● 生产技术 Production Technology ●

DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.12.017

汽车齿轮用高品质 20MnCr5(SH)钢生产工艺实践

曹小军,方光锦,杨 国,王芝林,钱才让,鲜奋强,柳沛强,张振民
(西宁特殊钢股份有限公司,青海 西宁 810005)

摘 要:为了开发汽车齿轮用高品质 20MnCr5(SH)钢材料,西宁特钢通过优化渣系配料结构,采用 110 t Consteel 偏心底电炉留渣留钢控制,LF 精炼成分精确控制, 使用高碱度精炼渣系:50%～55%CaO,≤10%SiO_2,22%～28%Al_2O_3,4%～7%MgO 以及延长极真空保持时间和弱氩搅拌时间等工艺,生产出化学成分稳定、淬透性带窄、高洁净度、晶粒细小均匀的 20MnCr5(SH)齿轮用钢,能够满足高端汽车齿轮的需要。

关键词:20MnCr5(SH)钢;淬透性;晶粒度;洁净度

中图分类号:TG269 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-8365(2019)12-1303-04

High Quality 20MnCr5(SH) Steel Production Technology Practice

CAO Xiaojun, FANG Guangjin, YANG Guo, WANG Zhilin, QIAN Cairan, XIAN Fenqiang
LIU Peiqiang, ZHANG Zhenmin
(Xi'ning Special Steel Group, Co., Ltd., Xi'ning 810005, China)

Abstract: In order to develop high quality 20MnCr5 (SH)material for automotive gears, Xining Special Steel adopted 110 tons Consteel eccentric bottom electric furnace slag-free tapping, precise control of refining composition and high basicity refining slag system: 50%~55% CaO, ≤10% SiO_2, 22%~28% Al_2O_3, 4%~7% MgO and sufficient extreme vacuum holding time and weak argon by optimizing the proportioning structure. The 20MnCr5 gear steel with stable chemical composition, narrow hardenability band, high cleanliness and fine and uniform grain was produced by stirring time, which can fully meet the needs of high performance automobile gears.

Key words: 20MnCr5 steel; hardenability; grain size; cleanliness

MnCr5 系列齿轮钢是我国引进的德国高标准轿车齿轮用钢,具有洁净度高、良好且稳定的淬透性等特点。该钢种广泛应用于渗碳件和截面较大、负荷较高的调质件,如齿轮、蜗杆、轴类、摩擦轮等[1]。目前,国内生产的奥迪、捷达、桑塔纳及富康轿车齿轮都采用 MnCr5 系列钢种[2]。此钢种除了要符合德国 DIN 标准要求外,还要符合德国大众的标准要求[3,4],质量要求高,最初全部依赖进口。后期国内只有大冶、兴澄、抚钢等企业生产,但是钢材质量一直存在问题。西宁特钢从 2004 年开始开发及生产 16MnCr5 齿轮钢,后续研究 20MnCr5 钢基础特性,进行控硫、窄控末端技术,进行生产试制,最终成功开发了 EAF-LF-VD-CC 流程的 20MnCr5(SH)钢生产工艺。

收稿日期:2019-10-19

作者简介:曹小军(1974-),甘肃正宁县人,工程师.主要从事特殊钢生产工艺研究方面的工作.
电话:0971-5299303,E-mail:cxj5808yeah.net

1 技术要求分析

1.1 化学成分控制要求

德国大众用 20MnCr5 齿轮钢标准化学成分要求见表 1,其中一大特点是要求 Si 含量不超过 0.12%。文献[5]认为当 Si 含量大于 0.12%时,会增加齿轮渗碳过程的内氧化倾向,形成“黑色网状组织”缺陷,使得疲劳寿命降低。由于齿轮生产加工过程中切削量大,为了改善切削加工性能,20MnCr5 钢中控制 0.020%～0.025%S 元素,使钢中 MnS 夹杂物数量增加,通过冶炼过程特殊控制使得 MnS 夹杂物细小弥散分布,可明显改善钢材切削性能,提高刀具使用寿命,而不影响齿轮疲劳寿命。另外,根据齿轮的工作环境,要求高的接触疲劳寿命,因此,在冶炼过程中应严格控制 Ti 含量,Ti 易与钢中 N、C 元素形成硬质且有棱角的 TiN、TiC 会严重影响齿轮的使用寿命。

1.2 洁净度控制要求

齿轮在工作时承受弯曲应力、冲击载荷及接触

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

表1 化学成分 w(%)
Tab.1 Chemical composition

C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Cu	O
0.17～0.21	≤0.12	1.10～1.40	≤0.030	≤0.035	1.00～1.30	0.020～0.050	≤0.20	≤0.001 5

