

高强韧性非调质钢 F28MnSiVTiRE 研发

宋振东¹, 周彦², 惠治国¹, 卜向东¹, 杨静¹

- (1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司特钢分公司, 内蒙古包头 014010)

摘要: 中碳钢中加入 V、Nb、Ti、Al、RE 等细化晶粒元素, 利用 N、C 与细化晶粒元素形成稳定的化合物来细化奥氏体晶粒, 增加非调质钢的强度及韧性, 采用金相显微镜和透射电镜观察, N、C 与 V、Nb、Ti、Al 形成稳定化合物, 成功研发出铁素体 - 珠光体型非调质钢, 其屈服强度大于 550 MPa, 抗拉强度大于 780 MPa, 硬度 (HB) 不小于 210, 延伸率大于 18%, 面缩率大于 45%, 常温 V 型缺口冲击值大于 50 J。与普通非调质钢相比, 非调质钢 F28MnSiVTiRE 具有高强度、高韧性、易切削等优点, 可用于加工汽车曲轴、发动机连杆等部件。

关键词: 非调质钢; 微合金化; 高强韧性

中图分类号: TF734.34

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2022)05-0077-04

Research and Development of Non - quenched and Tempered Steel F28MnSiVTiRE with High Strength and Toughness

Song Zhen - dong¹, Zhou Yan², Hui Zhi - guo¹, Bu Xiang - dong¹, Yang Jing¹

- (1. Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China;
2. Special Steel Branch Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: Such elements that could refine grain as V, Nb, Ti, Al and rare earth (RE) are added into the medium carbon steel as well as the stable compound formed by N, C and elements that could refine grain is used to refine the austenite grain and increase the strength and toughness of non - quenched and tempered steel. The stable compound formed by N, C, V, Nb, Ti and Al are observed with metallographic microscope and transmission electron microscope so that the non - quenched and tempered ferrite - pearlite steel is successfully developed. Its yield strength is greater than 550 MPa, tensile strength is greater than 780 MPa, hardness (HB) is not less than 210, elongation is greater than 18%, reduction of area is greater than 45% and impact value of V - notch at room temperature is greater than 50 J. Compared with common non - quenched and tempered steel, the non - quenched and tempered steel F28MnSiVTiRE is with such advantages as high strength and toughness and free cutting so that it could be used for machining such components as vehicle crankshaft and engine connecting rod.

Key words: non - quenched and tempered steel; microalloying; high strength and toughness

目前特殊钢中的合金结构钢应用量越来越大,因其中大部分用于制造重要的机械零部件,这类钢(包括了部分优质碳素结构钢)通常需要进行十分耗时、耗能又污染环境的调质处理。微合金非调质钢是伴随着国际能源紧缺且环境污染越来越严重而发展起来的一种高效节能钢,采用无需调质处理的微合金非调质钢(以下简称非调质钢)代替调质钢制造各种机械零部件是目前国际上一个重要的发展趋势^[1-3]。

西方发达国家把微合金钢的研究成果应用于中碳结构钢,即在中碳结构钢化学成分基础上添加 V、Nb、Ti 等微合金化元素,研制出了微合金非调质钢,简称非调质钢。与传统的调质钢相比,非调质钢具有节约能源、成材率高、成品性能优良、生产周期短、成本低、减少环境污染等众多优点。国内报道的非调质钢一般具有高强度的特点,韧性检验采用 U 型

缺口冲击试验来表征非调质钢韧性。本文研发的 F28MnSiVTiRE 非调质钢,其屈服强度大于 550 MPa,抗拉强度大于 780 MPa,硬度(HB)不小于 210,延伸率大于 18%,面缩率大于 45%,常温 V 型缺口冲击值大于 50 J,具有高强度、高韧性的特点,是一种新型的非调质钢。

1 试验材料及方法

本试验采用 100 kg 真空感应炉冶炼 2 炉稀土含量不同的非调质钢 F28MnSiVTiRE,8[#]试验钢稀土含量为 0.022%,9[#]试验钢的稀土含量为 0.009%。经中试试验轧机轧制成规格为 20 mm 厚的钢板,采用 INSTRON 拉力试验机和 NI750 冲击试验机检验材料的拉伸性能和冲击韧性,经蔡司光学显微镜观察材料的金相组织。非调质钢 F28MnSiVTiRE 的化学成分见表 1。

表 1 非调质钢 F28MnSiVTiRE 的化学成分(质量分数)

C	Si	Mn	P	S	V	Nb	Ti	Al	RE
≤0.28	≤0.80	≤1.70	≤0.025	≤0.025	≤0.15	≤0.06	≤0.06	≤0.050	≤0.003 0

