

# 正火温度对压力容器用钢 Q370R 组织性能的影响

郭冬青, 杨 雄, 王少炳

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古 包头 014010)

**摘 要:** 在压力容器用钢同类产品技术要求、生产工艺调研的基础上, 进行 Q370R 化学成分设计、轧制及正火工艺研究等工作, 开展正火温度对试验钢性能、组织等影响研究。添加微合金元素 Nb、V、Ti 的钢板正火后强度下降, 延伸率和冲击功显著提高, 随着正火温度的升高, 试验钢强度逐渐下降。而添加少量 Cr 元素轧态和同一正火工艺下钢板的强度均高于不添加 Cr 元素钢板, 延伸率和冲击功值低于不添加 Cr 元素钢板, 同时添加少量 Cr 元素, 吨钢成本会有所增加。正火后组织为细晶粒铁素体和珠光体。综合考虑, 试验钢采用添加微合金化元素 Nb、V、Ti 成分体系, 经控制轧制, 840 ~ 880 °C 正火后钢板性能满足标准要求。

**关键词:** 压力容器用钢; 正火; 组织; 力学性能; 冲击韧性

中图分类号: TG142.1

文献标识码: B

文章编号: 1009 - 5438 (2022) 05 - 0035 - 04

## Effects of Normalizing Temperature on Microstructure and Properties of Pressure Vessel Steel Q370R

Guo Dong - qing, Yang Xiong, Wang Shao - bing

(Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

**Abstract:** Based on the investigation of technical requirements and production process for like products of pressure vessel steel, the chemical composition design, rolling and research of normalizing process for Q370R are carried out as well as the effects of normalizing temperature on the microstructure and properties of test steel are studied. After normalizing, the strength of steel plate added microalloying elements Nb, V and Ti is decreased, elongation and impact energy are increased significantly. With the increase of normalizing temperature, strength of test steel is decreased gradually. The strengths of steel plate with rolled state and the same normalizing process added a small amount of Cr are both higher than those of the steel plate without Cr, while the elongation and impact energy are lower than those of the steel plate without Cr. The cost of per ton of steel will be increased by adding a small amount of Cr. After normalizing, the microstructure is fine grained ferrite and pearlite. Based on the comprehensive consideration, test steel with the composition system of adding microalloying elements Nb, V and Ti as well as the properties of steel plate with controlled rolling and normalizing at 840 ~ 880 °C could meet the standard requirements.

**Key words:** pressure vessel steel; normalizing; microstructure; mechanical properties; impact toughness

Q370R 钢板是制造高参数球形储罐及卧式储罐、水电站压力钢管的理想用材,可以用于制造高参数氧气球罐、液氨球罐、乙烯丙烯球罐、液化石油气储罐等,其应用领域较为广泛<sup>[1]</sup>。当钢板厚度在 16~36 mm 时,Q370R 钢板抗拉强度下限值较相应厚度 16MnR 钢板高 8.2%;厚度大于 36 mm 时,其抗拉强度下限值较相应厚度 16MnR 钢板高 10.6%,较 15MnVR 钢板高 6.1%<sup>[2]</sup>。因此,采用 Q370R 钢板建造球罐,可减薄壁厚、降低造价,同时也提高了球罐运行的安全可靠性能。

Q370R 设计充分利用 Nb 微合金化的晶粒细化作用,采用纯净钢冶炼和正火热处理工艺,使开发的钢种具有高强度、高韧性和优异的焊接性以及良好的耐硫化氢腐蚀性能等优点<sup>[3]</sup>。实验室开展正火温度对不同成分体系压力容器用钢 Q370R 组织、性能等影响研究,探索最佳的化学成分体系及合理温度范围值。

表 1 Q370R 试验钢化学成分(质量分数)

试样号	C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Ti	Cr
70 <sup>#</sup>	0.167	0.28	1.64	0.017	0.004	0.043	0.034	0.014	
71 <sup>#</sup>	0.168	0.28	1.67	0.015	0.004	0.041	0.036	0.010	0.18

## 1.2 轧制及正火工艺

在冶轧实验室进行 14 mm 钢板轧制,其工艺流程为:

(1) 加热:加热温度为  $(1\ 200 \pm 10)$  °C。

(2) 轧制:轧制分为两阶段,第一阶段在奥氏体再结晶区轧制,粗轧第一道次压下率控制在 10% 以上;第二阶段在奥氏体未再结晶区轧制,精轧开轧温度为  $(920 \pm 10)$  °C,开轧厚度为 42 mm,终轧温度为  $(840 \pm 10)$  °C。

(3) 冷却:空冷。

(4) 正火试验:对 70<sup>#</sup>与 71<sup>#</sup>钢板试样分别进行正火试验,其正火工艺如图 1 所示。对钢板分别加热到 840 °C、850 °C、860 °C、870 °C、880 °C 不同的正火温度,在炉时间  $T = (1.4t + 10)$  min,其中  $t$  为钢板厚度,之后空冷。

## 2 试验结果及分析

### 2.1 轧态钢板金相组织及夹杂物

70<sup>#</sup>与 71<sup>#</sup>试验钢轧态金相组织为细晶粒铁素体和珠光体,晶粒度 10~11 级,非金属夹杂物主要为

## 1 化学成分和工艺

### 1.1 化学成分

在冶轧实验室冶炼 2 炉 25 kg 钢锭,添加微合金化元素,其中第 2 炉设计添加了少量 Cr,实测化学成分见表 1。Nb 可以显著抑制奥氏体再结晶过程,从而提高奥氏体未再结晶温度。V 一般在钢板轧后冷却阶段析出,用于对钢板进行析出强化,同时也提高钢材的回火稳定性,V 的另一作用是提高钢板的高温性能,高温下 V 化合物析出钉扎位错和晶界,提高了钢板的抗高温软化性能。Ti 与 N 形成 TiN, TiN 在即使 1 400 °C 的高温下仍不溶解,因而钢坯在加热过程中 TiN 可以分布在奥氏体晶粒附近阻止奥氏体晶粒的长大,同时也阻碍钢材焊接热影响区的晶粒长大<sup>[4]</sup>。因此,在压力容器用高强度钢板中复合添加 Nb、V、Ti 微合金化元素,用以细化晶粒,改善钢材的综合性能。

B 类氧化铝夹杂物和 DS 类夹杂物,评级分别为 1.5 级和 1.0 级。金相组织如图 2 所示,非金属夹杂物见图 3。

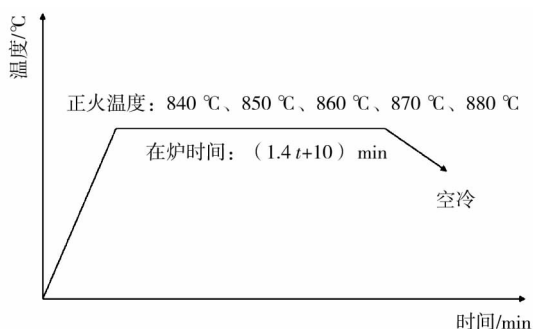


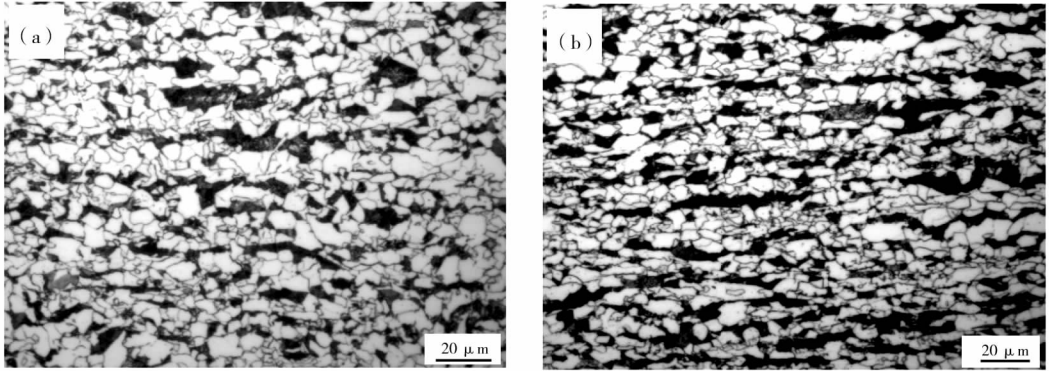
图 1 试验钢正火工艺

### 2.2 正火后钢板力学性能

70<sup>#</sup>、71<sup>#</sup>轧态及正火后力学性能如图 4 所示。70<sup>#</sup>钢板正火后强度下降,延伸率和冲击功显著提高,随着正火温度的升高,试验钢强度逐渐下降。71<sup>#</sup>钢板添加少量 Cr,轧态和同一正火工艺下的强

