

·综述·

钢帘线钢的生产与发展

余 蓉 吴 玮 郭永铭 张新宝

(宝山钢铁股份公司特殊钢分公司,上海 200940)

摘 要 钢帘线钢是成分(%)为 0.70~0.75C-0.15~0.30Si-0.40~0.60Mn 的高碳钢,由于以 $\Phi 0.15 \sim 0.38$ mm 的钢帘线作为增强材料的橡胶制品具有优良的强度和弹性,有助于提高汽车的安全性和降低燃料费用,故广泛应用于汽车轮胎及传输皮带等工业领域。钢帘线钢的质量要求高,通常采用的工艺流程为转炉或电弧炉-LF-VD 或 RH-钙处理-连铸。叙述了钢帘线钢的化学成分、气体含量和夹杂物控制,介绍了国内外钢帘线钢的生产概况、质量要求和发展趋势。

关键词 钢帘线钢 质量控制 生产工艺 发展

Production and Development of Wire for Steel Cord of Tyre

Yu Rong, Wu Wei, Guo Yongming and Zhang Xinbao

(Special Steel Branch Co, Baoshan Iron and Steel Co Ltd, Shanghai 200940)

Abstract The wire for steel cord of tyre is a high carbon steel (0.70~0.75C-0.15~0.30Si-0.40~0.60Mn), which is widely applied to auto tyre and conveyer belt industries because the rubber products strengthened with $\Phi 0.15 \sim 0.38$ mm steel cord has excellent strength and springiness which is available to increase the safety of car and decrease fuel expenses. Due to requirement of high quality on wire for steel cord of tyre, in general the process flow sheet: converter or arc furnace-LF-VD or RH-Ca treatment-concasting is adopted to produce the steel. The control of chemical compositions, gas content and inclusion is presented and the general conditions of production, quality requirement and development trend of wire for steel cord of tyre at home and abroad are summarized in this paper.

Material Index Wire for Steel Cord of Tyre, Quality Control, Production Process, Development

以钢帘线作为增强材料的橡胶制品具有优良的强度和弹性,所以广泛地应用于汽车轮胎以及传输皮带等工业领域。轮胎用钢帘线的历史悠久,它最早是在 20 世纪前半叶由法国米其林公司开发的。为了轮胎的轻量化,减少轮胎钢帘线钢丝的用量,降低燃料费用,以及提高轮胎的寿命,钢帘线钢由当初的 2 800 MPa 逐步向高强度化发展。目前,3 600 MPa 级的钢帘线已经投入实际使用,并还在进一步研究开发拉伸强度超过 4 000 MPa 的钢帘线钢^[1]。

1 钢帘线的生产

1.1 钢帘线的生产工艺

钢帘线的生产工艺如图 1 所示,该工艺对热轧线材进行拔丝,经铅浴淬火处理,镀铜,在最终的湿式拔丝中进行 600~1 000 m/min 的高速拔丝,再进一步通过对超细丝施加强烈的扭转应力使之形成帘线^[2]。

钢帘线不但强度高而且非常细(达 $\Phi 0.15 \sim$

0.38 mm),在最终的湿式拔丝以及进一步的帘线生产等过程中,很容易发生断线,导致生产率下降以及帘线质量低下。因此,在生产高强度的钢帘线时,不发生断线非常重要,为此必须保证超细丝具有很高的延伸性。此外,由于轮胎中的钢帘线受到交变应力的强烈冲击,因此必须具有高的韧性和疲劳强度。

表面缺陷、中心偏析、夹杂物等不仅是影响断线的主要原因,也影响钢帘线的疲劳特性^[3]。目前,钢帘线用钢的生产厂家正致力于研究和开发生产清洁钢的精炼技术。

1.2 钢帘线钢的生产技术

由于钢帘线钢的质量要求高,一般采用的生产工艺流程为:转炉或电弧炉冶炼→LF→VD 或 RH→钙处理→浇铸。

转炉冶炼用铁水需要脱硫、脱磷处理,电弧炉冶炼则应采用低磷、低硫的返回废钢;钢水经 LF 处理进行成分微调;经 VD(或 RH)处理,以降低钢中的[N]、[H]、[O];向钢帘线钢水中喂入钙丝进

