

## 高锰高氮不锈钢 10Cr21Mn16NiN 线材开发

严道聪<sup>1</sup> 季灯平<sup>1</sup> 李立<sup>1</sup> 王贞应<sup>1</sup> 马振宇<sup>1</sup> 王峭兵<sup>2</sup>

(1 瑞浦科技集团特种钢研究院, 丽水 323900; 2 浙江久立特材科技股份有限公司, 湖州 313000)

**摘要** 介绍了 10Cr21Mn16NiN 钢线材成分设计、增氮原理、冶炼工艺、轧制和固溶工艺、Cr<sub>2</sub>N 相析出的生产工艺。采用 30 t AOD 精炼, 吹氮气增氮, 精炼后期加氮化锰。轧制时采用 1 240 °C 加热、控轧控冷, 保证了盘条表面质量, 避免了中心缩孔等问题; 固溶温度应控制在 1 100 °C 左右, 且保温 30 min 后快冷, 可防止 Cr<sub>2</sub>N 相析出。成功生产出表面质量和性能优良的 10Cr21Mn16NiN 不锈钢线材。

**关键词** 10Cr21Mn16NiN 钢 线材 成分 轧制 固溶 Cr<sub>2</sub>N 相

## Exploitation of 10Cr21Mn16NiN Stainless Steel Wire with High Manganese and High Nitrogen

Yan Daocong<sup>1</sup>, Ji Dengping<sup>1</sup>, Li Li<sup>1</sup>, Wang Zhenying<sup>1</sup>, Ma Zhenyu<sup>1</sup> and Wang Shaobing<sup>2</sup>

(1 Special Steel Research Institute of Ruipu Technology Group, Lishui 323900;  
2 Zhejiang Jiuli Hi-Tech Metals Co Ltd, Huzhou 313000)

**Abstract** The production process of steel 10Cr21Mn16NiN wire rod, including composition design, principle of increasing nitrogen, smelting process, rolling and solution process, precipitation of Cr<sub>2</sub>N phase is introduced. A 30 t AOD furnace is used for refining, blown nitrogen to increase nitrogen in steel water, and added manganese nitride at the later stage of refining. The surface quality of wire rod is ensured and the problem of central shrinkage is solved by adopting 1 240 °C heating and controlled rolling and cooling in the process. The solution temperature should be controlled at 1 100 °C and cooled quickly after holding for 30 min to prevent the precipitation of Cr<sub>2</sub>N phase. The 10Cr21Mn16NiN stainless steel wire rod with excellent surface quality and performance has been successfully produced.

**Material Index** Steel 10Cr21Mn16NiN, Wire Product, Composition, Rolling, Solid Solution, Cr<sub>2</sub>N Phase

10Cr21Mn16NiN 属于高锰高氮奥氏体不锈钢, 其具有较高的强度和较好的塑性, 也具有与其他奥氏体不锈钢一样的无磁性和耐腐蚀等性能, 所以被广泛用于高强索缆、矿山筛网、大桥钢筋等高强度设备上。当奥氏体不锈钢中的氮含量超过 0.4% 时可称为高氮奥氏体不锈钢, 若含有较高的锰, 用锰和氮来代替昂贵的镍, 可称为高氮高锰奥氏体不锈钢。氮是一种较强的奥氏体形成元素, 形成奥氏体的能力是镍的 30 倍; 具有固溶强化作用, 提高强度, 但并不显著损害钢的塑性和韧性, 同时, 氮能提高钢的耐腐蚀性能, 特别是耐局部腐蚀。锰也是奥氏体形成元素, 还能提高氮在不锈钢中的溶解度<sup>[1-4]</sup>。

### 1 成分设计

针对 10Cr21Mn16NiN 节镍型奥氏体不锈钢的成分设计, 目前国内外没有相关的成分标准, 借鉴其他常规的控氮节镍奥氏体不锈钢, 其产品的成分设计主要控制点有 3 个方面, (1) 高氮奥氏体不锈钢的凝固模式, 根据舍夫勒组织转变图, 确定其凝固模式为 FA 模式; (2) 氮的溶解度, 节镍型的奥氏体不