应力的复合作用，要求齿轮材料具有高的耐磨性、弯曲疲劳强度和接触疲劳强度，钢材中非金属夹杂物是导致齿轮早期疲劳失效的主要原因，所以20MnCr5钢要求高的洁净度，要求按标准DIN 50602中K法检验氧化物及硫化物总值K3≤25；按标准ASTM E45 A法检验钢中夹杂物（级）：A≤2、B≤2、C≤1、D≤1、DS≤1。另外，钢中氧含量主要以溶解氧和氧化物形式存在，所以钢中氧含量是评价钢材洁净度的主要指标，要求氧含量≤15×10^{-4}%。

1.3 淬透性及晶粒度要求

齿轮在调质处理后严格要求控制变形量及精准控制淬透层深度，因此对钢材淬透性要求严格，20MnCr5钢末端淬透淬透性要求见表2。影响淬透性的主要因素是化学成分，所以对20MnCr5钢淬透性和淬透性带宽的控制主要在于化学成分精准控制及成分偏析的控制。另外，B元素与末端淬透性具有强相关关系，应严格控制钢中B的残余量。

表2 末端淬透性
Tab.2 End Hardenability

牌号	热处理制度	末端淬透性J10，HRC
20MnCr5	920 ℃×50 min正火，900 ℃×30 min水淬	30～34

细小均匀的奥氏体晶粒对稳定钢材的末端淬透性，减小齿轮热处理后的变形，提高渗碳钢的脆断抗力具有重要作用。20MnCr5材质的齿轮渗碳温度一般在920~950 ℃，渗碳时间为4～6 h，所以齿轮生产厂家要求20MnCr5钢材按标准GB/T 6394—2002《金属平均晶粒度测定方法》[6]检验奥氏体晶粒度≥5级，试样热处理制度：加热到930 ℃，保温4 h，水淬。

2 生产实践与结果

西宁特钢采用配料（铁液+废钢）→110 t Consteel电炉→LF精炼+VD真空脱气→250 mm×280 mm连铸→保温缓冷→加热→轧制→保温缓冷→精整→上交入库的工艺流程生产20MnCr5（SH）钢。

2.1 电炉冶炼过程控制

为了降低钢中B、Ti、P等其它有害元素，电炉配料采用红装铁液+少量废钢的方式，要求铁液占比≥80%，废钢采用返回钢及优质废钢，禁止使用含B废钢。在冶炼初期控制吹氧模式，温度控制在1 550 ℃左右，造高碱度渣，通过流渣操作，去除高磷渣后重新造渣。电炉冶炼后期主要进行升温氧化，达到脱碳去硅目的，但是必须严格控制终点C含量，保证C≥1.0%，防止钢液过氧化。铁液中Ti相对较高，一般含量300×10^{-4}%～500×10^{-4}%，主要依靠电炉氧化去除，Ti最终以氧化物的形式进入渣中，另外为了保证Si≤0.12%，采用偏心底电炉出钢特有的留钢留渣操作，留钢量＞40 t，保证无渣出钢。电炉出钢过程中采用强脱氧剂Al进行预脱氧，同时进行大包合金化操作。

2.2 炉外精炼过程控制

根据齿轮钢淬透性带宽窄，纯净度高，晶粒度细小均匀的要求，精炼过程采用化学成分窄带控制，并对S含量进行窄控（S0.025%~0.03%）AlN具有钉扎晶界的作用，可以防止齿轮渗碳过程中晶粒长大，精炼过程中进行控N，保证Al/N 2.5-3.5，精炼化学成分内控及检验结果如表3。

LF精炼过程使用高碱度精炼渣，渣系成分要求及结果见表4，白渣保持时间大于40 min。精炼完成后进行VD脱气处理，真空度在67 Pa以下保持18 min以上，VD后H含量小于2×10^{-4}%。极真空处理后进行弱氩搅拌，时间大于20 min，保证钢中非金属夹杂物能够充分上浮。

2.3 连铸及轧制过程控制

连铸采用全过程保护浇注，中包采用双层碱性覆盖剂，避免钢液吸氧、吸氮；使用挡渣堰，以促使夹杂上浮；中包过热度控制在15~25 ℃，根据中包连续测温情况适当调整拉速，严格控制拉速在0.90~0.95 m/min。采用电磁搅拌技术，结晶器电磁搅拌参数为电流350 A、频率3HZ，末端电磁搅拌参数为电流200 A、