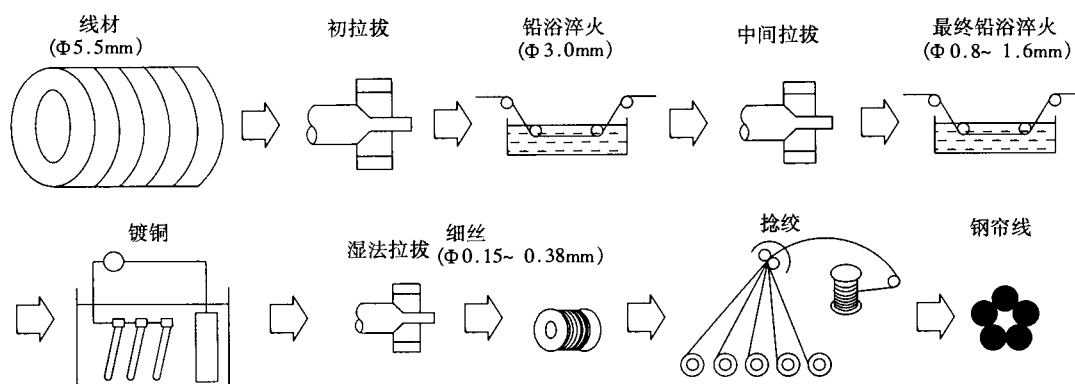


图 1 钢帘线的生产工艺

Fig.1 Process flow sheet for steel cord for tyre

行处理,以使钢中夹杂物球化;在连铸过程中应实施对钢水成分、温度及二冷参数的严格控制^[4]。

2 对钢帘线钢的质量要求

帘线由拉拔成 $\Phi 0.15 \sim 0.38$ mm 的细丝捻绞成绳,拉拔成细丝 100 km 不允许断头,所以对钢帘线钢的所有生产工序都有严格的要求,包括:极其严格的化学成分范围、低的夹杂物级别且夹杂物类型、形状、大小和数量的控制具有重现性,将

金属凝固过程中自然形成的偏析减至最低,显微组织均匀以及表面质量良好。

2.1 国外钢帘线钢的化学成分

钢帘线钢要求化学成分非常均匀,C、Mn、Si 成分波动要小,对 S、P 及其他微量元素的含量亦有严格的限制。表 1 列出了国外一些钢帘线钢生产企业的化学成分内控标准及实测数据^[4]。

2.2 钢的纯净度

表 1 国外一些钢厂钢帘线钢的化学成分/%

Table 1 Chemical compositions of wire for steel cord for tyre produced at different steel works / %

公司名称	日本住友 (SMI)		日本新日铁 (NSC)		日本神户 (KSL)		韩国浦项 (POSCO)		德国 (saanstahl)	
	AISI10705		AISI1070MST		KSC72		RD705		SKD70	
产品牌号	标准	实测	标准	实测	标准	实测	标准	实测	标准	实测
C	0.7~0.75	0.72	0.7~0.75	0.72	0.7~0.75	0.72	0.65~0.75	0.73	0.69~0.75	0.72
Si	0.15~0.3	0.17	0.15~0.3	0.2	0.15~0.3	0.19	0.15~0.3	0.22	0.1~0.3	0.22
Mn	0.4~0.6	0.52	0.4~0.6	0.5	0.4~0.6	0.54	0.4~0.8	0.52	0.45~0.55	0.56
P	0.02	0.009	0.02	0.014	0.02	0.012	0.03	0.007	0.02	0.007
S	0.02	0.005	0.02	0.007	0.02	0.004	0.03	0.008	0.025	0.015
Cu	0.05		0.05		0.05	微量	0.01		0.08	0.009
Ni	0.05		0.05		0.05	0.015	0.01		0.1	0.038
Cr	0.05		0.05		0.05	0.020	0.02		0.05	0.019
Al	0.005		0.005		0.005		微量		0.01	
P+S	0.05	0.014	0.05	0.021	0.05	0.016	0.015	0.015		
[N]							0.02		0.007	

在钢帘线钢生产过程中,除了降低非金属氧化物夹杂含量及控制它们的组织形态、成分和尺寸分布外,还需要降低其他诸如 S、P、H、N 甚至 C 等残余元素及 As、Sn、Sb、Cu、Pb 和 Bi 之类的痕量元素。

2.2.1 夹杂物控制

可变形的氧化物夹杂的控制对钢帘线钢的产品质量性能非常关键。在凝固期间及凝固之后析

出的夹杂物称之为原生夹杂物,而在钢水中直接形成的夹杂物被称作外来夹杂物。对于钢帘线钢,可采用纯净钢操作规程以去除外来夹杂物。原生夹杂物的控制对钢帘线钢的性能极为重要,因为这种夹杂物会损害钢帘线钢的疲劳性能。钢帘线钢的目标夹杂物是锰铝榴矿类的,经渣-钢处理,可以控制溶解铝的含量,避免尖晶石的形成。已经查明,一种 $\text{CaO}/\text{SiO}_2 \approx 1$,石灰-~20%氧化铝-

