

超细晶粒 38SiMnVB 弹簧钢的控制轧制

张宇 王宇

(东北特殊钢集团有限责任公司,大连 116031)

摘要 高强韧性弹簧钢 38SiMnVB(%: 0.39C, 1.48Mn, 1.21Si, 0.09V, 0.0019B) 经 750 ~ 820 °C 温度精轧, 终轧温度 700 ~ 720 °C 轧后缓冷, 控制轧制后得到的组织为珠光体 + 铁素体, 晶粒度 ≥ 10 级, HRC 硬度值 26, 抗拉强度 925 ~ 1 010 MPa, 延伸率 45% ~ 58%, 可以直接进行冷拔。经控制轧制的轿车弹簧用超细晶粒 38SiMnVB 弹簧钢经 870 °C 淬火, 320 °C 回火后具有极好的综合力学性能: 抗拉强度 2 030 ~ 2 140 MPa, 屈服强度 1 900 ~ 2 010 MPa, 延伸率 12% ~ 15%, 断面收缩率 48% ~ 55%。

关键词 超细晶粒 38SiMnVB 弹簧钢 控制轧制 高强韧性

Practice of Controlled Rolling on Super-Fine Grain Spring Steel 38SiMnVB

Zhang Yu and Wang Yu

(Northeast Special Steel Group Co Ltd, Dalian 116031)

Abstract The structure of high strength-toughness spring steel 38SiMnVB - 0.39C, 1.48Mn, 1.21Si, 0.09V, 0.0019B was pearlite + ferrite with grain size less than No 10, HRC value 26, tensile strength 925 ~ 1 010 MPa and elongation 45% ~ 58% by finishing rolling between 750 °C and 820 °C with finished temperature 700 ~ 720 °C than slow cooling. After rolled it could be cold drawn directly. With 870 °C quenched and 320 °C tempered the super-fine grain spring steel 38SiMnVB as a spring for cars had excellent comprehensive mechanical properties - tensile strength 2 030 ~ 2 140 MPa, yield strength 1 900 ~ 2 010 MPa, elongation 12% ~ 15%, reduction of area 48% ~ 55%.

Material Index Super-Fine Grain Spring, Spring Steel 38SiMnVB, Controlled Rolling, High Strength-Toughness

随着中国汽车工业的发展,特别是轿车产量的高速增长,对弹簧的质量提出高强度、高韧性的要求。稳定杆、扭力杆和螺旋悬挂弹簧对轿车轻量化具有重要意义。38SiMnVB 弹簧钢通过采用微合金化的方法^[1],初步具备高强高韧的特性。为了充分发挥 38SiMnVB 钢的潜能,结合控制轧制理论,研究了微合金弹簧钢的生产工艺。通过控制轧制获得超细化晶粒,超细化晶粒使钢在超高强度下保持更高的塑韧性。

1 试验材料及生产工艺

试验 38SiMnVB 弹簧钢的化学成分为(%): 0.39C, 1.48Mn, 1.21Si, 0.09V, 0.0019B。

38SiMnVB 弹簧钢的生产工艺流程为: 40 t 电弧炉(EBT) → LF + VD → 模铸(3 t) → 红转 → 750 轧机开 150 mm × 150 mm 方坯 → 钢坯缓冷 → 探伤 → 钢坯喷丸 → 探伤 → 钢坯机械修磨 → 合金钢棒线材连轧机 → 热轧材成品。

电弧炉出钢温度 1 660 °C, 钢包中部分合金

化, LF 精炼时完成合金化。VD 真空处理时间 22 min, 真空度 66.7 Pa 保持 12 min, 然后浇铸钢锭。钢锭红转, 经加热炉加热到规定温度, 由 750 轧机轧成 150 mm × 150 mm 方坯, 然后转入保温坑缓冷, 消除轧制应力, 杜绝应力裂纹和白点缺陷。

钢坯经喷丸清理、探伤及机械修磨, 有效地保证了内外部坯料的质量, 完成了坯料的准备工作。合格钢坯由步进式加热炉加热, 该炉气氛可控, 有效地限制了合金弹簧钢的脱碳程度, 整个钢坯温度控制均匀、准确。

2 试制结果

在加热温度和均热温度不变的情况下, 选用常规轧制工艺和控制轧制工艺进行轧制。常规轧制和控制轧制两种工艺获得的组织、晶粒度、硬度及脱碳等质量差异情况及轧制工艺对力学性能的影响如表 1 所示。

控制轧制不同于常规轧制, 控制轧制时钢的精轧温度低, 轧后先是快冷到低的吐丝温度, 然后

表1 38SiMnVB 弹簧钢常规和控制轧制工艺、组织、性能对比

Table 1 Comparison of rolling process, structure and properties of spring steel 38SiMnVB normal-rolled and controlled-rolled