表3 化学成分精炼内控及结果 w(%)
Tab.3 Internal control requirements for chemical composition refining

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Cu	N	B	Ti
内控	0.17～0.19	≤0.12	1.17～1.23	≤0.020	0.025～0.030	1.12～1.18	0.030～0.045	≤0.15	0.011～0.014	≤0.000 5	≤0.010
1#	0.17	0.08	1.21	0.013	0.025	1.16	0.035	0.04	0.012 1	0.000 4	0.004 5
2#	0.18	0.09	1.19	0.013	0.027	1.13	0.038	0.04	0.013 6	0.000 4	0.003 4

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

表 4 20MnCr5(SH)钢精炼渣系成分及碱度 w(%)
Tab.4 Composition and basicity of refining slag system of 20MnCr5 Steel

成分	CaO	SiO_2	Al_2O_3	MgO	碱度(CaO/SiO_2)
渣系要求	50%～55%	≤10%	22%～28%	4%～7%	5～7
化验结果	53.26%	8.65%	23.44%	5.23%	6.16

频率 2 HZ，通过末端电磁搅拌打断铸坯树枝晶，成为凝固核心，增大等轴晶区，另外减轻因选分结晶造成的中心偏析。同时，配比较弱的二冷水强度，比水量控制在 0.25~0.28 L/kg，防止铸坯角裂，获得良好的铸坯凝固组织，如图 1。

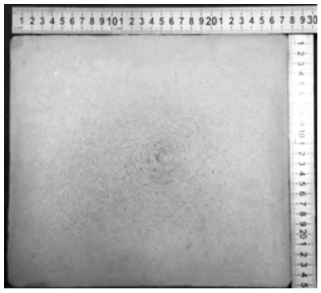


图 1 20MnCr5(SH)钢连铸坯凝固组织
Fig.1 Solidification structure of 20MnCr5 steel continuous casting Billet

采用 250 mm×280 mm 连铸坯轧制规格 ϕ30 mm～ϕ80 mm 钢材，用步进式梁式加热炉对铸坯进行加热，总加热时间大于 4 h，1 150 ℃以上高温扩散时间大于 2 h，因为适当延长高温扩散时间，通过化学原子的短程扩散，一定程度上可以减轻钢材成分偏析程度，20MnCr5(SH)钢铸坯加热制度见表 5。轧制后采用冷床冷却至 300 ℃左右入保温坑缓冷，防止高温入坑，因为钢从奥氏体转变为铁素体+珠光体过程中，若轧后温降缓慢，铁素体有足够时间析出，会加重组织带状。

表5 20MnCr5(SH)钢铸坯加热制度/℃
Tab.5 Heating scheme for casting bloom of 20MnCr5(SH) Steel

分段	预热段	加热一段	加热二段	均热段
工艺要求	≤950	1 000～1 150	1 160～1 200	1 160～1 180

2.4 检验结果

采用新开发 20MnCr5(SH)钢冶炼工艺，合理原料配比、电炉留钢留渣、LF 精炼高碱度渣系、精确成分控制等一系列措施进行了 20MnCr5(SH)是试验生产，经检验钢材纯净度水平较高，如表 6 所示，硫化物细小弥散，见图 2。

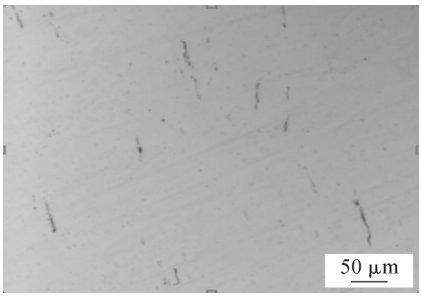
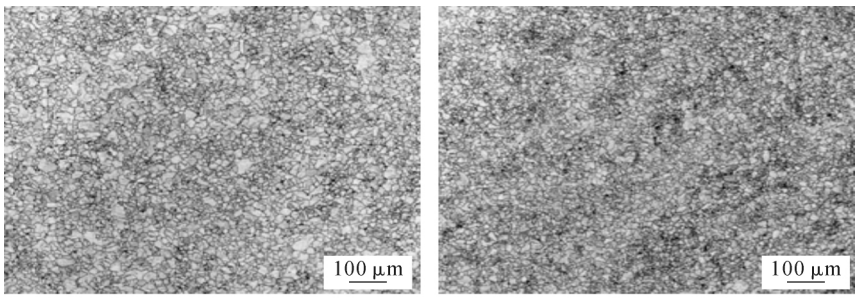


