

高强度非调质冷镦钢研究和开发现状

曹杰^{1,2} 刘雅政¹ 阎军² 章静²

(1 北京科技大学材料科学与工程学院,北京 100083;2 安徽工业大学材料科学与工程学院,马鞍山 243002)

摘要 根据国内外高强度非调质冷镦钢的研究和开发现状,分析和讨论了 800~1 200 MPa 高强度非调质冷镦钢的化学成分、工艺特点、组织和力学性能。高强度非调质冷镦钢应具有高的强度和有良好的冷成形性,其热轧材的强度和硬度应控制在一个合适的范围内。采用低碳高锰及微合金化的成分系列,通过热机轧制工艺,该钢种能获得良好的组织和力学性能。

关键词 非调质冷镦钢 成分 组织 力学性能 研究和开发

Present Status of Research and Development of High Strength Non-Quenched and Tempered Cold Heading Steels

Cao Jie^{1,2}, Liu Yazheng¹, Yan Jun² and Zhang Jing²

(1 School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083;

2 School of Materials Science and Engineering, Anhui University of Technology, Maanshan 243002)

Abstract According to the present status of research and development of high strength non-quenched and tempered cold heading steel at home and abroad, the chemical composition, characteristics of process, structure and mechanical properties of 800~1 200 MPa high strength non-quenched and tempered cold heading steels are analyzed and discussed. The high strength non-quenched and tempered cold heading steel should have high strength and excellent cold-forming property, of which the strength and hardness of hot rolled products should be controlled in a suitable range. The steel grade can get better structure and mechanical properties by using low carbon high manganese and micro-alloying steel series with thermal-mechanical control rolling process.

Material Index Non-Quenched and Tempered Cold Heading Steel, Chemical Composition, Structure, Mechanical Properties, Research and Development

高强度非调质冷镦钢为一种新型钢种,通常称之为冷作强化非调质钢^[1]。

高强度螺纹紧固件一般分为 8.8、9.8、10.9 和 12.9 四个级别。性能等级的标记代号由“.”隔开的两部分数字组成:第一部分数字(“.”前)表示公称抗拉强度 σ_b 的 1/100;第二部分数字(“.”后)表示公称屈服点 σ_s 或公称屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 与公称抗拉强度 σ_b 比值(屈强比)的 10 倍。按照 GB3098.1-2000 的规定,对 8.8 级螺纹紧固件, $d \leq 16$ mm 的最小抗拉强度为 800 MPa, $d > 16$ mm 的最小抗拉强度为 830 MPa; $d \leq 16$ mm 的最小屈服强度为 640 MPa, $d > 16$ mm 的最小屈服强度为 660 MPa。9.8、10.9 和 12.9 级螺纹紧固件的最小抗拉强度和最小屈服强度分别为:900、720 MPa;1 040、940 MPa;1 220、1 100 MPa。

高强度螺纹紧固件通常为调质处理的中碳钢或中碳合金钢,也有非调质钢、硼钢、F-M 双相钢等^[2],而非调质钢生产,简化了生产工序,缩短了生产周期,故日益受到企业重视。

1 高强度非调质冷镦钢的性能要求和工艺特点

紧固件在冷镦成形过程中的变形量很大,所承受的变形速度也很高,所以对一般冷镦钢盘条的化学成分、尺寸精度、表面质量、显微组织、脱碳层、非金属夹杂物、冷顶锻等方面均有要求^[3]。高档次标准件对冷镦钢原料的质量要求是^[4]:盘条具有较高的塑性指标;在冷塑性变形中加工硬化率低, σ_s/σ_b 值小;盘条具有良好的表面质量和表面光洁度;无内部组织缺陷等。

用户在使用冷镦钢的过程中最常见的质量问题是冷镦开裂,亦是其质量异议的最主要原因^[5]。通常从变形能力和变形抗力两个方面来评价钢的冷镦性能。高强度非调质冷镦钢的特点之一是强度较高,即具有较高的变形抗力。但从提高工模具的使用寿命方面考虑,冷镦变形要具有尽可能小的阻力;而且钢材强度提高,变形能力往往下降。所以,为保证钢的冷镦性能,高强度非调质冷镦钢的强度和硬度并不是越高越好,而应在一个合适的范围内。