项 目	常规轧制	控制轧制
加热温度/℃	1 014 ~ 1 018	1 014 ~ 1 018
均热温度/℃	980	980
精轧温度/℃	850 ~ 900	750 ~ 820
吐丝温度/℃	800 ~ 850	700 ~ 720
Stelmor 冷却速度/ $m \cdot s^{-1}$	(空冷)3.0	(加盖缓冷)1.5
显微组织	M + B + P	P + F
晶粒度/级	7 ~ 8	10
硬度(HRC)	41 ~ 45	26
总脱碳层/mm	0.07 ~ 0.10	0.03 ~ 0.05
全脱碳层/mm	0	0
抗拉强度/MPa	1 310 ~ 1 670	925 ~ 1 010
延伸率/%	5 ~ 6	19.5 ~ 24
断面收缩率/%	12 ~ 19	45 ~ 58
拔丝	不能	能

延迟缓冷。应用这种工艺轧制状态的金相组织发生最显著的变化是晶粒度出现超细化,达到 10 级以上。晶粒超细化最终体现为控制轧制的优越力学性能指标。

控制轧制与常规轧制工艺主要区别:控制轧制比常规轧制的精轧温度低,吐丝温度也低,同时控制轧制 Stelmor 冷却采用延迟缓冷方法等。

常规轧制钢的晶粒度主要以 8 级为主,金相组织为贝氏体(B) + 珠光体(P)和少量马氏体(M),硬度较高。

控制轧制钢的晶粒度大于 10 级(平均 5 ~ 7 μ),金相组织为铁素体(F) + 珠光体,硬度不高。本钢种不易于脱碳。

控制轧制比常规轧制的强度低 300 ~ 500 MPa,延伸率高 14% 以上,断面收缩率高 25% 以

上,所以控制轧制的钢可以不用退火就可以满足断面压缩率为 45% 的拉拔,而常规轧制拉拔前必须退火。

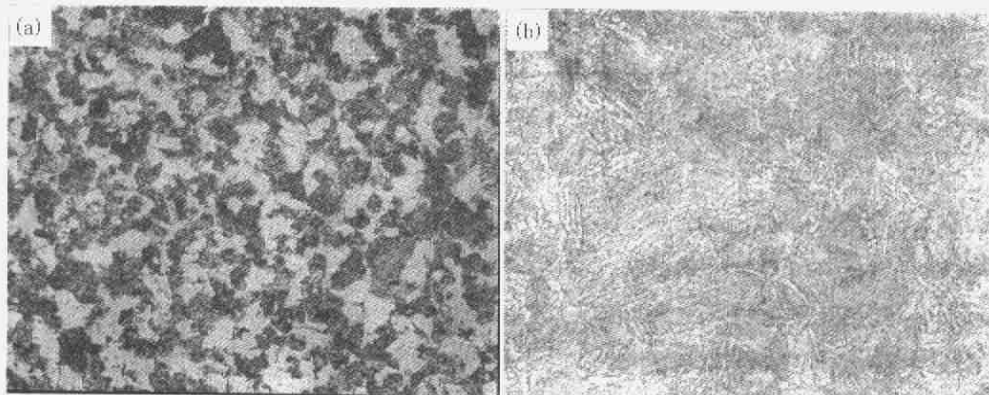
3 分析讨论

38SiMnVB 钢的相变点 Ac_1 、 Ac_3 、 Ar_1 和 Ar_3 分别为 740 °C、835 °C、625 °C、700 °C^[2]。制定控制轧制工艺的重点是根据相变点进行控温轧制。轧制是在奥氏体相区进行形变,运用动态再结晶与静态再结晶理论特点,使之形核数量快速增加^[3],随后控制冷却速度,抑制晶粒长大,使晶粒细化。得到理想的细晶组织和良好的力学性能。

在 850 °C 以上的高温晶粒细化是利用热变形与再结晶规律细化奥氏体,主要是以动态再结晶为主,细化作用不明显。在 850 °C 形变,主要以静态再结晶细化奥氏体。这是细化奥氏体晶粒的主要阶段。上道次晶粒的再结晶为下道次提供了原始细的奥氏体晶粒,通过再结晶又进一步细化。

在 835 °C (Ac_3)再结晶困难。而由奥氏体再结晶温度以下至 $Ar_3 = 700$ °C 这段(过冷奥氏体)温度轧制时,过冷奥氏体形变不发生再结晶,但在晶内形成大量变形带,冷却时不仅在奥氏体晶界形成铁素体核心,在晶内变形带处由于形变导致相变,也产生大量相变核心。通过延迟缓冷,发生相变,导致晶粒细化。在低温吐丝也抑制相变的晶粒长大,结果得到更细晶粒的珠光体组织。图 1(a)为超细晶粒的珠光体组织。超细晶粒的珠光体组织通过淬火处理,得到细的板条马氏体组织如图 2 所示。常规轧制如图 1(b)所示。

