20MnV液压缸筒用无缝钢管的开发*

姜海龙[1,2],陈 林[2],张学颖[1],米永峰[1],姚晓乐[1],刘玉荣[1],郭智韬[1],宋江波[1]

(1.内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管公司,内蒙古 包头 014010;
2.内蒙古科技大学冶金材料学院,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 通过对液压缸筒用无缝钢管的性能要求和工艺特点的分析,进行以V、Cr为基的合金成分设计,并制定了相应的冶炼、轧制、热处理工艺控制措施,成功开发出综合性能优良的液压缸筒用无缝钢管。试制钢管屈服强度大于480 MPa,抗拉强度大于650 MPa,-20 ℃纵向低温冲击值大于100 J。

关键词: 液压缸筒钢; 无缝钢管; 工业试制; 力学性能
中图分类号: TG335.71 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)03-0027-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.03.008

Development of Seamless Steel Tube for 20MnV Hydraulic Cylinder

Jiang Hai-long[1,2], *Chen Lin*[2], *Zhang Xue-ying*[1], *Mi Yong-feng*[1],
Yao Xiao-le[1], *Liu Yu-rong*[1], *Guo Zhi-tao*[1], *Song Jiang-bo*[1]

(1. *Steel Tube Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *School of Materials and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The alloy composition design based on V and Cr is carried out through analyzing the performance requirements and technological characteristics of seamless steel tube for hydraulic cylinder as well as the corresponding control measures of smelting, rolling and heat treatment technology are formulated so that the seamless steel tube with excellent comprehensive performance is successfully developed. The yield strength, tensile strength and longitudinal low-temperature impact value at -20 ℃ of trial-manufacture steel tube are more than 480 MPa, 650 MPa and 100 J respectively.

Key words: hydraulic cylinder steel; seamless steel tube; industrial trial production; mechanical properties

近年来,全球工程机械行业呈现稳定发展的态势。我国随着各种重大基础设施建设的快速发展,特别是以“一带一路”为代表的工程建设事业发展的推动下,传统市场稳定增长,国内工程机械需求量稳定增长,同时对工程机械的能耗、强度、稳定性等技术指标提出了更高的要求。液压油缸作为工程机械的一个重要部件,其在缓冲、高负载、高频和稳定性上有极高的要求,高强度油缸用冷拔无缝钢管作为液压油缸的最重要原材料,直接决定了液压油缸的精度、强度、寿命等重要参数。因此,研发具有高

* **收稿日期:** 2021-05-06
作者简介: 姜海龙(1983-),男,内蒙古包头市人,高级工程师,现从事无缝钢管新产品研发及质量控制工作。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

强度、精密化又实现节能轻量化的液压油缸用冷拔无缝钢管十分必要。20MnV 液压缸筒用无缝钢管是高强度液压油缸的最主要原材料，可广泛应用于工程机械、冶金机械、塑料机械、石油化工机械、轻工机械、航空航天、船舶和海洋工程设备等行业[1-3]。

1 技术要求及工业生产方案

1.1 技术要求

液压缸筒用无缝管的开发基于某用户要求，尺寸公差及力学性能需满足：外径精度要求控制在正负1%范围内，壁厚要求控制在正负10%范围内，钢管的不圆度及壁厚不均度要求分别不超过外径和壁厚公差的85%；－20 ℃纵向低温冲击值不低于27 J，抗拉强度不低于560 MPa；屈服强度不低于400 MPa，断后伸长率不小于17%，晶粒度等级不小于5级。

1.2 液压油缸钢特点

液压油缸作为工程机械的一个重要部件，其在缓冲、高负载、高频和稳定性上有极高的要求，高强度油缸用无缝钢管作为液压油缸的最重要原材料，直接决定了液压油缸的精度、强度、寿命等重要参数。因此，液压油缸用无缝钢管的综合性能在要求具有高强度同时还需保证其具有最佳的低温冲击性能，且其成分及工艺设计需要顾及经济性。

1.3 工业生产方案

工业生产中需要合理设计合金成分和严格控制连铸与热轧工艺，以保证试制钢管的综合力学性能和表面质量。

1.3.1 化学成分优化

根据产品综合性能要求进行以铁素体和珠光体为主的金相组织设计和以V、Cr为主要合金元素的成分设计，确定试验钢经济、合理的合金元素配比和组织构成，通过晶粒细化和沉淀强化进一步细化晶粒和控制组织形态，大幅度提高低温冲击功并确保生产工艺的合理性和稳定性，保证试制钢管的综合力学性能。化学成分如表1所示。

表1 液压油缸钢的化学成分(质量分数) %

钢种	C	Si	Mn	V	P	S	Al	Cr	N	Ni
20MnV	≤0.24	≤0.60	≤1.80	≤0.17	≤0.025	≤0.010	≤0.060	≤0.30	≤0.015	≤0.30