锈钢主要是以氮锰代替镍, 氮的溶解度有限, 要根据氮的溶解特点适当设计氮和其他各元素的含量; (3) 借助热力学计算软件, 按目标值计算有害析出相的析出温度, 尽量避免有害析出相在后续热加工过程中产生。

研究合金组成对不锈钢的组织影响, 根据各元素形成奥氏体组织和铁素体组织的能力, 将其换算成对应的镍当量 (Ni<sub>eq</sub>) 和铬当量 (Cr<sub>eq</sub>), 他们的比值是控制组织状态结构的重要因素, 根据实验计算出的铬当量 [Cr] 和镍当量 [Ni] 的公式很多, 因为最早是 Schaeffler 研究焊缝组织时建立的, 所以形成了 Schaeffler 图<sup>[5]</sup>, 后来 Hull 对其进行了修正和完善, 它考虑了氮对不锈钢组织的影响, 为高氮不锈钢的成分设计提供了理论依据, 选择合理的成分配比, 才能获得单一奥氏体组织, 此时应满足 Ni<sub>eq</sub> ≥ Cr<sub>eq</sub> - 8, 修正后的铬当量 [Cr] 和镍当量 [Ni] 的公式为<sup>[6]</sup>:

$$\text{Cr}_{\text{eq}} = \text{Cr} + 1.5\text{Mo} + 1.5\text{W} + 0.48\text{Si} + 2.3\text{V} + 1.75\text{Nb} + 2.5\text{Al} \quad (1)$$

$$\text{Ni}_{\text{eq}} = \text{Ni} + \text{Co} + 0.1\text{Mn} - 0.01\text{Mn}^2 + 18\text{N} + 30\text{C} \quad (2)$$

氮可代替镍来形成和稳定奥氏体相,但过少的氮会使奥氏体相不稳定,过多的氮易产生氮化物的析出。为稳定奥氏体相,最小的氮含量应满足 Balachandran 的经验公式<sup>[7]</sup>:

$$[N] = -0.88[C] + 0.046[Cr] - 0.0009[Mn] + 0.038[Mo] - 0.053[Si] + 0.082[Ni] - 0.208[Cu] - 0.278 \quad (3)$$

根据冶炼的控制水平设计氮含量在 0.6% ~ 0.7%。另外,参考国标和国外标准对 10Cr21Mn16NiN 钢的成分控制,设计 10Cr21Mn16NiN 钢的成分如表 1 所示。计算后可知,满足  $Ni_{eq} \geq Cr_{eq} - 8$ ,在舍夫勒组织图中可以看出,10Cr21Mn16NiN 钢在室温下的组织为奥氏体组织。

试验冶炼 10Cr21Mn16NiN 钢炉号 1<sup>#</sup>的具体成分如表 2 所示,经 Thermo-Calc 热力学软件计算,10Cr21Mn16NiN 钢的平衡组织转变相图如图 1 所示。在平衡状态下,有害相(Cr<sub>2</sub>N)的析出相温度在 980 °C, M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>析出相温度在 760 °C,为后续热加工

表 1 10Cr21Mn16NiN 钢化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of steel 10Cr21Mn16NiN / %								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	N
0.10 ~ 0.20	≤ 0.10	16.00 ~ 18.00	≤ 0.045	≤ 0.010	20.00 ~ 22.00	1.40 ~ 1.80	≤ 0.30	0.60 ~ 0.70

表 2 10Cr21Mn16NiN 钢炉号 1<sup>#</sup>化学成分 / %

Table 2 Chemical composition of heat No1 of steel 10Cr21Mn16NiN / %								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	N
0.11	0.42	16.80	0.025	0.001	20.60	1.62	0.22	0.63

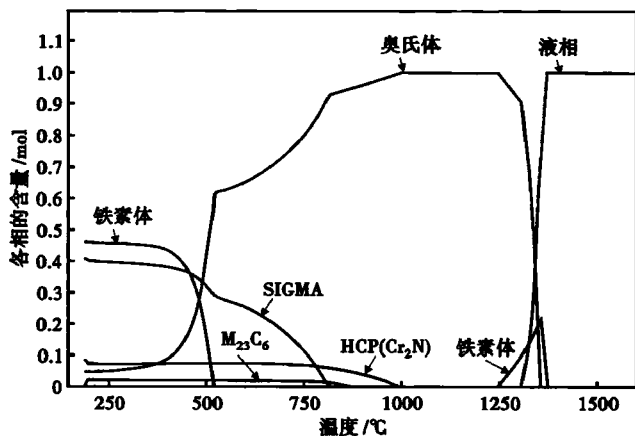


图 1 1<sup>#</sup>炉 10Cr21Mn16NiN 钢组织转变曲线 (Thermo-Calc 计算)