38SiMnVB 钢虽然有 V、B 的微合金化,具有现

图1 38SiMnVB 弹簧钢组织:(a) 控制轧制 $\times 500$;(b) 常规轧制 $\times 400$ Fig.1 Structure of steel 38SiMnVB: (a) controlled rolled $\times 500$; (b) normal rolled $\times 400$

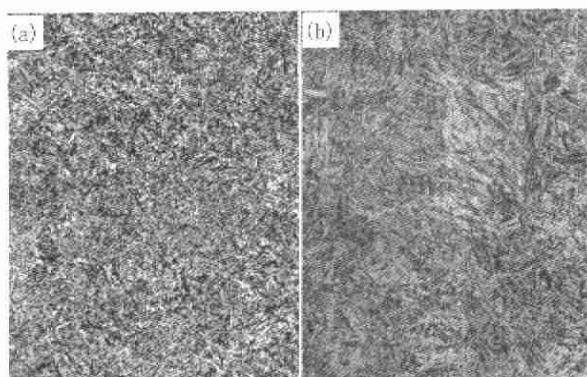


图 2 控制轧制超细晶粒的 38SiMnVB 弹簧钢 880 °C 淬火组织:(a) × 100;(b) × 500

Fig.2 Structure of controlled-rolled super-fine spring steel 38SiMnVB quenched at 880 °C: (a) × 100; (b) × 500

代钢组织细化和性能控制元素,起到推迟珠光体转变,增强奥氏体稳定性作用,但在常规轧制工艺中得不到超细晶组织。这是由于常规轧制基本全部在高温进行,轧制变形过程是升温过程。研究表明,在 930 °C 晶粒急剧长大。高温吐丝,冷却速度相对过快,过冷奥氏体发生珠光体转变变得困难,大部分转变成贝氏体、马氏体的混合组织。这样轧制状态下钢的强度高,塑性差,同时晶粒也相对粗大,硬度、脆性都明显增加。这种组织状态不利于直接拉拔,热处理后强度指标的提升受到限制。为了避免该组织状态出现,必须执行控轧、控冷工艺,以改善其综合性能。

38SiMnVB 钢综合性能另外体现在,控制轧制的超细化晶粒钢经 870 °C 淬火,320 °C 回火热处理后,抗拉强度、屈服强度、延伸率、断面收缩率全面提高,屈强比也增大,体现出弹簧材料必备的特性。而常规轧制的 38SiMnVB 钢同样经 870 °C 淬火,320 °C 回火热处理后,除延伸率、断面收缩率

与控制轧制基本相当外,其抗拉强度低 180 ~ 260 MPa,特别是屈服强度低 300 MPa 以上,屈强比也低。所以常规轧制钢的综合力学性能大幅度低于控轧的超细晶粒钢。两种轧制制度的钢材热处理后力学性能如表 2 所示。

表 2 控制轧制和常规轧制 38SiMnVB 钢热处理后力学性能对比

Table 2 Comparison of mechanical properties of heat-treated spring steel 38SiMnVB normal-rolled and controlled-rolled

轧制制度	热处理工艺	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	延伸率/%	面缩率/%	屈强比
常规轧制	870 °C 淬火	1 880 ~ 1 850	1 640 ~ 1 600	12	48 ~ 47	0.86 ~ 0.87
控制轧制	320 °C 回火	2 030 ~ 2 140	1 900 ~ 2 010	12 ~ 15	48 ~ 55	0.93 ~ 0.94

4 结论

(1) 在工业化大生产中,利用合理的控制轧制工艺,可以获得超细化晶粒钢。

(2) 利用合理的控温轧制工艺,热轧 38SiMnVB 线材可以省去退火直接进行拉拔。

(3) 38SiMnVB 超细化晶粒钢经调质处理后比普通晶粒钢具有显著的更优越的综合力学性能。

参考文献

- 1 韩建中.高性能新型弹簧材料在汽车弹簧上的应用研究.汽车技术,2000(12):24
- 2 钢铁研究总院.钢的奥氏体连续冷却曲线,试验报告,2003
- 3 刘国勋.金属学原理.北京:冶金工业出版社,1980

张宇,男,41岁,高级工程师,大连铁道学院材料工程系1988年研究生毕业。从事轿车弹簧钢和钢铁新材料的研制与研究。

收稿日期:2004-09-30

下期要目

国内特殊钢连铸生产技术的现状与发展	千勇等
X形浸入式水口对结晶器内钢水流动影响的数值模拟	崔小朝等
Q345 含 Nb 低碳钢 CSP 轧制时动态再结晶的研究	何建中等
含 B ₂ O ₃ 无氟连铸保护渣物理性能的研究	李桂荣等
超低碳 Nb-V-Ti 微合金钢热变形行为的研究	周家林等
薄板坯连铸中间包控流装置的数理模拟	薛伟锋等
304 不锈钢棒线材热连轧温度场的数值模拟	廖舒纶等