高强度非调质冷镦钢热轧材的强度下限应综合

考虑冷变形和时效处理对强度的贡献;上限应综合考虑工模具的使用寿命和变形能力。

高强度非调质冷镦线材的冶金质量要求很高,目前国内外普遍采用二次精炼和具有电磁搅拌的连铸工艺。

热机轧制工艺(TMCP)是改善高强度非调质冷镦线材组织性能的有效方法。用冶金质量良好的微合金化钢坯,采用热机轧制工艺技术,即在低温大变形量轧制,使钢中的奥氏体、铁素体晶粒细化;采用控制冷却技术控制相变过程,能获得细化的铁素体加部分球化/退化珠光体组织,或使获得的粒状贝氏体组织中析出颗粒大小、分布均匀。配合以一定的冷加工变形和时效处理,可以达到高强度螺纹紧固件的力学性能要求。

2 高强度非调质冷镦钢的成分、组织和力学性能

GB/T15712-1995《非调质机械结构钢》中非调质钢的定义为:在中碳钢中添加微量合金元素(V、Ti、Nb、N等),通过控温轧制(锻制)、控温冷却、在铁素体和珠光体中弥散析出碳(氮)化合物为强化相,使之在轧制(锻制)后不经调质处理,即可获得碳素结构钢或合金结构钢经调质处理后所达到的力学性能的钢种。

在亚共析钢中,C含量增加,钢的强度和硬度升

高,而塑性和韧性降低。因此,在保证强度的基础上,降低碳含量有利于改善钢的韧性和冷加工性能。

Mn是提高非调质钢强度,改善非调质钢韧性的重要合金元素。Mn含量超过1.5%时,会促进贝氏体的生成,因此对于铁素体-珠光体型非调质钢,Mn含量一般不超过1.5%^[6]。Mn在一定含量时,可使过冷奥氏体转变曲线上珠光体转变区和贝氏体转变区分离^[7]。Mn-B结合,可使高温转变孕育期明显长于中温转变,在很大的冷却速度范围内,得到粒状贝氏体组织。

Nb、V、Ti在钢中的作用主要是细化晶粒,通过其碳氮化合物质点的弥散析出及V、Ti、Nb的固溶,极大地提高钢的强韧性。所以,高强度非调质冷镦钢中适于添加一定量的V、Ti、Nb等合金元素,并保证一定的N含量。

目前研制的高强度非调质冷镦钢基本上都采取了低碳高锰及微合金化的成分系列。我国和日本的不同单位研制的部分高强度非调质冷镦钢的化学成分列于表1^[1,8-11]。表1中700~1200MPa级高强度非调质冷镦钢为日本的强度划分方法,其强度与国内8.8~12.9级非调质冷镦钢强度范围大致相当。

非调质钢已先后经历了铁素体-珠光体型、贝氏

表1 部分高强度非调质冷镦钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of partial non-quenched and tempered cold heading steels /%