Fig.1 Structure transformation curves of heat No1 of steel 10Cr21Mn16NiN (Thermo-Calc calculation)

和热处理提供了有利的温度区间范围。

## 2 增氮工艺

10Cr21Mn16NiN 不锈钢的冶炼工艺流程为: 50 t电弧炉(EAF)-30 t AOD-30 t LF-连铸(CC), 冶炼中增氮的方式是高氮不锈钢生产的重点也是难点。常压下,氮在纯铁水中的溶解度很低,只有 0.044%,经研究发现,加压熔炼和合理加入合金元素可提高氮的溶解度,Mn、Cr、Mo、Nb、V 等元素可提高氮的溶解,而 C、Si、Ni、Cu 等元素则降低其溶解度<sup>[8]</sup>。加压熔炼成本较高、加压设备复杂;常压下多采用底吹氮气和加入氮化物合金的方法进行增氮。

底吹氮气后的氮的溶解反应为:



其平衡常数为:

$$K_N = \frac{a_N}{\sqrt{p_{N_2}/p^0}} = \frac{[N]_{eq} \cdot f_N}{\sqrt{p_{N_2}/p^0}} \quad (5)$$

式中:  $f_N$ - 氮的活度系数;  $[N]_{eq}$ - 氮的平衡质量分数;  $p_{N_2}/p^0$ - 氮的分压。

式(5)两边取对数得:

$$\lg [N] = \lg \sqrt{p_{N_2}} + \lg K_N - \lg f_N \quad (6)$$

对于  $f_N$  和  $K_N$  的计算,不同学者的研究有所差异,本文采用 Chipman<sup>[9]</sup>和 Pehlke<sup>[10]</sup>等人的研究成果,即:

$$\lg K_N = -188/T - 1.17 \quad (7)$$

$$\lg f_N = \left( \frac{3 \cdot 280}{T} - 0.75 \right) \sum_{i=1}^n e_N^i [i] \quad (8)$$

式中:  $T$ - 钢水温度 /K;  $[i]$ - 钢中组元  $[i]$  的质量分数。

将式(7)、式(8)代入式(6)中得:

$$\lg [N] = \lg \sqrt{p_{N_2}} - 188/T - 1.17 - \left( \frac{3 \cdot 280}{T} - 0.75 \right) \cdot \left( \sum_{i=1}^n e_N^i [i] \right) \quad (9)$$

由式(4)、式(5)可知,钢水吸氮是一个自发的过程;由式(9)可知,当钢水的成分、温度、压力确定的情况下,钢中的氮含量也就确定。

影响钢液吸氮速度和吸氮量主要取决于动力学条件。研究表明,在低氧位、低硫位下钢液的吸氮速度主要取决于熔体侧的传质速度。钢液的吸氮规律符合一级反应方程式:

$$\ln \frac{[N]_{\text{eq}} - [N]_0}{[N]_{\text{eq}} - [N]} = k_N \times \frac{F}{V_m} t \quad (10)$$

式中： $k_N$ - 表观速度常数； $F$ - 气-液相界面面积； $V$ - 熔体体积； $[N]_{\text{eq}}$ - 与气相平衡时钢液中的氮含量； $[N]$ - 某一瞬间钢液中实际氮含量。

由式(10)可知，在一定的温度和时间下，当提高 $[N]$ 时才能提高 $k_N$ 的值，从而提高钢水中的氮含量，这为 LF 添加氮化锰合金增氮提供了有效的理论依据。

