了改进建议和措施, 彻底根治表面裂纹等质量“常见病”工作又取得了新进展。2004 年 9 月, 该公司领导将继续用户走访, 倾听用户意见, 力使产品质量精益求精。杭钢制定

了进一步提高产品质量的计划: 解决好转炉 45 号钢、40Cr 等钢种表面裂纹问题, 切实提高转炉冶炼质量。同时, 杭钢着力加强工序管理和过程质量控制。例如该公司采用了中间穿水冷却工艺和低温开轧工艺, 将圆钢轧后弱穿水冷却扩大到全部规格, 既减少了拉丝缺陷和二次氧化, 又提高了钢材的综合力学性能。

德 蓉