度均高于 70# 钢板, 延伸率和冲击功值低于 70# 钢板, 正火后钢板性能满足标准 GB/T 713—2014<sup>[5]</sup> 要求, 其中屈服强度要求不小于 370 MPa, 抗拉强度为

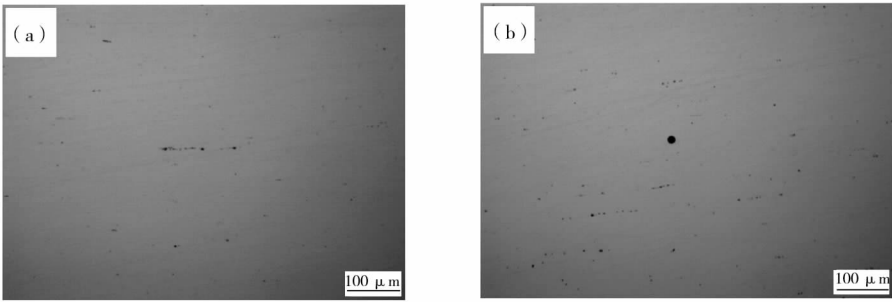
530 ~ 630 MPa, 延伸率不小于 20.0%, 冲击功 (-20 °C) 不小于 47 J。由于添加了少量 Cr, 吨钢成本会有所增加。其变化趋势见图 5。