冶炼 10Cr21Mn16NiN 钢时，AOD 冶炼采用全程吹氮，LF 补加氮化锰合金，氮含量可达到 0.6% ~ 0.7%。

### 3 冶炼工艺控制

生产 10Cr21Mn16NiN 钢工艺流程为：50 t 电弧炉 (EAF) → 30 t 氩氧脱碳炉 (AOD) → 30 t 钢包精炼炉 (LF) → R10 m 连铸机 (CC) → 连铸坯 (180 mm × 180 mm × 6 500 mm)，连铸坯后续用于轧制规格 Φ5.5 ~ 6.5 mm 盘条。

电弧炉冶炼：加料 → 起弧 → 穿井 → 熔化 → 排渣 → 出钢，主要作用是熔化废钢，每次在加入废料前炉底先加石灰 15 kg/t<sub>钢液</sub>，提前造渣、稳定电弧、熔后保温。小功率起弧，大功率穿井，钢液熔化 80% 后吹氧助熔，电弧炉吹氧也有预脱磷的作用，出钢前 P 控制在 0.045% 以内。

AOD 冶炼：脱碳 → 还原 → 精炼 → 出钢。脱碳：电弧炉粗钢水进 AOD 后温度在 1 490 ~ 1 530 °C，此时钢水成分为 1.0% ~ 1.30% C，0.05% ~ 1.50% Si，20.0% ~ 22.0% Cr，吹氧升温，顶枪和底枪同时吹氧氮脱碳，顶枪氧氮流量 (m<sup>3</sup>/h) 的比例为 2 000 : 400；底枪氧氮流量 (m<sup>3</sup>/h) 比例分别为 1 500 : 500，1 500 : 400，1 500 : 350，1 500 : 320 吹氧脱碳过程中持续加入石灰 3 000 kg 造渣，当 C < 0.13% 后关闭顶枪，只采用底枪吹氧氮，测温取样并扒掉 2/3 渣量，氧化终点温度为 1 700 ~ 1 780 °C。还原：采用硅铁还原，加入硅铁 800 ~ 1 000 kg、萤石 450 ~ 500 kg，电解锰 6 000 ~ 7 000 kg (以计算量为准)，硅铁深脱氧，萤石调节渣的流动性，还原渣的碱度在  $R = 2.0 \sim 2.2$ ，还原 8 min，终点温度在 1 640 ~ 1 700 °C，此时  $[O]$  在  $80 \times 10^{-6}$  以下，0.30% ~ 0.60% Si。精炼：精炼前扒掉 1/4 的渣量，加入 500 kg 热石灰，200 ~ 300 kg 萤石，深脱氧脱硫，并加入其他合金辅料调节成分，此时渣色为白色或白绿色，精炼 6 min，精炼终点  $[O]$  在  $50 \times 10^{-6}$  以下，S < 0.005 0%。出钢：出钢温

度 ≥ 1 550 °C。

AOD 冶炼过程全程吹氮，AOD 出钢时 0.40% ~ 0.50% N，此含量低于出钢温度下的氮溶解度的理论值，因为在吹氮的过程中，一部分溶解的氮会随着氮气泡溢出表面。还原前期加入电解锰，电解锰不应加入太早，否则影响前期脱碳效率，也不应加入太晚，否则影响后期氮的合金化，还原 13% ~ 15% Mn 较合适。

LF 精炼：根据此时钢水量、钢中氮含量计算所需氮化锰的量，加入所需氮化锰，调节钢中氮含量为 0.60% ~ 0.70%，实践证明此时合金氮收得率在 75% ~ 85%。调节钢水温度 1 450 ~ 1 500 °C，出站前加入稻草灰保温。实验炉号 1<sup>#</sup> 离开 LF 钢水温度为 1 460 °C，钢水量为 30.5 t，LF 到站  $[N]$  为 0.412%，加入氮化锰 1.45 t 后， $[N]$  达到 0.630%，此时氮的收得率为 74.5% (所用氮化锰合金中氮含量为 7%)。

连铸：实验炉号 1<sup>#</sup> 液相线温度为 1 374 °C，连铸中间包钢水温度控制在 1 409 ~ 1 424 °C，采用低过热度浇注，过热度控制在 35 ~ 50 °C，结晶器水流量控制在  $(90 \pm 5) \text{ m}^3/\text{h}$ ，足辊水和二冷水流量都控制在  $(2.8 \pm 1.0) \text{ m}^3/\text{h}$ ，较低的过热度和较大的冷却水流量既能改善连铸坯表面质量，也可以防止钢水缓慢凝固时的氮溢出。浸入式水口插入深度控制在 8 ~ 10 cm，较深的水口插入深度减少结晶器液位波动，提高连铸坯表面质量，采用结晶器电磁搅拌，减少成分偏析。