氧化硅渣能有效地将残余铝控制在产生玻璃态可变形氧化物夹杂所必须的范围内。

在钢帘线的研究开发过程中,对断线断截面上出现的夹杂物进行了观察和分析,结果得出,加工中引起断线的夹杂物是以在热轧和冷加工时难以延伸和破碎的硬质 Al_2O_3 为主的夹杂物。作为 Al_2O_3 的来源,可以分为从钢水中结晶出来和从耐火材料混入两种情况。在第一种情况下,可以通过将生成的夹杂物控制为延伸性高的成分,使之无害,从而防止断线;在第二种情况下,可通过选择各工序的最佳耐火材料来减少源于耐火材料夹杂的断线^[2]。现将夹杂物的来源和采取的对策和措施汇总于表 2^[2]。

表 2 炼钢过程中夹杂物的来源和对策

Table 2 Sources of inclusions during melting and handling measures

夹杂物类型	来源	对策和措施
造成断线的夹杂物 Al_2O_3 , $MgO \cdot Al_2O_3$	原生夹杂物	脱氧产物 (1) 控制吹炼条件 (2) 控制脱氧 二次氧化产物 (3) 控制 RH 脱气条件 生铁中的夹杂物 (4) 改善中间包中堰和熔池的深度 (5) 结晶器中电磁搅拌 (6) 连铸中气体保护等
	外来夹杂物	炉渣 (1) 防止炉渣混入钢水中 耐火材料 (2) 改善耐火材料 铁合金中夹杂物 (3) 改善中间包中堰和熔池的深度 (4) 结晶器中电磁搅拌等

2.2.2 中心偏析

高碳钢的偏析是造成钢的内部质量和性能不均匀性的主要因素,在拉丝和扭转过程中易引起断裂。因此,钢帘线钢对碳的中心偏析有严格要求,一般碳中心偏析指数 ≤ 1.05 ^[4]。在连铸过程中应注意:(1) 控制钢液过热度、钢液成分、二冷参数以及浇注速度;(2) 在结晶器中和结晶器下面的搅拌作用、冷却速度和流股冷却程序;(3) 在最终凝固期间附加的物理相互作用,制定出使碳含量高的钢获得最少偏析的有效工艺制度^[5]。

2.2.3 有害气体含量及残余元素的控制

要较好地控制钢帘线钢的质量,必须对有害气体含量和残余元素严加控制。研究发现应将有害气体的含量控制在: $[O] \leq 30 \times 10^{-6}$, $[N] \leq 30 \times 10^{-6}$, $[H] \leq 1.8 \times 10^{-6}$ ^[4]。要达到这一要求,应采取低 N_2 、 O_2 吹炼制度及保护浇铸技术。为了降低

钢中 $[H]$ 含量,应采取 VD 或 RH 真空脱气处理。

残余元素含量低可使线材在拉拔过程中有更大的变形。对于作为常规杂质留在钢中的残余元素 S、P、N、O,设置的目标值应非常低^[5]。此外,通过选择矿石、废钢、合金添加剂对 Sn、Sb、As、Pb、Bi、V、Ti 等元素加以控制。对一些影响盘条组织控制的不利元素以及易产生难变形夹杂的元素也要严加控制^[6]。

2.3 表面质量及内部缺陷

对生产钢帘线钢的铸坯表面要求十分严格,铸坯表面不能有针眼、凹坑、结疤、微小夹杂物和裂纹,如有细小裂纹其深度应 $< 0.3 \text{ mm}$ 。铸坯内部不能有缩孔,内部裂纹长度应 $\leq 10 \text{ mm}$ ^[4]。

盘条表面要求不允许有横裂纹、刮伤、结疤、折叠^[4],对盘条绝对需要作正确的防护以保证其表面质量,在运输及装卸过程中应避免任何玷污和机械损伤。

2.4 结构特性

钢帘线要求具有高的抗拉强度、冷加工性能和疲劳强度,为了满足这些要求,整个线材横截面的显微组织必须是均匀一致的共析组织。在整个截面上出现不规则的晶粒组织、贝氏体、粗大的层状珠光体、马氏体或二次渗碳体都会对恒定一致的加工作业产生负面影响^[5]。

金相组织:索氏体(细珠光体) $\geq 95\%$;

脱碳层: $\leq 0.10 \text{ mm}$;

晶粒度: 8 ~ 10 级。

3 钢帘线钢生产的现状和展望

3.1 国内外部分钢厂生产钢帘线钢的概况

迄今为止,国内能够生产钢帘线钢的生产厂家为数甚少,只有宝钢、武钢能够生产少量的钢帘线钢。国内一些生产钢帘线钢的合资工厂所使用的坯料还大量依靠进口。国内外几家生产钢帘线钢的厂家采用大、小方坯生产钢帘线钢的铸坯断面情况见表 3。