注:V 采用 VN 合金,N 含量≥0.017 0%。

2 结果与讨论

2.1 力学性能

非调质钢 F28MnSiVTiRE 钢板,加工成Φ10 mm 的标准拉伸试样,分别对编号为 8[#]和 9[#]试样进行 2 组拉伸试验,试验结果见表 2。

表 2 非调质钢 F28MnSiVTiRE 拉伸试验结果及技术要求

编号	屈服强度	抗拉强度	延伸率	面缩率
	/MPa	/MPa	/%	/%
8 [#]	583.64	800.30	23.56	57.14
8 [#]	604.62	809.61	24.12	67.21
9 [#]	580.33	794.28	24.80	63.76
9 [#]	580.76	782.93	24.00	63.30
技术要求	≥550	≥780	≥18	≥45

从以上试验结果可以看出,试验钢 8[#]和 9[#]的屈服强度、抗拉强度均满足技术要求,试验钢的延伸率及面缩率较好。不同稀土含量的试验钢,对屈服强度、抗拉强度、延伸率及面缩率影响不明显。图 1 为

F28MnSiVTiRE 在拉力试验机上的应力和应变曲线。

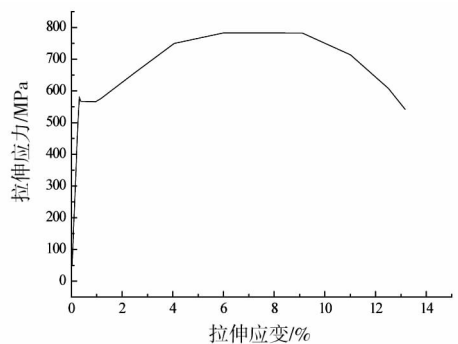


图 1 F28MnSiVTiRE 的应力和应变曲线

从图 1 可以看出,非调质钢 F28MnSiVTiRE 有明显的屈服平台,说明材料具有良好的塑性。屈服强度和抗拉强度的数值差在 120 MPa 左右。

表 3 为试验钢的 V、U 型缺口冲击性能检验结果。

表3 非调质钢室温条件下 F28MnSiVTiRE 冲击结果及技术要求

J

编号	KV_2			KU_2		
8#	89.7	100.2	100.5	115.4	137.2	124.1
8#	95.5	89.1	87.1	125.1	135.7	131.8
9#	93.9	83.0	106.6	122.3	129.3	127.9
9#	86.2	104.5	97.9	134.7	113.7	140.1
技术要求	≥50			≥50		

从以上冲击性能检验结果可以看出,试验钢 8#、9#的常温 V 型冲击韧性均大于技术要求,U 型冲击韧性全部大于 100 J 以上,说明试验钢具有较好

的韧性。

表4 为试验钢的硬度性能检验结果。

表4 非调质钢 F28MnSiVTiRE 硬度检验结果及技术要求

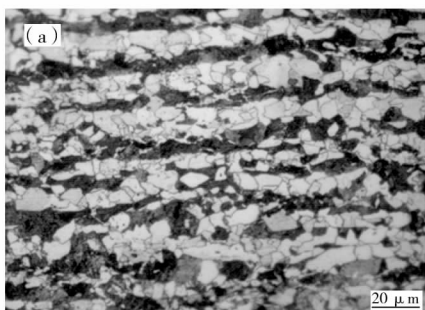
编号	布氏硬度(HB)					
	硬度值1	硬度值2	硬度值3	硬度值4	硬度值5	硬度值6
8#	232	234	230	228	228	229
9#	230	230	228	229	226	225
技术要求	≥210					

通过硬度检验结果可以看出,试验钢的硬度值满足技术要求并且硬度值比较均匀。

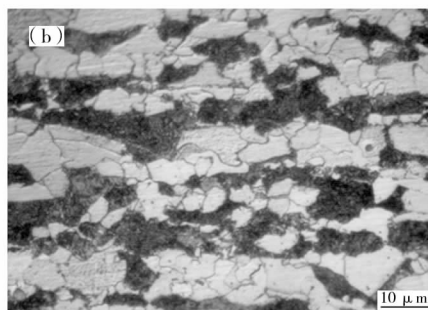
2.2 金相组织

非调质钢中应用最多的是铁素体+珠光体组织

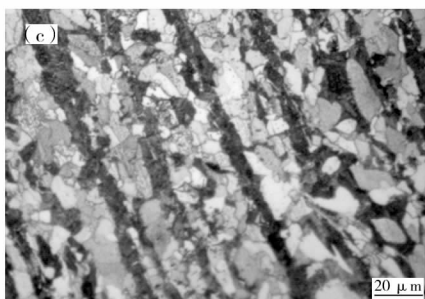
的中碳微合金钢,铁素体与珠光体的比例对材料的强度和韧性有显著影响,另外奥氏体晶粒大小和珠光体的片间距对材料的强韧性也有重要的影响。图2为试验钢的金相组织照片。



