

## 汽车用非调质钢 C38 + N 的研究

李 刚 郭晓俊 王连海

(抚顺特殊钢股份有限公司技术中心, 抚顺 113001)

**摘 要** 汽车用非调质钢 C38 + N 既可以用作制造曲轴材料,亦可以用来生产发动机胀断连杆,采取优化化学成分(/% :0.36~0.40C,0.50~0.65Si,1.40~1.55Mn,0.10~0.20Cr,0.015~0.020N,0.020~0.035S,≤0.025P,0.003~0.015Al)、喂 S 线控制硫化物含量等手段,生产的 C38 + N 钢机械性能为  $R_{p0.2}$  506~544 MPa,  $R_m$  854~879 MPa, A 12%~23.5%, Z 26%~30%, 满足标准要求。

**关键词** C38 + N 非调质钢 曲轴材料 发动机胀断连杆

## Study on Non-quenched and Tempered Steel C38 + N for Automobile

Li Gang, Guo Xiaojun and Wang Lianhai

(FuShun Spcial Steel Shares Co Ltd. FuShun 113001)

**Abstract** Non-quenched and tempered steel C38 + N for automobile can be used into not only crank shaft materials, but also produced engine connecting rods. By optimizing chemical composition (/% :0.36~0.40C,0.50~0.65Si,1.40~1.55Mn,0.10~0.20Cr,0.015~0.020N,0.020~0.035S,≤0.025P,0.003~0.015Al) and by feeding S wire to control sulfur content in steel etc, measures, the mechanical properties of steel C38 + N are  $R_{p0.2}$  506~544 MPa  $R_m$  854~879 MPa, A 12%~23.5% and Z 26%~30% to meet the requirement of standard.

**Material Index** C38 + N, Non-quenched and Tempered Steel, Crank Shaft Materials, Engine Connecting Rods

传统汽车零件以中碳钢棒材为坯料,热锻成形后经过调质处理使零件达到强韧性较好的综合性能。但其缺点有能耗高、工序多、周期长、污染重,效率低等。从使用质量来说,调质钢还有一重要隐患,当尺寸较大时会存在淬透性不足的情况,使零件芯部得不到强韧性匹配较好的组织。随着冶金技术的进步,一类新型材料在二十世纪七十年代开发并迅速推广应用,这一材料即是微合金化非调质钢。

非调质钢通过微合金化冶金技术及控轧控冷技术可实现高的强韧性匹配度,是满足以上需要的有效途径<sup>[1]</sup>。非调质钢的应用不仅可以简化工艺、省能耗、降成本,还可以减少调质过程中淬火引起的变形开裂,简化矫直工序<sup>[2-4]</sup>。因此非调质钢在汽车工业上的应用可以显著降低汽车零部件制造过程中的消耗,并呈现快速发展的势头。

### 1 汽车零件中的非调质钢

目前汽车重要零件如发动机曲轴、发动机连杆、前轴、转向节、半轴仍以调质钢为主(42CrMo 等),但非调质钢开始展现其强大的应用前景,微合金化晶粒与尺寸和性能关系表明:晶粒细化是唯一能使钢强韧

化的有效手段,此外,析出强化也是微合金化的一种主要强化机制。微合金化元素的碳化物、氮化物以细小质点形式存在,可作为钢冷却过程中的外来形核核心,因而能有效的改善钢的性能。目前非调质钢已经在汽车领域大量应用,如 48MnVS、49MnVS3、FAS2225、FAS2237、C70S6、36MnVS4、C38N2 钢等。非调质钢应用过程的主要障碍是强度、硬度有余而韧性不足,目前随着我国钢铁材料工业的发展,这一障碍已经逐步消除。而轻量化带来的对材料更高的强韧性要求是下一步该系列品种的重点研究方向。