图 2 20MnCr5 钢硫化物
Fig.2 Sulfide of 20MnCr5 steel

切取直径 ϕ12 mm，长度 10 mm 晶粒度试样，在箱式电阻炉中加热到 930 ℃、保温 4 h、水冷，经打磨抛光后用苦味酸溶液腐蚀后采用光学显微镜观察奥氏体晶粒度，按 GB/T 6394—2002《金属平均晶粒度测定方法》[6]评级为 7-8 级，见图 3。



(a)7.5级　　(b)8.0级

图 3 20MnCr5 钢晶粒度
Fig.3 Grain size of 20MnCr5 steel

表6 20MnCr5(SH)钢纯净度检验结果
Tab.6 Purity test results of 20MnCr5 steel

分类	Jk 法					K 法	O,×10⁻⁴%
标准	A≤2	B≤2	C≤1	D≤1	DS≤1	K3≤25	≤15
实测	0.5～2	0.5～1.5	0	0	0	0～22	4～12
平均	1.86	0.98	0	0	0	10.5	8.94

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

在钢材上取直径 ϕ25 mm、长度 150 mm 样棒，按 920 ℃正火处理后加工成末端标准试样，然后加热到 900 ℃采用端淬试验机进行端淬试验，按 GB/T 225-2006《钢 淬透性的末端淬火试验方法(Jominy 试验)》[7]检验末端淬透性，结果见表 7。

表7 20MnCr5钢末端淬透性结果
Tab.7 Hardenability of 20MnCr5 Steel

分类	末端淬透性 J10/HRC
标准	30～34
实测	31.0～32.5

3 结轮

西宁特钢根据德国 20MnCr5 钢技术标准要求，通过电炉配料优化、偏心底无渣出钢、精炼成分精准控制、高碱度精炼渣等工艺措施，成功生产出了洁净度高、淬透性带宽△HRC≤3 的高品质汽车齿轮用 20MnCr5(SH)钢，经用户使用后反映，钢材具有锻打合格率高，热处理稳定性强，齿轮渗碳淬火变形量小，加工性能优良等特点，完全能够满足我国高端轿车生产厂家对该钢种的使用要求。

参考文献：

[1] 陈晖，周细应. 汽车齿轮钢的研究进展 [J]. 材料科学与工程学报，2011(3)：478-482.
[2] 杨娥，周杨，杨智，等. 20MnCr5 钢齿轮轴渗碳淬火后表面缺陷原因分析[J]. 理化检验–物理分册，2019,55(5)：341-343.
[3] 刘兵. 40%铁水 -50 t EAF-LF-VD-CC 流程 16MnCr5 齿轮钢的开发[J]. 特殊钢，2019，40(2)：42-45.
[4] 王成军，樊世亮，黄文斌，等. Consteel 电炉冶炼 20MnCr5 含硫齿轮钢新工艺研究 // 2012 特钢年会论文集[C]. 中国金属学会，衡山：2012.130-135.
[5] 江国利. 新型轿车用 MnCr5 系列齿轮钢冶炼工艺研究 [D]. 沈阳：东北大学，2001.
[6] GB/T 6394—2002. 金属平均晶粒度测定方法[S].
[7] GB/T 225—2006. 钢淬透性的末端淬火试验方法(Jominy 试验)[S].

TSTA便携式非接触红外测温仪
铸造测温的跨越

采用德国技术，激光/望远镜瞄准，只要扣动按键，炉内熔化温度、出炉温度、浇包温度、浇注开始与终了温度、冒口溢流温度就会瞬间显示。全程检测，快速、准确、方便。4米内目标不受距离影响。测温范围：1000~2000℃，铸铁、铸钢、铝铜不同合金发射率可调。

产品特点及技术参数

- 瞄准方式：激光/望远镜瞄准
- 目标距离：4 m 内测量与距离无关
- 激光聚焦：3600 mm距离激光聚焦为24 mm光斑
- 测量模式：最大值/最小值显示/记忆功能
- 扫描功能：对测量目标快速扫描并显示出测量的最大值
- 报警方式：高低温声光报警
- 存储功能：2000 个数据点

唐盛电子

纳米级短波精确测量物体温度，特别是熔融金属液态温度；带USB接口及软件，可设定仪器参数、存取数据可下载、连接计算机可以显示实时温度及温度曲线，对合金熔化及浇注温度的控制提供可靠的适时测量。

西安唐盛电子有限责任公司

地址：西安市雁翔路132号开元新村4单元201室
电话：029-83290862　　传真：029-88473613
Email: xatomson@163.com　　QQ：517221382

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