3.2 钢帘线钢高强度化的努力方向

钢帘线钢各生产厂家对钢帘线高强度化的期望值很高,现在正在进行研究开发拉伸强度超过 4 000 MPa 钢帘线。但是,在研究过程中发现当钢丝强度提高后,在扭转变形的初期会产生被称作“离层”的沿钢丝纵向裂开的纵裂,阻碍着钢丝高强度化的发展。

表 3 典型钢厂生产钢帘线钢的铸坯断面和冶炼方法
 Table 3 Cross-sections of bloom and billet and steelmaking process for wire for cord tyre

公司	铸坯断面/mm × mm	冶炼方法
宝钢	150 × 150	转炉
武钢	200 × 200	转炉
川崎	400 × 550	转炉
神户	380 × 550	转炉
蒂森	265 × 380	转炉
斯罗宾	300 × 400	电弧炉

已知在拉拔好的细丝表面通常会产生拉伸残余应力,但在拉拔过程中,通过降低在最终一个拉模中的减面率,产生压缩残余应力,就可以提高离层发生时的极限强度。对离层发生部位的断面进行观察发现,在离层中有第二相铁素体参与,通过改善铅浴淬火条件也可以提高离层发生时的极限强度。

3.3 钢帘线钢生产今后的展望

具有优良性能的钢帘线钢,在提高汽车的安全性和降低燃料费用方面发挥着巨大作用。由于当前的地球环境问题,汽车排放废气的法规越来越严,对轮胎也要求进一步轻量化。钢帘线钢的高强度化是减少轮胎重量的有效手段,关于高强度化的机理和发生离层的原因,国外一直在进行用毫微尺度组织解析及拉丝加工技术的开发。随着进一步的高强度化,材料的缺陷敏感性提高,必须进一步减少材料的表面缺陷、夹杂物等。氧化物冶金术、超细晶粒技术、钢水的高纯净度技术的发展为控制夹杂物形态、类型和大小以及进一步减少钢中夹杂物提供了可能。另外,兼顾高强度和腐蚀疲劳特性也是重要课题。

当前,世界规模的汽车及汽车相关产业的改组正在进行,轮胎生产厂也在努力降低生产成本。可以预料,今后轮胎的制造方法也会发生变化,因

此钢帘线钢生产厂家必须与轮胎生产厂家合作,共同开发能适应变化的钢帘线生产工艺。

虽然生产钢帘线钢具有技术含量高、产值高等优势,会给企业增加相应的经济效益,但应充分认识到生产钢帘线钢的技术难度大,原材料条件和相应工艺装备的要求高。因此须对从原材料到成品的各生产工序严加管理,进一步开发出纯净度高、均质性优良的高品质钢帘线用线材的生产技术。

4 结论

(1) 为了实现轮胎的轻量化,降低燃料费用,提高轮胎寿命,钢帘线钢正逐步向高强度化发展。

(2) 控制夹杂物和中心偏析以及有害气体和残余元素的含量,是提高钢帘线质量的有效措施。

(3) 应对高强度化机理和发生离层的原因进行研究,进一步开发纯净度高、均质性优良的高品质钢帘线钢生产技术。

参考文献

- 1 南田高明,平贺范明,柴田隆雄. スチールコード用线材の歩み. R. D 神户制钢技报, 2000(3): 31
- 2 齐藤忠,横江宽治,崎津真一,等. 连续铸造によるスチールコード用鋼の製造. R. D 神户制钢技报, 1984, 34(2): 96
- 3 山田凯朗,隠岐保博,水谷腾治,等. 高强スチールコード用线材. R. D 神户制钢技报, 1986(4): 71
- 4 王承宽. 钢帘线钢的生产. 钢铁技术, 2003(6): 1
- 5 NV Bekaert SA, Naamloze Vennootschap, Bekaertstraat. Rod Requirement for Steel Cord Filaments. Wire Industry. 1994(7): 471
- 6 王村毅,小川兼广,前田真一,等. タイヤコード用鋼の介在物形态制御. R. D 神户制钢技报, 1989(4): 77

余 蓉(1967-),女,高级工程师,1989年上海工业大学钢铁冶金专业毕业。从事特殊钢领域的情报信息研究。

收稿日期:2005-07-15

下 期 要 目

发展我国高速钢的战略分析	李正邦
钒对 T122 铁素体耐热钢组织和性能的影响	刘正东等
电磁制动对 CSP 结晶器内坯壳冲击和弯月面温度的影响	刘光穆等
退火温度对 0.5 mm 无取向硅钢冷轧板组织结构和磁性能的影响	张文康等
RH-MFB 二次精炼过程钢水温度控制的模拟	韩传基等
CSP 结晶器保护渣固态渣膜结构和矿相的分析	董 方等
预变形对超低碳贝氏体钢中 ε-Cu 析出行为的影响	张胤彦等