### 2 C38 + N 的材料要求和控制方式

C38 + N 钢是目前应用于 MAN 发动机曲轴和连杆的材料,其成分构成相对简单,综合性能较佳,性价比高,非常适合汽车零部件量大面广的特点。但也正是成分相对简单,对工艺控制水平提出较高的要求,因此目前国内厂家生产及其应用受到一定限制。但随着对该材料研究的深入,相信该材料有较大的发展前景。表 1 和表 2 列出该材料某标准的成分和力学性能要求,目前该材料的难点是硫化物的控制以及获得良好的综合性能。

表 1 C38 + N 钢化学成分要求/%

Table 1 Requirement of chemical composition of steel C38 + N / %

C	Si	Mn	Cr	N	S	P	Al
0.36 ~ 0.40	0.50 ~ 0.65	1.40 ~ 1.55	0.10 ~ 0.20	0.015 ~ 0.020	0.020 ~ 0.035	≤ 0.025	0.003 ~ 0.015

表 2 C38 + N 钢的力学性能要求

Table 2 Requirements of mechanical properties of steel C38 + N

热处理工艺	R <sub>p0.2</sub> /MPa	R <sub>m</sub> /MPa	A/%	Z/%
(1 220 ± 20) °C, 保温 30 min, 静止空气中冷却到室温	≥ 450	750 ~ 900	≥ 12	≥ 25

2.1 强韧化手段

2.1.1 合理利用强韧合金元素

碳元素是最有效的强化元素,合理增加碳含量可以有效增加珠光体比例,提高材料强度。但会使韧性有一定下降。锰和铬元素通过固溶方式强化铁素体和珠光体,并扩大奥氏体相区域,从而提高珠光体比例。

2.1.2 晶粒细化

细化钢的晶粒能有效提高钢的韧性并保持高的强度。非调质钢一般采用微合金化的方法通过增加形核核心、晶界的钉扎作用等方式达到晶粒细化的目的。

2.1.3 控轧控冷技术

控轧是提高非调质钢性能的主要途径。主要控制参数为:钢锭加热温度 1 190 ~ 1 210 °C,钢材终轧温度 880 ~ 930 °C,轧制过程每道次变形量 30 ~ 50 mm,轧后风冷。根据下述原理,该材料在不同条

件下 d 模拟组织预测(如图 1 所示)。(1)提高加热温度,固溶微量元素,在随后的冷却过程中均匀析出,达到提高强度的目的。(2)控制终锻温度、变形量和变形温度,细化晶粒,提高材料的强韧性。(3)自然冷却(非过程控制)不能有效控制非调质钢质量。最好采用分段控冷技术,有效的发挥非调质钢的组织强化作用。

由图 1 可以看出,不同成分控制和不同冷却条件下,可获得不同的组织,这是获得良好强韧性材料的基本条件。因此成分设计和工艺设计(尤其是冷却设计)至关重要。

2.2 硫化物的控制

含硫易切削钢因不含重金属而环保,钢中的硫化物割断了基体的连续性而使车屑易断,从而减轻刀具的磨损,进而改善材料的切削性能。一般来说硫含量越高则切削性能越好,但由于轧制后成条状的硫化锰会造成钢韧性的各向异性<sup>[5]</sup>,而硫含量越低则其力学性能越佳,但切削性能较差。为保持钢材的综合性能,应该使钢中的硫化锰具备一定的长宽比,硫化物呈球状和纺锤状比呈线条状更有利于切削。另外需指出:硫化物的形态对疲劳性能还是有重大影响的<sup>[6]</sup>,同时硫化物还会影响材料的磁痕检测,增加误判,增加废品率。

控制硫化物形态所采用的工艺:按 2.5 m/t 喂入 S 线,收得率达 70%。

2.3 精炼渣成分和加 N 工艺

精炼渣的成分:CaO 49.85%, SiO<sub>2</sub> 6.76%, MgO 6.5%, FeO 0.5%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 28.54%, 二元碱度 7.37,多元碱度 1.60。