级别	钢号	C	Si	Mn	S	P	V	Ti	Nb	备注
8.8	LF10MnSiTi	0.06~0.12	0.50~0.80	1.40~1.70	≤0.030	≤0.30	-	0.06~0.12	-	-
	LF20Mn2	0.16~0.22	0.30~0.60	1.35~1.75	≤0.030	≤0.030	0.01~0.04	0.01~0.04	-	-
	MFT8	≤0.27	≤0.25	≤1.60	≤0.015	≤0.025	-	-	0.01~0.09	含Al
	07Mn2SiV	0.05~0.12	1.00~1.50	1.50~2.00	≤0.035	≤0.035	添加	-	-	-
	14MnVNTi	0.11~0.17	0.4~0.7	1.2~1.6	≤0.035	≤0.035	0.06~0.12	0.01~0.02	-	-
9.8	LF18Mn2V	0.15~0.20	0.30~0.60	1.35~1.75	≤0.030	≤0.030	0.04~0.07	0.01~0.04	-	-
10.9	LF10Mn2VTiB	0.09~0.13	0.17~0.37	1.90~2.40	≤0.030	≤0.030	0.08~0.12	0.04~0.08	-	含B
700 MPa	NHF55	0.10~0.15	0.15~0.30	1.20~1.75	-	-	-	-	<0.10	-
	MC7	0.10	0.25	1.35	≤0.010	≤0.020	0.10	-	-	-
800 MPa	NHF60	0.10~0.15	0.15~0.30	1.20~1.75	-	-	-	-	<0.10	-
	MC8	0.13	0.25	1.45	≤0.010	≤0.020	0.10	-	-	-
1 000 MPa	NHF85	0.08~0.13	0.50~0.80	1.40~1.70	-	-	-	<0.20	-	-
1 100 MPa	NHF90	0.08~0.13	0.50~0.80	1.40~1.70	-	-	-	<0.20	-	-
1 200 MPa	NHF105	0.08~0.13	0.50~0.80	1.40~1.80	-	-	-	<0.20	-	含Cr

体型和马氏体型3个发展阶段^[12]。铁素体-珠光体型非调质钢的主要问题是强度不够高、韧性较低,对冷却速度和淬透性的要求严格^[13]。20世纪80年代中期发展了贝氏体非调质钢^[14],低碳贝氏体组织符合高韧度的要求。马氏体型非调质钢的特点是碳含量低,其组织为回火马氏体,具有较高的强度和良好

的韧性,故称为低碳马氏体型高强度高韧性非调质钢,但目前仍未见马氏体型非调质冷镦钢应用的报道。

8.8级非调质冷镦钢热轧状态下的组织主要为铁素体+珠光体。如,MFT8由马钢公司研制,具有优良的冷镦性能,通过加工硬化,可以达到8.8级螺

栓的要求。MFT8 为低碳微合金钢,采用 750 ~ 780 ℃低温大变形轧制工艺,通过低温形变诱导相变,使线材组织晶粒超细化,其组织为铁素体 + 珠光体。9.8 级非调质冷镦钢热轧状态下的组织也主要为铁素体 + 珠光体,还有少量的贝氏体。由国内马钢的生产经验知道,采用热机轧制可以使铁素体 + 珠光体型非调质冷镦钢中珠光体退化或球化,材料的冷镦性能得到改善。

10.9 级非调质冷镦钢的基体组织主要为贝氏体,甚至还含有少量的马氏体。在一定条件下,粒状贝氏体钢组织有着良好的强韧性组合^[15]。近期开发的很多高强度韧性微合金化钢基本上是粒状贝氏体组织的钢^[16-19]。由目前与马钢等单位的合作研究认为,10.9 级非调质冷镦钢要求在较宽的冷却速度范围内都可以得到粒状贝氏体组织,通过控制工艺参数得到细化的贝氏体基体组织和均匀细致的析出颗粒,从而提高材料的冷镦性能。部分高强度非调质冷镦钢热轧状态的力学性能见表 2^[1,8-11]。

研究和试验表明,采用高强度非调质冷镦钢制作紧固件,8.8 级热轧原材料的抗拉强度应为 550 ~ 750 MPa;9.8 级热轧原材料的抗拉强度应为 630 ~ 730 MPa;10.9 级热轧原材料的抗拉强度应为 820 ~ 950 MPa。目前,采用高强度非调质冷镦钢制作 10.9 级以上紧固件,还难于制作六角螺栓,但适合于制造不需冷镦加工的双头螺栓和 U 形螺栓。所