### 4 轧制工艺参数的控制

10Cr21Mn16NiN 钢连铸坯 (180 mm × 180 mm × 6 500 mm) 主要用于轧制规格 Φ5.5 ~ 6.5 mm 盘条，本次实验坯料为 1<sup>#</sup> 炉连铸坯，轧制规格为 Φ5.5 mm 盘条，轧制设备为 110 m 达涅利高速线材轧机，轧制工序为：步进式加热炉加热 → 粗轧 (6 架轧机) → 一中轧 (6 架轧机) → 二中轧 (6 架轧机) → 预精轧 (6 架轧机) → 精轧机 (10 对) → 吐丝机 → PF 线集卷 → 打包。

轧制规格 Φ5.5 ~ 6.5 mm 盘条时，前期规定轧制加热温度在  $(1 180 \pm 10) \text{ }^\circ\text{C}$ ，设置保温时间 2 h，粗轧 6 架出口轧件裂纹明显，成品翘皮严重，合格率低。后期提高加热温度，1 240 °C 加热并保温 2 h，粗轧表面无裂纹，成品表面无缺陷。分析原因，在 1 240 °C 温度下 10Cr21Mn16NiN 钢热塑性较好，有效避免了轧制开裂。轧制过程采用控轧控冷，轧制速度

控制在 55 ~ 60 m/s,进精轧机温度控制在 1 030 ~ 1 080 ℃,吐丝温度控制在 1 020 ~ 1 070 ℃。轧件加热温度、过程温度和吐丝温度都控制在有害析出相的析出温度之上,这也是防止过程开裂和成品翘皮的有效措施。控制轧制温度和轧制速度可以有效防止材料中心过热而产生缩孔,防止晶粒组织过大,过大的晶粒使得材料硬度和强度下降,耐磨性变差。

### 5 固溶析出行为控制

试验轧制成品规格为 Φ5.5 mm,平衡组织转变相图如图 1 所示,文献[11]证明该类钢种的析出相就是 Cr<sub>2</sub>N, Cr<sub>2</sub>N 相是一种富铬的氮化物析出相,它的存在会提高不锈钢的腐蚀敏感度,同时会降低材料的塑韧性,为了避免 Cr<sub>2</sub>N 相的产生,固溶温度必须大于 980 ℃,且不要超过 1 200 ℃,过高的温度会使晶粒异常长大,对炉子也有较大伤害,盘条损耗较高。

试验证明离线固溶必须保证高温保温时间在

30 min 以上,出炉后到入水之间的时间应尽量短,否则在入水前缓冷的过程就会有 Cr<sub>2</sub>N 相析出。在线固溶则可很容易预防析出相的产生,材料吐丝到固溶的温度都在析出转变点温度之上,此过程不会产生 Cr<sub>2</sub>N 相,只需要加快出炉后到入水之间的时间。

本试验固溶设备为离线环形固溶炉,20 个工位,4 个区,每区 5 个工位,前期固溶试验时,用 Φ5.5 mm 盘条分别试验了两种固溶工艺,如表 3 所示,工艺 1 固溶后的组织如图 2(a) 所示,晶粒度评级为 7 级,组织晶界存在大量 Cr<sub>2</sub>N 相析出,主要都以颗粒状存在;工艺 2 固溶后的组织如图 2(b) 所

表 3 10Cr21Mn16NiN 钢固溶试验工艺

Table 3 Test process of solid solution of steel 10Cr21Mn16NiN

工艺	温度/℃				工位时间/min
	1 区	2 区	3 区	4 区	
1	850	950	970	970	6
2	950	1 050	1 100	1 100	6