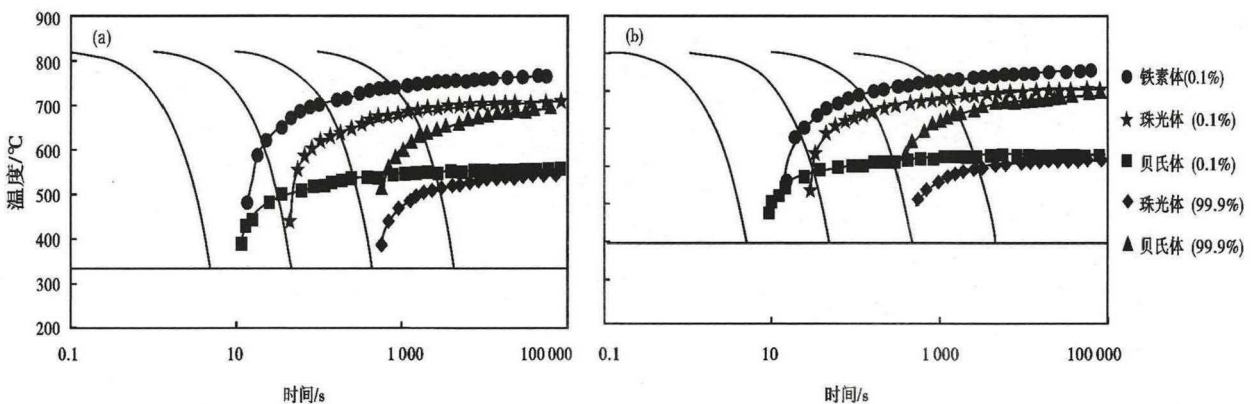


图 1 C38 + N 钢(a)晶粒度 5 级,奥氏体化 827.44 °C, /% :0.36C,0.50Si,1.40Mn,0.10Cr,0.015N,0.020S,0.005P,0.003Al 和 (b)晶粒度 7 级,奥氏体化 820.76 °C, /% :0.40C,0.65Si,1.55Mn,0.20Cr,0.020N,0.035S,0.025P,0.015Al 的 CCT 曲线

Fig. 1 CCT curves of steel C38 + N: (a) grain size rating 5, austenizing at 827.44 °C, /% :0.36C,0.50Si,1.40Mn,0.10Cr,0.015N,0.020S,0.005P,0.003Al and (b) grain size rating 7, austenizing at 820.76 °C, /% :0.40C,0.65Si,1.55Mn,0.20Cr,0.020N,0.035S,0.025P,0.015Al

加 N 工艺:调 N 采用脱气后吹 N 工艺,N 压力 1.6 MPa,吹 N 时间 10 ~ 20 s。

### 3 材料制造

抚顺特殊钢股份有限公司生产该钢种的工艺流程为:60 t EAF + LF + VD + 模铸 3 t 锭 + 轧制成材 Φ140 mm/Φ160 mm + 精整 + 探伤 + 包装入库。通过以上分析,结合公司多年生产该系列钢种的经验,从成分的优化设计,成分的准确控制、优化硫化物控制工艺到轧后冷却重点控制,生产出合格的钢材。试验钢的化学成分和力学性能分别见表 3、表 4。

材料的组织状态完全满足标准要求(如图 2)。

表 3 试验 C38 + N 钢化学成分/%

Table 3 Chemical results of test steel C38 + N / %

C	Si	Mn	Cr	N	S	P	Al
0.37	0.61	1.45	0.15	0.018	0.022	0.004	0.013

表 4 C38 + N 钢的力学性能

Table 4 Mechanical properties of steel C38 + N

试样代号	规格	位置	Rp0.2/MPa	Rm/MPa	A/%	Z/%
2828		边缘	530	854	2.5	28
2819	Φ140	头部 近中心	519 544	868 879	13 12	29 26
2829		边缘	506	860	13.5	30
2820	Φ140	尾部 近中心	526 530	857 856	15 13	28 28
2824		边缘	521	860	14	29
2821	Φ160	头部 近中心	509 502	841 830	15 14.5	30 30
2823		边缘	548	863	12	28
2822	Φ160	尾部 近中心	511 513	854 850	14.5 14	30 29
标准要求			≥450	750 ~ 900	≥12	≥25