表1所设计的液压油缸钢化学成分中，P元素易产生宏观偏析，将其含量控制在0.018%以下，并适当提高Si含量以加快铸坯的凝固速度，以此可减少Si元素偏析。

1.3.2 工艺流程

高炉铁水→铁水预处理→转炉冶炼→LF炉外精炼→VD真空处理→连铸→铸坯缓冷→入库→连铸坯→锯切→环形炉加热→穿孔→连轧→脱管→定(张减)径→冷床→锯切→矫直→漏磁探伤→超声波探伤→检查→测长、称重、喷标→包装入库→出厂

1.3.3 连铸工艺

采用“LF + VD”，以保证铸坯的洁净度。转炉冶炼的终渣碱度不小于3.0，必须做好终点碳含量控制，不能过氧化和超低碳出钢，转炉终点控制目标：$\omega(C) \geqslant 0.06\%$、$\omega(P) \leqslant 0.010\%$，出钢温度在1 610～1 630 ℃，全程按LF精炼的要求吹氩，控制吹氩强度，保持钢液蠕动且不得裸露钢液。在精炼中后期补加铬铁。真空处理后软吹时间不低于13 min，同时应注意弱搅拌效果，不能裸露钢水，必须做好钢液非金属夹杂物的去除。

连铸过程中采用全程保护浇注，按相应的规格严格控制拉速，保证恒拉速浇注。连铸钢水过热度控制在15～35 ℃范围内，以增加等轴晶比率。采用结晶器电磁搅拌和末端电磁搅拌工艺，抑制凝固末期富含杂质钢水向中心流动来减轻中心偏析。

1.3.4 热轧工艺

铸坯在炉内加热过程中严格控制加热炉内的气氛，按照规定的加热制度进行加热，加热过程中对加热炉的各段温度及时间进行监控，减少热应力对管坯芯部或外表面缺陷的扩展，防止在后续生产中出现裂纹。保证管坯在加热炉内加热均匀，防止出现阴阳面、加热不透、过热或过烧现象。根据钢质量计划中合金成分设计及实际生产的坯型规格，确定将铸坯出炉温度控制在1 260～1 290 ℃。穿孔时严格控制推钢咬入、穿孔、抱辊抱管及抛钢的平稳性。在奥氏体再结晶区进行粗轧，为了充分细化原始奥氏体晶粒，尽量做到大压下量轧制，在设备参数允许的条件下，加大粗轧阶段总变形量。在处于未再结晶区的精轧阶段变形时，适当增加精轧前几道次的压下量以保证钢管壁厚方向组织的均匀性，并在最后

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3—4 个道次进行管形控制。

1.3.5　正火工艺

正火工艺制度的设计是根据之前的成分设计，以及 A_{C3} 温度的经验公式（A_{C3} = 910 − 320 × ω(C) −14 × ω(Ni) − 12 × ω(Cu) − 10 × ω(Mn) + 5 × ω(Cr) + 7 × ω(W) + 14 × ω(Mo) + 5 × ω(V) +18 × ω(Si)），A_{C3} 理论值为 830 ℃ 左右，结合现场设备及试制钢管规格为 Φ273 mm × 16 mm，规格比较大的实际情况，正火工艺设计为 890 ℃，保温 30 min。为了保证钢管的外表面质量，防止出现麻面等表面缺陷，正火后高压水除鳞压力要求不低于 12 MPa，正火后必须矫直，矫直时应严格控制矫直力，保证钢管弯曲度的要求，且不得有矫凹、矫椭、矫裂等情况出现。

2　工业试制情况

2.1　连铸坯质量

本次试制铸坯为 Φ350 mm 的连铸圆坯，对其内部质量和表面质量进行检测分析。按照 GB/T 226—2015[4] 要求取连铸坯试样并保证磨光后试样检验面的合适粗糙度，按照标准中的热酸腐蚀法对所取低倍试样进行侵蚀，所得铸坯低倍组织如图 1 所示。

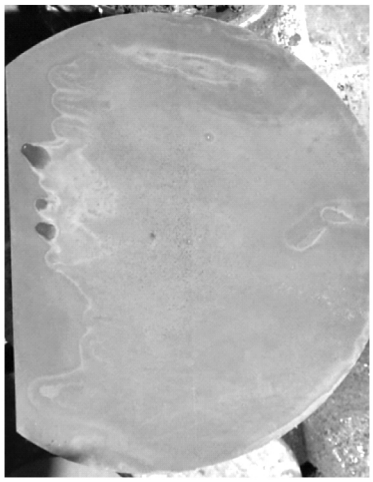


图 1　液压缸筒用无缝钢管铸坯低倍组织

根据 YB/T 4003—1997[5] 标准对侵蚀后低倍组织进行评定，中心疏松 0.5 级，中心裂纹 1 级，中间裂纹、缩孔、皮下裂纹、气泡、非金属夹杂物均无。可见，本次试制连铸坯内部质量控制较好。

2.2　CCT 曲线

从试制钢管上取轧态试样分析连续冷却条件下过冷奥氏体转变规律，其 CCT 曲线结果见图 2，图 2 中冷却速度曲线从左到右依次是 110 ℃/s、50 ℃/s、30 ℃/s、20 ℃/s、10 ℃/s、7 ℃/s、5 ℃/s、2 ℃/s、1 ℃/s、0.5 ℃/s。