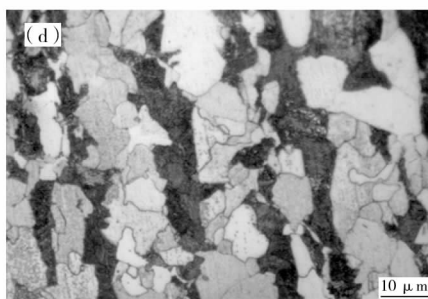
(a) 8# 试样200倍金相照片



(b) 8# 试样500倍金相照片



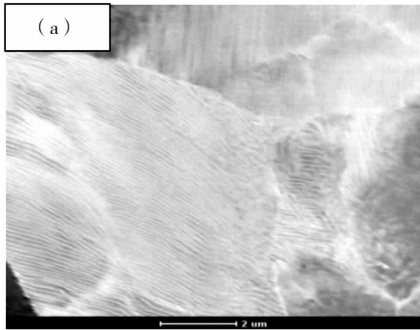
(c) 9# 试样200倍金相照片



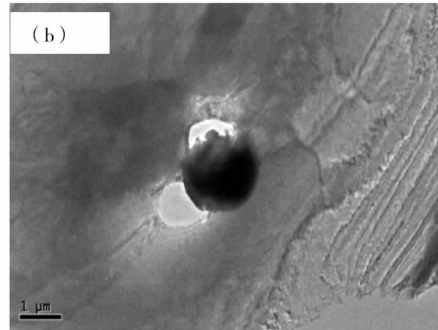
(d) 9# 试样500倍金相照片

图2 F28MnSiVTiRE 金相组织照片

从金相组织可以看出,铁素体尺寸较小,大约在 $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 之间,较小的铁素体可以改善钢的冲击韧性,更有利于提高钢的断裂韧性。从珠光体和铁素体的比例上可以看出,非调质钢 F28MnSiVTiRE



(a) 珠光体片层



(b) 析出物

图 3 F28MnSiVTiRE 透射电镜照片

从图 3(a)可以看出,F28MnSiVTiRE 的珠光体片层较细小,根据图片标尺可知 F28MnSiVTiRE 的珠光体片层间距大约在 100 nm 左右,这主要是由于终轧温度较低,原始奥氏体晶粒较细和材料中添加较多的 Mn 元素综合影响。从图 3(b)可以看出,在 F28MnSiVTiRE 的铁素体基体内部发现有较细小的析出物,经能谱测定为 V(C,N)的析出物,由于材料添加了 VN 合金细化晶粒,因此在铁素体基体内部有 V(C,N)的析出物出现。根据析出强化机理,钒氮微合金化钢在进行强化的时候,一般所采用的强化手段为析出强化,也称作第二相沉淀强化。同时,在进行析出强化时,主要是采用 V(C,N)析出相的沉淀析出,通过这种手段能够得到 V(C,N)析出相质点。而对于钢中所具有的细小弥散的 V(C,N)析出相而言,其主要作用是通过与位错的交互作用,阻碍错位运动,从而增加钢的强度^[4-6],另外作为形核质点促进铁素体形核,细化材料的晶粒。

3 结论

(1)通过中碳添加 Nb、V、Ti 等微合金元素,细化奥氏体晶粒,利用 N 元素与微合金元素形成稳定化合物来增加非调质钢的强度及韧性,非调质钢 F28MnSiVTiRE 的性能满足技术要求。

(2)非调质钢 F28MnSiVTiRE 的组织为铁素体

和珠光体,铁素体基体内部的析出物和珠光体细小的片层结构能够增加非调质钢 F28MnSiVTiRE 强度、硬度及韧性。

采用 Tecnai G2 F20 S - TWIN 透射电子显微镜观察其珠光体片间距大小及铁素体析出物的形态,见图 3。

和珠光体,铁素体基体内部的析出物和珠光体细小的片层结构能够增加非调质钢 F28MnSiVTiRE 强度、硬度及韧性。

参 考 文 献

- [1] 陈蕴博,马鸣图,王国栋. 汽车用非调质钢的研究进展[J]. 中国工程科学,2014,16(2): 4-17.
- [2] 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.
- [3] 陆在庆,徐国庆,崔润烟,等. 微合金中碳非调质钢的分析与综述[J]. 钢铁,1985,(3): 10-13.
- [4] 霍向东,毛新平,郑晓伟,等. CSP 生产的钒氮微合金钢的组织细化和析出物研究[J]. 钢铁,2009,44(4):64-67.
- [5] 占云高,乔建生,万发荣. CSP 工艺热轧 SPHC 组织演变和析出物研究[J]. 热加工工艺,2009,38(10):1-4.
- [6] Qing J S, Shen H F, Liu M. V - N Microalloying of High Strength Weathering Steel YQ450QR1 [J]. Iron & Steel, 2017, (4): 20-23.