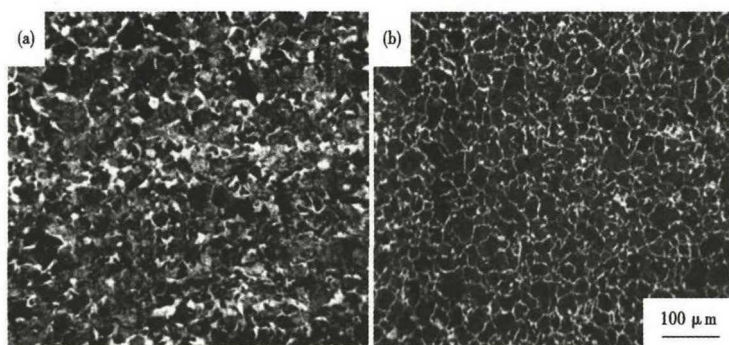


图 2 C38 + N 钢轧材的组织(a)和晶粒度(b)

Fig. 2 Microstructure (a) and grain size (b) of steel C38 + N rolled product

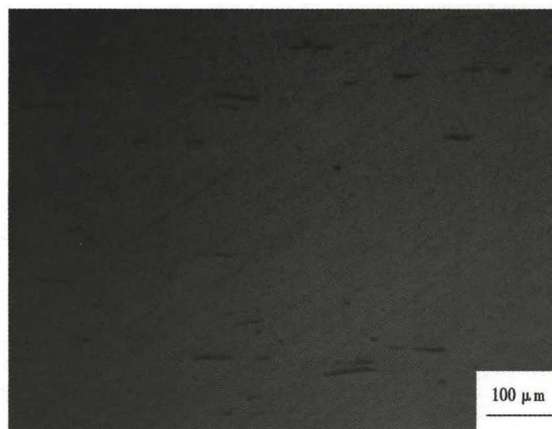


图 3 C38 + N 钢轧材的硫化物形貌

Fig. 3 Morphology of sulfide of steel C38 + N rolled product

钢材的硫化物满足标准要求,但形态未达到最理想的状态(如图 3)。

### 4 结论

(1)通过优化成分设计、冶炼工艺、加工工艺,结合多年生产非调质钢的操作经验,可以批量生产出满足标准要求的材料。

(2)非调质钢的特点决定了材料提供者必须与锻造厂的工艺状态相结合,才能生产出满足主机厂使用要求的材料。

(3)钢材的均匀度、性能的稳定性提高和硫化物形态的优化控制是今后研究工作的方向。

### 参考文献

[1]董成瑞,任海鹏,金同哲.微合金非调质钢[M].北京:冶金工业出版社,2000,8-17.  
 [2]马鸣图.微合金非调质钢的新发展和在汽车工业中的应用[J].机械工程材料,2001,25(12):1-4.  
 [3]宇文杰.轧后冷却速度对非调质钢组织性能的影响[J].河北冶金,2015,37(9):23-24.  
 [4]杨兴文,涂琴,刘靖,等.曲轴用非调质钢 C38N2 带状组织消除工艺的研究[J].热加工工艺,2017,46(6):226-229.  
 [5]许中波, Gammal E L. 钢中夹杂物含量及其形态对钢力学性能的影响[J].钢铁研究学报,1994,6(4):17-20.  
 [6]王晓宁,方刚,李阳等.汽车用非调质钢的应用现状和发展(A).中国汽车轻量化国际研讨会,2014.

李刚(1973-)男,硕士(2002年东北大学),技术中心副主任,1994年辽宁工学院(本科)毕业,电弧炉冶金工艺研究。E-mail:ligang@fs-ss.com

收稿日期:2019-04-11