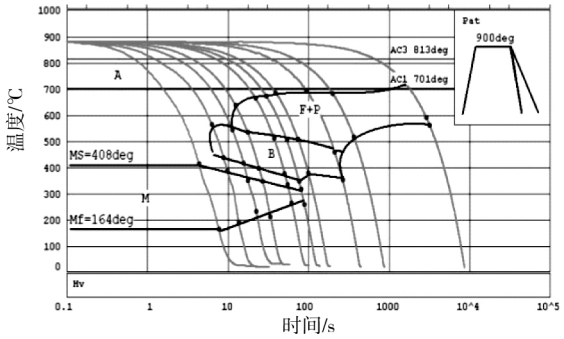


图 2　试制钢管的 CCT 曲线

从图 2 的 CCT 曲线可见试制钢管的 A_{C3} 温度为 813 ℃，因为含有钒和铬等合金元素，正火温度需在 A_{C3} 基础上增加 30 ~ 50 ℃，工业生产中设计的工艺正火温度为 890 ℃，完全满足要求。保温 30 min 后空冷到室温，结合材料的规格及实际冷却至室温的时间算出材料的平均冷却速度为 0.6 ℃/s，其冷却曲线应该处于图 2 中 1 ℃/s 和 0.5 ℃/s 两条曲线之间，得到的室温组织为珠光体和铁素体。

2.3　金相组织

从试制钢管上截取金相试样，试样经研磨、抛光后采用 4% 的硝酸酒精溶液腐蚀，在光学显微镜下观察组织形态，按 GB/T 6394—2017[6] 标准要求晶粒度评级为 8.5 级，如图 3 所示。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

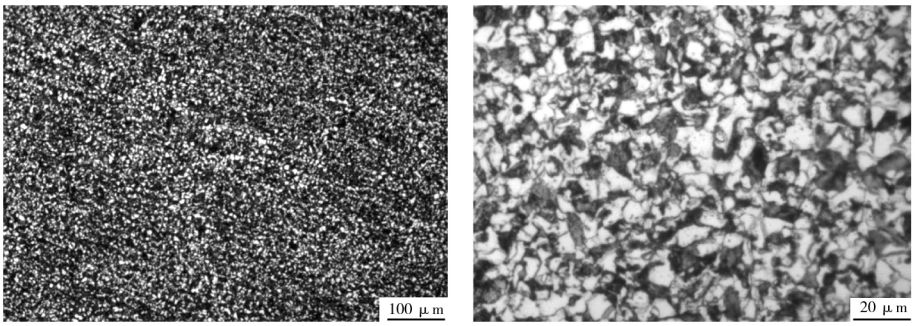


图3 试制钢管的金相组织

从图3可以看出：钢管的组织均为铁素体+珠光体组织，印证了图2中材料的室温组织结果。铁素体晶粒均较细小，且珠光体带状组织完全消除，有助于提高其冲击韧性。

2.4 力学性能

对试制钢管的力学性能进行检测分析。按照GB/T 228—2010[7]和GB/T 229—2007[8]标准要求，进行力学性能检测，结果见表2。

表2 试制钢管力学性能

外径/mm	壁厚/mm	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%	冲击值/J
用户要求	用户要求	≥400	≥560	≥17.0	≥27
245	14	482～485	661～667	27.5～28.0	122～149
273	16	482～525	655～708	19.0～27.5	100～178

从表2可以看出，试制钢管的各项性能符合设计要求，屈服强度为482～525 MPa，大于400 MPa的要求，抗拉强度为655～708 MPa，大于560 MPa的要求，伸长率为19%～28%，大于17%，强塑性匹配合理。－20 ℃纵向低温冲击值100～178 J，大于27 J，低温冲击韧性优异。

3 结论

(1) 通过对液压缸筒用无缝钢管的性能要求和工艺特点的分析，进行以V、Cr为基的合金成分设计，并制定了相应的冶炼、轧钢、热处理工艺控制措施，成功开发出综合性能优良的液压缸筒用无缝钢管。

(2) 试制钢管屈服强度大于480 MPa，抗拉强度大于550 MPa，－20 ℃纵向低温冲击值大于100 J，产品的表面质量和力学性能均达到用户要求，强塑性匹配合理，冲击韧性优异，已稳定批量供货。

参 考 文 献

[1] 马传伟. 新形势下工程机械配套件行业的新任务[J]. 今日工程机械，2008，11(1)：56－58.

[2] 韩波. 如何提高液压缸筒用无缝钢管材料利用率[J]. 液压气动与密封，2012，8(1)：6－7.

[3] 陈坤，边华川，腾建明. 高强韧性液压支柱无缝钢管的研制开发[J]. 钢管，2009，38(1)：26－29.

[4] GB/T 226—2015，钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法[S].

[5] YB/T 4003—1997，连铸钢板低倍组织缺陷评级图[S].

[6] GB/T 6394—2017，金属平均晶粒度测定方法[S].

[7] GB/T 228—2010，金属材料室温拉伸试验方法[S].

[8] GB/T 229—2007，金属材料夏比冲击试验方法[S].

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net