参考文献

- 董成瑞,任海鹏,金同哲,等.微合金化非调质钢.北京:冶金工业出版社,2000
- 惠卫军,董瀚,翁宇庆.高强度螺栓钢的发展动向.机械工程材料,2002,26(11):1
- 冯金尧.中国紧固件行业发展对钢材的需求.冶金管理,2007(12):16
- 赵保民.ML20MnTiB 品种开发研究:[硕士论文].北京:北京科技大学,2007
- 帅习元,陈洪伟,周勇,等.冷镦钢冷镦开裂原因及其改进措施.中国冶金,2008,18(4):33
- 马晓平.冷作强化非调质钢的研究:[硕士论文].沈阳:东北大学,2006
- 张继魁,董伦,辛莹,等.低碳 Mn-B 贝氏体钢在汽车前轴上的应用试验.机械工程材料,2003,27(7):42
- 孙维,华刚,孙健,等.钕微合金化非调质冷镦钢线材的开发.2007 中国钢铁年会论文集,2007
- 完卫国,孙维.非调质高强度紧固件用双相钢盘条的试用.金属制品,2005,31(4):41
- 崔文暄,刘国权,公茂秀,等.低碳微合金化非调质高强度螺栓用钢 14MnVNTi 的试验研究.山东冶金,1994,16(3):28
- 俞振隆.LF18Mn2V 冷作强化非调质钢制 9.8 级高强度汽车 U 形螺栓实例.汽车工艺与材料,2007(11):42
- 陈蕴博,马炜,金康.强韧微合金非调质钢的研究动向.机械

表 2 部分热轧高强度非调质冷镦钢的力学性能
Table 2 Mechanical properties of partial non-quenched and tempered cold heading steels hot-rolled

级别	钢号	σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 /%	ψ /%
8.8	LF10MnSiTi	550 ~ 750	400 ~ 560	≥ 20	≥ 50
	LF20Mn2	600 ~ 700	≥ 390	≥ 14	≥ 50
	MFT8	≥ 625	-	≥ 22	≥ 52
	07Mn2SiV	≥ 625	≥ 385	≥ 29	≥ 41
9.8	LF18Mn2V	630 ~ 730	≥ 400	≥ 22	≥ 50
10.9	LF10Mn2VTiB	820 ~ 950	711 ~ 855	≥ 15	≥ 45
700 MPa	NHF55	550 ~ 750	≥ 300	≥ 15	≥ 60
	MC7	600	470	-	74
800 MPa	NHF60	600 ~ 800	≥ 350	≥ 15	≥ 60
	MC8	678	473	36	64

以,研制更高强度非调质冷镦钢的重点和难点是提高强度的同时,如何提高材料的冷镦性能。

3 结语

为使高强度非调质冷镦钢具有良好的强韧性配合以及良好的冷加工性能,目前研制的高强度非调质冷镦钢基本上都采取了低碳高锰及微合金化的成分系列。目前,冷镦用非调质钢主要是铁素体-珠光体型和贝氏体型。8.8、9.8 级冷镦用非调质钢组织主要为铁素体 + 珠光体,热机轧制可使珠光体退化或球化,材料的冷镦性能得到改善。10.9 级非调质冷镦钢的组织以粒状贝氏体为宜。

科技部支撑计划项目资助(2007DAE30B04)

工程材料,2001,25(3):1

- 刘云旭,朱启惠,刘澄.珠光体型非调质钢存在的问题及对策.金属热处理,1998(7):18
- 刘瑞宁,王福明.汽车用微合金化非调质钢的进展.特殊钢,2006,27(3):39
- Fang H, Feng C, Zheng Y, et al. Creation of Air-Cooled Mn Series Bainitic Steels. Journal of Iron and Steel Research, International, 2008, 15(6):1
- 黄进峰,方鸿生,余贵春,等.新型低碳贝氏体非调质钢研究.机械工程材料,1999,23(1):27
- 张跃,黄运华,翟浩,等.一种新型高性能非调质钢.钢铁研究学报,2005,17(2):52
- 李智,吴蒙华,刘常升,等.控制冷却对贝氏体非调质钢组织与性能的影响.金属热处理,2006,31(1):69
- 李智,马春雨,吴蒙华,等.微合金化低碳贝氏体型非调质钢的控轧控冷.热加工工艺,2004(11):29

曹杰(1971-),男,博士生,副教授,钢铁材料和工程研究。

收稿日期:2010-03-09