(a) 70# 试样轧态金相组织

(b) 71# 试样轧态金相组织

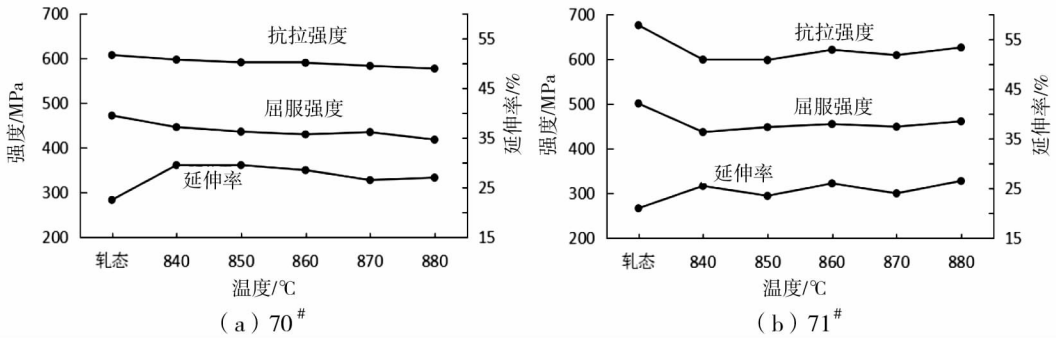
图2 金相组织照片



(a) B类夹杂物

(b) DS类夹杂物

图3 非金属夹杂物照片



(a) 70#

(b) 71#

图4 70#、71# 试样轧态及正火后力学性能

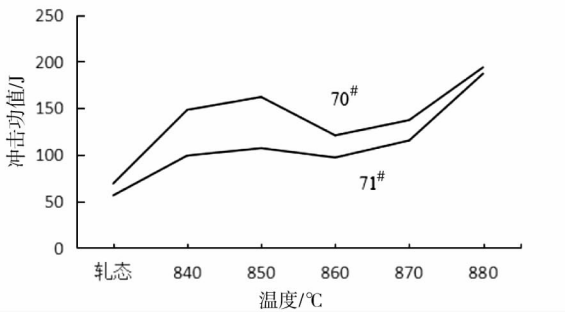


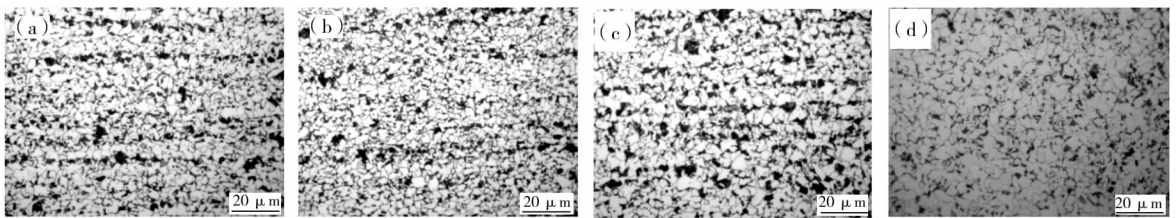
图 5 70<sup>#</sup>、71<sup>#</sup>试样轧态及正火后冲击性能(-20 °C)

### 2.3 正火后钢板金相组织

图 6 与图 7 为试验钢不同正火工艺下的金相组织,正火后组织为细晶粒铁素体和珠光体。综合考虑,试验钢采用 70<sup>#</sup> 成分体系,经控制轧制、840 ~ 880 °C 正火后钢板性能满足要求。

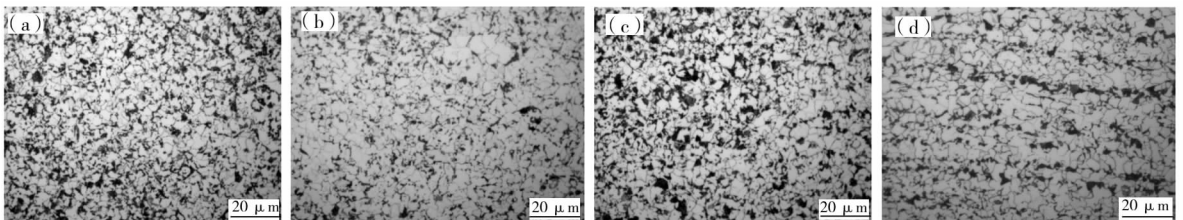
## 3 结论

(1) 添加微合金化元素 Nb、V、Ti 钢板正火后强度下降,延伸率和冲击功显著提高,随着正火温度的升高,试验钢强度逐渐下降。



(a) 840 °C 正火组织 (b) 850 °C 正火组织 (c) 860 °C 正火组织 (d) 870 °C 正火组织

图 6 70<sup>#</sup> 试样不同正火工艺下的金相组织



(a) 840 °C 正火组织 (b) 850 °C 正火组织 (c) 860 °C 正火组织 (d) 870 °C 正火组织

图 7 71<sup>#</sup> 试样不同正火工艺下的金相组织

(2) 添加少量 Cr 元素轧态和同一正火工艺下钢板的强度均高于不添加 Cr 元素的钢板,延伸率和冲击功值低于不添加 Cr 元素的钢板,添加了少量 Cr 元素,吨钢成本会有所增加。

(3) 正火后钢板组织为细晶粒铁素体和珠光体。综合考虑,试验钢采用添加微合金化元素 Nb、V、Ti 成分体系,经控制轧制、840 ~ 880 °C 正火后钢板性能满足要求。

### 参 考 文 献

- [1] 陈晓,秦晓钟. 高性能压力容器和压力钢管用钢[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
- [2] 许强,王利,徐亮,等. 汽车罐车罐体用 WH590 (17MnNiVNR) 钢板的开发和试验研究[J]. 试验研究,2010,27(3):7-11.
- [3] 汪福成,郭爱民. 含铌低合金钢在武钢的研制与发展[J]. 钢铁研究,2010,38(1):58-61.
- [4] 徐亮,王利,章敏,等. 汽车罐车用 17MnNiVNB (WH590) 钢板的性能[J]. 机械工程材料,2014,38(5):53-56.
- [5] GB/T 713—2014, 锅炉和压力容器用钢板[S].

[1] 陈晓,秦晓钟. 高性能压力容器和压力钢管用