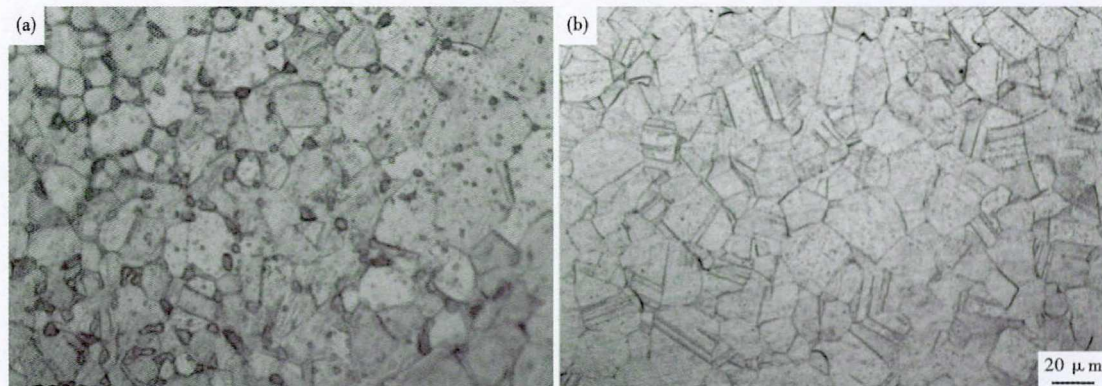


图 2 10Cr21Mn16NiN 钢 Φ5.5 mm 盘条(a)970 ℃ 6 min,存在析出相(工艺 1);(b)1 100 ℃ 12 min,无析出相(工艺 2)

Fig.2 Existing precipitated phase, process 1, at 970 ℃ for 6 min (a), non-precipitated phase, process 2, at 1 100 ℃ for 12 min (b), steel 10Cr21Mn16NiN Φ5.5 mm coil

示,晶界无析出物,组织清晰,晶粒度评级为 7 级,此时盘条固溶出炉后 50 s 内入水。

扫描电镜下观察晶界存在析出物的组织如图 3 所示,长方形颗粒析出物明显,析出物能谱图如图 3 所示,能谱检测结果主要为 Cr<sub>2</sub>N 相,属富 Cr 含 V 的氮化物,这些氮化物相从组织基体中析出主要受 N、Cr 元素扩散的影响,氮的扩散系数比碳高,且氮易在晶界处富集,所以使氮化物在晶界析出<sup>[12]</sup>。

### 6 力学性能检测

本次试验轧制 Φ5.5 mm 盘条按表 3 中工艺 2 固溶,固溶后的盘条机械性能如表 4 所示,可看出材料具有较高的抗拉强度和屈服强度,同时具有较好

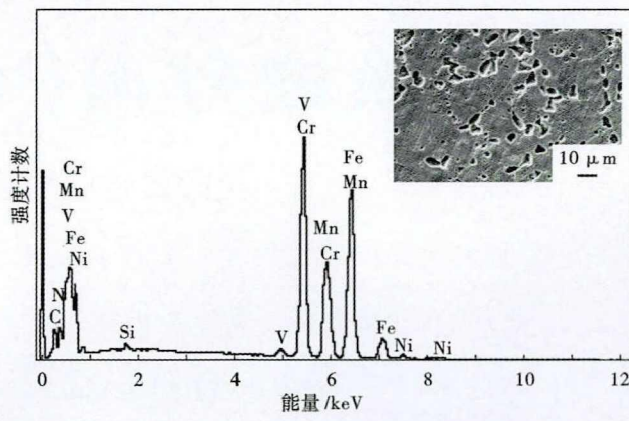


图 3 Cr<sub>2</sub>N 相能谱曲线及析出相

Fig.3 Energy spectrum curve of Cr<sub>2</sub>N phase and precipitation phase

表 4 10Cr21Mn16NiN 钢的部分炉号力学性能  
 Table 4 Mechanical properties of part heats steel 10Cr21Mn16NiN

取样位置	直径/mm	$R_{p0.2}$ /MPa	$R_m$ /MPa	断后延伸率/%	断面收缩率/%
头部	5.5	623	1 025	52	72
中部	5.5	615	1 022	53	73
尾部	5.5	625	1 024	53	72

的塑性, 后续冷加工性能较好, 试验证明冷拉至  $\Phi 3.5$  mm 后抗拉强度能达到 2 000 MPa 以上, 完全满足高强索缆、矿山筛网、大桥钢筋等的性能要求。

7 结语

(1) 根据氮的高氮奥氏体不锈钢的凝固模式、氮的溶解度, 并借助舍夫勒组织转变图和热力学计算软件, 设计出合适的 10Cr21Mn16NiN 钢各组成成分范围。

(2) 冶炼过程全程吹氮, AOD 出钢氮含量可达 0.40% ~ 0.50%, 在 LF 冶炼后期补加氮化锰, 氮含量可达 0.60% ~ 0.70%。

(3) 轧制过程为防止开裂, 加热温度应该在 1 240 °C 左右, 并保温 2 h; 轧制速度控制在 50 m/s 以内, 进精轧机温度控制在 1 000 ~ 1 050 °C, 吐丝温度控制在 1 000 ~ 1 050 °C, 可以防止 Cr<sub>2</sub>N 等有害相析出, 也避免中心缩孔和晶粒过大。

(4) 为防止固溶时有害相 Cr<sub>2</sub>N 析出, 固溶温度应为 1 100 °C, 并保温 30 min 以上, 出炉快冷。

(5) 实验生产 5.5 mm 规格 10Cr21Mn16NiN 盘条抗拉强度可达到 1 025 MPa 左右, 断后延伸率为 52% 左右, 断面收缩率为 72% 左右,  $R_{p0.2}$  为 625 MPa 左右, 拥有较高的强度和良好塑性。

参考文献

[1] 张志方. 10Cr21Mn16NiN 高氮奥氏体不锈钢组织与性能研究[J]. 太原理工大学学报, 2012, 43(4): 449-452.

[2] 陆世英, 康喜范. 不锈钢[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006.

[3] 范新智. 45 t AOD 精炼高氮奥氏体不锈钢 10Cr21Mn16NiN 的工艺实践. [J]. 特殊钢, 2014, 35(3): 27-28.

[4] 马继刚. 高氮奥氏体不锈钢的组织与性能研究[D]. 长春: 长春工业大学, 2016.

[5] 戴起勋, 程晓农. 金属材料学(第二版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013: 124-125.

[6] 袁军平, 李卫, 陈绍兴, 等. 高氮无镍奥氏体不锈钢的研究与发展[J]. 铸造, 2012, 61(11): 1308-1312.

[7] 王建新. 低镍高锰奥氏体不锈钢冶炼与连铸工艺研究[J]. 酒钢科技, 2010(4): 11-18.

[8] 卡曼奇 曼德里 U, 贝德威 R. 高氮钢和不锈钢-生产、性能与应用[M]. 李晶, 黄运华, 译. 北京: 化学工业出版社, 2006.

[9] Chipman J and Corrigan D A. Prediction of the Solubility of Nitrogen in Molten Steel [J]. Transactions of the Metallurgical Society of AIME, 1965, 233(7): 1249-1252.

[10] Pehlke R D and Elliott J F. Solubility of Nitrogen in Liquid Iron Alloys. 2. Kinetics[J]. Transactions of the Metallurgical Society of AIME, 1960, 218: 1088-1101.

[11] 袁志钟, 陈康敏, 戴起勋, 等. 高氮奥氏体钢的 Cr<sub>2</sub>N 晶间析出研究[J]. 金属热处理, 2004, 29(3): 37-40.

[12] 王鼎, 王伟, 赵英利, 等. 固溶处理对高氮奥氏体不锈钢组织和力学性能的影响[J]. 兵器材料科学与工程, 2019, 42(1): 98-101.

严道聪(1993-), 男, 硕士, (2016 年安徽工业大学), 工程师, 2014 年安徽工业大学(本科)毕业, 不锈钢产品的开发与研究. E-mail: yandaocong\_jinya@163.com

收稿日期: 2020-10-10

欢迎订阅《特殊钢》杂志

全国各地邮局均可订阅(可破订)

邮发代号: 38-183      定价: 16.00 元/期 96.00 元/年      邮编: 435001  
 地址: 湖北省黄石市黄石大道 316 号、大冶特殊钢股份有限公司《特殊钢》杂志社  
 电话: 0714-6297386 6297313 0714-6297888-8010